

**DIN EN 1993-1-4**

ICS 91.010.30; 91.080.10

Ersatz für  
DIN V ENV 1993-1-4:2002-05**Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –  
Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln –  
Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen;  
Deutsche Fassung EN 1993-1-4:2006**

Eurocode 3: Design of steel structures –  
Part 1-4: General rules –  
Supplementary rules for stainless steels;  
German version EN 1993-1-4:2006

Eurocode 3: Calcul des structures en acier –  
Partie 1-4: Règles générales –  
Règles supplémentaires pour les aciers inoxydables;  
Version allemande EN 1993-1-4:2006

Gesamtumfang 41 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN



## **Nationales Vorwort**

Dieses Dokument (EN 1993-1-4:2006) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Die Arbeiten auf nationaler Ebene wurden durch die Experten des NABau-Spiegelausschusses NA 005-08-16 AA „Tragwerksbemessung“ begleitet.

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 09. Januar 2006 angenommen.

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

Ein Nationaler Anhang wird im Laufe der Übergangsfristen erarbeitet.

## **Änderungen**

Gegenüber DIN V ENV 1993-1-4:2002-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Stellungnahmen der nationalen Normungsinstitute wurden eingearbeitet und der Text vollständig überarbeitet;
- b) der Vornormcharakter wurde aufgehoben.

## **Frühere Ausgaben**

DIN V ENV 1993-1-4: 2002-05

Deutsche Fassung

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

Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-4: General  
rules - Supplementary rules for stainless steels

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

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 9. Januar 2006 angenommen.

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

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

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



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

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

# Inhalt

Seite

|                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Vorwort</b> .....                                                             | <b>4</b>  |
| <b>Nationaler Anhang für EN 1993-1-4</b> .....                                   | <b>4</b>  |
| <b>1 Allgemeines</b> .....                                                       | <b>4</b>  |
| 1.1 Anwendungsbereich .....                                                      | 4         |
| 1.2 Normative Verweisungen.....                                                  | 5         |
| 1.3 Voraussetzungen.....                                                         | 6         |
| 1.4 Unterscheidung von verbindlichen Regeln und nicht verbindlichen Regeln ..... | 6         |
| 1.5 Begriffe .....                                                               | 6         |
| 1.6 Formelzeichen.....                                                           | 6         |
| <b>2 Werkstoffe</b> .....                                                        | <b>7</b>  |
| 2.1 Nichtrostende Stähle im Bauwesen.....                                        | 7         |
| 2.1.1 Allgemeines.....                                                           | 7         |
| 2.1.2 Mechanische Eigenschaften nichtrostender Stähle .....                      | 7         |
| 2.1.3 Werkstoffkennwerte .....                                                   | 9         |
| 2.1.4 Bruchzähigkeit.....                                                        | 9         |
| 2.1.5 Eigenschaften in Dickenrichtung.....                                       | 9         |
| 2.1.6 Toleranzen.....                                                            | 9         |
| 2.2 Schrauben .....                                                              | 10        |
| 2.2.1 Allgemeines.....                                                           | 10        |
| 2.2.2 Vorgespannte Schrauben .....                                               | 10        |
| 2.2.3 Andere mechanische Verbindungsmittel.....                                  | 10        |
| 2.3 Schweißzusatzwerkstoffe .....                                                | 10        |
| <b>3 Dauerhaftigkeit</b> .....                                                   | <b>11</b> |
| <b>4 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit</b> .....                           | <b>11</b> |
| 4.1 Allgemeines.....                                                             | 11        |
| 4.2 Ermittlung von Verformungen.....                                             | 11        |
| <b>5 Grenzzustände der Tragfähigkeit</b> .....                                   | <b>13</b> |
| 5.1 Allgemeines.....                                                             | 13        |
| 5.2 Einstufung in Querschnittsklassen .....                                      | 14        |
| 5.2.1 Maximales Breite-zu-Dicke-Verhältnis.....                                  | 14        |
| 5.2.2 Klassifizierung druckbeanspruchter Querschnittsteile.....                  | 14        |
| 5.2.3 Wirksame Breiten von Querschnitten der Klasse 4 .....                      | 17        |
| 5.2.4 Wirkung der Schubverzerrung .....                                          | 18        |
| 5.3 Querschnittstragfähigkeit.....                                               | 18        |
| 5.3.1 Zugtragfähigkeit an Stellen mit Schraubenlöchern .....                     | 18        |
| 5.4 Stabilität von Bauteilen.....                                                | 19        |
| 5.4.1 Allgemeines.....                                                           | 19        |
| 5.4.2 Gleichförmige Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck .....               | 19        |
| 5.4.3 Gleichförmige Bauteile mit Biegung um die Hauptachse .....                 | 20        |
| 5.5 Auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile.....               | 21        |
| 5.6 Schubtragfähigkeit .....                                                     | 22        |
| 5.7 Quersteifen im Steg.....                                                     | 23        |
| <b>6 Bemessung von Anschlüssen</b> .....                                         | <b>23</b> |
| 6.1 Grundlagen.....                                                              | 23        |
| 6.2 Schraubenverbindungen .....                                                  | 24        |
| 6.3 Geschweißte Verbindungen .....                                               | 24        |
| <b>7 Versuchsgestützte Bemessung</b> .....                                       | <b>24</b> |

|              |                                                                         |           |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>8</b>     | <b>Ermüdung.....</b>                                                    | <b>25</b> |
| <b>9</b>     | <b>Bemessung im Brandfall .....</b>                                     | <b>25</b> |
|              | <b>Anhang A (informativ) Dauerhaftigkeit .....</b>                      | <b>26</b> |
| <b>A.1</b>   | <b>Einführung .....</b>                                                 | <b>26</b> |
| <b>A.2</b>   | <b>Arten der Korrosion .....</b>                                        | <b>27</b> |
| <b>A.2.1</b> | <b>Lochfraß .....</b>                                                   | <b>27</b> |
| <b>A.2.2</b> | <b>Spaltkorrosion .....</b>                                             | <b>27</b> |
| <b>A.2.3</b> | <b>Kontaktkorrosion .....</b>                                           | <b>27</b> |
| <b>A.2.4</b> | <b>Spannungsrissskorrosion.....</b>                                     | <b>28</b> |
| <b>A.2.5</b> | <b>Allgemeine Korrosion .....</b>                                       | <b>28</b> |
| <b>A.2.6</b> | <b>Interkristalline Korrosion und örtliche Chromverarmung .....</b>     | <b>29</b> |
| <b>A.3</b>   | <b>Gefährdungsstufen .....</b>                                          | <b>29</b> |
| <b>A.4</b>   | <b>Werkstoffwahl .....</b>                                              | <b>30</b> |
| <b>A.4.1</b> | <b>Allgemeines .....</b>                                                | <b>30</b> |
| <b>A.4.2</b> | <b>Schrauben .....</b>                                                  | <b>32</b> |
| <b>A.5</b>   | <b>Korrosionsschutzgerechtes Konstruieren .....</b>                     | <b>33</b> |
| <b>A.6</b>   | <b>Anschlüsse .....</b>                                                 | <b>35</b> |
| <b>A.6.1</b> | <b>Allgemeines .....</b>                                                | <b>35</b> |
| <b>A.6.2</b> | <b>Geschraubte Verbindungen .....</b>                                   | <b>35</b> |
| <b>A.6.3</b> | <b>Geschweißte Verbindungen .....</b>                                   | <b>36</b> |
|              | <b>Anhang B (informativ) Kaltverfestigte, nichtrostende Stähle.....</b> | <b>37</b> |
| <b>B.1</b>   | <b>Grundlagen .....</b>                                                 | <b>37</b> |
| <b>B.2</b>   | <b>Verfestigung infolge Kaltwalzen.....</b>                             | <b>37</b> |
| <b>B.3</b>   | <b>Kaltverfestigung infolge der Fertigung .....</b>                     | <b>37</b> |
|              | <b>Anhang C (informativ) Beschreibung des Materialverhaltens .....</b>  | <b>38</b> |
| <b>C.1</b>   | <b>Allgemeines .....</b>                                                | <b>38</b> |
| <b>C.2</b>   | <b>Mechanische Eigenschaften .....</b>                                  | <b>38</b> |

## Vorwort

Dieses Dokument (EN 1993-1-4:2006) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis April 2007, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2010 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument ersetzt ENV 1993-1-4:2002.

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

## Nationaler Anhang für EN 1993-1-4

Diese Norm enthält alternative Verfahren, Kennwerte und Empfehlungen mit Anmerkungen, die darauf hinweisen, wann nationale Abänderungen anfallen. Deswegen gilt zur nationalen Norm, die EN 1993-1-4 implementiert, ein nationaler Anhang, der die national bestimmten Parameter zu Entwurf und Bemessung von Stahlbauten, die in dem jeweiligen Land zu errichten sind, enthält.

Nationale Abänderungen werden in den folgenden Regelungen der EN 1993-1-4 ermöglicht:

2.1.4(2)

2.1.5(1)

5.1(2)

5.5(1)

5.6(2)

6.1(2)

6.2(3)

## 1 Allgemeines

### 1.1 Anwendungsbereich

(1) Dieser Teil 1-4 der EN 1993 enthält ergänzende Regelungen zu Konstruktion und Bemessung von Hochbauten und Ingenieurbauwerken, die die Anwendung der EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-5 und EN 1993-1-8 auf austenitische, austenitisch-ferritische und ferritische nichtrostende Stähle erweitern.

ANMERKUNG 1 Näheres zur Dauerhaftigkeit nichtrostender Stähle enthält Anhang A.

ANMERKUNG 2 Die Ausführung von Tragwerken aus nichtrostenden Stählen ist in EN 1090 geregelt.

ANMERKUNG 3 Richtlinien zur Weiterbehandlung einschließlich Wärmebehandlung enthält EN 10088.

## 1.2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm nimmt teilweise Bezug auf andere Regelwerke. Die normativen Verweise werden an den betreffenden Textstellen zitiert und sind in der nachstehenden Liste enthalten. Für Dokumente, die ein Ausgabedatum tragen, gilt, dass eine neuere Ausgabe für das Arbeiten mit dieser Europäischen Norm nur dann anzuwenden ist, wenn hierfür ein Hinweis vorhanden ist. Bei nicht datierten Dokumenten ist die neueste Version maßgebend.

EN 508-3, *Dachdeckungsprodukte aus Metallblech — Festlegungen für selbsttragende Bedachungselemente aus Stahlblech, Aluminiumblech oder nichtrostendem Stahlblech — Teil 3: Nichtrostender Stahl*

EN 1990, *Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1090-2, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Anforderungen an die Ausführung von Tragwerken aus Stahl*

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

EN 1993-1-2, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall*

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

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

EN 1993-1-6, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen*

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

EN 1993-1-9, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung*

EN 1993-1-10, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung*

EN 1993-1-11, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-11: Tragwerke mit Zuggliedern aus Stahl*

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

EN 10029, *Warmgewalztes Stahlblech von 3 mm Dicke an; Grenzabmaße, Formtoleranzen, zulässige Gewichtsabweichungen*

EN 10052, *Begriffe der Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen*

EN 10088-1, *Nichtrostende Stähle – Teil 1: Verzeichnis der nichtrostenden Stähle*

EN 10088-2, *Nichtrostende Stähle – Teil 2: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung*

EN 10088-3, *Nichtrostende Stähle – Teil 3: Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung*

EN 10162, *Kaltprofile aus Stahl – Technische Lieferbedingungen – Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 10219-2, *Kaltgefertigte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen – Teil 2: Grenzabmaße, Maße und statische Werte*

EN ISO 3506-1, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen – Teil 1: Schrauben*

EN ISO 3506-2, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen – Teil 2: Muttern*

EN ISO 3506-3, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen – Teil 3: Gewindestifte und ähnliche, nicht auf Zug beanspruchte Schrauben*

EN ISO 7089, *Flache Scheiben – Normale Reihe, Produktklasse A*

EN ISO 7090, *Flache Scheiben mit Fase – Normale Reihe, Produktklasse A*

EN ISO 9445, *Kontinuierlich gewalztes Kaltband, Kaltbreitband, Blech und Kaltband in Stäben aus nichtrostenden Stählen – Grenzabmaße und Formtoleranzen*

### 1.3 Voraussetzungen

(1) Es gilt zusätzlich zu den grundlegenden Annahmen der EN 1990:

— die Herstellung und Errichtung erfolgt nach EN 1090-2.

### 1.4 Unterscheidung von verbindlichen Regeln und nicht verbindlichen Regeln

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

### 1.5 Begriffe

(1) Es gelten die Regelungen in EN 1990, 1.5.

(2) Solange nicht anderes festgelegt, gelten die Begriffe für die Behandlung von Eisenwerkstoffen nach EN 10052.

### 1.6 Formelzeichen

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

|                     |                                                                      |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------|
| $f_{u,red}$         | abgeminderte Beanspruchbarkeit bei Lochleibung;                      |
| $E_{s,ser}$         | elastischer Sekantenmodul zu Berechnungen der Gebrauchstauglichkeit; |
| $E_{s,1}$           | elastischer Sekantenmodul entsprechend der Spannung im Zugflansch;   |
| $E_{s,2}$           | elastischer Sekantenmodul entsprechend der Spannung im Druckflansch; |
| $\sigma_{1,Ed,ser}$ | Bemessungsspannung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit;        |
| $n$                 | Beiwert.                                                             |

## 2 Werkstoffe

### 2.1 Nichtrostende Stähle im Bauwesen

#### 2.1.1 Allgemeines

- (1) Die in Teil 1-4 getroffenen Festlegungen sollten nur für die Konstruktion und Bemessung mit austenitischen, austenitisch-ferritischen und ferritischen nichtrostenden Stählen angewendet werden.
- (2) Die Nennwerte der Materialeigenschaften nach 2.1.2 sollten als charakteristische Werte bei der Tragwerksbemessung angesetzt werden.
- (3) Für nähere Angaben zu den Materialeigenschaften wird auf EN 10088 verwiesen.
- (4) Die Bemessungsvorschriften in Teil 1-4 gelten nur für Werkstoffe mit Nennstreckgrenzen  $f_y$  bis 480 N/mm<sup>2</sup>.

ANMERKUNG Regelungen für verfestigte Werkstoffe mit  $f_y > 480$  N/mm<sup>2</sup> enthält der Anhang B.

