

DIN EN 1993-1-5

ICS 91.010.30; 91.080.13

Ersatz für
DIN EN 1993-1-5:2017-07

**Eurocode 3 –
Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile;
Deutsche Fassung EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017 + A2:2019**

Eurocode 3 –
Design of steel structures –
Part 1-5: Plated structural elements;
German version EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017 + A2:2019

Eurocode 3 –
Calcul des structures en acier –
Partie 1-5: Plaques planes;
Version allemande EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017 + A2:2019

Gesamtumfang 72 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 + A1:2017 + A2:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

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

Dieses Dokument enthält die Änderung 2, angenommen von CEN am 2019-06-11.

Der Beginn und das Ende von neuem oder geändertem Text werden durch die Markierungen   angezeigt.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 1993-1-5:2017-07 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Unterabschnitt 4.5.2 geändert.

Frühere Ausgaben

DIN 1073: 1928-04, 1931-09, 1941-01, 1947-07
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: 1937-07, 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, 2017-07
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.

Diese Änderung A2 modifiziert die Europäische Norm EN 1993-1-5:2006. Sie wurde vom CEN am 11. Juni 2019 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 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, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, 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: Rue de la Science, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Nationaler Anhang zu EN 1993-1-5	4
☐ _{A1} Europäisches Vorwort der Änderung 1 ☐ _{A1}	5
☐ _{A2} Europäisches Vorwort der Änderung 2 ☐ _{A2}	6
1 Allgemeines	7
1.1 Anwendungsbereich	7
1.2 Normative Verweisungen	7
1.3 Begriffe	7
1.4 Formelzeichen	9
2 Grundlagen für die Tragwerksplanung und Verfahren	10
2.1 Allgemeines	10
2.2 Effektive Breiten bei der Tragwerksberechnung	10
2.3 Einfluss des Plattenbeulens auf die Tragfähigkeit gleichförmiger Bauteile	10
2.4 Methode der reduzierten Spannungen	11
2.5 Bauteile mit veränderlichem Querschnitt	11
2.6 Bauteile mit profilierten Stegblechen	11
3 Berücksichtigung der Schubverzerrungen bei der Bemessung von Bauteilen	12
3.1 Allgemeines	12
3.2 Mittragende Breiten zur Berücksichtigung der Schubverzerrungen bei elastischem Werkstoffverhalten	12
3.2.1 Mittragende Breiten	12
3.2.2 Spannungsverteilung unter Berücksichtigung der Schubverzerrung	14
3.2.3 Lasteinleitung in Blechebene	15
3.3 Berücksichtigung der Schubverzerrungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit	16
4 Plattenbeulen bei Längsspannungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit	17
4.1 Allgemeines	17
4.2 Beanspruchbarkeit bei Längsspannungen	18
4.3 Effektive Querschnittsgrößen	18
4.4 Einzelblechfelder ohne Längssteifen	20
4.5 Längs ausgesteifte Blechfelder	23
4.5.1 Allgemeines	23
4.5.2 Plattenartiges Verhalten	25
4.5.3 Knickstabähnliches Verhalten	25
4.5.4 Interaktion zwischen plattenartigem und knickstabähnlichem Verhalten	27
4.6 Nachweis	27
5 Schubbeulen	28
5.1 Grundlagen	28
5.2 Bemessungswert der Beanspruchbarkeit	29
5.3 Beitrag des Steges	29
5.4 Beitrag der Flansche	32
5.5 Nachweis	33
6 Beanspruchbarkeit bei Querbelastrung	33
6.1 Grundlagen	33
6.2 Bemessungswert der Beanspruchbarkeit	34
6.3 Länge der starren Lasteinleitung	34
6.4 Abminderungsfaktor χ_F für die wirksame Lastausbreitungslänge	35
6.5 Wirksame Lastausbreitungslänge	35

