

DIN EN 1993-1-5

ICS 91.010.30; 91.080.10

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

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

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

Ersatzvermerk

Ersatz für DIN EN 1993-1-5:2007-02;
mit DIN EN 1993-1-1:2010-12, DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-3:2010-12,
DIN EN 1993-1-3/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-5/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-8:2010-12,
DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-9:2010-12, DIN EN 1993-1-9/NA:2010-12,
DIN EN 1993-1-10:2010-12, DIN EN 1993-1-10/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-11:2010-12 und
DIN EN 1993-1-11/NA:2010-12 Ersatz für DIN 18800-1:2008-11;
mit DIN EN 1993-1-1:2010-12, DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-3:2010-12,
DIN EN 1993-1-3/NA:2010-12 und DIN EN 1993-1-5/NA:2010-12 Ersatz für DIN 18800-2:2008-11;
mit DIN EN 1993-1-3:2010-12, DIN EN 1993-1-3/NA:2010-12 und DIN EN 1993-1-5/NA:2010-12 Ersatz für
DIN 18800-3:2008-11;
Ersatz für DIN EN 1993-1-5 Berichtigung 1:2010-05

Gesamtumfang 70 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

DIN EN 1993-1-5:2010-12

Nationales Vorwort

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

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

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

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

Die Anwendung dieser Norm gilt in Deutschland in Verbindung mit dem Nationalen Anhang.

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

Der Beginn und das Ende des hinzugefügten oder geänderten Textes wird im Text durch die Textmarkierungen **AC** **AC** angezeigt.

Änderungen

Gegenüber DIN V ENV 1993-1-5:2001-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

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

Gegenüber DIN EN 1993-1-5:2007-02, DIN EN 1993-1-5 Berichtigung 1:2010-05, DIN 18800-1:2008-11, DIN 18800-2:2008-11 und DIN 18800-3:2008-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) auf europäisches Bemessungskonzept umgestellt;
- b) Ersatzvermerke korrigiert;
- c) Vorgänger-Norm mit der Berichtigung 1 konsolidiert;
- d) redaktionelle Änderungen durchgeführt.

Frühere Ausgaben

DIN 1050: 1934-08, 1937xxxx-07, 1946-10, 1957x-12, 1968-06
DIN 1073: 1928-04, 1931-09, 1941-01, 1974-07
DIN 1073 Beiblatt: 1974-07
DIN 1079: 1938-01, 1938-11, 1970-09
DIN 4100: 1931-05, 1933-07, 1934xxxx-08, 1956-12, 1968-12
DIN 4101: 1937xxx-07, 1974-07
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
DIN EN 1993-1-5 Berichtigung 1: 2010-05

DIN EN 1993-1-5:2010-12

— Leerseite —

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN 1993-1-5

Oktober 2006

+AC

April 2009

ICS 91.010.30; 91.080.10

Ersatz für ENV 1993-1-5:1997

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.

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

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

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



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

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Nationaler Anhang zu EN 1993-1-5	4
1 Allgemeines	5
1.1 Anwendungsbereich	5
1.2 Normative Verweisungen	5
1.3 Begriffe	5
1.4 Formelzeichen	6
2 Grundlagen für die Tragwerksplanung und Verfahren	7
2.1 Allgemeines	7
2.2 Effektive Breiten bei der Tragwerksberechnung	8
2.3 Einfluss des Plattenbeulens auf die Tragfähigkeit gleichförmiger Bauteile	8
2.4 Methode der reduzierten Spannungen	9
2.5 Bauteile mit veränderlichem Querschnitt	9
2.6 Bauteile mit profilierten Stegblechen	9
3 Berücksichtigung der Schubverzerrungen bei der Bemessung von Bauteilen	9
3.1 Allgemeines	9
3.2 Mittragende Breiten zur Berücksichtigung der Schubverzerrungen bei elastischem Werkstoffverhalten	10
3.2.1 Mittragende Breiten	10
3.2.2 Spannungsverteilung unter Berücksichtigung der Schubverzerrung	11
3.2.3 Lasteinleitung in Blechebene	12
3.3 Berücksichtigung der Schubverzerrungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit	13
4 Plattenbeulen bei Längsspannungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit	14
4.1 Allgemeines	14
4.2 Beanspruchbarkeit bei Längsspannungen	15
4.3 Effektive Querschnittsgrößen	15
4.4 Einzelblechfelder ohne Längssteifen	16
4.5 Längs ausgesteifte Blechfelder	20
4.5.1 Allgemeines	20
4.5.2 Plattenartiges Verhalten	22
4.5.3 Knickstabähnliches Verhalten	22
4.5.4 Interaktion zwischen plattenartigem und knickstabähnlichem Verhalten	24
4.6 Nachweis	25
5 Schubbeulen	25
5.1 Grundlagen	25
5.2 Bemessungswert der Beanspruchbarkeit	26
5.3 Beitrag des Steges	27
5.4 Beitrag der Flansche	29
5.5 Nachweis	30
6 Beanspruchbarkeit bei Querbelastrung	30
6.1 Grundlagen	30
6.2 Bemessungswert der Beanspruchbarkeit	31
6.3 Länge der starren Lasteinleitung	31
6.4 Abminderungsfaktor χ_F für die wirksame Lastausbreitungslänge	32
6.5 Wirksame Lastausbreitungslänge	33
6.6 Nachweis	33
7 Interaktion	34
7.1 Interaktion zwischen Schub, Biegemoment und Normalkraft	34
7.2 Interaktion zwischen Querbelastrung an den Längsrändern, Biegemoment und Normalkraft	35