- (5) Können höhere Festigkeiten durch entsprechende Versuche nach Abschnitt 7 geltend gemacht werden (siehe 2.1.2 und Anhang B), darf dies auch bei der Bemessung berücksichtigt werden.

#### 2.1.2 Mechanische Eigenschaften nichtrostender Stähle

- (1) Zu Bemessungszwecken sollten die Kennwerte unabhängig von der Walzrichtung wie folgt angenommen werden:
  - Streckgrenze  $f_y$ : Nennwert ( $f_{0,2\%}$ -Wert) nach Tabelle 2.1;
  - Zugfestigkeit  $f_u$ : Nennwert der Zugfestigkeit nach Tabelle 2.1.
- (2) Die Duktilitätsanforderungen in EN 1993-1-1, 3.2.2 gelten ebenfalls für nichtrostende Stähle. Stähle, die in Übereinstimmung mit einer der in Tabelle 2.1 aufgeführten Sorte stehen, sollten als diesen Anforderungen genügend angesehen werden.
- (3) Bei Konstruktionshohlprofilen sollten die Festigkeitswerte der Tabelle 2.1, die der jeweiligen Erzeugnisform des Grundmaterials (kaltgewalztes Band, warmgewalztes Band oder warmgewalztes Blech) entsprechen, verwendet werden.
- (4) Höhere Festigkeitswerte infolge von Verfestigungen dürfen bei der Bemessung verwendet werden, wenn sie nach Abschnitt 7 mit an dem Hohlprofil entnommenen Kleinteilproben nachgewiesen werden.
- (5) Bei kaltverfestigten Werkstoffen sollten die für Werkstoffzeugnisse nach EN 1090 geforderten Werkstoffprüfungen in der Richtung vorgenommen werden, dass die Bemessungswerte unabhängig von der Walz- oder Streckrichtung sind.

**Tabelle 2.1 — Nennwerte der Streckgrenze  $f_y$  und der Zugfestigkeit  $f_u$  für nichtrostende Konstruktionsstähle nach EN 10088<sup>a</sup>**

| Gefügeart<br>der nicht-<br>rostenden<br>Stähle                                                                                                                                   | Sorte  | Erzeugnisform         |                   |                        |                   |                        |                   |                              |                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|
|                                                                                                                                                                                  |        | Kaltgewalztes Band    |                   | Warmgewalztes Band     |                   | Warmgewalztes Blech    |                   | Stab-, Rund- und Profilstahl |                   |
|                                                                                                                                                                                  |        | Nenndicke $t$         |                   |                        |                   |                        |                   |                              |                   |
|                                                                                                                                                                                  |        | $t \leq 6 \text{ mm}$ |                   | $t \leq 12 \text{ mm}$ |                   | $t \leq 75 \text{ mm}$ |                   | $t \leq 250 \text{ mm}$      |                   |
|                                                                                                                                                                                  |        | $f_y$                 | $f_u$             | $f_y$                  | $f_u$             | $f_y$                  | $f_u$             | $f_y$                        | $f_u$             |
|                                                                                                                                                                                  |        | N/mm <sup>2</sup>     | N/mm <sup>2</sup> | N/mm <sup>2</sup>      | N/mm <sup>2</sup> | N/mm <sup>2</sup>      | N/mm <sup>2</sup> | N/mm <sup>2</sup>            | N/mm <sup>2</sup> |
| Ferritische<br>Stähle                                                                                                                                                            | 1.4003 | 280                   | 450               | 280                    | 450               | 250 <sup>c</sup>       | 450 <sup>c</sup>  | 260 <sup>d</sup>             | 450 <sup>d</sup>  |
|                                                                                                                                                                                  | 1.4016 | 260                   | 450               | 240                    | 450               | 240 <sup>c</sup>       | 430 <sup>c</sup>  | 240 <sup>d</sup>             | 400 <sup>d</sup>  |
|                                                                                                                                                                                  | 1.4512 | 210                   | 380               | 210                    | 380               | —                      | —                 | —                            | —                 |
| Austeni-<br>tische<br>Stähle                                                                                                                                                     | 1.4306 | 220                   | 520               | 200                    | 520               | 200                    | 500               | 180                          | 460               |
|                                                                                                                                                                                  | 1.4307 |                       |                   |                        |                   |                        |                   | 175                          | 450               |
|                                                                                                                                                                                  | 1.4541 |                       |                   |                        |                   |                        |                   | 190                          | 500               |
|                                                                                                                                                                                  | 1.4301 | 230                   | 540               | 210                    | 520               | 210                    | 520               | 200                          | 500               |
|                                                                                                                                                                                  | 1.4401 | 240                   | 530               | 220                    | 530               | 220                    | 520               |                              |                   |
|                                                                                                                                                                                  | 1.4404 |                       |                   |                        |                   |                        |                   |                              |                   |
|                                                                                                                                                                                  | 1.4539 |                       |                   |                        |                   |                        |                   |                              |                   |
|                                                                                                                                                                                  | 1.4571 | 540                   | 540               | 200                    | 500               |                        |                   |                              |                   |
|                                                                                                                                                                                  | 1.4432 | 240                   | 550               |                        |                   | 220                    | 550               | 220                          | 520               |
|                                                                                                                                                                                  | 1.4435 |                       |                   |                        |                   |                        |                   |                              |                   |
|                                                                                                                                                                                  | 1.4311 | 290                   | 550               | 270                    | 550               | 270                    | 550               | 270                          | 550               |
|                                                                                                                                                                                  | 1.4406 | 300                   | 580               | 280                    | 580               | 280                    | 580               | 280                          | 580               |
|                                                                                                                                                                                  | 1.4439 | 290                   |                   | 270                    |                   | 270                    |                   |                              |                   |
|                                                                                                                                                                                  | 1.4529 | 300                   | 650               | 300                    | 650               | 300                    | 650               |                              |                   |
|                                                                                                                                                                                  | 1.4547 | 320                   | 650               | 300                    | 650               | 300                    | 650               |                              |                   |
|                                                                                                                                                                                  | 1.4318 | 350                   | 650               | 330                    | 650               | 330                    | 630               | —                            | —                 |
| Austeni-<br>tisch-ferri-<br>tische<br>Stähle                                                                                                                                     | 1.4362 | 420                   | 600               | 400                    | 600               | 400                    | 630               | 400 <sup>b</sup>             | 600 <sup>b</sup>  |
|                                                                                                                                                                                  | 1.4462 | 480                   | 660               | 460                    | 660               | 460                    | 640               | 450                          | 650               |
| <sup>a</sup> Die Nennwerte $f_y$ und $f_u$ in dieser Tabelle dürfen ohne gesonderte Beachtung der Anisotropie oder von Verfestigungseffekten für die Bemessung verwendet werden. |        |                       |                   |                        |                   |                        |                   |                              |                   |
| <sup>b</sup> $t \leq 160 \text{ mm}$                                                                                                                                             |        |                       |                   |                        |                   |                        |                   |                              |                   |
| <sup>c</sup> $t \leq 25 \text{ mm}$                                                                                                                                              |        |                       |                   |                        |                   |                        |                   |                              |                   |
| <sup>d</sup> $t \leq 100 \text{ mm}$                                                                                                                                             |        |                       |                   |                        |                   |                        |                   |                              |                   |

### 2.1.3 Werkstoffkennwerte

(1) Für eine Tragwerksberechnung und zur Bestimmung der Bauteil- und Querschnittswiderstände dürfen die folgenden Werte angesetzt werden:

— Elastizitätsmodul  $E$ :

$E = 200\,000\text{ N/mm}^2$  für austenitische und austenitisch-ferritische Sorten der Tabelle 2.1 außer für die Sorten 1.4539, 1.4529 und 1.4547

$E = 195\,000\text{ N/mm}^2$  für austenitische Sorten 1.4539, 1.4529 und 1.4547

$E = 220\,000\text{ N/mm}^2$  für ferritische Sorten der Tabelle 2.1

— Schubmodul  $G$  mit  $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$

— Querdehnungszahl  $\nu = 0,3$

Wahlweise dürfen für geglühte Werkstoffe Spannungs-Dehnungskurven nach Anhang C zur Beschreibung des Materialverhaltens herangezogen werden.

(2) Zur Berechnung der Verformungen von Bauteilen darf der Sekantenmodul, der zu den Spannungen im Bauteil im Gebrauchszustand gehört, angesetzt werden, siehe 4.2(5).

### 2.1.4 Bruchzähigkeit

(1) Es darf unterstellt werden, dass die austenitischen und austenitisch-ferritischen, nichtrostenden Stähle nach Teil 1-4 bis zu Gebrauchstemperaturen von  $-40\text{ °C}$  ausreichend zäh und unempfindlich gegen Sprödbbruch sind.

ANMERKUNG 1 Austenitische Stähle dürfen auch bei Temperaturen unter  $-40\text{ °C}$  zum Einsatz kommen, jedoch sind die Anforderungen für den Einzelfall zu ermitteln.

ANMERKUNG 2 Zur Versprödung in Verbindung mit flüssigem Zink, siehe Anhang A.5.3.

(2) EN 1993-1-10 gilt für ferritische, nichtrostende Stähle. Die erforderlichen Versuchstemperaturen und CVN-Werte dürfen der Tabelle 2.1 der EN 1993-1-10 entnommen werden.

ANMERKUNG 1 Ferritische Stähle sind nicht in Untergruppen unterteilt.

ANMERKUNG 2 Der nationale Anhang darf weitere Informationen zur Bruchzähigkeit von ferritischen, nichtrostenden Stählen geben.

### 2.1.5 Eigenschaften in Dickenrichtung

(1) EN 1993-1-10 enthält Regelungen zur Bestimmung der Eigenschaften in Dickenrichtung.

ANMERKUNG Der nationale Anhang darf weitere Informationen zur Auswahl von Eigenschaften in Dickenrichtung geben.

### 2.1.6 Toleranzen

(1) Die Abmessungs- und Massentoleranzen von Walzprofilen, Konstruktionshohlprofilen und Blechen sollten der jeweiligen Liefernorm entsprechen, wenn nicht strengere Werte gefordert wurden.

ANMERKUNG Näheres zu Toleranzen für Erzeugnisdicken kaltgewalzter, nichtrostender Stähle enthält EN ISO 9445:2006. Zu Blechen siehe EN 10029.

- (2) Für geschweißte Konstruktionsteile sollten die Toleranzen nach EN 1090-2 angewendet werden.
- (3) Zur Tragwerksberechnung und -bemessung sollten die Nennwerte der Abmessungen verwendet werden, wenn nicht die Bemessungswerte der Werkstoffdicken nach 3.2.4(3) der EN 1993-1-3 ermittelt werden.

## 2.2 Schrauben

### 2.2.1 Allgemeines

- (1) Für Schrauben und Muttern aus nichtrostendem Stahl sollten EN ISO 3506-1, EN ISO 3506-2 und EN ISO 3506-3 entsprechen. Unterlegscheiben sollten ebenfalls aus austenitischem Stahl bestehen und EN ISO 7089 bzw. EN ISO 7090 entsprechen. Die Korrosionsbeständigkeit der Schrauben sollte im Vergleich zum Grundwerkstoff gleichwertig oder besser sein.
- (2) Die Nennwerte für Streckgrenze  $f_{yb}$  und Zugfestigkeit  $f_{ub}$  für Schrauben aus nichtrostendem Stahl sind Tabelle 2.2 zu entnehmen.
- (3) Bis zum Erscheinen einer gültigen Europäischen Norm sollten die spezifizierten Eigenschaften mit einer anerkannten Qualitätsprüfung mit Proben aus jedem Lieferlos nachgewiesen werden.

**Tabelle 2.2 — Nennwerte für  $f_{yb}$  und  $f_{ub}$  für Schrauben aus nichtrostendem Stahl**

| Werkstoffgruppe                          | Festigkeitsklasse nach EN ISO 3506 | Schraubengröße | Streckgrenze<br>$f_{yb}$<br>N/mm <sup>2</sup> | Zugfestigkeit<br>$f_{ub}$<br>N/mm <sup>2</sup> |
|------------------------------------------|------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Austenitisch und austenitisch-ferritisch | 50                                 | ≤ M 39         | 210                                           | 500                                            |
|                                          | 70                                 | ≤ M 24         | 450                                           | 700                                            |
|                                          | 80                                 | ≤ M 24         | 600                                           | 800                                            |

### 2.2.2 Vorgespannte Schrauben

**ANMERKUNG** Hochfeste Schrauben aus nichtrostenden Stählen sollten nicht in gleitfesten vorgespannten Schraubenverbindungen eingesetzt werden, wenn nicht durch Versuche die Eignung im Einzelfall nachgewiesen werden kann.

### 2.2.3 Andere mechanische Verbindungsmittel

- (1) Anforderungen an andere Verbindungsmittel enthält EN 1993-1-3.

## 2.3 Schweißzusatzwerkstoffe

- (1) Es gelten die in EN 1993-1-8 gestellten Anforderungen an Schweißzusatzwerkstoffe.
- (2) Die Schweißelektroden und das gewählte Schweißverfahren sollten zusätzlich zu den Anforderungen nach EN 1993-1-8 eine Schweißnaht mit ausreichender Korrosionsbeständigkeit, die den vorhandenen Umgebungsbedingungen entspricht, ermöglichen.
- (3) Die Schweißelektroden dürfen als geeignet angesehen werden, wenn die Korrosionsbeständigkeit des Schweißgutes nicht geringer als die des Grundmaterials ist.

**ANMERKUNG** Für die Wahl des Schweißverfahrens für Anschlüsse mit nichtrostendem Stahl wird eine Fachberatung empfohlen.

### 3 Dauerhaftigkeit

(1) Die in EN 1993-1-1, Abschnitt 4 gestellten Anforderungen an die Dauerhaftigkeit sollten auch auf nicht-rostende Stähle angewendet werden.

(2) Die Wahl der Stahlgüte sollte nach der erforderlichen Korrosionsbeständigkeit für die jeweiligen Umgebungsbedingungen des Bauteils durchgeführt werden.

ANMERKUNG Anhang A enthält eine Anleitung zur korrosionsschutzgerechten Werkstoffwahl.

