

**DIN EN 1993-1-5**

ICS 91.010.30; 91.080.13

Ersatz für  
DIN EN 1993-1-5:2010-12

**Eurocode 3 –  
Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –  
Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile;  
Deutsche Fassung EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017**

Eurocode 3 –  
Design of steel structures –  
Part 1-5: Plated structural elements;  
German version EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017

Eurocode 3 –  
Calcul des structures en acier –  
Partie 1-5: Plaques planes;  
Version allemande EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017

Gesamtumfang 71 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

## **Nationales Vorwort**

Dieses Dokument (EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017) wurde von CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI (Großbritannien) gehalten wird.

Als deutsches Spiegelgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-08-16 AA „Tragwerksbemessung (SpA zu CEN/TC 250/SC 3, ISO/TC 167/SC 1)“ des DIN-Normenausschusses Bauwesen (NABau) zuständig.

Dieses Dokument enthält die Änderung 1, die vom CEN am 17. Januar 2017 angenommen wurde, sowie die Berichtigung 1.

Anfang und Ende der durch die Änderung und Berichtigung eingefügten oder geänderten Texte sind jeweils durch Änderungsmarken **A1** **A1** und **AC** **AC** angegeben.

## **Änderungen**

Gegenüber DIN EN 1993-1-5:2010-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Änderungen in 6.5 (3), Wirksame Lastausbreitungslänge;
- b) Änderungen in Abschnitt 10, Methode der reduzierten Spannungen.

## **Frühere Ausgaben**

DIN 1073: 1928-04, 1931-09, 1941-01, 1974-07  
DIN 1073 Beiblatt: 1974-07  
DIN 4100: 1931-05, 1933-07, 1934xxxx-08, 1956-12, 1968-12  
DIN 1050: 1934-08, 1937xxxxx-07, 1946-10, 1957x-12, 1968-06  
DIN 4101: 1937xxx-07, 1974-07  
DIN 1079: 1938-01, 1938-11, 1970-09  
DIN 4114-1: 1952xx-07  
DIN 4114-2: 1952-07, 1953x-02  
DIN 18800-1: 1981-03, 1990-11, 2008-11  
DIN 18800-1/A1: 1996-02  
DIN 18800-2: 1990-11, 2008-11  
DIN 18800-2/A1: 1996-02  
DIN 18800-3: 1990-11, 2008-11  
DIN 18800-3/A1: 1996-02  
DIN V ENV 1993-1-5: 2001-02  
DIN EN 1993-1-5: 2007-02, 2010-12  
DIN EN 1993-1-5 Berichtigung 1: 2010-05

Deutsche Fassung

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

Eurocode 3: Design of steel structures —  
Part 1-5: Plated structural elements

Eurocode 3: Calcul des structures en acier —  
Partie 1-5: Plaques planes

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 13. Januar 2006 angenommen.

Die Berichtigung tritt am 1. April 2009 in Kraft und wurde in EN 1993-1-5:2006 eingearbeitet.

Diese Änderung A1 modifiziert die Europäische Norm EN 1993-1-5:2006. Sie wurde vom CEN am 17. Januar 2017 angenommen und eingearbeitet.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-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, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

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

# Inhalt

|                                                                                                             | Seite |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Vorwort .....                                                                                               | 4     |
| Nationaler Anhang zu EN 1993-1-5 .....                                                                      | 4     |
| Europäisches Vorwort der Änderung 1 .....                                                                   | 5     |
| 1 Allgemeines .....                                                                                         | 6     |
| 1.1 Anwendungsbereich .....                                                                                 | 6     |
| 1.2 Normative Verweisungen .....                                                                            | 6     |
| 1.3 Begriffe .....                                                                                          | 6     |
| 1.4 Formelzeichen .....                                                                                     | 8     |
| 2 Grundlagen für die Tragwerksplanung und Verfahren .....                                                   | 9     |
| 2.1 Allgemeines .....                                                                                       | 9     |
| 2.2 Effektive Breiten bei der Tragwerksberechnung .....                                                     | 9     |
| 2.3 Einfluss des Plattenbeulens auf die Tragfähigkeit gleichförmiger Bauteile .....                         | 9     |
| 2.4 Methode der reduzierten Spannungen .....                                                                | 10    |
| 2.5 Bauteile mit veränderlichem Querschnitt .....                                                           | 10    |
| 2.6 Bauteile mit profilierten Stegblechen .....                                                             | 10    |
| 3 Berücksichtigung der Schubverzerrungen bei der Bemessung von Bauteilen .....                              | 11    |
| 3.1 Allgemeines .....                                                                                       | 11    |
| 3.2 Mittragende Breiten zur Berücksichtigung der Schubverzerrungen bei elastischem Werkstoffverhalten ..... | 11    |
| 3.2.1 Mittragende Breiten .....                                                                             | 11    |
| 3.2.2 Spannungsverteilung unter Berücksichtigung der Schubverzerrung .....                                  | 13    |
| 3.2.3 Lasteinleitung in Blechebene .....                                                                    | 14    |
| 3.3 Berücksichtigung der Schubverzerrungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit .....                          | 15    |
| 4 Plattenbeulen bei Längsspannungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit .....                                 | 16    |
| 4.1 Allgemeines .....                                                                                       | 16    |
| 4.2 Beanspruchbarkeit bei Längsspannungen .....                                                             | 16    |
| 4.3 Effektive Querschnittsgrößen .....                                                                      | 17    |
| 4.4 Einzelblechfelder ohne Längssteifen .....                                                               | 18    |
| 4.5 Längs ausgesteifte Blechfelder .....                                                                    | 22    |
| 4.5.1 Allgemeines .....                                                                                     | 22    |
| 4.5.2 Plattenartiges Verhalten .....                                                                        | 24    |
| 4.5.3 Knickstabähnliches Verhalten .....                                                                    | 24    |
| 4.5.4 Interaktion zwischen plattenartigem und knickstabähnlichem Verhalten .....                            | 26    |
| 4.6 Nachweis .....                                                                                          | 26    |
| 5 Schubbeulen .....                                                                                         | 27    |
| 5.1 Grundlagen .....                                                                                        | 27    |
| 5.2 Bemessungswert der Beanspruchbarkeit .....                                                              | 27    |
| 5.3 Beitrag des Steges .....                                                                                | 28    |
| 5.4 Beitrag der Flansche .....                                                                              | 31    |
| 5.5 Nachweis .....                                                                                          | 31    |
| 6 Beanspruchbarkeit bei Querbelaastung .....                                                                | 32    |
| 6.1 Grundlagen .....                                                                                        | 32    |
| 6.2 Bemessungswert der Beanspruchbarkeit .....                                                              | 32    |
| 6.3 Länge der starren Lasteinleitung .....                                                                  | 33    |
| 6.4 Abminderungsfaktor $\chi_F$ für die wirksame Lastausbreitungslänge .....                                | 33    |
| 6.5 Wirksame Lastausbreitungslänge .....                                                                    | 34    |
| 6.6 Nachweis .....                                                                                          | 35    |
| 7 Interaktion .....                                                                                         | 35    |