8	Flanschinduziertes Stegblechbeulen	35
9	Steifen und Detailausbildung	36
9.1	Allgemeines	36
9.2	Wirkung von Längsspannungen	36
9.2.1	Minimale Anforderungen an Quersteifen	36
9.2.2	Minimale Anforderungen an Längssteifen	38
9.2.3	Geschweißte Blechstöße	39
9.2.4	Steifenausschnitte	39
9.3	Wirkung von Schubspannungen	40
9.3.1	Starre Auflagersteifen	40
9.3.2	Verformbare Auflagersteifen	41
9.3.3	Zwischenliegende Quersteifen	41
9.3.4	Längssteifen	42
9.3.5	Schweißnähte	42
9.4	Wirkung von Querlasten	42
10	Methode der reduzierten Spannungen	42
Anhang A (informativ) Berechnung kritischer Spannungen für ausgesteifte Blechfelder		45
A.1	Äquivalente orthotrope Platten	45
A.2	Kritische Beulspannung bei Blechfeldern mit einer oder zwei Steifen in der Druckzone	48
A.2.1	Allgemeine Vorgehensweise	48
A.2.2	Vereinfachtes Modell für einen Ersatzstab mit elastischer Bettung durch ein Blech	49
A.3	Schubbeulwerte für ausgesteifte Blechfelder	50
Anhang B (informativ) Bauteile mit veränderlichem Querschnitt		52
B.1	Allgemeines	52
B.2	Interaktion von Plattenbeulen und Biegedrillknicken von Bauteilen	53
Anhang C (informativ) Berechnungen mit der Finite-Element-Methode (FEM)		54
C.1	Allgemeines	54
C.2	Anwendung	54
C.3	Modellierung	55
C.4	Wahl des Programms und Dokumentation	55
C.5	Ansatz von Imperfektionen	55
C.6	Werkstoffeigenschaften	58
C.7	Belastungen	59
C.8	Kriterien für den Grenzzustand	59
C.9	Teilsicherheitsbeiwerte	60
Anhang D (informativ) Bauteile mit profilierten Stegblechen		61
D.1	Allgemeines	61
D.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit	61
D.2.1	Momententragfähigkeit	61
D.2.2	Schubtragfähigkeit	63
D.2.3	Anforderungen an Endsteifen	64
Anhang E (normativ) Alternative Methoden zur Bestimmung wirksamer Querschnitte		65
E.1	Wirksame Querschnittsflächen für Spannungen unterhalb der Streckgrenze	65
E.2	Wirksame Querschnittsflächen für die Steifigkeit	65

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

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) | |

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

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

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 Flachstähen 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 auszusteiern; 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;
$A_{\text{c,eff}}$	wirksame Querschnittsfläche;
$A_{\text{c,eff,loc}}$	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 $\square \text{AC}$ bei geschweißten Abschnitten oder zwischen den Enden der Radien gewalzter Abschnitte $\square \text{AC}$;
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;
$M_{\text{f,Rd}}$	Bemessungswert der plastischen Momententragfähigkeit, wenn nur die Flanschen rechnerisch angesetzt werden;
$M_{\text{pl,Rd}}$	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.

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

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.

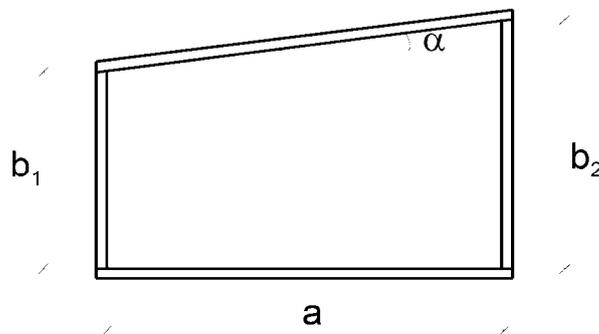


Bild 2.1 — Definition des Winkels α

(2) Für die Berechnung von Spannungen für Gebrauchstauglichkeitsnachweise oder von Spannungsschwingbreiten für Ermüdungsnachweise darf die 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 β durch β_{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 Flanscbreite b_0 der vorhandenen Flanscbreite, bei zweiseitig gestützten Flanschteilen ist b_0 gleich der Hälfte der vorhandene Flanscbreite. 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.

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

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:

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

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.

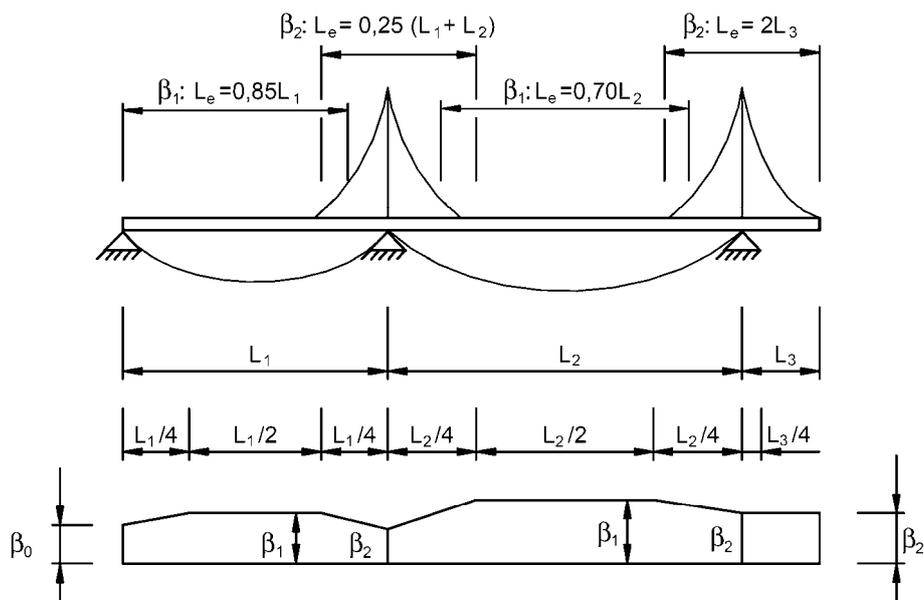
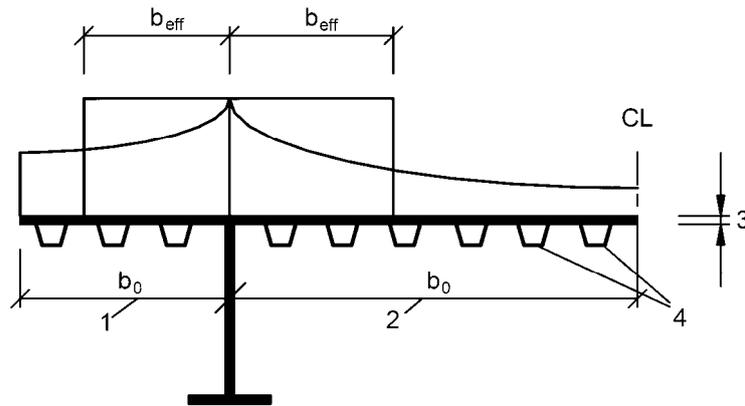


Bild 3.1 — Effektive Länge L_e für Durchlaufträger und Verteilung der mittragenden Breite