(3) Bei rein dekorativen Anwendungsfällen sollten auch mögliche geringfügige, oberflächige Erscheinungsänderungen infolge von Schmutzablagerungen (unter widrigen Umständen kann dies zu Spalten und nadelstichartigem Lochfraß führen) berücksichtigt werden. Es sollte eine geeignete Stahlgüte verwendet werden, um sicherzustellen, dass während der Nutzungsdauer des Bauteils nur unwesentliche, oberflächige Korrosion stattfindet.

ANMERKUNG Oberflächeneigenschaften von warmgewalzten Blechen sind in EN 10163 beschrieben.

(4) Es sollte gegebenenfalls auf ein geeignetes Reinigungskonzept hingewiesen werden, um das Erscheinungsbild der Oberfläche zu erhalten.

(5) Obwohl die in (3) gestellten Anforderungen bei ungünstigen, atmosphärischen Bedingungen durch die meisten nichtrostenden Stähle mit einem Chromgehalt von wenigstens 12 % erfüllt werden, sollte zu Anwendungsfällen in chemikalienhaltiger Umgebung, einschließlich bestimmten Industrielatmosphären, in Schwimmbädern, Salzwassernähe, Streusalzanwendungsbereichen und dergleichen der Rat eines Sachverständigen hinzugezogen werden.

ANMERKUNG Näheres zu korrosionsgerechten Konstruieren enthält Anhang A.

### 4 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

#### 4.1 Allgemeines

(1) Auf nichtrostende Stähle sollten die in EN 1993-1-1, Abschnitt 7 gestellten Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit angewendet werden.

(2) Bauteilverformungen sollten nach 4.2 abgeschätzt werden.

#### 4.2 Ermittlung von Verformungen

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

ANMERKUNG Richtlinien zur Formulierung des nichtlinearen Materialverhaltens geglühter Werkstoffe enthält der informative Anhang C.

(2) Die Grundanforderungen für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit enthält EN 1990, 3.4.

ANMERKUNG EN 1990 enthält die jeweiligen Einwirkungskombinationen für die nachstehenden Bemessungsfälle:

- Berechnung der Verformungen unter ständigen und/oder variablen Einwirkungen;
- Berücksichtigung von Langzeiteffekten wie Schwinden, Kriechen und Relaxation;
- Berücksichtigung der optischen Erscheinung, des Nutzungskomforts oder der Maschinenlauffähigkeit.

(3) Bei Querschnitten der Klasse 4 darf der wirksame Querschnitt auf der sicheren Seite liegend mit den wirksamen Breiten der druckbeanspruchten Querschnittsteile nach 5.2.3 bestimmt werden. Wahlweise darf die genauere Methode nach 4.4(4) in EN 1993-1-5 verwendet werden.

(4) Bei Bauteilen, bei denen Schubverzerrungen durch den Ansatz mittragender Breiten zu berücksichtigen sind, dürfen die Querschnittswerte auf der sicheren Seite liegend nach EN 1993-1-5, 3.2 ermittelt werden.

(5) Verformungen sollten unter Verwendung des Sekantenmoduls  $E_{s,ser}$ , der die Gebrauchsspannungen unter der maßgebenden Lastkombination und die Walzrichtung berücksichtigt, abgeschätzt werden. Ist die Walzrichtung nicht bekannt oder kann sie nicht sichergestellt werden, sollte der Wert für die Längsrichtung verwendet werden. Wahlweise dürfen numerische Verfahren (FEM) nach EN 1993-1-5, Anhang C zusammen mit der Formulierung des nichtlinearen Materialverhaltens nach Anhang C dieser Norm zum Einsatz kommen.

(6) Der Wert des Sekantenmoduls  $E_{s,ser}$  darf folgendermaßen bestimmt werden:

$$E_{s,ser} = \frac{(E_{s,1} + E_{s,2})}{2} \quad (4.1)$$

Dabei ist

$E_{s,1}$  der Sekantenmodul, bezogen auf die Spannung  $\sigma_1$  im Zugflansch;

$E_{s,2}$  der Sekantenmodul, bezogen auf die Spannung  $\sigma_2$  im Druckflansch.

(7) Die Werte  $E_{s,1}$  und  $E_{s,2}$  für die entsprechende Gebrauchsspannung  $\sigma_{i,Ed,ser}$  und die Walzrichtung dürfen abgeschätzt werden mit:

$$E_{s,i} = \frac{E}{1 + 0,002 \frac{E}{\sigma_{i,Ed,ser}} \left( \frac{\sigma_{i,Ed,ser}}{f_y} \right)^n} \quad (4.2)$$

mit:

$i = 1$  oder  $2$ .

(8) Der Koeffizient  $n$  darf der Tabelle 4.1 entnommen werden.

ANMERKUNG Anhang C enthält eine Methode zur Bestimmung von  $n$  für Sorten, die nicht in Tabelle 4.1 enthalten sind.

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

Tabelle 4.1 — Koeffizient n

| Stahlsorte | Koeffizient n |              |
|------------|---------------|--------------|
|            | Längsrichtung | Querrichtung |
| 1.4003     | 7             | 11           |
| 1.4016     | 6             | 14           |
| 1.4512     | 9             | 16           |
| 1.4301     | 6             | 8            |
| 1.4306     |               |              |
| 1.4307     |               |              |
| 1.4318     |               |              |
| 1.4541     |               |              |
| 1.4401     | 7             | 9            |
| 1.4404     |               |              |
| 1.4432     |               |              |
| 1.4435     |               |              |
| 1.4539     |               |              |
| 1.4571     |               |              |
| 1.4462     | 5             | 5            |
| 1.4362     |               |              |

## 5 Grenzzustände der Tragfähigkeit

### 5.1 Allgemeines

(1) Die in EN 1993-1-1, Abschnitte 5 und 6 getroffenen Festlegungen sollten für nichtrostende Stähle angewendet werden, es sei denn, sie werden durch die besonderen Bestimmungen in diesem Teil 1-4 verändert oder ersetzt.

(2) Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_M$  entsprechend der Definition in 2.4.3 der EN 1993-1-1 beziehen sich auf die unterschiedlichen charakteristischen Beanspruchbarkeitsgrößen dieses Abschnitts, siehe Tabelle 5.1.

Tabelle 5.1 — Teilsicherheitsbeiwerte

|                                                                                                          |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Querschnittstragfähigkeit gegenüber ausgeprägtem Fließen einschließlich lokaler Instabilitäten           | $\gamma_{M0}$ |
| Bauteiltragfähigkeit gegenüber Instabilitäten entsprechend Bauteilnachweisen                             | $\gamma_{M1}$ |
| Querschnittstragfähigkeit gegenüber Zugbruch                                                             | $\gamma_{M2}$ |
| Beanspruchbarkeit von Schrauben, Nieten, Schweißnähten, Bolzen und Blechen mit Lochleibungsbeanspruchung | $\gamma_{M2}$ |

ANMERKUNG  $\gamma_M$ -Werte dürfen im nationalen Anhang festgelegt sein. Die folgenden Werte werden empfohlen:

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

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

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

(3) Diese Norm enthält keine Regelungen für eine plastische Tragwerksberechnung.

ANMERKUNG Tragwerke sollten nicht mit plastischen Berechnungsverfahren berechnet werden, solange keine ausreichenden Versuchsdaten vorliegen, die die Berechnungsannahmen durch Messung des tatsächlichen Tragwerksverhaltens bestätigen. Insbesondere sollte der Versuchsnachweis erbracht werden, dass die Anschlüsse in der Lage sind, die infolge von Verfestigungseffekten vergrößerten Schnittgrößen aufzunehmen.

(4)P Auf Ermüdung beanspruchte Anschlüsse müssen die Grundsätze in EN 1993-1-9 erfüllen.

(5) Werden Bauteile signifikant verformt, so darf das Verfestigungsvermögen austenitischer, nichtrostender Stähle berücksichtigt werden. Werden die Schnittgrößen durch Verfestigungen erhöht, so sind in der Regel die Anschlüsse so zu bemessen, dass sie auf die höhere Bauteiltragfähigkeit abgestimmt sind, besonders dann, wenn eine Kapazitätsbemessung erforderlich ist.

## 5.2 Einstufung in Querschnittsklassen

### 5.2.1 Maximales Breite-zu-Dicke-Verhältnis

(1) Die in diesem Teil 1-4 getroffenen Festlegungen zur Bemessung dürfen für Querschnitte mit Abmessungen innerhalb der Grenzen nach EN 1993-1-3 angewendet werden, es sei denn, die Grenzverhältnisse für  $b/t$  und  $h/t$  in EN 1993-1-3 sind größer als 400, siehe Bild 5.1.

(2) Sind sichtbare Profilverformungen ebener Querschnittsteile unter Gebrauchslast nicht zumutbar, darf ein Grenzwert  $b/t \leq 75$  angesetzt werden.

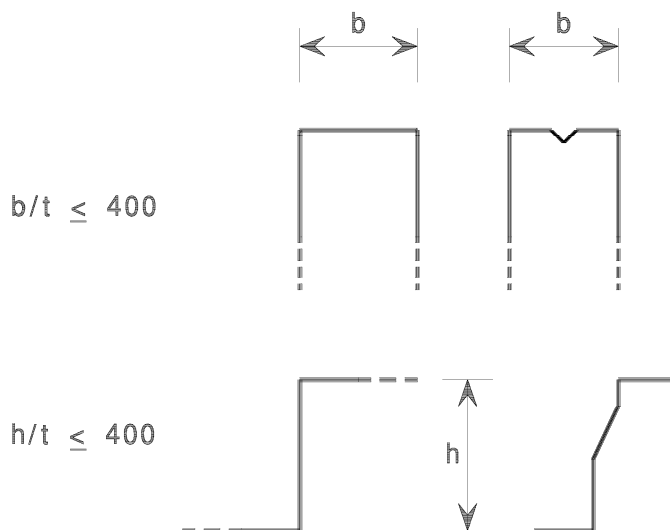


Bild 5.1 — Maximale Breite-zu-Dicke-Verhältnisse

### 5.2.2 Klassifizierung druckbeanspruchter Querschnittsteile

(1) Druckbeanspruchte Querschnittsteile sollten in die Klassen 1, 2 oder 3 in Abhängigkeit der Grenzen nach Tabelle 5.2 eingeteilt werden. Druckbeanspruchte Querschnittsteile, die die Kriterien der Klasse 3 nicht erfüllen, sollten der Klasse 4 zugeordnet werden.

Tabelle 5.2 — (Blatt 1 von 3): Maximale Breiten-zu-Dicken-Verhältnisse druckbeanspruchter Querschnittsteile

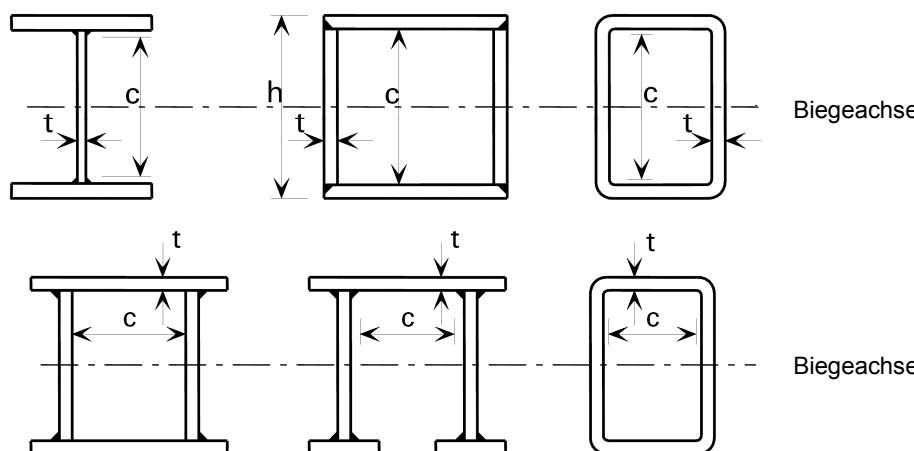
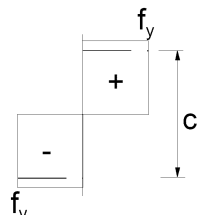
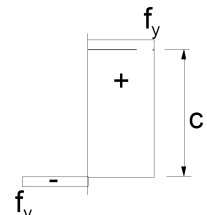
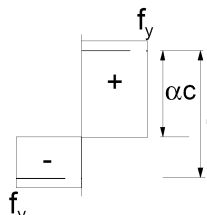
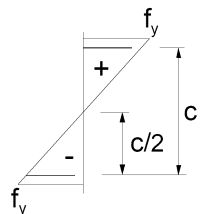
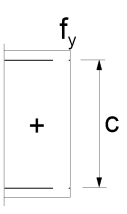
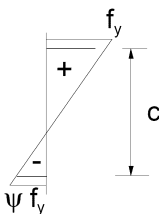
| Beidseitig gestützte Querschnittsteile                                                                        |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                                          |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
|                             |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                                          |        |
| Klasse                                                                                                        | biegebeanspruchtes Querschnittsteil                                                 | druckbeanspruchtes Querschnittsteil                                                 | druck- und biegebeanspruchtes Querschnittsteil                                                                                           |        |
| Spannungsverteilung im Querschnittsteil (Druck positiv)                                                       |   |   |                                                      |        |
| 1                                                                                                             | $clt \leq 56,0\varepsilon$                                                          | $clt \leq 25,7\varepsilon$                                                          | für $\alpha > 0,5$ : $clt \leq \frac{308\varepsilon}{13\alpha - 1}$<br>für $\alpha \leq 0,5$ : $clt \leq \frac{28\varepsilon}{\alpha}$   |        |
| 2                                                                                                             | $clt \leq 58,2\varepsilon$                                                          | $clt \leq 26,7\varepsilon$                                                          | für $\alpha > 0,5$ : $clt \leq \frac{320\varepsilon}{13\alpha - 1}$<br>für $\alpha \leq 0,5$ : $clt \leq \frac{29,1\varepsilon}{\alpha}$ |        |
| Spannungsverteilung im Querschnittsteil (Druck positiv)                                                       |  |  |                                                     |        |
| 3                                                                                                             | $clt \leq 74,8\varepsilon$                                                          | $clt \leq 30,7\varepsilon$                                                          | $clt \leq 15,3\varepsilon \sqrt{k_\sigma}$<br>Zu $k_\sigma$ siehe EN 1993-1-5                                                            |        |
| $\varepsilon = \left[ \frac{235}{f_y} \frac{E}{210\,000} \right]^{0,5}$                                       | Stahlsorte                                                                          | 1.4301                                                                              | 1.4401                                                                                                                                   | 1.4462 |
|                                                                                                               | $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                          | 210                                                                                 | 220                                                                                                                                      | 460    |
|                                                                                                               | $\varepsilon$                                                                       | 1,03                                                                                | 1,01                                                                                                                                     | 0,698  |
| ANMERKUNG Bei Hohlprofilen darf auf der sicheren Seite liegend $c = (h - 2t)$ oder $(b - 2t)$ gesetzt werden. |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                                          |        |