|                                                                                           |                                                                                            |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.1                                                                                       | Interaktion zwischen Schub, Biegemoment und Normalkraft .....                              | 35 |
| 7.2                                                                                       | Interaktion zwischen Querbelastrung an den Längsrändern, Biegemoment und Normalkraft.....  | 36 |
| 8                                                                                         | Flanschinduziertes Stegblechbeulen .....                                                   | 37 |
| 9                                                                                         | Steifen und Detailausbildung.....                                                          | 37 |
| 9.1                                                                                       | Allgemeines .....                                                                          | 37 |
| 9.2                                                                                       | Wirkung von Längsspannungen .....                                                          | 38 |
| 9.2.1                                                                                     | Minimale Anforderungen an Quersteifen.....                                                 | 38 |
| 9.2.2                                                                                     | Minimale Anforderungen an Längssteifen.....                                                | 40 |
| 9.2.3                                                                                     | Geschweißte Blechstöße.....                                                                | 40 |
| 9.2.4                                                                                     | Steifenausschnitte .....                                                                   | 41 |
| 9.3                                                                                       | Wirkung von Schubspannungen .....                                                          | 42 |
| 9.3.1                                                                                     | Starre Auflagersteifen.....                                                                | 42 |
| 9.3.2                                                                                     | Verformbare Auflagersteifen .....                                                          | 43 |
| 9.3.3                                                                                     | Zwischenliegende Quersteifen .....                                                         | 43 |
| 9.3.4                                                                                     | Längssteifen.....                                                                          | 44 |
| 9.3.5                                                                                     | Schweißnähte .....                                                                         | 44 |
| 9.4                                                                                       | Wirkung von Querlasten.....                                                                | 44 |
| 10                                                                                        | Methode der reduzierten Spannungen.....                                                    | 44 |
| Anhang A (informativ) Berechnung kritischer Spannungen für ausgesteifte Blechfelder ..... |                                                                                            | 48 |
| A.1                                                                                       | Äquivalente orthotrope Platten.....                                                        | 48 |
| A.2                                                                                       | Kritische Beulspannung bei Blechfeldern mit einer oder zwei Steifen in der Druckzone ..... | 51 |
| A.2.1                                                                                     | Allgemeine Vorgehensweise .....                                                            | 51 |
| A.2.2                                                                                     | Vereinfachtes Modell für einen Ersatzstab mit elastischer Bettung durch ein Blech .....    | 52 |
| A.3                                                                                       | Schubbeulwerte für ausgesteifte Blechfelder .....                                          | 53 |
| Anhang B (informativ) Bauteile mit veränderlichem Querschnitt .....                       |                                                                                            | 55 |
| B.1                                                                                       | Allgemeines .....                                                                          | 55 |
| B.2                                                                                       | Interaktion von Plattenbeulen und Biegedrillknicken von Bauteilen .....                    | 56 |
| Anhang C (informativ) Berechnungen mit der Finite-Element-Methode (FEM) .....             |                                                                                            | 57 |
| C.1                                                                                       | Allgemeines .....                                                                          | 57 |
| C.2                                                                                       | Anwendung.....                                                                             | 57 |
| C.3                                                                                       | Modellierung.....                                                                          | 58 |
| C.4                                                                                       | Wahl des Programms und Dokumentation.....                                                  | 58 |
| C.5                                                                                       | Ansatz von Imperfektionen .....                                                            | 58 |
| C.6                                                                                       | Werkstoffeigenschaften .....                                                               | 61 |
| C.7                                                                                       | Belastungen .....                                                                          | 62 |
| C.8                                                                                       | Kriterien für den Grenzzustand .....                                                       | 62 |
| C.9                                                                                       | Teilsicherheitsbeiwerte.....                                                               | 63 |
| Anhang D (informativ) Bauteile mit profilierten Stegblechen .....                         |                                                                                            | 64 |
| D.1                                                                                       | Allgemeines .....                                                                          | 64 |
| D.2                                                                                       | Grenzzustand der Tragfähigkeit.....                                                        | 64 |
| D.2.1                                                                                     | Momententragfähigkeit .....                                                                | 64 |
| D.2.2                                                                                     | Schubtragfähigkeit.....                                                                    | 66 |
| D.2.3                                                                                     | Anforderungen an Endsteifen.....                                                           | 67 |
| Anhang E (normativ) Alternative Methoden zur Bestimmung wirksamer Querschnitte.....       |                                                                                            | 68 |
| E.1                                                                                       | Wirksame Querschnittsflächen für Spannungen unterhalb der Streckgrenze .....               | 68 |
| E.2                                                                                       | Wirksame Querschnittsflächen für die Steifigkeit.....                                      | 68 |

## Vorwort

Dieses Dokument (EN 1993-1-5:2006) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Structural Eurocodes“ 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 1993-1-5:1997.

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 zu EN 1993-1-5

Diese Norm enthält alternative Vorgehensweisen, Zahlenwerte sowie Empfehlungen. Durch besonderen Hinweis (Anmerkungen) sind die Stellen gekennzeichnet, bei denen eine nationale Auswahl getroffen werden darf. EN 1993-1-5 enthält bei der nationalen Einführung einen nationalen Anhang. Dieser Anhang legt die nationalen Parameter fest, die für die Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten verwendet werden müssen.

Eine nationale Wahl darf für folgende Abschnitte erfolgen:

- |            |            |
|------------|------------|
| — 2.2(5)   | — 10(1)    |
| — 3.3(1)   | — 10(5)    |
| — 4.3(6)   | — C.2(1)   |
| — 5.1(2)   | — C.5(2)   |
| — 6.4(2)   | — C.8(1)   |
| — 8(2)     | — C.9(3)   |
| — 9.1(1)   | — D.2.2(2) |
| — 9.2.1(9) |            |

## Europäisches Vorwort der Änderung 1

Dieses Dokument (EN 1993-1-5:2006/A1:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis April 2018, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis April 2018 zurückgezogen werden.

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

Dieses Dokument wurde unter einem Normungsauftrag erarbeitet, den die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben.

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

## 1 Allgemeines

### 1.1 Anwendungsbereich

(1) EN 1993-1-5 enthält Regelungen für den Entwurf und die Berechnung von aus ebenen Blechen zusammengesetzten und in ihrer Ebene belasteten Bauteilen mit oder ohne Steifen.

(2) Diese Regelungen gelten für Blechträger mit I-Querschnitt und Kastenträger, bei denen ungleichmäßige Spannungsverteilungen infolge Schubverzerrungen sowie Beulen unter Längsspannungen, Schubspannungen und Querlasten auftreten. Sie gelten auch für ebene Bleche aller anderen Bauteile, z. B. von Tankbauwerken und Silos, soweit Lasten und Beanspruchungen in der Ebene der Bauteile wirken. Die Wirkungen von Lasten quer zur Bauteilebene werden in EN 1993-1-5 nicht behandelt.

ANMERKUNG 1 Die Regelungen in EN 1993-1-5 ergänzen die Regelungen für Querschnitte der Querschnittsklassen 1, 2, 3 und 4, siehe EN 1993-1-1.

ANMERKUNG 2 Regelungen zu schlanken Platten mit wechselnden Längsspannungen und/oder Schubspannungen, die zu Ermüdung durch wechselnde Biegung aus der Plattenebene (Blechatmen) führen können, sind in EN 1993-2 und EN 1993-6 angegeben.

ANMERKUNG 3 Regelungen zur Wirkung von Lasten quer zur Plattenebene und zur Kombination von Lastwirkungen in der Ebene und aus der Ebene sind EN 1993-2 und EN 1993-1-7 zu entnehmen.