**Legende**

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

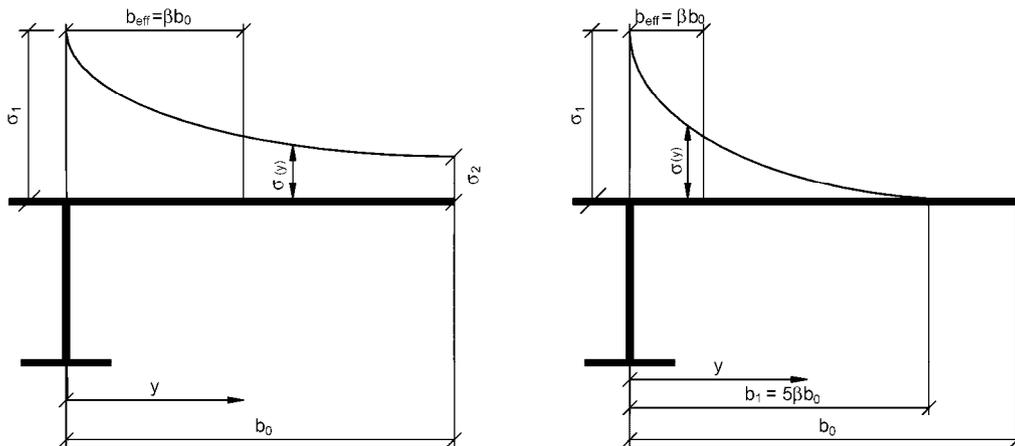
Bild 3.2 — Bezeichnungen für die mittragende Breite**Tabelle 3.1 — Abminderungsfaktor β für die mittragende Breite**

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.

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)



$\beta > 0,20 :$

$$\sigma_2 = 1,25 (\beta - 0,20) \sigma_1$$

$$\sigma(y) = \sigma_2 + (\sigma_1 - \sigma_2) \left(1 - y/b_0\right)^4$$

$\beta \leq 0,20 :$

$$\sigma_2 = 0$$

$$\sigma(y) = \sigma_1 \left(1 - y/b_1\right)^4$$

σ_1 wird mit der mitragenden 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

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

mit

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

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

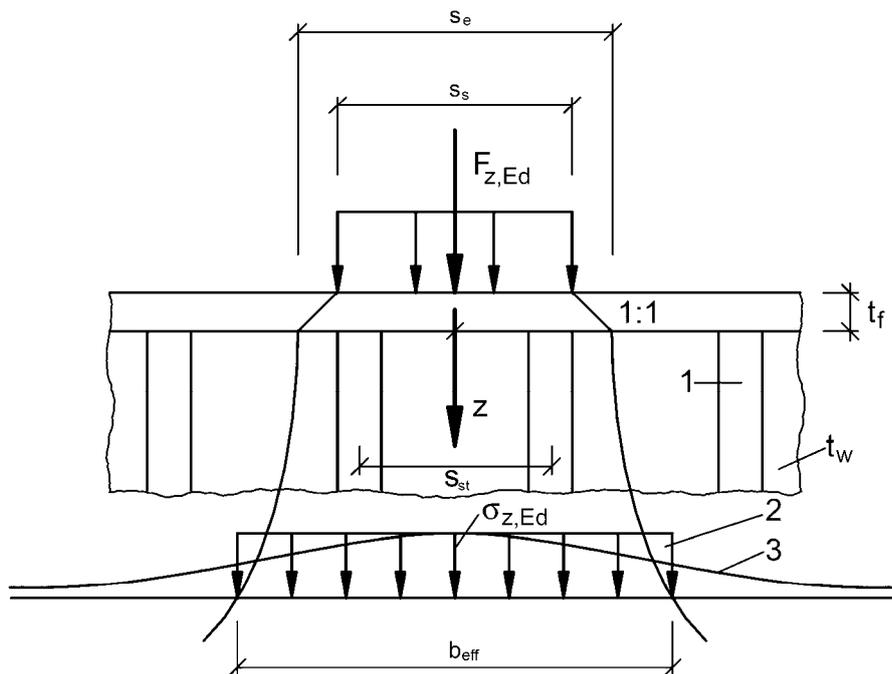
$$s_e = s_s + 2 t_f$$

Dabei ist

$a_{\text{st},1}$ 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:
- wie elastische Schubverzerrungen entsprechend den Nachweisen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und den Nachweisen für die Werkstoffermüdung;
 - für die gleichzeitige Wirkung von Schubverzerrungen und Plattenbeulen;
 - für die elastisch-plastische Wirkung von Schubverzerrungen unter Berücksichtigung der Begrenzung plastischer Dehnungen.

DIN EN 1993-1-5:2010-12 EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

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:

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

Dabei ist

$A_{\text{c,eff}}$ 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

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

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:

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

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 $A_{\text{c,eff}}$ 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:

- die Beulfelder sind rechteckig und die Flansche näherungsweise parallel (siehe 2.3);
- soweit Steifen vorhanden sind, verlaufen diese in Längs- und/oder Querrichtung;
- Löcher oder Ausschnitte sind klein (siehe 2.3);
- die Bauteile sind gleichförmig;
- 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 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_{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 $\varphi_{\text{h}} \times f_{\text{yw}}$ des Stegwerkstoffs berechnet werden, wenn gilt:

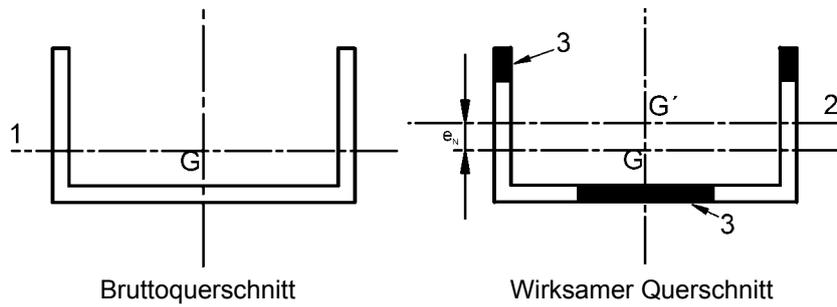
- a) die Erhöhung der Spannungen im Gurt infolge Fließens im Steg wird durch eine Begrenzung der Stegspannungen auf f_{yw} berücksichtigt;
- b) die wirksame Fläche des Steges wird mit f_{yf} AC gestrichener Text AC ermittelt.

ANMERKUNG Der Wert φ_{h} darf im nationalen Anhang festgelegt werden. Der Wert $\varphi_{\text{h}} = 2,0$ 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 $1,5 f_{\text{yf}}$ zugrunde gelegt werden.