6.6	Nachweis.....	36
7	Interaktion.....	36
7.1	Interaktion zwischen Schub, Biegemoment und Normalkraft	36
7.2	Interaktion zwischen Querbelastrung an den Längsrändern, Biegemoment und Normalkraft.....	37
8	Flanschinduziertes Stegblechbeulen	38
9	Steifen und Detailausbildung.....	38
9.1	Allgemeines	38
9.2	Wirkung von Längsspannungen	39
9.2.1	Minimale Anforderungen an Quersteifen.....	39
9.2.2	Minimale Anforderungen an Längssteifen.....	41
9.2.3	Geschweißte Blechstöße.....	41
9.2.4	Steifenausschnitte.....	42
9.3	Wirkung von Schubspannungen	43
9.3.1	Starre Auflagersteifen.....	43
9.3.2	Verformbare Auflagersteifen.....	44
9.3.3	Zwischenliegende Quersteifen	44
9.3.4	Längssteifen.....	45
9.3.5	Schweißnähte	45
9.4	Wirkung von Querlasten.....	45
10	Methode der reduzierten Spannungen.....	45
Anhang A (informativ) Berechnung kritischer Spannungen für ausgesteifte Blechfelder		49
A.1	Äquivalente orthotrope Platten.....	49
A.2	Kritische Beulspannung bei Blechfeldern mit einer oder zwei Steifen in der Druckzone	52
A.2.1	Allgemeine Vorgehensweise	52
A.2.2	Vereinfachtes Modell für einen Ersatzstab mit elastischer Bettung durch ein Blech	54
A.3	Schubbeulwerte für ausgesteifte Blechfelder	54
Anhang B (informativ) Bauteile mit veränderlichem Querschnitt		56
B.1	Allgemeines	56
B.2	Interaktion von Plattenbeulen und Biegedrillknicken von Bauteilen	57
Anhang C (informativ) Berechnungen mit der Finite-Element-Methode (FEM)		58
C.1	Allgemeines	58
C.2	Anwendung.....	58
C.3	Modellierung.....	59
C.4	Wahl des Programms und Dokumentation.....	59
C.5	Ansatz von Imperfektionen	60
C.6	Werkstoffeigenschaften	62
C.7	Belastungen	63
C.8	Kriterien für den Grenzzustand	63
C.9	Teilsicherheitsbeiwerte.....	64
Anhang D (informativ) Bauteile mit profilierten Stegblechen		65
D.1	Allgemeines	65
D.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	66
D.2.1	Momententragfähigkeit	66
D.2.2	Schubtragfähigkeit.....	67
D.2.3	Anforderungen an Endsteifen.....	68
Anhang E (normativ) Alternative Methoden zur Bestimmung wirksamer Querschnitte.....		69
E.1	Wirksame Querschnittsflächen für Spannungen unterhalb der Streckgrenze	69
E.2	Wirksame Querschnittsflächen für die Steifigkeit.....	69

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) | |

▣^{A1} Europäisches Vorwort der Änderung 1 ▣^{A1}

▣^{A1} 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. ▣^{A1}

⌘ A2 Europäisches Vorwort der Änderung 2 ⌘ A2

⌘ A2 Dieses Dokument (EN 1993-1-5:2006/A2:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juli 2020, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis April 2021 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Mandats erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone 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. ⌘ A2

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^P)“ bezeichnet die Wirkung von Plattenbeulen;

„mittragend (effektiv^S)“ 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 Stahlsorten für Gurte und Stege; für die hier angegebenen Regelungen wird eine höhere Stahlsorte 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  bei geschweißten Abschnitten oder zwischen den Enden der Radien gewalzter Abschnitte  .
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;
β	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 γ_{M0} und γ_{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 ρ_{lim} -fache Bruttoquerschnittsfläche ist.

ANMERKUNG 1 Der Grenzwert ρ_{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 α_{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.

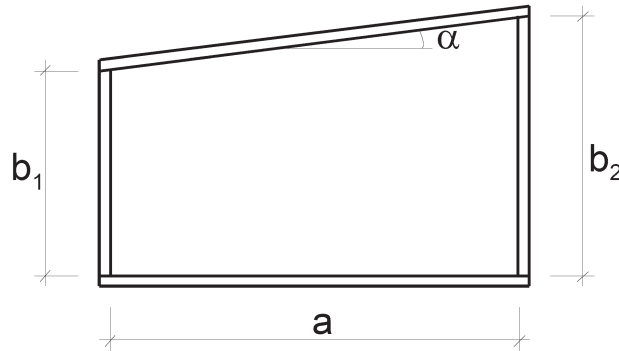


Bild 2.1 — Definition des Winkels α

(2) Für die Berechnung von Spannungen für Gebrauchstauglichkeitsnachweise oder von Spannungsschwingbreiten für Ermüdungsnachweise darf die mitttragende 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 β durch β_{ult} ersetzt wird.