ANMERKUNG 4 Einzelne Blechfelder dürfen als eben angesehen werden, wenn für den Krümmungsradius  $r$  gilt:

$$r \geq \frac{a^2}{t} \quad (1.1)$$

Dabei ist

$a$  die Blechfeldbreite;

$t$  die Blechdicke.

### 1.2 Normative Verweisungen

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

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

### 1.3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

#### 1.3.1

##### **kritische elastische Spannung**

Spannung in einem Bauteil oder Beulfeld, bei dem das Gleichgewicht im Bauteil oder im Beulfeld nach den Ergebnissen der elastischen Theorie für perfekte Strukturen und kleine Verformungen instabil wird

### 1.3.2

#### **Membranspannungen**

Spannungen in der Mittelebene der Platte oder des Blechs

### 1.3.3

#### **Bruttoquerschnitt**

die gesamte Querschnittsfläche eines Bauteils ohne Berücksichtigung nicht durchlaufender Längssteifen, Bindebleche oder Bleche für die Stoßdeckung

### 1.3.4

#### **effektiver Querschnitt und effektive Breite**

Bruttoquerschnitt oder Bruttoquerschnittsbreite, reduziert infolge gemeinsamer Wirkung von Plattenbeulen und Schubverzerrung; der Begriff „effektiv“ wird wie folgt unterschieden:

„wirksam (effektiv<sup>P</sup>)“ bezeichnet die Wirkung von Plattenbeulen;

„mittragend (effektiv<sup>S</sup>)“ bezeichnet die Wirkung der ungleichförmigen Spannungsverteilung aus Schubverzerrung;

„effektiv“ bezeichnet die Verbindung von wirksamem Querschnitt und mittragendem Querschnitt

### 1.3.5

#### **Blechträger**

Bauteil, das aus ebenen Blechen (ebenen Flachstählen oder Blechen) zusammengesetzt ist; die ebenen Bleche können ausgesteift oder nicht ausgesteift sein

### 1.3.6

#### **Steifen**

Flachstäbe oder Profilstäbe, die an ein Blech angeschlossen werden, um Beulen zu verhindern oder um Lasteinleitungen auszusteifen; Steifen werden bezeichnet als:

- Längssteifen, wenn sie parallel zur Bauteilachse laufen;
- Quersteifen, wenn sie quer zur Bauteilachse laufen.

### 1.3.7

#### **ausgesteiftes Beulfeld (Gesamtfeld, Blech)**

Beulfeld (Gesamtfeld, Blech) mit Quer- und/oder Längssteifen

### 1.3.8

#### **Einzelfeld**

von Quer- und /oder Längssteifen oder Flansche umrandetes, nicht weiter ausgesteiftes Blech

### 1.3.9

#### **Hybridträger**

Blechträger mit unterschiedlichen Stahlarten für Gurte und Stege; für die hier angegebenen Regelungen wird eine höhere Stahlart der Gurte im Vergleich zu den Stegen angenommen

### 1.3.10

#### **Vorzeichenregelung**

solange nicht anders angegeben, sind Druckkräfte bzw. Druckspannungen positiv definiert

## 1.4 Formelzeichen

(1) In Ergänzung zu den Formelzeichen in EN 1990 und EN 1993-1-1 werden folgende Formelzeichen benutzt:

|                 |                                                                                                                                                                 |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_{s\ell}$     | die gesamte Fläche aller Längssteifen in einer ausgesteiften Platte;                                                                                            |
| $A_{st}$        | die Bruttoquerschnittsfläche einer Quersteife;                                                                                                                  |
| $A_{eff}$       | effektive Querschnittsfläche;                                                                                                                                   |
| $A_{c,eff}$     | wirksame Querschnittsfläche;                                                                                                                                    |
| $A_{c,eff,loc}$ | wirksame Querschnittsfläche infolge lokalen Plattenbeulens;                                                                                                     |
| $a$             | Länge des ausgesteiften oder nicht ausgesteiften Beulfeldes;                                                                                                    |
| $b$             | Breite des ausgesteiften oder nicht ausgesteiften Beulfeldes;                                                                                                   |
| $b_w$           | lichter Abstand zwischen Schweißnähten $\boxed{AC}$ bei geschweißten Abschnitten oder zwischen den Enden der Radien gewalzter Abschnitte $\langle AC \rangle$ ; |
| $b_{eff}$       | mittragende Breite zur Berücksichtigung der elastischen Schubverzerrung;                                                                                        |
| $F_{Ed}$        | Bemessungswert der einwirkenden Querlast;                                                                                                                       |
| $h_w$           | lichte Steghöhe zwischen den Flanschen;                                                                                                                         |
| $L_{eff}$       | wirksame Lastausbreitungslänge von Querlasten unter Berücksichtigung des Beulens, siehe Abschnitt 6;                                                            |
| $M_{f,Rd}$      | Bemessungswert der plastischen Momententragfähigkeit, wenn nur die Flanschen rechnerisch angesetzt werden;                                                      |
| $M_{pl,Rd}$     | Bemessungswert der plastischen Momententragfähigkeit (unabhängig von der Querschnittsklassifizierung);                                                          |
| $M_{Ed}$        | Bemessungswert des einwirkenden Biegemomentes;                                                                                                                  |
| $N_{Ed}$        | Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft;                                                                                                                    |
| $t$             | Blechdicke;                                                                                                                                                     |
| $V_{Ed}$        | Bemessungswert der einwirkenden Schubkraft aus Querkraft und Torsion;                                                                                           |
| $W_{eff}$       | effektives elastisches Widerstandsmoment;                                                                                                                       |
| $\beta$         | Abminderungsfaktor für die mittragende Breite zur Berücksichtigung der elastischen Schubverzerrung.                                                             |

(2) Weitere Formelzeichen sind im Text definiert.

## 2 Grundlagen für die Tragwerksplanung und Verfahren

### 2.1 Allgemeines

(1)P Mittragenden Breiten und die Auswirkungen von Plattenbeulen müssen berücksichtigt werden, wenn dadurch der Grenzzustand der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit oder Ermüdung wesentlich beeinflusst wird.

ANMERKUNG Die in dieser Norm zu verwendenden Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{M0}$  und  $\gamma_{M1}$  sind für die verschiedenen Anwendungsbereiche in den nationalen Anhängen von EN 1993-1 bis EN 1993-6 angegeben.

### 2.2 Effektive Breiten bei der Tragwerksberechnung

(1)P Die Auswirkung der ungleichförmigen Spannungsverteilung aus Schubverzerrung und des Plattenbeulens auf die Steifigkeit der Bauteile und Verbindungen muss berücksichtigt werden, wenn sie die Tragwerksberechnung wesentlich beeinflusst.

(2) Die Auswirkung der ungleichförmigen Spannungsverteilung aus Schubverzerrung darf bei elastischer Tragwerksberechnung durch eine mittragende Breite berücksichtigt werden, die als über die gesamte Spannweite konstant angenommen werden darf.

(3) Bei Durchlaufträgern ist in der Regel in jedem Feld als mittragende Breite auf jeder Stegseite das Minimum aus der vollen geometrischen mittragenden Breite und  $L/8$  anzusetzen, wobei  $L$  die Spannweite oder bei Kragarmen die doppelte Kragarmlänge ist.