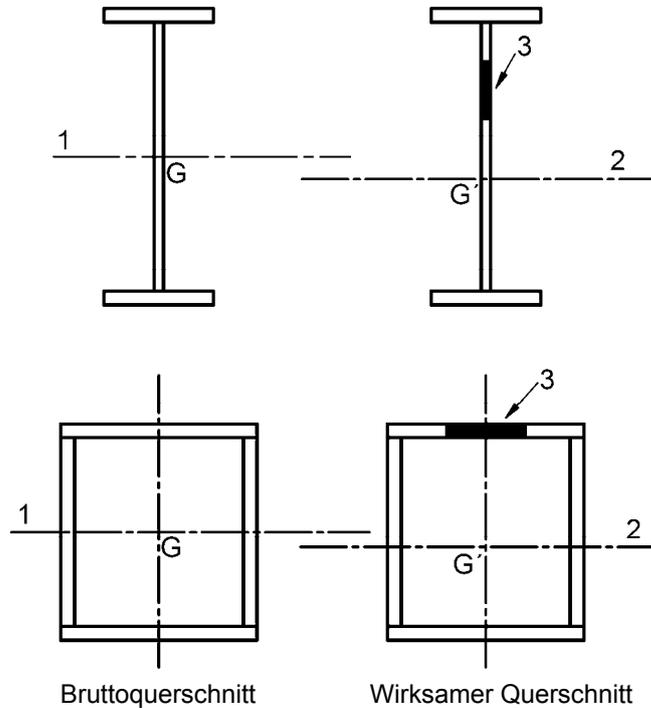
DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)



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:

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

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

— 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);

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

(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

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

ist in der Regel das Spannungsverhältnis ψ 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:

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

Dabei ist

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

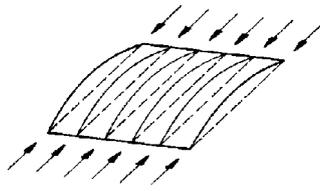
ANMERKUNG 1 Dieses Vorgehen erfordert im Allgemeinen eine iterative Berechnung, in der das Spannungsverhältnis ψ (siehe Tabelle 4.1 und Tabelle 4.2) in jedem Schritt neu aus der Spannungsverteilung mit dem wirksamen Querschnitt des vorherigen Iterationsschritts ermittelt wird.

ANMERKUNG 2 Eine alternative Vorgehensweise ist in Anhang E angegeben.

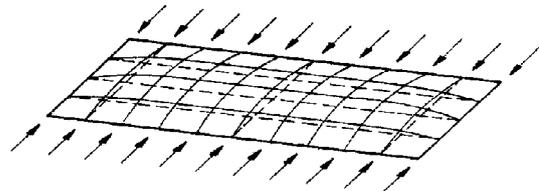
(5) Beim Knicknachweis von Bauteilen der Querschnittsklasse 4 nach EN 1993-1-1, 6.3.1, 6.3.2 oder 6.3.4 ist in der Regel entweder der Beulschlankheitsgrad $\bar{\lambda}_p$ oder $\bar{\lambda}_{p,red}$ mit $\sigma_{com,Ed}$ anzuwenden, wobei $\sigma_{com,Ed}$ nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung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

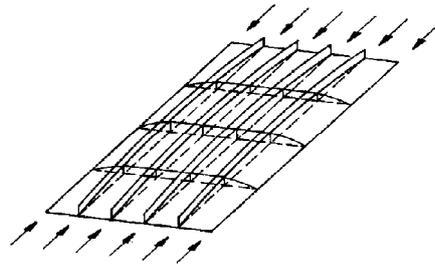
ANMERKUNG Dies betrifft z. B. schmale Einzelfelder zwischen Quersteifen, bei denen das Plattenbeulen knickstabähnlich ist und einen Abminderungsfaktor ρ_c in der Größenordnung des Abminderungsfaktors χ_c für Stabknicken erfordert, siehe Bild 4.3 a) und b). Bei längs ausgesteiften Blechfeldern mit $a/b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



a) knickstabähnliches Verhalten eines Beulfeldes ohne Lagerung in Längsrichtung



b) knickstabähnliches Verhalten eines nicht ausgesteiften Beulfeldes mit kleinem Seitenverhältnis α



c) knickstabähnliches Verhalten eines längs ausgesteiften Blechfeldes mit großem Seitenverhältnis α

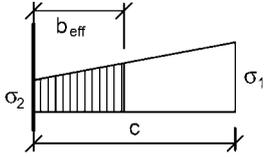
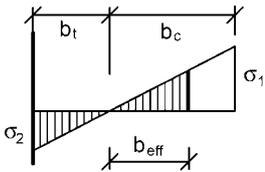
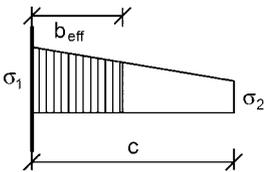
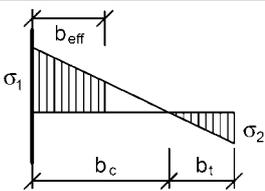
Bild 4.3 — Knickstabähnliches Verhalten

Tabelle 4.1 — Zweiseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile

Spannungsverteilung (Druck positiv)				Wirksame Breite b_{eff}			
				$\psi = 1:$	$b_{eff} = \rho \bar{b}$	$b_{e1} = 0,5 b_{eff}$	$b_{e2} = 0,5 b_{eff}$
				$1 > \psi \geq 0:$	$b_{eff} = \rho \bar{b}$	$b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi} b_{eff}$	$b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$
				$\psi < 0:$	$b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$	$b_{e1} = 0,4 b_{eff}$	$b_{e2} = 0,6 b_{eff}$
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$\boxed{AC} -1 > \psi \geq -3 \boxed{AC}$	
Beulwert k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$	

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

Tabelle 4.2 — Einseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile

Spannungsverteilung (Druck positiv)		Wirksame Breite b_{eff}			
		$1 > \psi \geq 0:$ $b_{\text{eff}} = \rho c$			
		$\psi < 0:$ $b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	0	-1	$1 \geq \psi \geq -3$	
Beulwert k_{σ}	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21 \psi + 0,07 \psi^2$	
		$1 > \psi \geq 0:$ $b_{\text{eff}} = \rho c$			
		$\psi < 0:$ $b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
Beulwert k_{σ}	0,43	$0,578 / (\psi + 0,34)$	1,70	$1,7 - 5 \psi + 17,1 \psi^2$	23,8

4.5 Längs ausgesteifte Blechfelder

4.5.1 Allgemeines

(1) Bei längs ausgesteiften Blechfeldern sind in der Regel sowohl die wirksamen Flächen infolge lokalen Beulens der Einzelfelder im Blech und in den Steifen als auch die wirksamen Flächen aus den Gesamtfeldbeulen des ausgesteiften Gesamtfeldes zu berücksichtigen.

(2) In einer zweischrittigen Vorgehensweise sind in der Regel zunächst die wirksamen Flächen der Einzelfelder mit Hilfe des Abminderungsfaktors nach 4.4 zur Berücksichtigung des Einzelfeldbeulens zu bestimmen. Im zweiten Schritt ist in der Regel die wirksame Fläche des ausgesteiften Gesamtfeldes aus den wirksamen Flächen der Steifen mit Hilfe des Abminderungsfaktors ρ_c zur Berücksichtigung des Gesamtfeldbeulens (z. B. über das Modell der äquivalenten orthotropen Platte) zu ermitteln.