2.4 Methode der reduzierten Spannungen

(1) Als Alternative zu dem Verfahren mit wirksamen Breiten nach Abschnitt 4 bis Abschnitt 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_{eff} in der Regel wie folgt zu ermitteln:

$$b_{\text{eff}} = \beta b_0 \geq \frac{a^2}{t} \quad (3.1)$$

Der Faktor β 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.

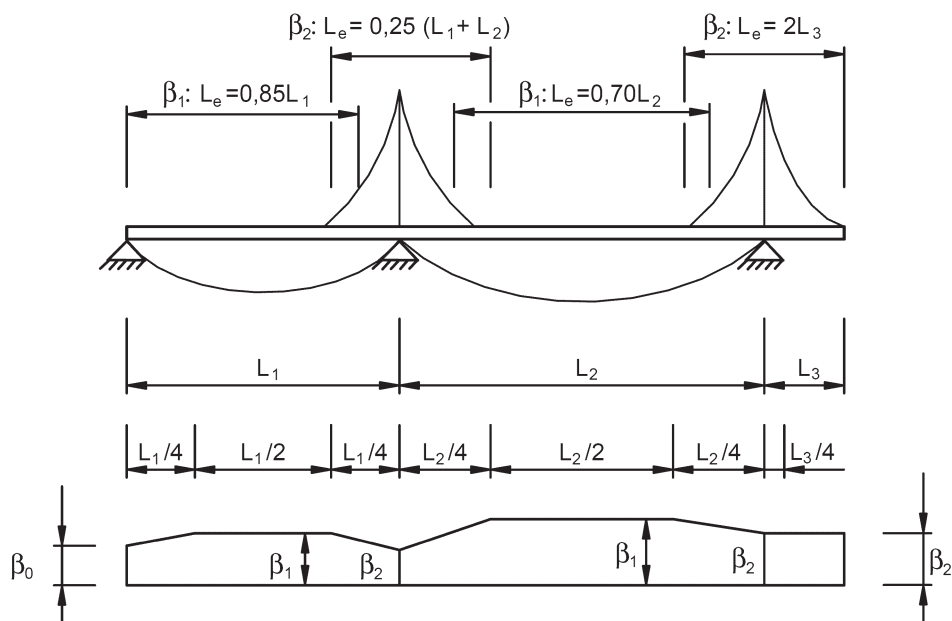
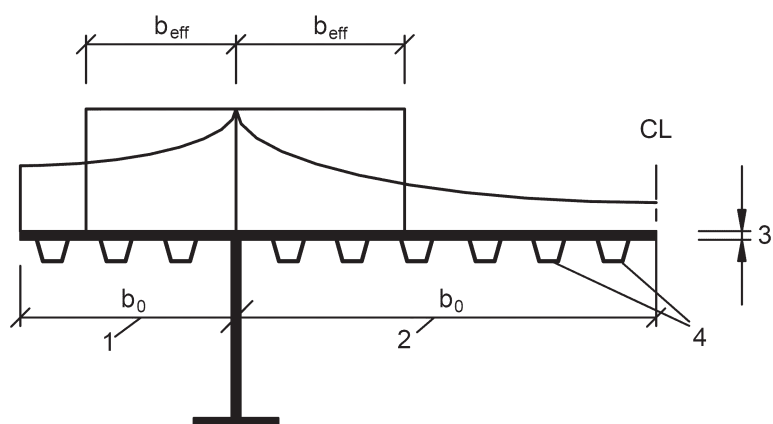


Bild 3.1 — Effektive Länge L_e für Durchlaufträger und Verteilung der mittragenden Breite