(4) Die Auswirkung des Plattenbeulens darf bei der elastischen Tragwerksberechnung durch die wirksame Fläche der unter Druckbeanspruchung stehenden Querschnittsteile berücksichtigt werden, siehe 4.3.

(5) Die Auswirkung des Plattenbeulens darf bei der statischen Tragwerksberechnung vernachlässigt werden, wenn die wirksame Fläche eines unter Druckbeanspruchung stehenden Querschnittsteiles größer als die zugehörige  $\rho_{lim}$ -fache Bruttoquerschnittsfläche ist.

ANMERKUNG 1 Der Grenzwert  $\rho_{lim}$  kann im nationalen Anhang angegeben sein. Der Wert  $\rho_{lim} = 0,5$  wird empfohlen.

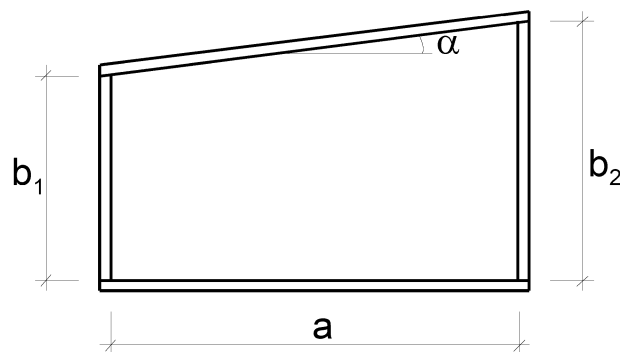
ANMERKUNG 2 Hinweise zur Bestimmung der Steifigkeit für den Fall, dass (5) nicht eingehalten ist, sind in Anhang E angegeben.

### 2.3 Einfluss des Plattenbeulens auf die Tragfähigkeit gleichförmiger Bauteile

(1) Die Verfahren mit wirksamen Breiten bei Längsspannungen, die Verfahren zur Ermittlung der Tragfähigkeit bei Schubbeulen und bei Beulen infolge Querlasten auf den Längsrändern sowie die Interaktionsformeln zur Bestimmung der Beanspruchbarkeit im Grenzzustand der Tragfähigkeit beim Zusammenwirken dieser Effekte gelten für die folgenden Bedingungen:

- die Plattenfelder sind rechteckig und die Flansche verlaufen parallel;
- der Durchmesser nicht ausgesteifter Löcher oder Ausschnitte ist kleiner als  $0,05 b$ , wobei  $b$  die Beulfeldbreite ist.

ANMERKUNG Die Regeln dürfen auch für nicht rechteckige Beulfelder angewendet werden, wenn für den Winkel  $\alpha_{limit}$  (siehe Bild 2.1) gilt:  $\alpha_{limit} \leq 10^\circ$ . Ist  $\alpha_{limit} > 10^\circ$ , so darf das Beulfeld unter Ansatz eines rechteckigen Ersatzbeulfeldes mit der größeren der beiden Abmessungen  $b_1$  und  $b_2$  des vorhandenen Beulfeldes nachgewiesen werden.

Bild 2.1 — Definition des Winkels  $\alpha$ 

(2) Für die Berechnung von Spannungen für Gebrauchstauglichkeitsnachweise oder von Spannungsschwingbreiten für Ermüdungsnachweise darf die mittragende Querschnittsfläche verwendet werden, wenn die Bedingungen in [AC](#) 2.2(5) [AC](#) erfüllt sind. Für die Berechnung von Spannungen für Tragfähigkeitsnachweise ist in der Regel die effektive Querschnittsfläche nach 3.3 zu verwenden, wobei  $\beta$  durch  $\beta_{ult}$  ersetzt wird.

## 2.4 Methode der reduzierten Spannungen

(1) Als Alternative zu dem Verfahren mit wirksamen Breiten nach den Abschnitten 4 bis 7 dürfen die Querschnitte auch der Querschnittsklasse 3 zugeordnet werden, wenn die Längsspannungen für jedes Blechfeld bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten. Diese Grenzwerte sind in Abschnitt 10 angegeben.

**ANMERKUNG** Für Einzelbleche entspricht die Methode der reduzierten Spannungen der Methode mit wirksamen Breiten (siehe 2.3). Es ist zu beachten, dass bei der Methode der reduzierten Spannungen Lastumlagerungen zwischen den Einzelblechen eines Bauteils nicht berücksichtigt werden.

## 2.5 Bauteile mit veränderlichem Querschnitt

(1) Bei Bauteilen mit veränderlichen Querschnitten (z. B. Bauteile mit nicht parallelen Gurten oder Blechfelder ohne Rechteckberandung) oder Bauteilen mit regelmäßigen oder unregelmäßigen großen Ausschnitten dürfen Verfahren auf der Grundlage von Finite-Elemente-Berechnungen angewendet werden.

**ANMERKUNG 1** Hinweise zu nicht gleichförmigen Bauteilen können Anhang B entnommen werden.

**ANMERKUNG 2** Anhang C gibt Hinweise zu FE-Berechnungen.

## 2.6 Bauteile mit profilierten Stegblechen

(1) Bei der Berechnung von Bauteilen mit profilierten Stegblechen ist in der Regel anzunehmen, dass die Biegesteifigkeit allein aus den Flanschen herrührt und die profilierten Stege nur Schubkräfte und Querlasten aus den Längsrändern übernehmen.

**ANMERKUNG** Anhang D gibt Hinweise zum Beulen der Druckflansche und zur Schubtragfähigkeit der Stegbleche.

### 3 Berücksichtigung der Schubverzerrungen bei der Bemessung von Bauteilen

#### 3.1 Allgemeines

(1) In Gurten darf der Einfluss der Schubverzerrungen vernachlässigt werden, wenn die Bedingung  $b_0 < L_e/50$  erfüllt ist. Für einseitig gestützte Flanschteile entspricht die Flanschbreite  $b_0$  der vorhandenen Flanschbreite, bei zweiseitig gestützten Flanschteilen ist  $b_0$  gleich der Hälfte der vorhandenen Flanschbreite. Die Länge  $L_e$  ergibt sich aus dem Abstand der Momentennullpunkte, siehe 3.2.1(2).

(2) Wird die in (1) angegebene Bedingung nicht erfüllt, sind in der Regel bei den Nachweisen sowohl im Gebrauchstauglichkeitszustand als auch bei den Nachweisen für die Werkstoffermüdung die Einflüsse der Schubverzerrungen auf das Tragverhalten der Gurte zu berücksichtigen. Hierzu wird die mittragende Breite nach 3.2.1 bestimmt und die Spannungsverteilung nach 3.2.2 angenommen. Für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit dürfen effektive Breiten nach 3.3 eingesetzt werden.

(3) Elastische Spannungen sind in der Regel nach 3.2.3 zu ermitteln, wenn diese aus einer in Blechebene wirkenden lokalen Lasteinleitung resultieren, wobei die Lasteinleitung über den Gurt in den Steg erfolgt.