Tabelle 5.2 — (Blatt 2 von 3): Maximale Breiten-zu-Dicken-Verhältnisse druckbeanspruchter Querschnittsteile

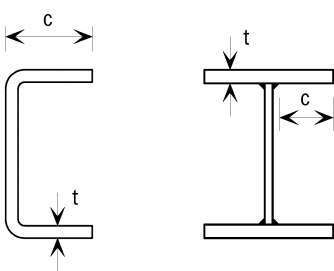
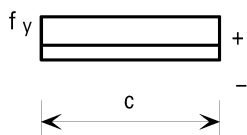
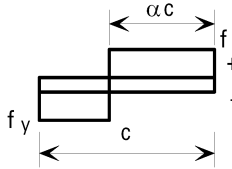
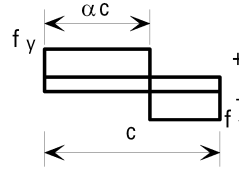
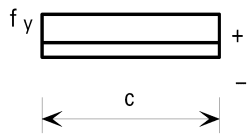
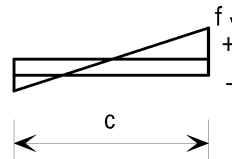
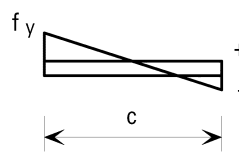
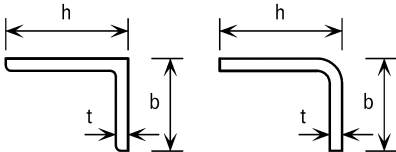
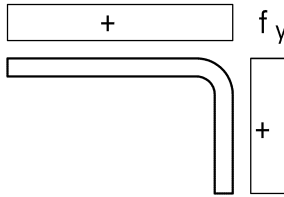
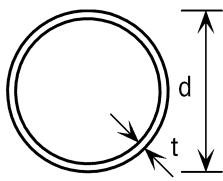
| Einseitig gestützte Querschnittsteile                                             |                            |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                            |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
| Klasse                                                                            | Querschnittsart            | druckbeanspruchtes Querschnittsteil                                                 | druck- und biegebeanspruchtes Querschnittsteil                                       |                                                                                       |
|                                                                                   |                            |                                                                                     | druckbeanspruchter Rand                                                              | zugbeanspruchter Rand                                                                 |
| Spannungsverteilung im Querschnittsteil (Druck positiv)                           |                            |    |    |    |
| 1                                                                                 | kaltgeformt                | $clt \leq 10\varepsilon$                                                            | $clt \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$                                              | $clt \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$                                  |
|                                                                                   | geschweißt                 | $clt \leq 9\varepsilon$                                                             | $clt \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$                                               | $clt \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$                                   |
| 2                                                                                 | kaltgeformt                | $clt \leq 10,4\varepsilon$                                                          | $clt \leq \frac{10,4\varepsilon}{\alpha}$                                            | $clt \leq \frac{10,4\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$                                |
|                                                                                   | geschweißt                 | $clt \leq 9,4\varepsilon$                                                           | $clt \leq \frac{9,4\varepsilon}{\alpha}$                                             | $clt \leq \frac{9,4\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$                                 |
| Spannungsverteilung im Querschnittsteil (Druck positiv)                           |                            |  |  |  |
| 3                                                                                 | kaltgeformt                | $clt \leq 11,9\varepsilon$                                                          | $clt \leq 18,1\varepsilon \sqrt{k_\sigma}$ Zu $k_\sigma$ siehe EN 1993-1-5           |                                                                                       |
|                                                                                   | geschweißt                 | $clt \leq 11\varepsilon$                                                            | $clt \leq 16,7\varepsilon \sqrt{k_\sigma}$ Zu $k_\sigma$ siehe EN 1993-1-5           |                                                                                       |
| $\varepsilon = \left[ \frac{235}{f_y} \frac{E}{210\,000} \right]^{0,5}$           | Stahlsorte                 | 1.4301                                                                              | 1.4401                                                                               | 1.4462                                                                                |
|                                                                                   | $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 210                                                                                 | 220                                                                                  | 460                                                                                   |
|                                                                                   | $\varepsilon$              | 1,03                                                                                | 1,01                                                                                 | 0,698                                                                                 |

Tabelle 5.2 — (Blatt 3 von 3): Maximale Breiten-zu-Dicken-Verhältnisse druckbeanspruchter Querschnittsteile

| Winkel                                                                             |                                                                                    |                                                                                    |                                                         |                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Siehe auch unter „einseitig gestützte Querschnittsteile“<br>(Blatt 2 von 3)        |                                                                                    |  |                                                         | Gilt nicht bei Winkeln, die in Längsrichtung durchgängig an andere Bauteile angeschlossen sind. |
| Klasse                                                                             | druckbeanspruchter Querschnitt                                                     |                                                                                    |                                                         |                                                                                                 |
| Spannungsverteilung über den Querschnitt<br>(Druck positiv)                        |  |                                                                                    |                                                         |                                                                                                 |
| 3                                                                                  | $h/t \leq 11,9\varepsilon : \frac{b+h}{2t} \leq 9,1\varepsilon$                    |                                                                                    |                                                         |                                                                                                 |
| Rundhohlprofile                                                                    |                                                                                    |                                                                                    |                                                         |                                                                                                 |
|  |                                                                                    |                                                                                    |                                                         |                                                                                                 |
| Klasse                                                                             | biegebeanspruchter Querschnitt bis 240 CHS                                         |                                                                                    | druckbeanspruchter Querschnitt                          |                                                                                                 |
| 1                                                                                  | $d/t \leq 50\varepsilon^2$                                                         |                                                                                    | $d/t \leq 50\varepsilon^2$                              |                                                                                                 |
| 2                                                                                  | $d/t \leq 70\varepsilon^2$                                                         |                                                                                    | $d/t \leq 70\varepsilon^2$                              |                                                                                                 |
| 3                                                                                  | $d/t \leq 280\varepsilon^2$                                                        |                                                                                    | $d/t \leq 90\varepsilon^2$                              |                                                                                                 |
|                                                                                    | ANMERKUNG Zu $d > 240$ mm und $d/t > 280\varepsilon^2$ siehe EN 1993-1-6.          |                                                                                    | ANMERKUNG Zu $d/t > 90\varepsilon^2$ siehe EN 1993-1-6. |                                                                                                 |
| $\varepsilon = \left[ \frac{235}{f_y} \frac{E}{210\,000} \right]^{0,5}$            | Stahlsorte                                                                         | 1.4301                                                                             | 1.4401                                                  | 1.4462                                                                                          |
|                                                                                    | $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )                                                         | 210                                                                                | 220                                                     | 460                                                                                             |
|                                                                                    | $\varepsilon$                                                                      | 1,03                                                                               | 1,01                                                    | 0,698                                                                                           |

### 5.2.3 Wirksame Breiten von Querschnitten der Klasse 4

(1) Die wirksamen Breiten druckbeanspruchter Querschnittsteile der Klasse 4 für die notwendige Abminderung der Tragfähigkeit infolge lokalen Beulens dürfen nach EN 1993-1-5, 4.4(1) bis (5) bestimmt werden. Dabei sollte der Abminderungsbeiwert jedoch folgendermaßen ermittelt werden:

Kaltgeformte oder geschweißte beidseitig gestützte Querschnittsteile:

$$\rho = \frac{0,772}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,125}{\bar{\lambda}_p^2} \quad \text{jedoch} \leq 1 \quad (5.1)$$

Kaltgeformte einseitig gestützte Querschnittsteile:

$$\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,231}{\bar{\lambda}_p^2} \text{ jedoch } \leq 1 \quad (5.2)$$

Geschweißte einseitig gestützte Querschnittsteile:

$$\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,242}{\bar{\lambda}_p^2} \text{ jedoch } \leq 1 \quad (5.3)$$

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

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}}$$

Dabei ist

$t$  die entsprechende Dicke;

$k_\sigma$  der Beulwert für das maßgebende Spannungsverhältnis  $\psi$  und die Randbedingungen nach Tabelle 4.1 oder gegebenenfalls Tabelle 4.2 in EN 1993-1-5;

$\bar{b}$  die folgende, maßgebende Breite:

$\bar{b} = d$  bei Stegen (außer für RHS-Querschnitte);

$\bar{b}$  = Breite der ebenen Stegflächen von Rechteckhohlprofilen (RHS), auf der sicheren Seite

$$\bar{b} = h - 2t;$$

$\bar{b} = b$  bei beidseitig gestützten Teilflächen (außer bei RHS);

$\bar{b}$  = Breite der ebenen Flanschfläche von Rechteckhohlprofilen (RHS), auf der sicheren Seite

$$\bar{b} = b - 2t;$$

$\bar{b} = c$  bei einseitig gestützten Querschnittselementen;

$\bar{b} = h$  bei gleichschenkligen und ungleichschenkligen Winkeln;

$\varepsilon$  der Werkstoffbeiwert nach Tabelle 5.2.

## 5.2.4 Wirkung der Schubverzerrung

(1) Die Wirkung der Schubverzerrung sollte durch eine reduzierte, mittragende Breite nach EN 1993-1-5, 3.3 berücksichtigt werden.

## 5.3 Querschnittstragfähigkeit

### 5.3.1 Zugtragfähigkeit an Stellen mit Schraubenlöchern

(1) Die Zugtragfähigkeit eines Querschnitts sollte als der kleinste Wert aus der plastischen Tragfähigkeit  $N_{pl,Rd}$  des Bruttoquerschnitts und der Zugtragfähigkeit  $N_{u,Rd}$  des Nettoquerschnitts angesetzt werden.

- (2) Die plastische Tragfähigkeit des Bruttoquerschnitts sollte bestimmt werden aus:

$$N_{pl,Rd} = A f_y / \gamma_{M0} \quad (5.4)$$

- (3) Die Zugtragfähigkeit des Nettoquerschnitts sollte bestimmt werden aus:

$$N_{u,Rd} = k_r A_{net} f_u / \gamma_{M2} \quad (5.5)$$

mit:

$$k_r = (1 + 3 r (d_o/u - 0,3)) \text{ jedoch } k_r \leq 1$$

$$r = [\text{Anzahl der Schrauben im kritischen Schnitt}] / [\text{Gesamtanzahl der Schrauben in der Verbindung}]$$

$$u = 2 e_2 \text{ jedoch } u \leq p_2$$

Dabei ist

$A_{net}$  die Fläche des Nettoquerschnitts;

$d_o$  der Nenndurchmesser des Schraubenlochs;

$e_2$  der Abstand zwischen Mitte des Schraubenlochs und benachbartem Rand senkrecht zur Krafrichtung;

$p_2$  der Abstand zwischen den Mitten der Schraubenlöcher senkrecht zur Krafrichtung.

## 5.4 Stabilität von Bauteilen

### 5.4.1 Allgemeines

- (1) Die in EN 1993-1-1 und gegebenenfalls EN 1993-1-3 getroffenen Festlegungen zu Biegeknicken, Biegedrillknicken, Drillknicken und Querschnittsinstabilitäten sollten für nichtrostende Stähle bis auf die Ergänzungen oder Abänderungen in 5.4.2 oder 5.4.3 angewendet werden.

ANMERKUNG EN 1993-1-1, 6.3.2.3 gilt nicht bei nichtrostenden Stählen.

- (2) Die Belastungen sollten in die Gleichungen in EN 1993-1-1 als Absolutwerte eingesetzt werden.  $\chi_{min}$  ist das Minimum aus  $\chi_y$  und  $\chi_z$  für Biegeknicken,  $\chi_T$  für Drillknicken und  $\chi_{TF}$  für Biegedrillknicken.

### 5.4.2 Gleichförmige Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck

#### 5.4.2.1 Knickspannungslinien

- (1) Bei druckbeanspruchten Bauteilen sollte  $\chi$  in Abhängigkeit des Schlankheitsgrads  $\bar{\lambda}$  und der maßgebenden Knickspannungslinie ermittelt werden:

$$\chi = \frac{1}{\varphi + [\varphi^2 - \bar{\lambda}^2]^{0,5}} \leq 1 \quad (5.6)$$

mit:

$$\varphi = 0,5 \left( 1 + \alpha (\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2 \right) \quad (5.7)$$

Dabei ist

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} \text{ für Querschnitte der Klassen 1, 2 und 3;} \quad (5.8)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff}f_y}{N_{cr}}} \text{ für Querschnitte der Klasse 4;} \quad (5.9)$$

$\alpha$  ein Imperfektionsbeiwert;

$N_{cr}$  die elastische Verzweigungslast der maßgebenden Knickform, gerechnet mit dem Bruttoquerschnitt;

$\bar{\lambda}_0$  die Grenزشlankheit.

(2) Die Werte  $\alpha$  und  $\bar{\lambda}_0$  sollten für die jeweiligen Knickspannungslinien der Tabelle 5.3 entnommen werden. Die Knickspannungslinien der Tabelle 5.3 gelten nicht für nach der Fertigung geglühte Hohlprofile.

(3) Bei Schlankheitsgraden  $\bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_0$  oder bei  $\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq \bar{\lambda}_0^2$  darf Knicken vernachlässigt werden, so dass nur Querschnittsnachweise zu führen sind.