(3) Die wirksame Fläche der Druckzone eines ausgesteiften Blechfeldes ist in der Regel mit:

$$A_{c,eff} = \rho_c A_{c,eff,loc} + \sum b_{edge,eff} t \quad (4.5)$$

anzusetzen, wobei $A_{c,eff,loc}$ aus den wirksamen Flächen aller Steifen und Einzelfelder besteht, die sich ganz oder teilweise im Druckbereich befinden, mit Ausnahme derjenigen wirksamen Querschnittsteile der Breite $b_{edge,eff}$, die durch ein angrenzendes Plattenbauteil gestützt werden (siehe Beispiel in Bild 4.4).

(4) Die Fläche $A_{c,eff,loc}$ ist in der Regel mit:

$$A_{c,eff,loc} = A_{sl,eff} + \sum_c \rho_{loc} b_{c,loc} t \quad (4.6)$$

zu ermitteln.

Dabei ist

\sum_c bezieht sich auf den im Druckbereich liegenden Teil des längs ausgesteiften Blechfeldes mit Ausnahme der Querschnittsteile $b_{edge,eff}$, siehe Bild 4.4;

$A_{sl,eff}$ die Summe der wirksamen Fläche aller Längssteifen mit der Bruttoquerschnittsfläche A_{sl} in der Druckzone nach 4.4;

$b_{c,loc}$ die Breite der Druckzone in einem Einzelfeld;

ρ_{loc} der Abminderungsfaktor nach 4.4(2) für das Einzelfeld.

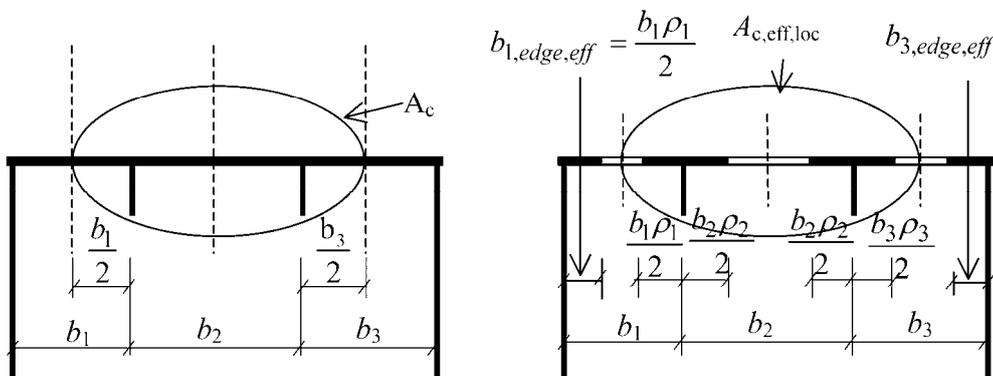


Bild 4.4 — Längsausgesteiftes Blechfeld unter konstanter Druckbeanspruchung

ANMERKUNG Bei nicht konstanter Verteilung der Druckspannungen siehe Bild A.1.

(5) Bei der Ermittlung des Abminderungsfaktors ρ_c für das Gesamtfeldbeulen ist in der Regel auf die Möglichkeit knickstabähnlichen Verhaltens mit größerer Abminderung als beim Plattenbeulen zu achten.

(6) Der Abminderungsfaktor ρ_c ist in der Regel durch Interpolation zwischen dem Abminderungsfaktor ρ für plattenartiges Verhalten und dem Abminderungsfaktor χ_c für knickstabähnliches Verhalten nach 4.5.4 zu ermitteln.

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

(7) Die Abminderung der unter Druckbeanspruchung stehenden Fläche $A_{c,eff,loc}$ durch ρ_c darf als über diesen Gesamtquerschnitt gleichmäßig verteilt angenommen werden.

(8) Sind mittragende Breiten zu berücksichtigen (siehe 3.3), ist in der Regel für die unter Druckbeanspruchung stehenden Querschnittsteile eines längs ausgesteiften Blechfeldes anstelle der wirksamen Querschnittsfläche $A_{c,eff}$ die effektive Querschnittsfläche $A_{c,eff}^*$ zur Berücksichtigung sowohl der Plattenbeuleffekte als auch der Effekte aus Schubverzerrungen zu verwenden.

(9) Als wirksame Querschnittsfläche der unter Zug stehenden Flächen des ausgesteiften Beulfeldes ist in der Regel die Bruttofläche der Zugzone anzunehmen, wobei gegebenenfalls mittragende Breiten zu berücksichtigen sind, siehe 3.3.

(10) Das wirksame Widerstandsmoment W_{eff} ist in der Regel als Flächenträgheitsmoment des wirksamen Gesamtquerschnitts geteilt durch den Randabstand zur Mittelebene des Gurtbleches anzusetzen.

4.5.2 Plattenartiges Verhalten

(1) Der Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_p$ einer äquivalenten orthotropen Platte ist wie folgt definiert:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\beta_{A,c} f_y}{\sigma_{cr,p}}} \quad (4.7)$$

mit

$$\beta_{A,c} = \frac{A_{c,eff,loc}}{A_c}$$

Dabei ist

A_c die Bruttoquerschnittsfläche des längs ausgesteiften Blechfeldes ohne Berücksichtigung der durch ein angrenzendes Plattenbauteil gestützten Randbleche, siehe Bild 4.4 (A_c ist gegebenenfalls mit einem Faktor zur Berücksichtigung der Effekte aus Schubverzerrungen zu multiplizieren, siehe 3.3);

$A_{c,eff,loc}$ die effektive Querschnittsfläche (ggf. unter Berücksichtigung von Schubverzerrungen) des oben beschriebenen Bereiches des längsausgesteiften Blechfeldes unter Berücksichtigung des Einzelfeldbeulens und/oder des Gesamtfeldbeulens.

(2) Der Abminderungsfaktor ρ für die äquivalente orthotrope Platte wird nach 4.4(2) bestimmt; Voraussetzung hierfür ist die Ermittlung von $\bar{\lambda}_p$ nach Gleichung (4.7).

ANMERKUNG Anhang A gibt Hinweise zur Berechnung von $\sigma_{cr,p}$.

4.5.3 Knickstabähnliches Verhalten

(1) Als elastische kritische Knickspannung $\sigma_{cr,c}$ eines unausgesteiften Blechfeldes (siehe 4.4) oder eines ausgesteiften Blechfeldes (siehe 4.5) ist in der Regel die Knickspannung anzusetzen, die sich bei Freisetzen der Längsränder ergibt.