#### 3.2 Mittragende Breiten zur Berücksichtigung der Schubverzerrungen bei elastischem Werkstoffverhalten

##### 3.2.1 Mittragende Breiten

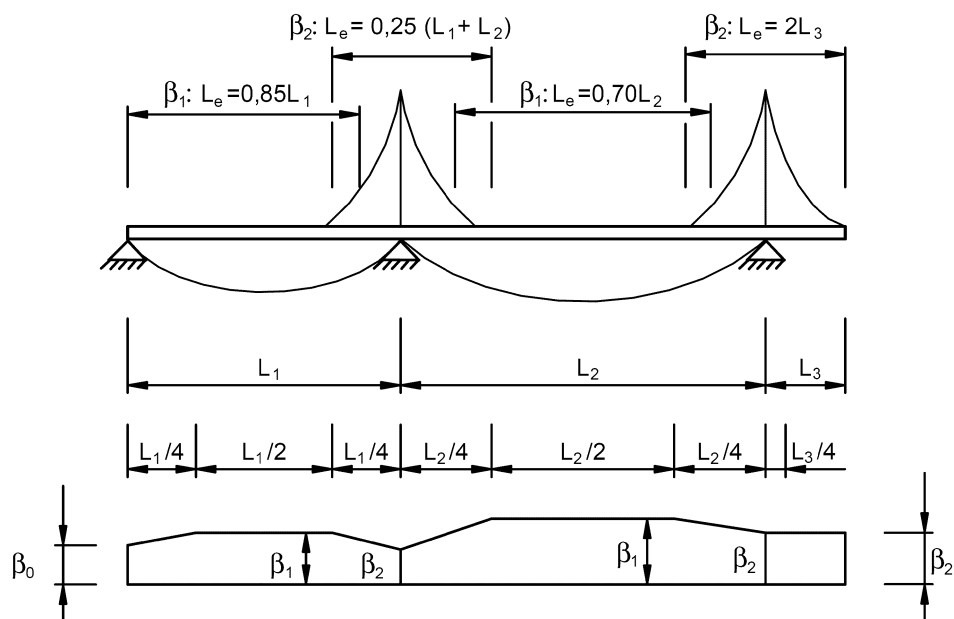
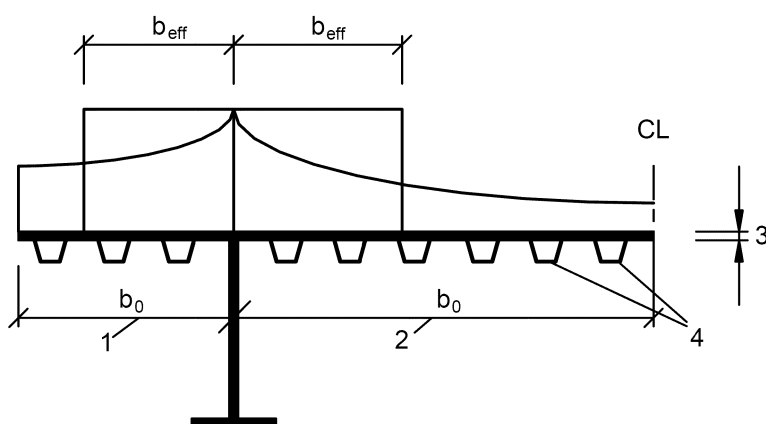
(1) Zur Berücksichtigung elastischer Schubverzerrungen ist die mittragende Breite  $b_{\text{eff}}$  in der Regel wie folgt zu ermitteln:

$$b_{\text{eff}} = \beta b_0 \quad (3.1)$$

Der Faktor  $\beta$  ist Tabelle 3.1 zu entnehmen.

Diese mittragende Breite darf bei den Nachweisen sowohl im Gebrauchstauglichkeitszustand als auch bei den Nachweisen für die Werkstoffermüdung verwendet werden.

(2) Unterscheiden sich angrenzende Feldweiten um nicht mehr als 50 % bzw. sind die Kragarme nicht länger als 50 % der angrenzenden Feldweite, so darf die mittragende Länge  $L_e$  nach Bild 3.1 bestimmt werden. In anderen Fällen ist in der Regel  $L_e$  als der Abstand zwischen zwei Momentennullpunkten abzuschätzen.

Bild 3.1 — Effektive Länge  $L_e$  für Durchlaufträger und Verteilung der mittragenden Breite**Legende**

- 1 einseitig gestütztes Flanschteil
- 2 zweiseitig gestütztes Flanschteil
- 3 Blechdicke  $t$
- 4 Längssteifen mit  $A_{s\ell} = \sum A_{s\ell i}$

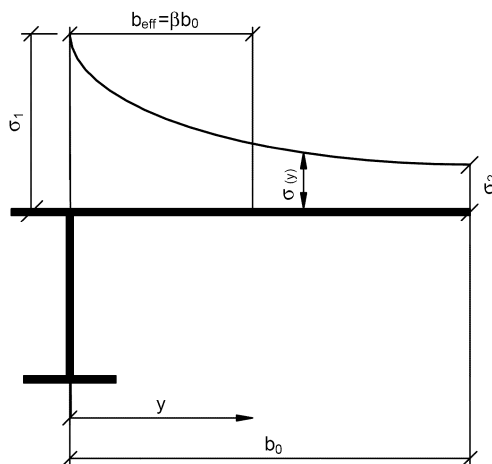
Bild 3.2 — Bezeichnungen für die mittragende Breite

**Tabelle 3.1 — Abminderungsfaktor  $\beta$  für die mittragende Breite**

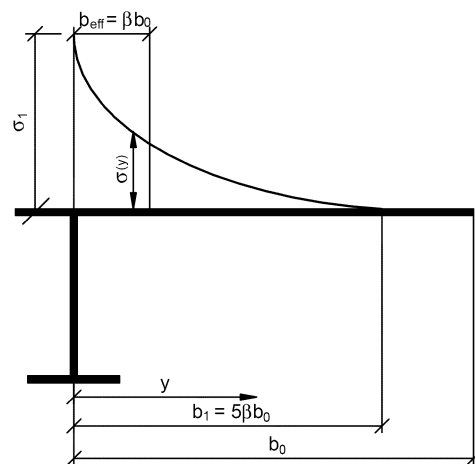
| $\kappa$                                                                                                                                                                                                                                         | Nachweisort | $\beta$ -Wert                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\kappa \leq 0,02$                                                                                                                                                                                                                               |             | $\beta = 1,0$                                                                                             |
| $0,02 < \kappa \leq 0,70$                                                                                                                                                                                                                        | Feldmoment  | $\beta = \beta_1 = \frac{1}{1 + 6,4 \kappa^2}$                                                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                  | Stützmoment | $\beta = \beta_2 = \frac{1}{1 + 6,0 \left( \kappa - \frac{1}{2 \cdot 500 \kappa} \right) + 1,6 \kappa^2}$ |
| $> 0,70$                                                                                                                                                                                                                                         | Feldmoment  | $\beta = \beta_1 = \frac{1}{5,9 \kappa}$                                                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                  | Stützmoment | $\beta = \beta_2 = \frac{1}{8,6 \kappa}$                                                                  |
| alle $\kappa$                                                                                                                                                                                                                                    | Endauflager | $\beta_0 = (0,55 + 0,025/\kappa) \beta_1$ , jedoch $\beta_0 < \beta_1$                                    |
| alle $\kappa$                                                                                                                                                                                                                                    | Kragarm     | $\beta = \beta_2$ am Auflager und am Kragarmende                                                          |
| $\kappa = \alpha_0 b_0 / L_e$ mit $\alpha_0 = \sqrt{1 + \frac{A_{s\ell}}{b_0 t}}$<br>Dabei ist $A_{s\ell}$ die Querschnittsfläche aller Längssteifen innerhalb der Breite $b_0$ . Weitere Formelzeichen sind in Bild 3.1 und Bild 3.2 angegeben. |             |                                                                                                           |

### 3.2.2 Spannungsverteilung unter Berücksichtigung der Schubverzerrung

(1) Zur Berücksichtigung der Schubverzerrungen sind in der Regel die in Bild 3.3 dargestellten Verteilungen der Längsspannungen über die Platte anzusetzen.



$$\begin{aligned} \beta > 0,20: \\ \sigma_2 &= 1,25 (\beta - 0,20) \sigma_1 \\ \sigma(y) &= \sigma_2 + (\sigma_1 - \sigma_2) (1 - y/b_0)^4 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \beta \leq 0,20: \\ \sigma_2 &= 0 \\ \sigma(y) &= \sigma_1 (1 - y/b_1)^4 \end{aligned}$$

$\sigma_1$  wird mit der mittragenden Breite  $b_{\text{eff}}$  des Obergurtes ermittelt.