**Tabelle 5.3 — Werte  $\alpha$  und  $\bar{\lambda}_0$  für Biegeknicken, Drillknicken und Biegedrillknicken**

| Knickform                          | Art des Bauteils                                             | $\alpha$ | $\bar{\lambda}_0$ |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------|-------------------|
| Biegeknicken                       | Kaltgeformte, offene Profile                                 | 0,49     | 0,40              |
|                                    | Hohlprofile (geschweißt und nahtlos)                         | 0,49     | 0,40              |
|                                    | Geschweißte offene Querschnitte (um die starke Hauptachse)   | 0,49     | 0,20              |
|                                    | Geschweißte offene Querschnitte (um die schwache Hauptachse) | 0,76     | 0,20              |
| Drillknicken und Biegedrillknicken | Alle Bauteile                                                | 0,34     | 0,20              |

### 5.4.3 Gleichförmige Bauteile mit Biegung um die Hauptachse

#### 5.4.3.1 Biegedrillknickkurven

(1) Bei biegebeanspruchten Bauteilen gleich bleibenden Querschnitts sollte  $\chi_{LT}$  in Abhängigkeit des jeweiligen Schlankheitsgrads  $\bar{\lambda}_{LT}$  ermittelt werden:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1 \quad (5.10)$$

Dabei ist

$$\phi_{LT} = 0,5 \left( 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,4) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right); \quad (5.11)$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}; \quad (5.12)$$

$\alpha_{LT}$  der Imperfektionsbeiwert

= 0,34 bei kaltgeformten Querschnitten und Hohlprofilen (geschweißt und nahtlos);

= 0,76 bei geschweißten offenen Querschnitten und anderen Querschnitten, für die keine Versuchsergebnisse existieren;

$M_{cr}$  das elastische Verzweigungsmoment für Biegedrillknicken.

- (2) Bei Schlankheitsgraden  $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$  oder bei  $\frac{M_{Ed}}{M_{cr}} \leq 0,16$  darf Biegedrillknicken außer Acht gelassen werden, so dass nur ein Querschnittsnachweis zu führen ist.

## 5.5 Auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile

- (1) Bauteile mit gleichzeitiger Beanspruchung aus Biegung und Druck sollten folgende Bedingungen erfüllen:

### Druckkraft und einachsige Biegung um die starke Hauptachse

gegen vorzeitiges Versagen um die starke Hauptachse:

$$\frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{\min}} + k_y \left( \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{\beta_{W,y} W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq 1 \quad (5.13)$$

gegen vorzeitiges Versagen um die schwache Hauptachse (bei biegedrillknickgefährdeten Bauteilen):

$$\frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{\min 1}} + k_{LT} \left( \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{M_{b,Rd}} \right) \leq 1 \quad (5.14)$$

### Druckkraft und einachsige Biegung um die schwache Hauptachse

gegen vorzeitiges Versagen um die schwache Hauptachse:

$$\frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{\min}} + k_z \left( \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{\beta_{W,z} W_{pl,z} f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq 1 \quad (5.15)$$

### Druckkraft und zweiachsige Biegung

Alle Bauteile sollten folgende Bedingung erfüllen:

$$\frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{\min}} + k_y \left( \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{\beta_{W,y} W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}} \right) + k_z \left( \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{\beta_{W,z} W_{pl,z} f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq 1 \quad (5.16)$$

Für biegedrillknickgefährdete Bauteile gilt zusätzlich:

$$\frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{\min 1}} + k_{LT} \left( \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{M_{b,Rd}} \right) + k_z \left( \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{\beta_{W,z} W_{pl,z} f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq 1 \quad (5.17)$$

In den obigen Gleichungen sind:

|                                      |                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $e_{Ny}$ und $e_{Nz}$                | die Verschiebungen der Nulllinien bei gleichmäßiger Druckbeanspruchung über den Querschnitt;                                                                                                                                        |
| $N_{Ed}$ , $M_{y,Ed}$ und $M_{z,Ed}$ | die Bemessungsschnittgrößen (Druckkraft und Größtwerte der Momente um die beiden Achsen);                                                                                                                                           |
| $(N_{b,Rd})_{min}$                   | der kleinste Wert von $N_{b,Rd}$ für die folgenden vier Knickfälle: Biegeknicken um die y- und die z-Achse, Drillknicken und Biegedrillknicken;                                                                                     |
| $(N_{b,Rd})_{min1}$                  | der kleinste Wert von $N_{b,Rd}$ für die drei folgenden Knickfälle: Biegeknicken um die z-Achse, Drillknicken und Biegetorsionsknicken;                                                                                             |
| $\beta_{W,y}$ und $\beta_{W,z}$      | die Beiwerte jeweils für die y- oder z-Achse mit:<br>$\beta_W = 1,0$ für Querschnitte der Klasse 1 oder 2;<br>$\beta_W = W_{el}/W_{pl}$ für Querschnitte der Klasse 3;<br>$\beta_W = W_{eff}/W_{pl}$ für Querschnitte der Klasse 4; |
| $W_{pl,y}$ und $W_{pl,z}$            | die plastischen Widerstandsmomente jeweils für die y- oder die z-Achse;                                                                                                                                                             |
| $M_{b,Rd}$                           | die Tragfähigkeit gegenüber Biegedrillknicken;                                                                                                                                                                                      |
| $k_y$ , $k_z$ , $k_{LT}$             | die Interaktionsbeiwerte.                                                                                                                                                                                                           |

ANMERKUNG 1 Der nationale Anhang darf  $k_y$ ,  $k_z$ ,  $k_{LT}$  definieren. Die folgenden Werte werden empfohlen:

$$k_y = 1,0 + 2(\bar{\lambda}_y - 0,5) \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} \text{ jedoch } 1,2 \leq k_y \leq 1,2 + 2 \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} ;$$

$$k_z = 1,0 + 2(\bar{\lambda}_z - 0,5) \frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{min1}} \text{ jedoch } 1,2 \leq k_z \leq 1,2 + 2 \frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{min1}} ;$$

$$k_{LT} = 1,0.$$

ANMERKUNG 2 Der nationale Anhang darf andere Interaktionsgleichungen als die der Gleichungen (5.13) bis (5.17) enthalten.

## 5.6 Schubtragfähigkeit

(1) Die Schubtragfähigkeit  $V_{c,Rd}$  sollte als der kleinste Wert aus der Tragfähigkeit  $V_{b,Rd}$  gegenüber Schubbeulen nach EN 1993-1-5, 5.2(1) mit den Abänderungen in (3) und (4) und aus der plastischen Schubtragfähigkeit  $V_{pl,Rd}$  nach EN 1993-1-1, 6.2.6(2) angesetzt werden.

(2) Bleche mit  $h_w/t$ -Werten größer als  $\frac{52}{\eta} \varepsilon$  bei einem nicht ausgesteiften Steg oder  $\frac{23}{\eta} \varepsilon \sqrt{k_\tau}$  bei einem ausgesteiften Steg sollten auf Schubbeulen nachgewiesen und durch Quersteifen an den Auflagern ausgesteift werden.

Dabei ist

$h_w$  die lichte Steghöhe zwischen den Flanschen, siehe EN 1993-1-5, Bild 5.1;

$\varepsilon$  nach Tabelle 5.2;

$k_{\tau}$  nach EN 1993-1-5, 5.3.

ANMERKUNG  $\eta$  darf im nationalen Anhang definiert sein. Es wird  $\eta = 1,20$  empfohlen.

(3) Bei Stegen mit Quersteifen nur am Auflager und bei Stegen mit Quersteifen und/oder Längssteifen sollte für den Tragfähigkeitsbeiwert  $\chi_w$  gegen Schubbeulen Folgendes angesetzt werden:

$$\chi_w = \eta \text{ für } \bar{\lambda}_w \leq \frac{0,6}{\eta} \quad (5.18)$$

$$\chi_w = 0,11 + \frac{0,64}{\bar{\lambda}_w} - \frac{0,05}{\bar{\lambda}_w^2} \text{ für } \bar{\lambda}_w > \frac{0,6}{\eta} \quad (5.19)$$

mit:

$\bar{\lambda}_w$  nach EN 1993-1-5, 5.3(3) und (5)

(4) Wird die Flanschtragfähigkeit nicht vollständig zur Aufnahme des Biegemoments genutzt, d. h.  $M_{Ed} < M_{f,Rd}$ , darf ein Flanschfaktor  $\chi_f$  in die Berechnung der Schubtragfähigkeit eingeführt werden.  $\chi_f$  ist in EN 1993-1-5, 5.4(1) definiert; für den Wert  $c$  gilt jedoch:

$$c = \left[ 0,17 + \frac{3,5 b_f t_f^2 f_{yf}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right] a \text{ und } \frac{c}{a} \leq 0,65 \quad (5.20)$$

## 5.7 Quersteifen im Steg

(1) Die Festlegungen in EN 1993-1-5, 9.3 gelten, wenn zusätzlich (2) und (3) beachtet wird.

(2) Die Knicktragfähigkeit  $N_{b,Rd}$  der Steifen senkrecht zur Blechebene sollte nach 5.4.2 mit  $\alpha = 0,49$  und  $\bar{\lambda}_0 = 0,2$  ermittelt werden. Die Knicklänge  $l$  der Steife sollte entsprechend den Randbedingungen, jedoch nicht mit weniger als  $0,75h_w$  festgelegt werden, wenn beide Enden seitlich gehalten sind. Ein größerer Wert sollte für weniger wirksame Randeinspannungen verwendet werden. Weist die Steife einen Ausschnitt am belasteten Rand auf, sollte die Querschnitttragfähigkeit mit dem Nettoquerschnitt nachgewiesen werden.

(3) Für den Knicknachweis sollte als wirksame Steifenfläche die Fläche der Steife selbst und ein Steganteil von  $11 \varepsilon t_w$  an jeder Seite angesetzt werden. An den Bauteilenden (oder an Stegöffnungen) sollte das Maß  $11 \varepsilon t_w$  durch das tatsächlich verfügbare Maß begrenzt werden.

## 6 Bemessung von Anschlüssen

### 6.1 Grundlagen

(1) Die Festlegungen in EN 1993-1-8 sollten auf nichtrostende Stähle angewendet werden, außer wo sie durch die besonderen Festlegungen in 6.2 und 6.3 ergänzt oder ersetzt werden.

ANMERKUNG Näheres zur Dauerhaftigkeit enthält Anhang A. Näheres zur Herstellung von Verbindungen enthält EN 1090-2.

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

ANMERKUNG 1 Liegen nicht genügend Erfahrungswerte vor, sollte die Verwendbarkeit von selbstfurchenden Schrauben für Bleche aus nichtrostenden Stählen durch Versuche nachgewiesen werden.

ANMERKUNG 2 Der nationale Anhang darf Gleichungen für die Beanspruchbarkeit gegenüber Herausziehen auf der Grundlage von Versuchen nach Abschnitt 7 angeben.

## 6.2 Schraubenverbindungen

(1) Die Beanspruchbarkeit gegenüber Lochleibung sollte statt mit  $f_u$  mit einem abgeminderten Wert  $f_{u,red}$  berechnet werden:

$$f_{u,red} = 0,5 f_y + 0,6 f_u \quad \text{jedoch} \leq f_u \quad (6.1)$$

(2) Abscherbeanspruchte Schrauben aus nichtrostenden Stählen der Festigkeitsklassen 50, 70 und 80 nach EN ISO 3506 sollten wie Schrauben der Festigkeitsgüte 4.6, 5.6 und 8.8 behandelt werden.

(3) Für die Beanspruchbarkeit  $F_{v,Rd}$  gegenüber Abscheren sollte Folgendes angesetzt werden:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha f_{ub} A}{\gamma_{M2}} \quad (6.2)$$

Dabei ist

$A$  der Schaftquerschnitt (bei Scherfläche im Schaft); oder der Spannungsquerschnitt (bei Scherfläche im Gewinde);

$f_{ub}$  die Zugfestigkeit einer Schraube, siehe Tabelle 2.2.

ANMERKUNG Der nationale Anhang darf den Wert  $\alpha$  angeben. Empfohlene Werte sind:

- bei Scherfläche durch den Schaft,  $\alpha = 0,6$ ;
- bei Scherfläche durch das Gewinde,  $\alpha = 0,5$ .

## 6.3 Geschweißte Verbindungen

(1) Bei der Ermittlung der Tragfähigkeit von Kehlnähten sollte bei nichtrostenden Stählen für jede Festigkeitsklasse ein Korrelationsbeiwert  $\beta_w = 1,0$  angesetzt werden, wenn sich nicht kleinere Werte aus Versuchen nach Abschnitt 7 ergeben.

## 7 Versuchsgestützte Bemessung

(1) 5.2 und Anhang D der EN 1990 sowie Abschnitt 9 und Anhang A der EN 1993-1-3 gelten sinngemäß für nichtrostende Stähle.

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

(3) Da nichtrostende Stähle Anisotropien aufweisen können, sollten die Versuchskörper aus Blechen mit gleicher Orientierung zur Walzrichtung wie für das Tragwerk beabsichtigt hergestellt werden (d. h. senkrecht oder parallel zur Walzrichtung). Ist die Walzrichtung nicht bekannt oder kann sie nicht garantiert werden, sollten Versuche für beide Walzrichtungen durchgeführt und das ungünstigste Ergebnis zugrunde gelegt werden.

## **8 Ermüdung**

(1) EN 1993-1-9 sollte bei der Bestimmung der Ermüdungsbeanspruchbarkeit von nichtrostenden Stählen angewendet werden.

## **9 Bemessung im Brandfall**

(1) Für die Bemessung im Brandfall sollten die mechanischen Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen in EN 1993-1-2, Anhang C verwendet werden.

## Anhang A (informativ)

### Dauerhaftigkeit

#### A.1 Einführung

(1) Der grundlegende Unterschied beim Einsatz von nichtrostenden Stählen und Kohlenstoffstählen ist, dass:

- bei Kohlenstoffstahl der Schutz vor Umwelteinflüssen und folglich die Lebensdauerabschätzung unabhängig von der Tragwerksplanung vorgenommen werden kann;
- bei nichtrostenden Stählen die Lebenserwartung nicht durch nachfolgende Schutzmaßnahmen, sondern vielmehr durch die ursprüngliche Werkstoffwahl, die Art des Entwurfs, der Herstellung und Montage und die Eignung bei entsprechenden Umweltbedingungen bestimmt wird.

(2) Um die richtige Auswahl einer geeigneten Stahlsorte für den jeweiligen Anwendungsfall zu treffen oder die verfügbaren Konstruktionsregeln zur Korrosionsvermeidung richtig anzuwenden, können einige Vorkenntnisse über das Korrosionsverhalten nichtrostender Stähle hilfreich sein.

(3) Alle gebräuchlichen Metalle im Bauwesen bilden an trockener Luft Oxidschichten. Die Oxidschichten der meisten Kohlenstoffstähle werden sofort zersetzt und regenerieren sich bei vorhandener Feuchtigkeit nicht. Folglich kann eine chemische Reaktion zwischen Stahl, Feuchtigkeit und Sauerstoff stattfinden, und es bildet sich Rost. Anders als bei wetterfesten Stählen wirkt dieser Rost nicht schützend und hält die Korrosion nicht auf.