(2) Die elastische kritische Knickspannung $\sigma_{cr,c}$ eines unausgesteiften Blechfeldes darf mit:

$$\sigma_{cr,c} = \frac{\pi^2 E t^2}{12 (1 - \nu^2) a^2} \quad (4.8)$$

bestimmt werden.

(3) Bei einem ausgesteiften Blechfeld darf $\sigma_{cr,c}$ mit Hilfe der Knickspannung $\sigma_{cr,st}$ der am höchstbelasteten Druckrand liegenden Steife ermittelt werden:

$$\sigma_{cr,s\ell} = \frac{\pi^2 E I_{s\ell,1}}{A_{s\ell,1} a^2} \quad (4.9)$$

Dabei ist

$I_{s\ell,1}$ das Flächenträgheitsmoment unter Ansatz der Bruttoquerschnittsfläche der als Ersatzdruckstab betrachteten Steife und der angrenzenden mittragenden Blechstreifen bezogen auf Knicken senkrecht zur Blechebene;

$A_{s\ell,1}$ die Bruttoquerschnittsfläche des Ersatzdruckstabes, die sich aus der Steife und den angrenzenden mittragenden Blechstreifen entsprechend Bild A.1 zusammensetzt.

ANMERKUNG Der Wert $\sigma_{cr,c}$ darf aus $\sigma_{cr,c} = \sigma_{cr,s\ell} \frac{b_c}{b_{s\ell,1}}$ ermittelt werden, wobei $\sigma_{cr,c}$ für den Druckrand gilt. $b_{s\ell,1}$ und b_c bezeichnen die Abstände aus der Spannungsverteilung, die für die Extrapolation benötigt werden, siehe Bild A.1.

(4) Der Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_c$ des Ersatzdruckstabes ist wie folgt definiert:

$$\bar{\lambda}_c = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,c}}} \quad \text{bei nicht ausgesteiften Blechfeldern} \quad (4.10)$$

$$\bar{\lambda}_c = \sqrt{\frac{\beta_{A,c} f_y}{\sigma_{cr,c}}} \quad \text{bei ausgesteiften Blechfeldern} \quad (4.11)$$

Dabei ist

$$\beta_{A,c} = \frac{A_{s\ell,1,eff}}{A_{s\ell,1}};$$

$A_{s\ell,1}$ nach 4.5.3(3) und

$A_{s\ell,1,eff}$ die wirksame Querschnittsfläche der Steife und der angrenzenden mittragenden Blechstreifen unter Berücksichtigung des Beulens, siehe Bild A.1.

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

(5) Der Abminderungsfaktor χ_c ist in der Regel nach EN 1993-1-1, 6.3.1.2 zu bestimmen. Der Imperfektionsbeiwert α hat bei nicht ausgesteiften Blechfeldern in der Regel der Knickkurve a mit $\alpha = 0,21$ zu entsprechen. Bei ausgesteiften Blechfeldern ist α in der Regel zur Berücksichtigung größerer Imperfektionen geschweißter Platten durch den vergrößerten Wert α_e :

$$\alpha_e = \alpha + \frac{0,09}{i/e} \quad (4.12)$$

zu ersetzen.

Dabei ist

$$i = \sqrt{\frac{I_{s\ell,1}}{A_{s\ell,1}}}$$

e = max (e_1, e_2) der größere der beiden Abstände nach Bild A.1, d. h. entweder der Abstand zwischen dem Schwerpunkt der vom Blech isoliert betrachteten, einseitig angebrachten Einzelsteifen ohne mitwirkende Breite (bei zweiseitig angebrachten Steifen wird hierbei nur eine Seite betrachtet) zur Schwereachse des ausgesteiften Blechfeldes oder der Abstand der Schwereachse des ausgesteiften Blechfeldes zur Mittelebene des Bleches;

α = 0,34 (Kurve b) für Hohlsteifenquerschnitte;
 = 0,49 (Kurve c) für offene Steifenquerschnitte.

4.5.4 Interaktion zwischen plattenartigem und knickstabähnlichem Verhalten

(1) Der endgültige Abminderungsfaktor ρ_c wird in der Regel mit Hilfe der Interaktionsgleichung:

$$\rho_c = (\rho - \chi_c) \xi (2 - \xi) + \chi_c \quad (4.13)$$

ermittelt.

Dabei ist

$$\xi = \frac{\sigma_{cr,p}}{\sigma_{cr,c}} - 1 \text{ jedoch } 0 \leq \xi \leq 1;$$

$\sigma_{cr,p}$ die elastische Plattenbeulspannung, siehe A.1(2);

$\sigma_{cr,c}$ die elastische Knickspannung, siehe 4.5.3(2) und (3);

χ_c der Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung knickstabähnlichen Verhaltens;

ρ der Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung des Plattenbeulens, siehe 4.4(1).

4.6 Nachweis

(1) Der Bauteilnachweis \overline{AC} mit Hilfe von Normalkraft und wirksamer Querschnittsgrößen für Längsspannungen \overline{AC} lautet in der Regel wie folgt:

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} e_N}{f_y W_{eff}} \leq 1,0 \quad (4.14)$$

Dabei ist

- A_{eff} die wirksame Querschnittsfläche nach 4.3(3);
- e_N die Verschiebung der neutralen Achse nach 4.3(3);
- M_{Ed} der Bemessungswert des einwirkenden Biegemomentes;
- N_{Ed} der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft;
- W_{eff} das wirksame Widerstandsmoment, siehe 4.3(4);
- γ_{M0} der Teilsicherheitsbeiwert, siehe EN 1993-2 bis -6.

ANMERKUNG Gleichung (4.14) darf für Bauteile unter Normalkraft und zweiachsigler Biegung wie folgt erweitert werden:

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{y,N}}{f_y W_{y,eff}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{z,N}}{f_y W_{z,eff}} \leq 1,0 \quad (4.15)$$

Dabei ist

- $M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ die Bemessungswerte der einwirkenden Biegemomente um die y-y- bzw. die z-z-Achse;
- $e_{y,N}, e_{z,N}$ die Verschiebungen der jeweiligen neutralen Achse.

(2) Die Schnittgrößen M_{Ed} und N_{Ed} sind gegebenenfalls nach Theorie II. Ordnung zu berechnen.

(3) Für eine längs des Beulfeldes veränderliche Spannung ist in der Regel der Beulnachweis für die Schnittgrößen an der Querschnittsstelle zu führen, die sich im Abstand $0,4 a$ oder $0,5 b$ (kleinster Wert) von dem Beulfeldrand befindet, an dem die größten Spannungen auftreten. In diesem Fall muss am Beulfeldrand zusätzlich ein Querschnittsnachweis geführt werden.