**Bild 3.3 — Verteilung der Längsspannungen über das Obergurtblech unter Berücksichtigung der Schubverzerrungen**

### 3.2.3 Lasteinleitung in Blechebene

(1) Die elastische Spannungsverteilung in einer nicht ausgesteiften oder ausgesteiften Platte infolge einer lokalen Lasteinleitung in der Blechebene ist in der Regel wie folgt zu ermitteln, siehe Bild 3.4:

AC

$$\sigma_{z,Ed} = \frac{F_{Ed}}{b_{eff}(t_w + a_{st,1})} \quad \text{AC} \quad (3.2)$$

mit

$$b_{eff} = s_e \sqrt{1 + \left(\frac{z}{s_e n}\right)^2}$$

$$n = 0,636 \sqrt{1 + \frac{0,878 a_{st,1}}{t_w}}$$

$$s_e = s_s + 2 t_f$$

Dabei ist

$a_{st,1}$  die Bruttoquerschnittsfläche AC der direkt belasteten Steifen dividiert durch AC die Längeneinheit der Breite  $s_e$ , AC d. h., auf der sicheren Seite, die gesamte Fläche der Steifen je Schwerpunktabstand  $s_{st}$  AC;

AC

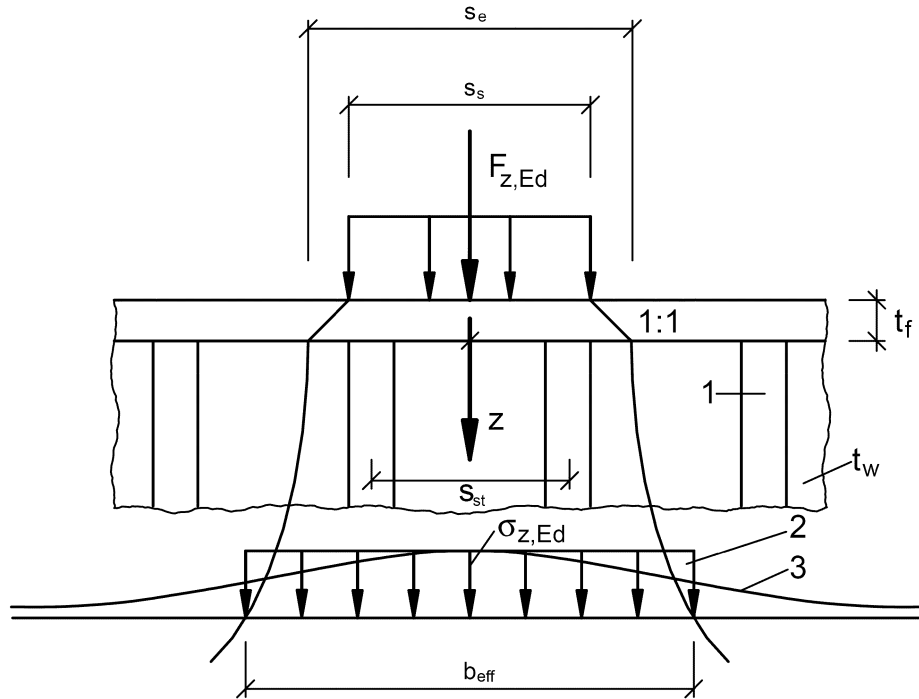
$s_e$  ist die Länge der starren Lasteinleitung;

$s_{st}$  ist der Abstand der Steifen AC;

$t_w$  die Stegblechdicke;

$z$  der Abstand zum Flansch.

ANMERKUNG Gleichung (3.2) gilt für  $s_{st}/s_e \leq 0,5$ ; anderenfalls ist in der Regel die Wirkung der Steifen zu vernachlässigen.



## Legende

- 1 Steife
- 2 vereinfachte Spannungsverteilung
- 3 tatsächliche Spannungsverteilung

### Bild 3.4 — Lasteinleitung in Blechebene

ANMERKUNG Die oben gezeigte Spannungsverteilung darf auch bei Nachweisen für die Werkstoffermüdung verwendet werden.

### 3.3 Berücksichtigung der Schubverzerrungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

- (1) Im Grenzzustand der Tragfähigkeit dürfen die Schubverzerrungen wie folgt berücksichtigt werden:
  - a) wie elastische Schubverzerrungen entsprechend den Nachweisen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und den Nachweisen für die Werkstoffermüdung;
  - b) für die gleichzeitige Wirkung von Schubverzerrungen und Plattenbeulen;
  - c) für die elastisch-plastische Wirkung von Schubverzerrungen unter Berücksichtigung der Begrenzung plastischer Dehnungen.

**ANMERKUNG 1** Die zu verwendende Vorgehensweise darf im nationalen Anhang festgelegt werden. Solange nicht in EN 1993-2 bis EN 1993-6 anders festgelegt, wird die Anwendung der in ANMERKUNG 3 angegebenen Vorgehensweise empfohlen.

ANMERKUNG 2 Die gleichzeitige Wirkung von Plattenbeulen und Schubverzerrungen darf mittels der effektiven Querschnittsfläche  $A_{\text{eff}}$  wie folgt berücksichtigt werden:

$$A_{\text{eff}} = A_{\text{c,eff}} \beta_{\text{ult}} \quad (3.3)$$

Dabei ist

$A_{c,eff}$  die wirksame Querschnittsfläche eines Druckgurtes unter Berücksichtigung von Plattenbeulen nach 4.4 und 4.5;

$\beta_{ult}$  der Abminderungsfaktor für die mittragende Breite zur Berücksichtigung der Schubverzerrungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit.  $\beta_{ult}$  darf mit  $\beta$  nach Tabelle 3.1 angesetzt werden, jedoch unter Verwendung von

$$\alpha_0^* = \sqrt{\frac{A_{c,eff}}{b_0 t_f}} \quad (3.4)$$

$t_f$  die Gurtblechdicke.

ANMERKUNG 3 Die elastisch-plastische Wirkung von Schubverzerrungen unter Berücksichtigung der Begrenzung plastischer Dehnungen darf mittels der effektiven Querschnittsfläche  $A_{eff}$  wie folgt berücksichtigt werden:

$$A_{eff} = A_{c,eff} \beta^\kappa \geq A_{c,eff} \beta \quad (3.5)$$

mit  $\beta$  und  $\kappa$  nach Tabelle 3.1.