(4) Nichtrostender Stahl bildet ebenfalls ein Oxid. Es hat einen hohen Chromanteil und verhält sich stabil, unporös und am Metall festhaftend. Jedoch im Gegensatz zu Kohlenstoffstahl ist es in der Lage, sich nach erfolgtem Abrieb (wie z. B. durch Abkratzen oder Abschneiden) an der Luft oder in oxidationsfördernder Umgebung sofort zu erneuern. Es ist ebenso gegen chemische Angriffe hochbeständig. Aus diese Gründen spricht man von „Passivierung“. Obwohl diese Schicht sehr dünn (ungefähr  $5 \times 10^{-6}$  mm) ist, verleiht sie dem nichtrostendem Stahl korrosionsbeständige Eigenschaften, indem eine Reaktion zwischen Stahl und Atmosphäre verhindert wird.

(5) Das Verhalten der passiven Schicht wird durch die Zusammensetzung des Stahls, die Oberflächenbehandlung und die korrosiven Umwelteinflüsse beeinflusst. Die Stabilität der Schicht steigt mit dem Chromgehalt. Die meisten nichtrostenden Stähle im Bauwesen enthalten ungefähr 18 % Chrom und 10 % Nickel. Einige nichtrostenden Stähle enthalten ebenso Molybdän, um die Korrosionsbeständigkeit weiter zu erhöhen.

(6) Das Konzept der Passivierung ist wichtig, weil jederlei Umstände, die die Ausbildung der Schicht verhindern oder zu ihrer Zerstörung führen, auch zu einem Verlust der Korrosionsbeständigkeit führen. Korrosion bei nichtrostenden Stählen tritt dann auf, wenn die Passivierung zerstört wird und sie sich nicht nachbilden kann.

(7) Nichtrostende Stähle verhalten sich im Allgemeinen sehr korrosionsbeständig und daher unter den meisten Umweltbedingungen zufrieden stellend. Die Grenze der Korrosionsbeständigkeit wird von der Legierungszusammensetzung beeinflusst, was dazu führt, dass jede Stahlsorte ein leicht unterschiedliches Verhalten in korrosiver Umgebung aufweist. Die Wahl der geeignetsten Stahlgüte muss daher sorgfältig für den jeweiligen Einsatz getroffen werden.

(8) Mögliche Ursachen dafür, dass eine spezielle Stahlsorte die Erwartungen hinsichtlich der Korrosionsbeständigkeit nicht erfüllt, können sein:

- a) Fehleinschätzung der Umgebungsbedingungen oder unerwartete Einflüsse (wie unerwartete Kontamination durch Chloridionen);
- b) ein Zustand, der bei erster Beurteilung nicht ins Auge gefasst wurde, der aus der Fertigung und Bearbeitung des nichtrostenden Stahls herrührt.

(9) Obwohl nichtrostende Stähle sich farblich verändern und anlaufen können (oftmals infolge Verunreinigungen durch Kohlenstoffstahl), gelten sie für Bauwerke als überaus dauerhaft. Unter schädlichen Industrie- und Meerwassereinflüssen zeigten Versuche keine Anzeichen einer Beständigkeitsminderung von Konstruktionsteilen, selbst wenn ein geringer Masseverlust zu verzeichnen war. Jedoch könnten unansehnliche Rostflecken auf Außenflächen vom Anwender als Fehler angesehen werden. Die Erfahrung zeigt, dass ernst zu nehmende Korrosionsprobleme meistens in den ersten zwei oder drei Jahren auftreten.

(10) Unter bestimmten, aggressiven Umwelteinflüssen verhalten sich einige nichtrostende Stähle beständig gegen örtlichen Korrosionsangriff. In A.2 werden sechs mögliche Korrosionsarten beschrieben. Bei Bauwerken tauchen im Allgemeinen jedoch nur Lochfraß, Spaltkorrosion und Kontaktkorrosion auf.

## A.2 Arten der Korrosion

### A.2.1 Lochfraß

(1) Lochfraß ist eine lokale Korrosionserscheinung, die unter besonderen Umweltbedingungen meistens in Verbindung mit Chloridionen hervorgerufen wird. Lochfraß tritt auf, weil Chloridionen die passivierende Schicht an Schwachstellen durchdringen. Dadurch entsteht ein lokaler Zelle mit dem durchdrungenen Bereich als Anode und der umgebenden passivierenden Schicht als Kathode. Ist der Anodenbereich klein und der Kathodenbereich groß, nimmt die vorhandene Dichte genauso wie die Korrosionsrate an der Anodenoberfläche enorm zu.

(2) In den meisten Anwendungsgebieten des Bauwesens ist oberflächiger Lochfraß eher gering und hinnehmbar, da die Abminderung des Bauteilquerschnittes vernachlässigbar sein wird. Jedoch können die Korrosionsprodukte das architektonische Aussehen beeinträchtigen. Eine weniger tolerante Sichtweise sollte für Ausrüstungen wie zum Beispiel Röhren, Rohrleitungen und Behälterbauten gelten. Bestehen vorhersehbare Gefährdungen, sollte ein eigens geeigneter nichtrostender Stahl gewählt werden; gewöhnlich wird dieser eine höhere Legierung mit Molybdänzusätzen haben.

### A.2.2 Spaltkorrosion

(1) Spaltkorrosion ist ein örtlicher Korrosionsangriff, der durch die Unterschiede im Sauerstoffniveau zwischen den Spaltbereichen und den offenen Bereichen hervorgerufen wird. Sie stellt zunächst kein Problem dar, außer in stehenden Lösungen, in denen eine Chloridvermehrung stattfindet. Die Bedeutung der Spaltkorrosion hängt maßgeblich von der Geometrie der Spalte ab: je enger und tiefer die Spalte, desto gravierender die Korrosion.

(2) Spalten treten üblicherweise zwischen Muttern und Unterlegscheiben oder um das Gewinde oder den Schaft einer Schraube auf. Spalten können ebenso bei Schweißnähten, die nicht durchgeschweißt sind, und unter Ablagerungen auf der Stahloberfläche auftreten. Im Prinzip sind Lochfraß und Spaltkorrosion ähnliche Phänomene, jedoch beginnen Schädigungen eher in einer Spalte als auf einer freien Fläche.

### A.2.3 Kontaktkorrosion

(1) Kontaktkorrosion tritt im Allgemeinen dann auf, wenn einander unähnliche Metalle über einen Elektrolyten, wie Regenwasser, Kondenswasser usw., miteinander in elektrischem Kontakt stehen. Fließt ein elektrischer Strom zwischen beiden, korrodiert das unedlere Metall (die Anode) schneller, als wenn kein Kontakt bestünde.

(2) Die Korrosionsgeschwindigkeit hängt auch von den relativen Oberflächen der in Kontakt stehenden Metalle, der Temperatur und der Beschaffenheit des Elektrolyten ab. Im Besonderen gilt: je größer das Oberflächenverhältnis zwischen Kathode und Anode ist, desto gravierender ist die Schädigung. Widrige Flächenverhältnisse treten oft bei Verbindungsmitteln und Anschlüssen auf.

(3) Der Einsatz von Schrauben aus Kohlenstoffstahl sollte bei Bauteilen aus nichtrostenden Stählen vermieden werden, da das Oberflächenverhältnis zwischen nichtrostendem und Kohlenstoffstahl groß ist und somit die Schrauben einer schädigenden Reaktion ausgesetzt sind. Im Gegensatz dazu ist die Reaktionsgeschwindigkeit bei einem Bauteil aus kohlenstofflegiertem Stahl mit einer Schraube aus nichtrostendem Stahl viel langsamer. Gewöhnlich ist es hilfreich, sich auf frühere Erfahrungen bei ähnlichen Umwelteinflüssen zu stützen, da einander unähnliche Metalle bei gelegentlicher Kondensation oder Dampfbildung oft gefahrlos ohne negative Auswirkungen miteinander verbunden werden können, und zwar besonders dann, wenn die Leitfähigkeit des Elektrolyten gering ist.

(4) Es ist schwierig, diese Effekte vorherzusagen, da sich die Korrosionsgeschwindigkeit aus einer Vielzahl komplexer Sachverhalte ergibt. Potentialtabellen berücksichtigen nicht die Einflüsse der Oberflächenoxidschicht, der Oberflächenverhältnisse und die Unterschiede der chemischen Zusammensetzung des Elektrolyten. Kenntnislose Anwendung dieser Tabellen kann zu fehlerhaften Ergebnissen führen. Sie sollten deshalb sorgfältig und nur zur ersten Abschätzung verwendet werden.

(5) Austenitische, nichtrostende Stähle bilden üblicherweise die Kathode und unterliegen somit keiner Korrosion. Eine Ausnahme stellt ein Kontakt mit Kupfer dar, der generell, außer unter gutmütigen Umständen, vermieden werden sollte. Verbindungen zwischen austenitischen, nichtrostenden Stählen und Aluminium oder Zink kann zu zusätzlicher Korrosion der beiden letzten Metalle führen. Dies ist im Bauwesen weniger von Bedeutung, aber das sich bildende grauweiße Pulver wird als unansehnlich erachtet.

(6) Kontaktkorrosion kann durch Unterbrechung des Feuchtigkeitsnachschiebs in den Detailbereich (zum Beispiel durch Anstreichen oder Abkleben des montierten Anschlusses) oder durch elektrische Isolierung der Metalle (zum Beispiel durch Anstriche auf den Kontaktflächen der unähnlichen Metalle) erreicht werden. Die Isolierung von geschraubten Verbindungen kann durch nicht leitende Dichtungsringe aus Kunststoff und Unterlegscheiben aus Nylon oder Teflon erzielt werden. Dies erfordert einen hohen Zeitaufwand auf der Baustelle. Darüber hinaus ist es im Rahmen der notwendigen Bauüberwachungsmaßnahmen gewöhnlich nicht möglich, alle Unterlegscheiben und Muffen auf ihre einwandfreie Montage hin zu überprüfen.

#### A.2.4 Spannungsrisskorrosion

(1) Zur Entwicklung von Spannungsrisskorrosion sind gleichzeitiges Vorhandensein von Zugspannungen und besonderen Umwelteinflüssen, die bei normalen Bauwerksbedingungen eher unwahrscheinlich sind, erforderlich. Die Spannungen müssen nicht sehr hoch im Vergleich zur Streckgrenze sein. Sie treten unter Beanspruchungen oder Eigenspannungen infolge des Verarbeitungsverfahrens wie Schweißen oder Umformung auf. Vorsicht ist geboten, wenn Bauteile aus nichtrostendem Stahl mit hohen Eigenspannungen (wie aus Kaltumformung) in chloridreicher Umgebung, wie z. B. bei Schwimmbädern oder auf See einschließlich Bohrinseln, eingesetzt werden sollen (siehe A.4.1(10)).

(2) Die Wahrscheinlichkeit einer Spannungsrisskorrosion steigt mit zunehmender Zugspannung und Temperatur. Bei nichtrostenden, austenitischen Chrom-Nickel-Stählen ist Nickel der Legierungsbestandteil, der maßgeblich die Anfälligkeit gegenüber einer Spannungsrisskorrosion senkt.

#### A.2.5 Allgemeine Korrosion

(1) Allgemeine Korrosion ist bei nichtrostenden Stählen um einiges unbedenklicher als bei anderen Stählen.

(2) Diese Korrosionsart stellt für nichtrostende Stähle für allgemeine Anwendungen im Bauwesen kein Problem dar. Es kann auf die Herstellerangaben verwiesen werden. Alternativ ist der Rat eines Korrosionsschutzexperten insbesondere bei Chemikalienkontakt einzuholen.

### A.2.6 Interkristalline Korrosion und örtliche Chromverarmung

- (1) Wird austenitischer, nichtrostender Stahl einer anhaltenden Wärmeeinwirkung um 450 °C bis 850 °C ausgesetzt, diffundiert Kohlenstoff an den Korngrenzen und Chromkarbid fällt aus. Dieser Vorgang beseitigt Chrom aus dem festen Gefüge und lässt einen geringeren Chromanteil an den Korngrenzen entstehen. Stahl in diesem Zustand wird als „sensibilisiert“ bezeichnet.
- (2) Die Korngrenzen werden gegen einen Korrosionsangriff bei anschließend eintretenden korrosionsfördernden Umweltbedingungen anfällig. In den Wärmeeinflusszonen infolge Schweißen wird dieses Phänomen als Chromverarmung (Schweißverfall) bezeichnet.
- (3) Es gibt drei Möglichkeiten, interkristalline Korrosion zu vermeiden:
  - Einsatz eines Stahls mit niedrigem Kohlenstoffanteil;
  - Einsatz eines mit Titan oder Niob stabilisierten Stahls, da diese Elemente vorzugsweise mit Kohlenstoff stabile Verbindungen eingehen und dabei die Gefahr der Chromkarbidbildung mindern;
  - Wärmebehandlung, jedoch wird sie in der Praxis selten angewandt.
- (4) Sorten mit niedrigem Kohlenstoffgehalt (ungefähr 0,03 %) unterliegen im Schweißbereich bei Anwendung geeigneter Schweißverfahren nicht der interkristallinen Korrosion.