5 Schubbeulen

5.1 Grundlagen

(1) Die Regeln dieses Abschnittes zur Bestimmung der Querkrafttragfähigkeit von Plattenelementen unter Berücksichtigung von Schubbeulen gelten unter folgenden Voraussetzungen:

- a) die Beulfelder sind rechteckig und die Flansche näherungsweise parallel (siehe 2.3);
- b) soweit Steifen vorhanden sind, laufen diese in Längs- und/oder Querrichtung;

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

- c) Löcher oder Ausschnitte sind klein (siehe 2.3);
 d) die Bauteile sind gleichförmig.

(2) Für nicht ausgesteifte Blechfelder mit einem Verhältnis $h_w/t > \frac{72}{\eta} \varepsilon$ und für ausgesteifte Blechfelder mit einem Verhältnis $h_w/t > \frac{31}{\eta} \varepsilon \sqrt{k_\tau}$ ist in der Regel ein Schubbeulnachweis zu führen und es sind Quersteifen an den Lagern vorzusehen; es gilt:

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

ANMERKUNG 1 h_w ist in Bild 5.1 und k_τ in 5.3(3) angegeben.

ANMERKUNG 2 Der nationale Anhang darf η festlegen. Der Wert $\eta = 1,20$ wird empfohlen für Stahlsorten bis S460, für Stahlsorten höher als S460 wird $\eta = 1,0$ empfohlen.

5.2 Bemessungswert der Beanspruchbarkeit

(1) Bei nicht ausgesteiften und ausgesteiften Stegen ist in der Regel der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $V_{b,Rd}$ unter Berücksichtigung des Schubbeulens wie folgt zu ermitteln:

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} \quad (5.1)$$

Der Beitrag des Steges ergibt sich zu:

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} \quad (5.2)$$

Der Beitrag der Flansche $V_{bf,Rd}$ wird nach 5.4 bestimmt.

(2) Steifen haben in der Regel den Anforderungen nach 9.3 zu genügen; die Schweißnähte sind in der Regel nach 9.3.5 auszubilden.

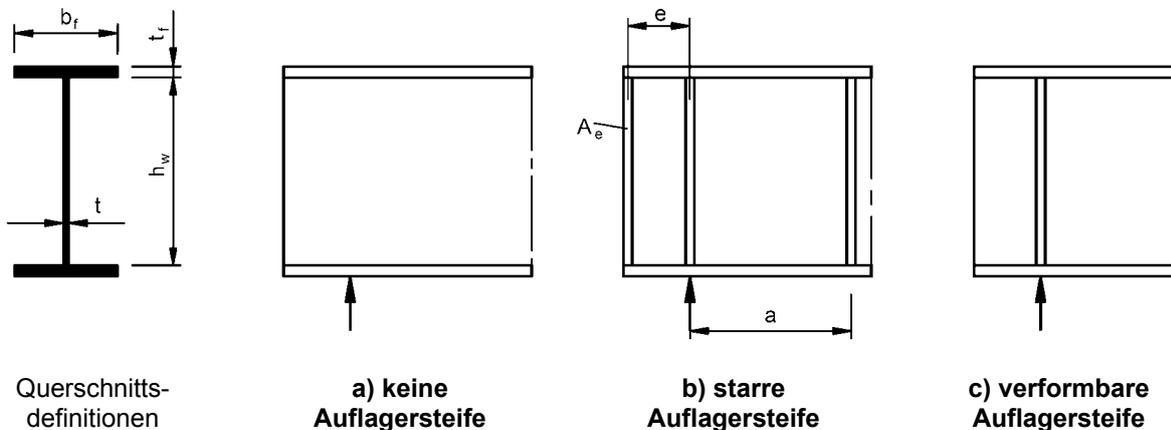


Bild 5.1 — Kriterien für Auflagersteifen

5.3 Beitrag des Steges

(1) Bei Stegen mit Quersteifen nur an den Auflagern (Auflagersteifen) und bei Stegen, die quer und/oder längs ausgesteift sind, ist in der Regel der Faktor χ_w für den Stegbeitrag zur Beanspruchbarkeit nach Tabelle 5.1 oder Bild 5.2 zu bestimmen.

Tabelle 5.1 — Beitrag des Steges χ_w zur Schubbeanspruchbarkeit

	Starre Auflagersteife	Verformbare Auflagersteife
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

ANMERKUNG Siehe auch 6.2.6 in EN 1993-1-1.

(2) Es werden nach Bild 5.1 folgende Fälle unterschieden:

- keine Auflagersteifen; siehe 6.1(2), Typ (c);
- starre Auflagersteifen; dieser Fall gilt auch für Innenfelder außer dem Feld am Endauflager und für Felder an Zwischenlagern von durchlaufenden Trägern, siehe 9.3.1;
- verformbare Auflagersteifen, siehe 9.3.2.

(3) Die \square_{AC} modifizierte Schlankheit $\square_{AC} \bar{\lambda}_w$ in Tabelle 5.1 und Bild 5.2 ist in der Regel mit:

$$\bar{\lambda}_w = 0,76 \sqrt{\frac{f_{yw}}{\tau_{cr}}} \quad (5.3)$$

zu bestimmen. Für die kritische Beulspannung τ_{cr} gilt:

$$\tau_{cr} = k_\tau \sigma_E \quad (5.4)$$

ANMERKUNG 1 Werte für σ_E und k_τ dürfen Anhang A entnommen werden.

ANMERKUNG 2 Die \square_{AC} modifizierte Schlankheit $\square_{AC} \bar{\lambda}_w$ darf wie folgt ermittelt werden:

a) nur Auflagersteifen:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{86,4 t \varepsilon} \quad (5.5)$$

b) Auflagersteifen und zusätzlich in Querrichtung und/oder in Längsrichtung laufenden Steifen:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 t \varepsilon \sqrt{k_\tau}} \quad (5.6)$$

wobei k_τ der kleinste Schubbeulwert des Stegfeldes ist.

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

ANMERKUNG 3 Werden zusätzlich zu starren Quersteifen auch verformbare Quersteifen verwendet, sollten sowohl die Stegfelder zwischen allen Quersteifen (z. B. $a_2 \times h_w$ und $a_3 \times h_w$) als auch das Stegfeld zwischen nur starren Quersteifen, zwischen denen sich verformbare Quersteifen befinden (z. B. $a_4 \times h_w$), im Hinblick auf das kleinste k_τ geprüft werden.