Die Gleichungen in ANMERKUNG 2 und ANMERKUNG 3 dürfen auch für Gurte unter Zugbeanspruchung angesetzt werden; hierbei ist  $A_{c,eff}$  in der Regel durch die Bruttoquerschnittsfläche des Zuggurtes zu ersetzen.

## 4 Plattenbeulen bei Längsspannungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

### 4.1 Allgemeines

(1) Dieser Abschnitt gilt für Beulnachweise von Beulfeldern mit Längsdruckspannungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit, wenn die folgenden Bedingungen zutreffen:

- a) die Beulfelder sind rechteckig und die Flansche näherungsweise parallel (siehe 2.3);
- b) soweit Steifen vorhanden sind, verlaufen diese in Längs- und/oder Querrichtung;
- c) Löcher oder Ausschnitte sind klein (siehe 2.3);
- d) die Bauteile sind gleichförmig;
- e) flanschinduziertes Stegblechbeulen ist ausgeschlossen.

ANMERKUNG 1 Anforderungen zur Vermeidung des Einbeulens von Druckflanschen in den Steg sind in Abschnitt 8 angegeben.

ANMERKUNG 2 Anforderungen an Steifen sowie Hinweise zur Detailausbildung sind in Abschnitt 9 angegeben.

### 4.2 Beanspruchbarkeit bei Längsspannungen

(1) Die Beanspruchbarkeit von Blechträgern mit Längsspannungen darf nach dem Verfahren der wirksamen Fläche für druckbeanspruchte Blechelemente mit den Querschnittswerten für Querschnittsklasse 4 ( $A_{eff}$ ,  $I_{eff}$ ,  $W_{eff}$ ) ermittelt werden. Damit können die Querschnittsnachweise oder die Bauteilnachweise für Knicken oder Biegedrillknicken nach EN 1993-1-1 geführt werden.

(2) Die wirksamen Flächen dürfen auf der Grundlage der linearen Spannungsverteilung infolge der Anwendung der elementaren Biegetheorie ermittelt werden. Soweit nicht iterativ vorgegangen wird, sind die Spannungen in der Regel auf die Streckgrenze in der Mittelebene des Druckflansches zu begrenzen.

### 4.3 Effektive Querschnittsgrößen

(1) Bei der Berechnung der Längsspannungen sind in der Regel die Einflüsse der Schubverzerrung und des Plattenbeulens durch effektive Breiten zu berücksichtigen, siehe 3.3.

(2) Die effektiven Querschnittswerte von Bauteilen sind in der Regel aus den effektiven Flächen der druckbeanspruchten Blechelemente und den mittragenden Flächen der zugbeanspruchten Blechelemente unter Berücksichtigung ihrer Lage im Querschnitt zu ermitteln.

(3) Die wirksame Querschnittsfläche  $A_{\text{eff}}$  wird in der Regel unter der Annahme reiner Druckspannungen infolge der Druckkraft  $N_{\text{Ed}}$  berechnet. Bei unsymmetrischen Querschnitten erzeugt die Verschiebung der Schwerelinie  $e_N$  der wirksamen Querschnittsfläche  $A_{\text{eff}}$  gegenüber der Schwerelinie des Bruttoquerschnitts ein zusätzliches Moment, siehe Bild 4.1, das in der Regel beim Querschnittsnachweis nach 4.6 zu berücksichtigen ist.

(4) Das wirksame Widerstandsmoment  $W_{\text{eff}}$  ist in der Regel unter der Annahme reiner Biegelängsspannungen infolge  $M_{\text{Ed}}$  zu bestimmen, siehe Bild 4.2. Bei zweiachialer Biegung sind in der Regel die wirksamen Widerstandsmomente für beide Hauptachsen zu bestimmen.

ANMERKUNG Alternativ zu 4.3(3) und (4) dürfen die wirksamen Querschnittswerte mit der resultierenden Verteilung der Längsspannungen aus gleichzeitiger Wirkung von  $N_{\text{Ed}}$  und  $M_{\text{Ed}}$  bestimmt werden. Die Auswirkungen einer Verschiebung der Schwerelinie  $e_N$  ist in der Regel entsprechend 4.3(3) zu berücksichtigen, wobei ein iteratives Vorgehen erforderlich ist.

(5) Die Spannungen in den Flanschen sind in der Regel mit dem elastischen Widerstandsmoment, bezogen auf die Mittelebene des Gurtbleches, zu berechnen.

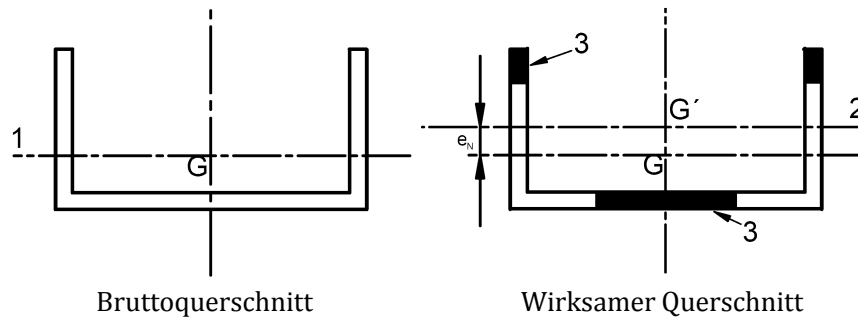
(6) Hybridträger dürfen mit Werkstoffen im Gurt mit einer Streckgrenze  $f_{yf}$  bis zu  $\varphi_h \times f_{yw}$  des Stegwerkstoffs berechnet werden, wenn gilt:

- a) die Erhöhung der Spannungen im Gurt infolge Fließens im Steg wird durch eine Begrenzung der Stegspannungen auf  $f_{yw}$  berücksichtigt;
- b) die wirksame Fläche des Steges wird mit  $f_{yf}$  AC *gestrichener Text* AC ermittelt.

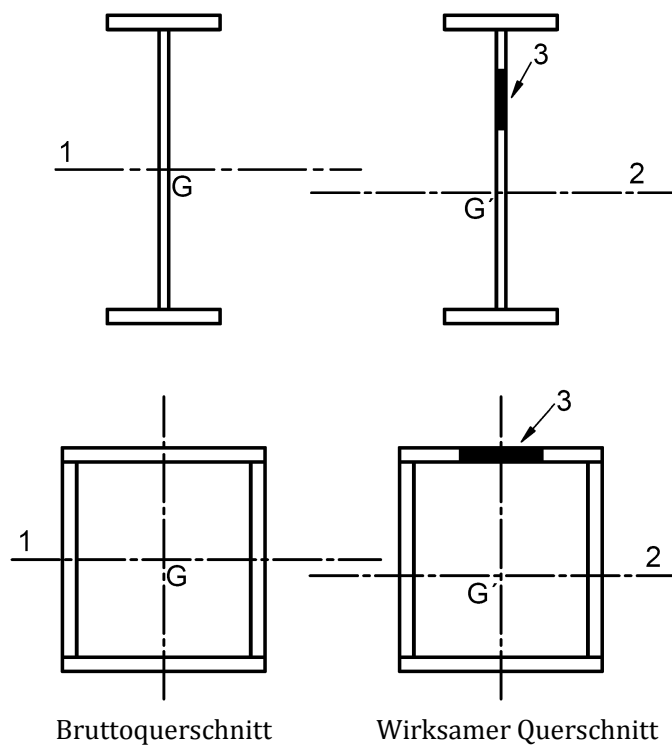
ANMERKUNG Der Wert  $\varphi_h$  darf im nationalen Anhang festgelegt werden. Der Wert  $\varphi_h = 2,0$  wird empfohlen.