### A.3 Gefährdungsstufen

- (1) Die Gefährdungsstufe hängt vom Werkstoff, der Zusammensetzung und den Umweltbedingungen ab. Es können die drei folgenden Gefährdungsstufen unterschieden werden:
  - **Gefährdungsstufe 1:** In einem Bemessungszeitraum von 50 Jahren treten nur kosmetische, oberflächige Schädigungen (nadelstichtartiger Lochfraß) auf. Eine Instandsetzung zur Erhaltung des Tragwerks ist nicht notwendig, könnte jedoch zur Wiederherstellung des ursprünglichen Erscheinungsbilds erforderlich sein. Die meisten nichtrostenden Stähle erfüllen diese Forderung in leicht oder mäßig korrosiven Umgebungen.
  - **Gefährdungsstufe 2:** Gefährdung durch querschnittsmindernden oder durchdringenden Lochfraß oder Spaltenschädigungen, was Wartung oder Instandsetzung erfordert, damit Tragwerksversagen oder Undichtigkeiten innerhalb eines Bemessungszeitraums von 50 Jahren verhindert werden. Dies ist maßgebend bei Umweltbedingungen wie chemisch belasteter Umgebung infolge von Seewasser, schwerer Industrielastung oder in Verbindung mit bestimmten Verfahren und Prozessen im Gebäudeinneren.
  - **Gefährdungsstufe 3:** Gefährdungen infolge örtlicher Angriffe durch aggressive Substanzen (zum Beispiel saure, chlorhaltige Rückstände oder flüssiges Zink), die infolge örtlicher Rissbildung einen Verlust der Tragwerksintegrität (z. B. Spannungsrisskorrosion oder interkristalliner Schädigung) zur Folge haben können. Die Lebensdauer und die Wartungshäufigkeit werden durch die Wahl der Werkstoffkombination und die Konzentrationen und Auftretenswahrscheinlichkeit aggressiver Substanzen bestimmt. Bei besonderen Umweltbedingungen, wie sie z. B. bei geschlossenen Schwimmhallen vorzufinden sind, wo sich hohe Chloridkonzentrationen bilden können, wird dies maßgebend. Bei Feuergefährdung von Tragwerken, die galvanisierte oder verzinkte Metallkomponenten enthalten, trifft dies ebenfalls zu. Im Brandfall darf im Allgemeinen kein Zink auf nichtrostenden Stahl tropfen.
- (2) Während allgemein gültige Regeln zur Werkstoffwahl für die Sicherheitsstufen 1 und 2 angegeben werden können, ist es bei Gefährdungsstufe 3 wichtig, einen Sachverständigen einzuschalten.

## A.4 Werkstoffwahl

### A.4.1 Allgemeines

(1) Bei der Wahl der geeignetsten, nichtrostenden Stahlsorte sollten die Einsatzumgebung, der Verarbeitungsablauf, die Bearbeitungsmöglichkeiten, die Oberflächenbehandlung und das Erscheinungsbild des Tragwerks berücksichtigt werden. Obwohl nichtrostender Stahl niedrige Anforderungen hinsichtlich der Instandhaltung aufweist, ist ein detailliertes, korrosionsschutzgerechtes Entwerfen erforderlich, soll der gewählte Werkstoff in korrosiver Umgebung eingesetzt werden.

(2) Folgende über den Bemessungszeitraum des Tragwerks anhaltende Gefahren sollten beachtet werden:

- Spannungsrisskorrosion;
- Spaltkorrosion;
- galvanische Korrosion;
- Lochfraß;
- Verfärben/Anlaufen;
- Masseverlust.

(3) Im ersten Schritt wird die Einsatzumgebung charakterisiert. Die Korrosivität einer Umgebung bestimmt sich aus mehreren Variablen wie Luftfeuchte, Lufttemperatur, Vorhandensein von Chemikalien und deren Konzentration, Sauerstoffgehalt etc. Ohne Feuchtigkeit findet keine Korrosion statt. Zum Beispiel können beheizte und belüftete Gebäude als trocken eingestuft werden; Korrosion tritt in solchen Umgebungen nicht auf. Die Gefahr der Kondenswasserbildung besteht in Küchen und Wäschereien. Küstenregionen stellen aufgrund hoher Chloridkonzentrationen in der Luft sehr korrosive Umgebungen dar, so dass Tragwerke, die Meeresspritzwasser ausgesetzt sind, sehr anfällig gegen korrosive Schädigungen sind.

(4) Ist die weitere Umgebung charakterisiert, ist es notwendig, die Effekte der engeren Umgebung des nichtrostenden Stahls zu beachten (zum Beispiel Elemente und Substanzen, mit denen der Werkstoff in Berührung kommen kann). Die Oberflächenbeschaffenheit, die Stahltemperatur und die zu erwartenden Gebrauchsspannungen können ebenfalls wichtige Parameter sein.

(5) Anschließend sollten die mechanischen Eigenschaften und die Art und Weise der Belastung, die Gebrauchslasten, Lastzyklen, Schwingungen, Erdbeben und so weiter einer Betrachtung unterzogen werden. Es kann notwendig sein, die Effekte zyklischer Erwärmung und Abkühlung zahlenmäßig zu erfassen. Eine einfache Verarbeitung, Verfügbarkeit der Erzeugnisse, Oberflächenbehandlung und der Preis sollten ebenso bei der Entscheidung beachtet werden.

(6) Die Einschätzung der Eignungsfähigkeit einer Sorte fällt am einfachsten, indem man auf die Einsatzerfahrungen unter ähnlichen Umweltbedingungen zurückgreift. Zum Einsatz an der Luft enthält Tabelle A.1 Richtlinien zur angemessenen Werkstoffwahl aus der Sicht der Korrosionsbeständigkeit.

(7) Neben der Klassifizierung der nichtrostenden Stähle nach der Art der Atmosphäre, wie in Tabelle A.1, ist es ebenso notwendig zu unterscheiden zwischen:

- **dekorativer Funktion:** bei der Werkstoffwahl zählt in erster Linie der Erhalt des Aussehens über die Lebensdauer des Erzeugnisses (hierbei ist es notwendig, Innen- und Außenanwendungen zu unterscheiden);
- **tragender Funktion:** hierbei sind die mechanischen Eigenschaften maßgebend.

(8) Bei dekorativer Funktion ist es notwendig, nicht nur die Umweltbedingungen, sondern auch die Lage und die Möglichkeit natürlicher Reinigung durch Witterungseinflüsse zu beachten. Liegen die Teile geschützt (wie unter Dächern), müssen sie häufiger gereinigt werden.

(9) Bei tragender Funktion, bei denen die mechanischen Eigenschaften ausschlaggebend sind, wirken sich die meisten natürlichen Umgebungen nicht schädlich auf nichtrostende Stähle aus.

(10) Bestimmte nichtrostende Stähle können vielfältig bei Außen- und Innenschwimmbädern eingesetzt werden. Bei tragenden Bauteilen in chloridhaltiger Umgebung, die nicht regelmäßig gereinigt werden können (z. B. abgespannte Decken über Schwimmbädern), sind die folgenden Stahlsorten zu verwenden:

— Wasser mit Chloridionengehalt  $\leq 250$  mg/l: 1.4539, 1.4529, 1.4547, 1.4565;

— Wasser mit Chloridionengehalt  $> 250$  mg/l: 1.4529, 1.4547, 1.4565.

ANMERKUNG Alternative Stahlsorten, die gleichwertige Beständigkeit gegenüber Spannungsrisskorrosion aufweisen, dürfen ebenfalls verwendet werden.

(11) Ein Sachverständigengutachten sollte immer in Sonderfällen, wie bei nichtrostendem Stahl in Verbindung mit oder in Chemikalien, angefordert werden.

Tabelle A.1 — Anwendungsvorschläge zu nichtrostenden Stählen an der Luft

| Stahl-<br>sorte<br>nach<br>EN 10088                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Umweltbedingungen und Korrosionskategorie |        |      |                |        |      |             |        |      |         |        |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------|------|----------------|--------|------|-------------|--------|------|---------|--------|------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | ländlich                                  |        |      | städtisch      |        |      | industriell |        |      | auf See |        |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | niedrig                                   | mittel | hoch | niedrig        | mittel | hoch | niedrig     | mittel | hoch | niedrig | mittel | hoch |
| 1.4003<br>1.4016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ✓ <sup>1</sup>                            | X      | X    | ✓ <sup>1</sup> | X      | X    | X           | X      | X    | X       | X      | X    |
| 1.4301<br>1.4311<br>1.4541<br>1.4318                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ✓                                         | ✓      | ✓    | ✓              | ✓      | (✓)  | (✓)         | (✓)    | X    | ✓       | (✓)    | X    |
| 1.4362<br>1.4401<br>1.4404<br>1.4406<br>1.4571                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | O                                         | O      | O    | O              | ✓      | ✓    | ✓           | ✓      | (✓)  | ✓       | ✓      | (✓)  |
| 1.4439<br>1.4462<br>1.4529<br>1.4539                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | O                                         | O      | O    | O              | O      | O    | O           | O      | ✓    | O       | O      | ✓    |
| <b>Korrosionsbedingungen:</b><br>Niedrig: Unter den Umweltbedingungen am wenigsten korrosiv. Zum Beispiel bei wenig Luftfeuchte oder niedrigen Temperaturen.<br>Mittel: für diesen Umgebungstyp typisch.<br>Hoch: Korrosionsangriff wahrscheinlich höher als bei den Umgebungsbedingungen üblich. Zum Beispiel höher wegen ständig hoher Feuchtigkeit, hohen Umgebungstemperaturen oder besonders schädigender Luftverschmutzung.                                                                                                            |                                           |        |      |                |        |      |             |        |      |         |        |      |
| <b>Legende:</b><br>O Aus Sicht der Korrosionsbeständigkeit potentiell zu hoch.<br>✓ Wahrscheinlich die beste Wahl aus Sicht der Korrosionsbeständigkeit und des Preises.<br>✓ <sup>1</sup> Nur zum Einsatz in geschlossenen Gebäuden geeignet. Die Verwendung von ferritischen, nichtrostenden Stählen in dekorativer Funktion ist zu vermeiden.<br>X Hohe Korrosion wahrscheinlich.<br>(✓) Annehmbar, wenn geeignete Maßnahmen getroffen werden (d. h. Ausführung mit einer relativ glatten Fläche und anschließender regelmäßiger Pflege). |                                           |        |      |                |        |      |             |        |      |         |        |      |

#### A.4.2 Schrauben

Für Schraubenwerkstoffe nach EN ISO 3506-1 gilt:

- A2 entspricht der Korrosionsbeständigkeit eines 1.4301,
- A3 entspricht der Korrosionsbeständigkeit eines 1.4541,
- A4 entspricht der Korrosionsbeständigkeit eines 1.4401 und 1.4404,
- A5 entspricht der Korrosionsbeständigkeit eines 1.4571.

Werkstoffgüte A1 besitzt eine niedrigere Korrosionsbeständigkeit und ist im Allgemeinen nicht für Schrauben zu verwenden.

(2) Bei den Stahlsorten 1.4439, 1.4539, 1.4529 und 1.4462 sind Schrauben aus denselben Werkstoffen einzusetzen, um gleiche Korrosionsbeständigkeit zu erzielen.

(3) Beim Einsatz maschinell bearbeitbarer, nichtrostender Stähle für Verbindungsmittel ist Vorsicht geboten. Die Schwefelzusätze in der Zusammenstellung dieser Stähle (wie beim Austenit 1.4305) lassen diese besonders in industriellen und küstennahen Gegenden leichter korrodieren.

## A.5 Korrosionsschutzgerechtes Konstruieren

(1) Der wichtigste Schritt bei der Vermeidung von Korrosionsproblemen ist die Auswahl einer angemessenen Sorte nichtrostenden Stahls mit geeigneten Verarbeitungsmethoden bei den gegebenen Umweltbedingungen. Jedoch ist nach Ausweisung eines bestimmten Stahls auf eine sorgfältige Detailausbildung zu achten, um seine volle Korrosionsbeständigkeit auszunutzen.

(2) In der unten angegebenen Checkliste dürften einige Punkte nicht das beste Detail hinsichtlich der Festigkeit ergeben, und einige sollten nicht in allen Umgebungen zum Tragen kommen. Im Besonderen sind einige nicht in Umgebungen mit geringer Korrosivität oder bei regelmäßiger Wartung erforderlich.

(3) Zwischen Schweißen und Schrauben sollte abgewogen werden, um optimale Korrosionsbeständigkeit mit minimalem Schweißverzug zu verbinden. Die folgenden Punkte sollten beachtet werden:

a) Vermeidung von Schmutzablagerungen, siehe Bild A.1, durch:

- richtige Ausrichtung von Winkel- und U-Profilen, um die Wahrscheinlichkeit von Schmutztaschen zu minimieren;
- Vorsehen von Ablauföffnungen mit ausreichender Größe zur Vermeidung von Verstopfung;
- Vermeidung horizontaler Oberflächen;
- Vorsehen einer geringen Neigung bei normalerweise horizontalen Steifen von Knotenblechen;
- Einsatz von Rohren und Vollprofilen (geschlossene Rohre mit Trockengas oder -luft, wenn die Gefahr schädigender Bildung von Kondenswasser besteht);
- glatte Oberflächenbearbeitung ( $R_a \leq 0,5 \mu\text{m}$  ist bei Außenanwendungen zweckmäßig).

b) Vermeidung von Spalten, siehe Bild A.2, durch:

- Bevorzugung von geschweißten gegenüber geschraubten Verbindungen;
- Spaltenverschluss durch Schweißnähte oder Kunststoffverfüller;
- vorzugsweise nachbearbeitete oder profilierte Schweißnähte;
- Vermeidung von Bio-Verschmutzung (Gechlortes Wasser kann Lochfraß verursachen!).

c) Minderung der Spannungsrisskorrosionsgefahr in den Umgebungen, in denen sie auftreten kann:

- Minimierung der Eigenspannungen durch sorgfältige Bestimmung des Schweißfolge;
- Kugelstrahlen (Eisen- oder Stahlkugeln sind nicht zu verwenden).

- d) Schweißnähte sollten nach dem Schweißen immer gereinigt werden, um die Korrosionsbeständigkeit wiederherzustellen. Minderung der Gefährdung durch Lochfraßkorrosion durch:
- Entfernung der Schweißspritzer;
  - Abbürsten mit nichtrostendem Stahldraht oder Beizen, um unerwünschte Schweißnebenprodukte zu entfernen (Heftig oxidierende chloridhaltige Reagentien wie Eisenchlorid sollten vermieden werden. Stattdessen sollte eine Beizung durch Eintauchen mit einer Paste mit einer Mischung stickstoffhaltiger und hydrofluoridhaltiger Säuren durchgeführt werden. Danach sollte gründlich mit Wasser abgespült werden.);
  - Vermeidung der Aufnahme von Partikeln aus Kohlenstoffstahl (zum Beispiel durch Benutzung von nur für nichtrostende Stähle reservierten Arbeitsbereichen und Werkzeugen);
  - Befolgung eines zweckmäßigen Wartungsablaufs.
- e) Verringerung der Wahrscheinlichkeit von Kontaktkorrosion durch:
- elektrische Isolierung;
  - Einsatz geeigneter Beschichtungen;
  - Minimierung von Feuchtigkeitsperioden.
- f) Gefahrenminderung des Angriffs von flüssigem Zink zur Vermeidung von spontaner Versprödung.