Legende

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

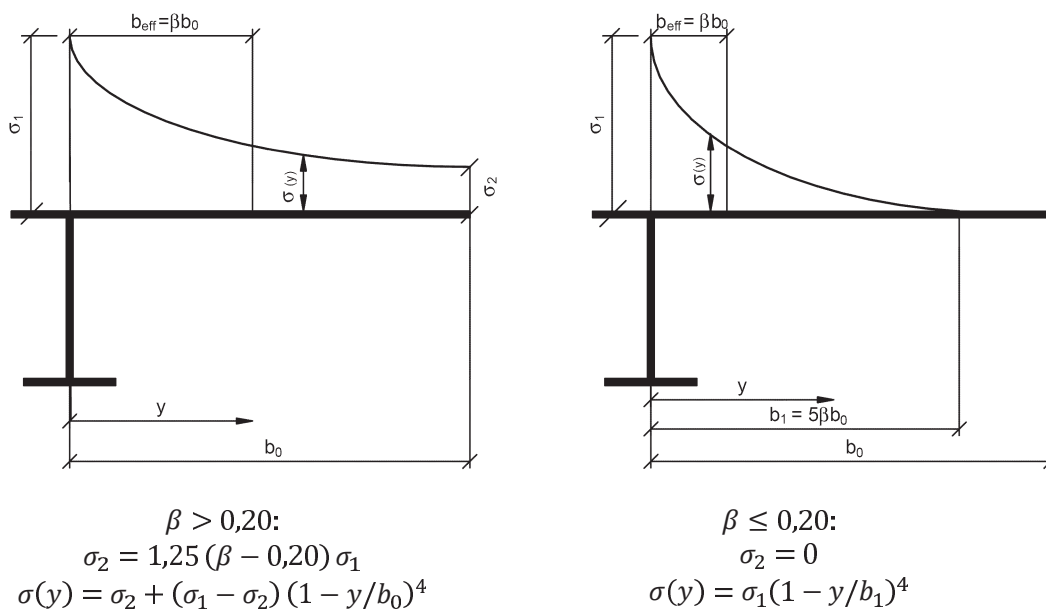
Bild 3.2 — Bezeichnungen für die mittragende Breite

Tabelle 3.1 — Abminderungsfaktor β für die mittragende Breite

κ	Nachweisort	β -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 κ	Endauflager	$\beta_0 = (0,55 + 0,025/\kappa) \beta_1$, jedoch $\beta_0 < \beta_1$
alle κ	Kragarm	$\beta = \beta_2$ am Auflager und am Kragarmende
$\kappa = \alpha_0 b_0 / L_e$ mit $\alpha_0 = \sqrt{1 + \frac{A_{s\ell}}{b_0 t}}$		
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.



σ_1 wird mit der mittragenden Breite b_{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

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

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

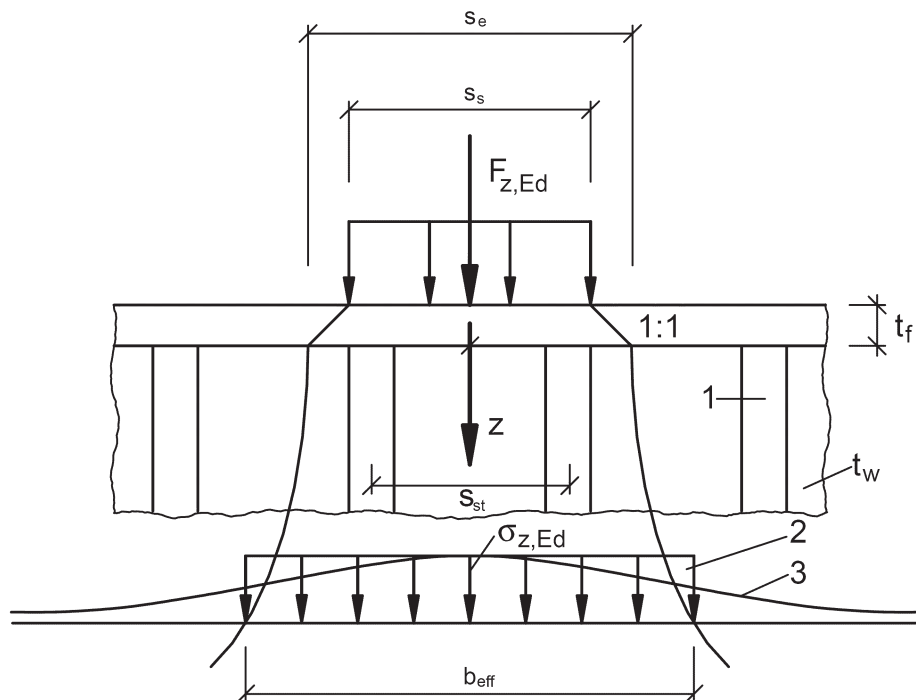
s_e ist die Länge der starren Lasteinleitung;

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_{eff} wie folgt berücksichtigt werden:

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

Dabei ist

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

β_{ult} der Abminderungsfaktor für die mittragende Breite zur Berücksichtigung der Schubverzerrungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit. β_{ult} darf mit β 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 β und κ 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_{eff} wird in der Regel unter der Annahme reiner Druckspannungen infolge der Druckkraft N_{Ed} berechnet. Bei unsymmetrischen Querschnitten erzeugt die Verschiebung der Schwerelinie e_N der wirksamen Querschnittsfläche A_{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_{eff} ist in der Regel unter der Annahme reiner Biegelängsspannungen infolge M_{Ed} zu bestimmen, siehe Bild 4.2. Bei zweiaxialer 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_{Ed} und M_{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.