(7) Die Vergrößerung der Verformungen und Spannungen infolge Hybridwirkung nach 4.3(6) unter Berücksichtigung der ANMERKUNG darf bei Gebrauchstauglichkeitsnachweisen und Ermüdungsnachweisen vernachlässigt werden.

(8) Bei Hybridträgern, die die Bedingungen in 4.3(6) erfüllen, darf für die Begrenzung des Spannungsschwingspiels in EN 1993-1-9 der Wert  $1,5 f_{yf}$  zugrunde gelegt werden.

**Legende**

- G Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts
- G' Schwerpunkt des wirksamen Querschnitts
- 1 Schwerlinie des Bruttoquerschnitts
- 2 Schwerlinie des wirksamen Querschnitts
- 3 nicht wirksame Querschnittsflächen

**Bild 4.1 — Wirkung von Normalkräften bei Querschnitten der Klasse 4****Legende**

- G Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts
- G' Schwerpunkt des wirksamen Querschnitts
- 1 Schwerlinie des Bruttoquerschnitts
- 2 Schwerlinie des wirksamen Querschnitts
- 3 nicht wirksame Querschnittsflächen

**Bild 4.2 — Wirkung von Biegemomenten bei Querschnitten der Klasse 4****4.4 Einzelblechfelder ohne Längssteifen**

(1) Die wirksamen Flächen ebener druckbeanspruchter Blechfelder sind in der Regel für beidseitig gestützte Querschnittsteile der Tabelle 4.1 und für einseitig gestützte Querschnittsteile der Tabelle 4.2 zu

entnehmen. Die wirksame Fläche eines druckbeanspruchten Teils eines Blechfeldes mit der wirklichen Fläche  $A_c$  wird in der Regel wie folgt ermittelt.

$$A_{c,eff} = \rho A_c \quad (4.1)$$

Dabei ist  $\rho$  der Abminderungsfaktor für Beulen.

(2) Der Abminderungsfaktor  $\rho$  darf wie folgt ermittelt werden:

— beidseitig gestützte Querschnittsteile:

$$\begin{aligned} \rho &= 1,0 & \text{für } \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055\psi} \\ \rho &= \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 & \text{für } \bar{\lambda}_p > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055\psi} \end{aligned} \quad (4.2)$$

— einseitig gestützte Querschnittsteile:

$$\begin{aligned} \rho &= 1,0 & \text{für } \bar{\lambda}_p \leq 0,748 \\ \rho &= \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 & \text{für } \bar{\lambda}_p > 0,748 \end{aligned} \quad (4.3)$$

mit

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

$\psi$  Spannungsverhältnis nach 4.4(3) und 4.4(4);

$\bar{b}$  maßgebende Breite nach folgender Festlegung (Bezeichnungen siehe EN 1993-1-1, Tabelle 5.2);

$b_w$  für Stege;

$b$  für beidseitig gestützte Gurtelemente (außer bei rechteckigen Hohlprofilen);

$b - 3t$  für Gurte von rechteckigen Hohlprofilen;

$c$  für einseitig gestützte Gurtelemente;

$h$  für gleichschenklige Winkel;

$h$  für ungleichschenklige Winkel;

$k_\sigma$  Beulwert in Abhängigkeit vom Spannungsverhältnis  $\psi$  und den Lagerungsbedingungen; Beulwerte langer Platten sind in Tabelle 4.1 oder Tabelle 4.2 angegeben;

$t$  Blechdicke;

$\sigma_{cr}$  kritische elastische Beulspannung (siehe Gleichung (A.1) in A.1(2) und Tabelle 4.1 und Tabelle 4.2);

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

(3) Für Gurte von I-Querschnitten und Kastenträgern sind in der Regel die Spannungsverteilungen für die Anwendung der Tabelle 4.1 und Tabelle 4.2 mit Bruttoquerschnittswerten zu bestimmen, wobei auf eine mögliche Reduzierung der Bruttoquerschnittswerte durch mittragende Breiten zu achten ist. Für Stegelemente ist in der Regel das Spannungsverhältnis  $\psi$  für die Tabelle 4.1 mit der Spannungsverteilung zu ermitteln, die sich aus der wirksamen Breite der Druckflansche und dem Bruttoquerschnitt des Steges ergibt.

**ANMERKUNG** Sind Spannungsverteilungen für verschiedene Montagezustände (z. B. bei Verbundbrücken) zu berücksichtigen, so dürfen im ersten Schritt die Spannungsverteilungen für einen Querschnitt berechnet werden, der sich aus den effektiven Gurtflächen und den Bruttoquerschnitten der Stege zusammensetzt. Mit der hieraus resultierenden Spannungsverteilung darf die wirksame Querschnittsfläche der Stege bestimmt werden; diese wirksame Querschnittsfläche der Stege darf für alle Montagezustände zur Bestimmung der endgültigen Spannungsverteilung verwendet werden.

(4) Mit der Einschränkung in 4.4(5) darf der Beulschlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_p$  eines Blechfeldes ersetzt werden durch:

$$\bar{\lambda}_{p,\text{red}} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{\text{com,Ed}}}{f_y/\gamma_{M0}}} \quad (4.4)$$

Dabei ist

$\sigma_{\text{com,Ed}}$  der größte Bemessungswert der einwirkenden Druckbeanspruchung in dem Blechfeld unter Berücksichtigung aller einwirkenden Lasten.

**ANMERKUNG 1** Dieses Vorgehen erfordert im Allgemeinen eine iterative Berechnung, in der das Spannungsverhältnis  $\psi$  (siehe Tabelle 4.1 und Tabelle 4.2) in jedem Schritt neu aus der Spannungsverteilung mit dem wirksamen Querschnitt des vorherigen Iterationsschritts ermittelt wird.

**ANMERKUNG 2** Eine alternative Vorgehensweise ist in Anhang E angegeben.

(5) Beim Knicknachweis von Bauteilen der Querschnittsklasse 4 nach EN 1993-1-1, 6.3.1, 6.3.2 oder 6.3.4 ist in der Regel entweder der Beulschlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_p$  oder  $\bar{\lambda}_{p,\text{red}}$  mit  $\sigma_{\text{com,Ed}}$  anzuwenden, wobei  $\sigma_{\text{com,Ed}}$  nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung globaler Imperfektionen ermittelt wird.

(6) Bei Beulfeldabmessungen, bei denen knickstabähnliches Verhalten auftreten kann (z. B. für  $a/b < 1$ ), ist der Nachweis in der Regel nach 4.5.4 unter Verwendung der Abminderungsfaktoren  $\rho_c$  zu führen.

**ANMERKUNG** Dies betrifft z. B. schmale Einzelfelder zwischen Quersteifen, bei denen das Plattenbeulen knickstabähnlich ist und einen Abminderungsfaktor  $\rho_c$  in der Größenordnung des Abminderungsfaktors  $\chi_c$  für Stabknicken erfordert, siehe Bild 4.3 a) und b). Bei längs ausgesteiften Blechfeldern mit  $a/b \geq 1$  kann ebenfalls knickstabähnliches Verhalten auftreten, siehe Bild 4.3 c).