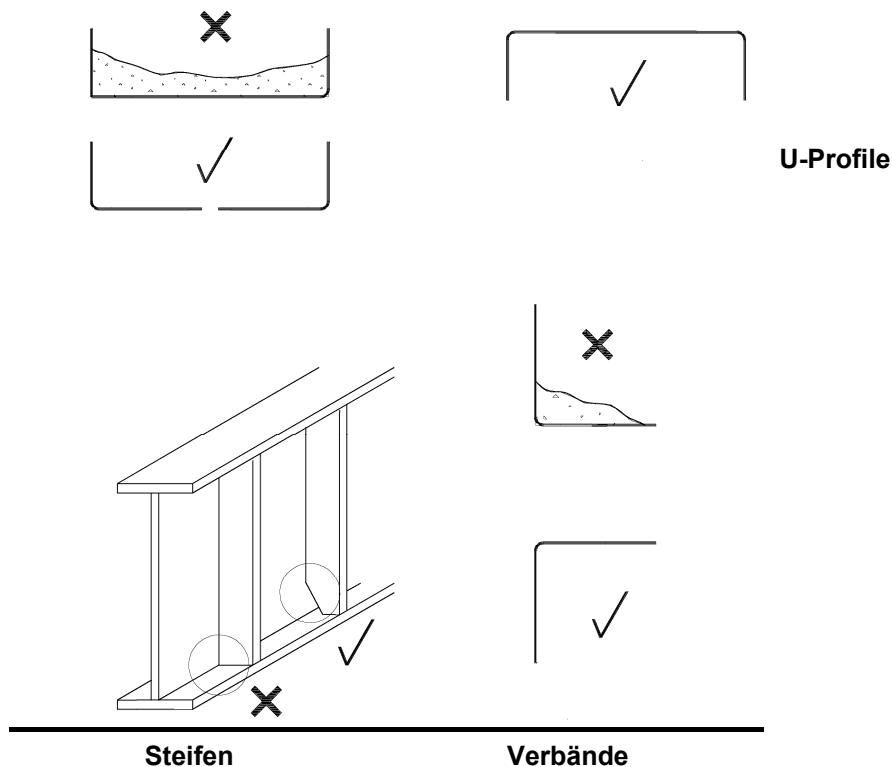


Bild A.1 — Vermeidung von Schmutzablagerungen

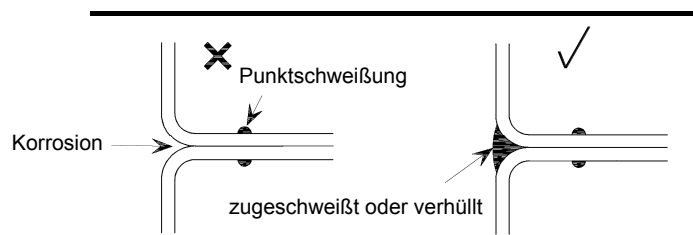


Bild A.2 — Vermeidung von Spalten

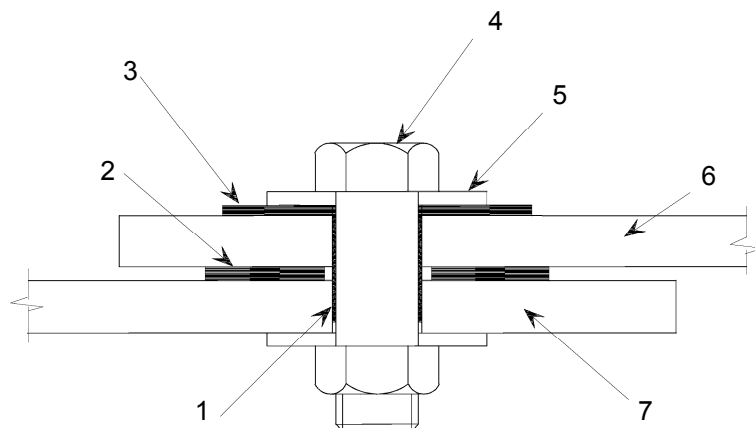
## A.6 Anschlüsse

### A.6.1 Allgemeines

- (1) Um eine optimale Korrosionsbeständigkeit zu erzielen, ist besonders beim Entwurf von Anschlüssen besondere Sorgfalt geboten.
- (2) Dies trifft besonders auf Anschlüsse zu, die durch Wetter, Spritzer, Eintauchen, Kondensation oder andere Ursachen befeuchtet werden können. Es sollte die Möglichkeit untersucht werden, die damit verbundenen Korrosionsproblemen durch Verlegung des Anschlusses weg von der Feuchtigkeitsquelle zu vermeiden oder zu mindern. Alternativ könnte es möglich sein, die Feuchtigkeitsquelle zu entfernen, zum Beispiel im Falle einer Kondenswasserbildung durch eine ausreichende Belüftung oder indem die Umgebungstemperatur oberhalb des Taupunktes gehalten wird.
- (3) Ist es nicht möglich, eine Verbindung von Kohlenstoff- und nichtrostendem Stahl zu vermeiden, sollte auf die Verhinderung galvanischer Korrosion geachtet werden.
- (4) Lasten und Korrosionseinflüsse im Gebrauchszustand sollten so vollständig und genau wie möglich ermittelt und dokumentiert werden.

### A.6.2 Geschraubte Verbindungen

- (1) Die Kombination aus Schrauben aus Kohlenstoffstahl und Bauteilen aus nichtrostendem Stahl sollte immer vermieden werden. Bei geschraubten Verbindungen, die anfällig für unakzeptable Korrosion sind, sollten Maßnahmen der elektrischen Isolierung zwischen Bestandteilen aus Kohlenstoff- und nichtrostendem Stahl getroffen werden. Dies beinhaltet im Allgemeinen den Einsatz nichtmetallischer, isolierender Unterlegscheiben und möglicherweise Buchsen. Ein geeignetes typisches Detail wird in Bild A.3 dargestellt. Der Isolierwerkstoff sollte ausreichend robust sein, um den Kontakt zwischen Kohlenstoff- und nichtrostendem Stahl im Gebrauchszustand zu verhindern.
- (2) Um in geschraubten Verbindungen Spaltkorrosion zu vermeiden, sollte eine sorgfältige Auswahl der der jeweiligen Umgebung angepassten Werkstoffe durchgeführt werden.
- (3) Die Schrauben sollten auf Dauer wenigstens genauso korrosionsbeständig sein wie die angeschlossenen Teile.
- (4) Jede geschraubte Verbindung sollte im Allgemeinen glatt und ohne Lücken zwischen den angeschlossenen Teilen ausgeführt werden.
- (5) Außer bei Verbindungen mit Kohlenstoff- und nichtrostendem Stahl sollten lastübertragende Zwischenschichten vermieden werden.
- (6) Im Allgemeinen sollten Unterlegscheiben mit größerem Durchmesser als bei kohlenstofflegiertem Stahl eingesetzt werden.



#### Legende

- 1 isolierende Buchse
- 2 isolierender Dichtungsring
- 3 isolierende Unterlegscheibe
- 4 Schraube und Mutter aus nichtrostendem Stahl
- 5 Unterlegscheibe aus nichtrostendem Stahl
- 6 Blech aus unlegiertem Stahl
- 7 Blech aus nichtrostendem Stahl

**Bild A.3 — Vermeidung von galvanischer Korrosion bei Anschlüssen**

#### A.6.3 Geschweißte Verbindungen

- (1) Bei geschweißten Verbindungen mit kohlenstofflegiertem und nichtrostendem Stahl ist es im Allgemeinen zu empfehlen, den schützenden Anstrich auf dem kohlenstofflegierten Stahl über die Schweißnaht und einen Bereich des nichtrostenden Stahls zu ziehen, wenn Korrosionsangriff besteht.
- (2) Die Eigenschaften des Grundmaterials können durch den Schweißvorgang verändert und damit die Korrosionsbeständigkeit gemindert werden. Dies wird als „Schweißverfall“ bezeichnet. Der Erwärmungs- und Abkühlungsprozess beeinflusst das Mikrogefüge jedes nichtrostenden Stahls, jedoch sind einige Sorten mehr davon betroffen als andere. Für austenitisch-ferritische Stähle gilt dies besonders. Deswegen ist es entscheidend, dass geeignete Schweißverfahren und Zusatzwerkstoffe zum Einsatz kommen und dass die Schweißarbeit von geprüften Schweißern ausgeführt wird.
- (3) In schwer belasteter Umgebung oder in aggressiver Meerwassernähe sollten keine einseitig teildurchgeschweißten Stumpfnähte eingesetzt werden. Unterbrochene Schweißnähte sollten nicht dort eingesetzt werden, wo Spaltkorrosion wahrscheinlich wird.

## Anhang B (informativ)

### Kaltverfestigte, nichtrostende Stähle

#### B.1 Grundlagen

- (1) Dieser Anhang enthält Regelungen zur Verwendung kaltverfestigter, nichtrostender Stähle. Die Verfestigung kann dabei durch Walzen oder durch den Fertigungsprozess oder beides eingebracht werden.
- (2) Die Regelungen gelten nur dann, wenn die Eigenschaften im Verlauf der Fertigung, Montage und der Nutzungszeit beibehalten werden. Schweißen oder Wärmebehandlung der Erzeugnisse sollte vermieden werden, außer wenn Versuche nach Abschnitt 7 belegen, dass die mechanischen Eigenschaften dadurch nicht unter die angesetzten Größen abfallen.

#### B.2 Verfestigung infolge Kaltwalzen

- (1) Für kaltverfestigte Werkstoffe nach EN 10088 können erhöhte Streckgrenzen  $f_y$  und Zugfestigkeiten  $f_u$  angesetzt werden. Die Zugfestigkeit aus EN 10088 kann als charakteristische Festigkeit angesetzt werden, siehe Tabelle B.1. Die Streckgrenze in Tabelle B.1 kann als charakteristische Festigkeit verwendet werden, wenn dies durch die Herstellerangaben bestätigt werden kann.
- (2) Die Bemessungsregeln in diesem Teil 1-4 gelten sinngemäß für Stahlsorten bis C700 und CP350. Bei höheren Festigkeiten gilt die versuchsgestützte Bemessung nach Abschnitt 7, außer wenn die Querschnittstragfähigkeit für Querschnitte der Klassen 1, 2 und 3 nach Abschnitt 5 berechnet werden kann (d. h. kein lokales Beulen oder Stabknicken).

**Tabelle B.1 — Nennwerte der Streckgrenze  $f_y$  und Zugfestigkeit  $f_u$  bei kaltverfestigten, nichtrostenden Stählen nach EN 10088**

| Gefügeart der nichtrostenden Stähle | $f_{0,2\%}$ -Nennwert bei Kaltverfestigung | $f_y$<br>N/mm <sup>2</sup> | Zugfestigkeit bei Kaltverfestigung | $f_u$<br>N/mm <sup>2</sup> |
|-------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Austenitische Stähle                | CP350                                      | 350                        | C700                               | 700                        |
|                                     | CP500                                      | 500                        | C850                               | 850                        |
|                                     | CP700                                      | 700                        | C1000                              | 1 000                      |

#### B.3 Kaltverfestigung infolge der Fertigung

- (1) Die Kaltverfestigung infolge der Bauteilfertigung kann bei der Bemessung mit angesetzt werden, wenn dies durch Großversuche nach Abschnitt 7 nachgewiesen werden kann.
- (2) Bei der Bemessung der Anschlüsse, die nicht Teil von Großversuchen sind, sind in der Regel die Nennwerte anzusetzen.

## Anhang C (informativ)

### Beschreibung des Materialverhaltens

#### C.1 Allgemeines

(1) Dieser Anhang enthält Regelungen zur Beschreibung des Materialverhaltens.

#### C.2 Mechanische Eigenschaften

(1) Die mechanischen Eigenschaften  $E$ ,  $f_y$  und  $f_u$  für FE-Berechnungen sollten als charakteristische Werte angesetzt werden. Regeln für die Bemessung mit FE-Methoden enthält der informative Anhang C der EN 1993-1-5.

(2) Abhängig von der geforderten Genauigkeit und den zu erzielenden Maximaldehnungen können die folgenden Näherungen zur Beschreibung des Materialverhaltens herangezogen werden:

a) Spannungs-Dehnungs-Kurven mit Verfestigung, wie folgt:

$$\varepsilon = \begin{cases} \frac{\sigma}{E} + 0,002 \left( \frac{\sigma}{f_y} \right)^n & \text{für } \sigma \leq f_y \\ 0,002 + \frac{f_y}{E} + \frac{\sigma - f_y}{E_y} + \varepsilon_u \left( \frac{\sigma - f_y}{f_u - f_y} \right)^m & \text{für } f_y < \sigma \leq f_u \end{cases} \quad (\text{C.1})$$

Dabei ist

$n$  ein Koeffizient mit der Definition  $n = \frac{\ln(20)}{\ln(f_y / R_{p0,01})}$

wobei:

$R_{p0,01}$  die Festigkeit bei 0,01 % plastischer Dehnung ist;

$n$  darf der Tabelle 4.1 entnommen oder aus den gemessenen Spannungs-Dehnungs-Linien zurückgerechnet werden;

$E_y$  der Tangentenmodul der Spannungs-Dehnungs-Linie bei Erreichen der Streckgrenze:

$$E_y = \frac{E}{1 + 0,002n \frac{E}{f_y}} ;$$

$\varepsilon_u$  die Maximaldehnung zugehörig zur Zugfestigkeit  $f_u$ , die näherungsweise wie folgt ermittelt werden kann:

$$\varepsilon_u = 1 - \frac{f_y}{f_u} \text{ jedoch } \varepsilon_u \leq A \text{ mit } A \text{ als die Bruchdehnung definiert in EN 10088;}$$

m ein Koeffizient der Größe  $m = 1 + 3,5 \frac{f_y}{f_u}$ .

- b) Spannungs-Dehnungs-Linie nach a) aber mit gemessenen Größen;
- c) wahre Spannungs-Dehnungs-Linie, ermittelt aus der technischen Spannungs-Dehnungs-Kurve nach:

$$\sigma_{\text{true}} = \sigma(1 + \varepsilon) \quad (\text{C.2})$$

$$\varepsilon_{\text{true}} = \ln(1 + \varepsilon)$$