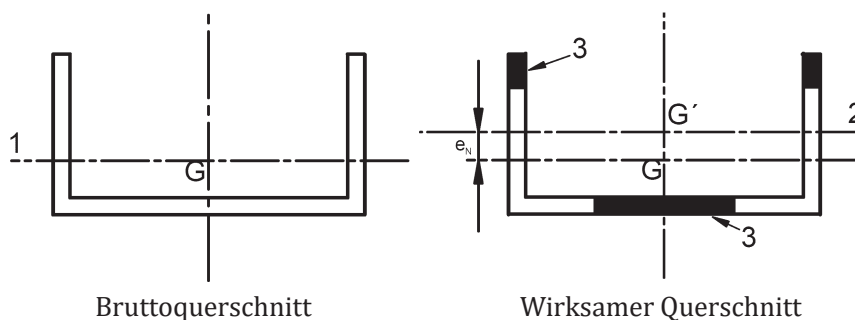
(6) Hybridträger dürfen mit Werkstoffen im Gurt mit einer Streckgrenze f_{yf} bis zu $\varphi_h \times f_{yw}$ des Stegwerkstoffs berechnet werden, wenn gilt:

- 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 φ_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.

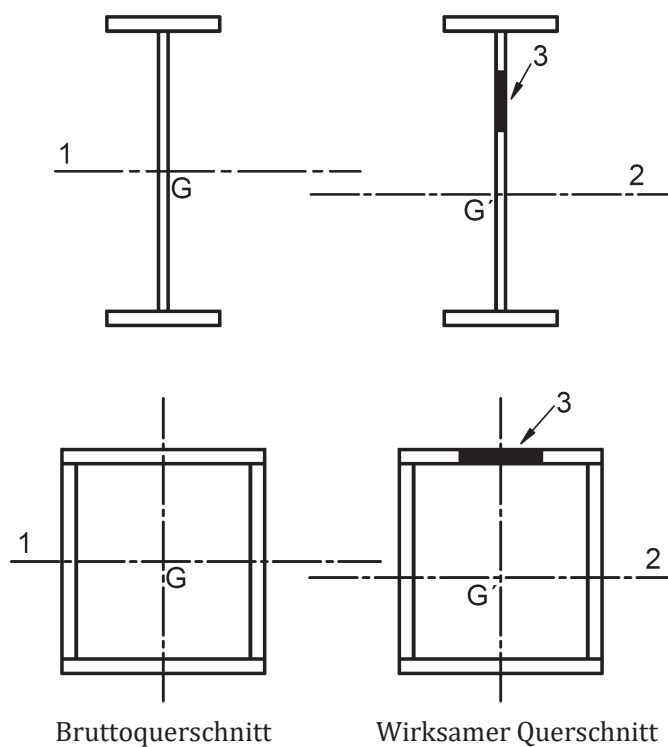
(8) Bei Hybridträgern, die die Bedingungen in 4.3(6) erfüllen, darf für die Begrenzung des Spannungsschwingspiels in EN 1993-1-9 der Wert $1,5 f_{yf}$ zugrunde gelegt werden.



Legende

- G Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts
- G' Schwerpunkt des wirksamen Querschnitts
- 1 Schwerelinie des Bruttoquerschnitts
- 2 Schwerelinie 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 Schwerelinie des Bruttoquerschnitts
- 2 Schwerelinie 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 ρ der Abminderungsfaktor für Beulen.

(2) Der Abminderungsfaktor ρ darf wie folgt ermittelt werden:

— beidseitig gestützte Querschnittsteile:

$$\rho = 1,0 \quad \text{für } \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055\psi} \quad (4.2)$$

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

— einseitig gestützte Querschnittsteile:

$$\rho = 1,0 \quad \text{für } \bar{\lambda}_p \leq 0,748$$

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

mit

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

ψ 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_σ Beulwert in Abhängigkeit vom Spannungsverhältnis ψ und den Lagerungsbedingungen; Beulwerte langer Platten sind in Tabelle 4.1 oder Tabelle 4.2 angegeben;

t Blechdicke;

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