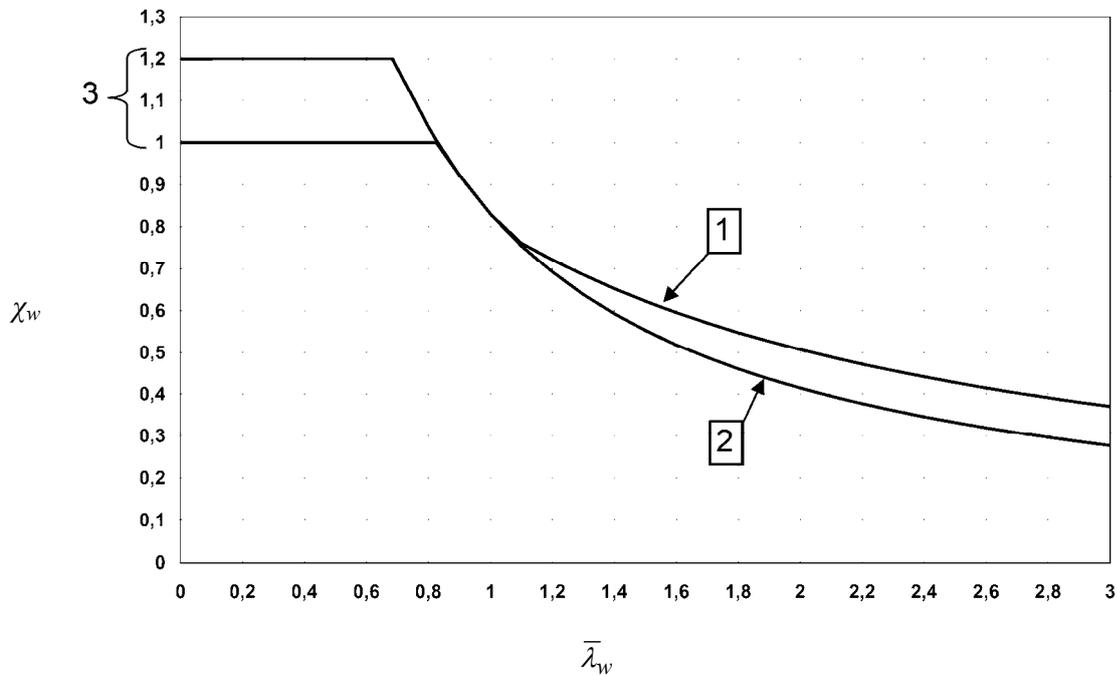
ANMERKUNG 4 Sind Flansche und starre Quersteifen vorhanden, darf eine starre Randlagerung angenommen werden. In diesem Fall kann die Schubbeuluntersuchung für Beulfelder zwischen zwei Quersteifen (z. B. $a_1 \times h_w$ in Bild 5.3) erfolgen.

ANMERKUNG 5 Bei verformbaren Quersteifen darf der kleinste Wert k_τ durch eine Eigenwertbestimmung für folgende Subsysteme ermittelt werden:

1. zwei benachbarte Stegblechfelder mit einer verformbaren Quersteife;
2. drei benachbarte Stegblechfelder mit zwei verformbaren Quersteifen.

Hinweise zur Bestimmung von k_τ gibt A.3.

(4) Das Flächenträgheitsmoment der Steifen ist in der Regel bei der Ermittlung von k_τ auf 1/3 seines wirklichen Wertes zu reduzieren. Diese Reduktion ist bereits in den Gleichungen in A.3 enthalten.



Legende

- 1 starre Auflagersteife
- 2 verformbare Auflagersteife
- 3 Bereich der empfohlenen Werte für η

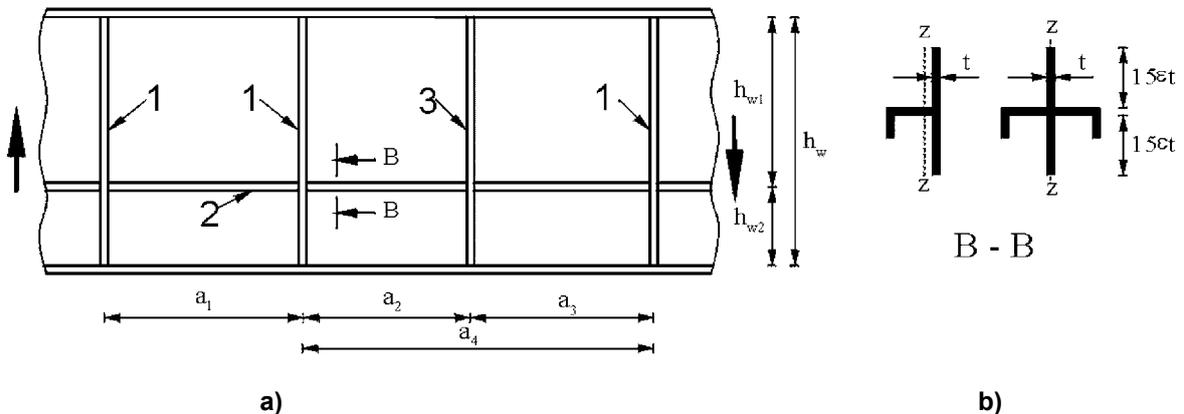
Bild 5.2 — Beitrag des Stages χ_w zur Schubbeanspruchbarkeit

(5) Bei Stegen mit Längssteifen ist in der Regel die $\overline{\lambda}_{AC}$ modifizierte Schlankheit $\overline{\lambda}_{w,AC}$ in (3) mit mindestens dem Wert von

$$\overline{\lambda}_{w,AC} = \frac{h_{wi}}{37,4 t \varepsilon \sqrt{k_{ti}}} \quad (5.7)$$

anzusetzen, wobei sich h_{wi} und k_{ti} auf das Einzelfeld mit $\overline{\lambda}_{AC}$ der modifizierten Schlankheit $\overline{\lambda}_{w,AC}$ dem größten Einzelfeldschlankheitsgrad $\overline{\lambda}_{w,AC}$ beziehen.

ANMERKUNG Zur Berechnung von k_{ti} darf der Ausdruck in A.3 mit $k_{tst} = 0$ verwendet werden.



Legende

- 1 starre Quersteife
- 2 Längssteife
- 3 verformbare Quersteife

Bild 5.3 — Stegblech mit Quer- und Längssteifen

5.4 Beitrag der Flansche

(1) Werden die Flansche bei Annahme eines Zweipunktquerschnittes nicht vollständig für die Querschnittsbeanspruchung ausgenutzt ($M_{Ed} < M_{f,Rd}$), darf der Flanschbeitrag zur Schubbeanspruchbarkeit berücksichtigt werden. Dieser wird in der Regel wie folgt ermittelt:

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{M1}} \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) \quad (5.8)$$

Dabei ist

b_f und t_f gelten für den Flansch, der die kleinere Beanspruchbarkeit für Normalkräfte liefert;

b_f sollte an jeder Stegseite nicht größer als $15 \varepsilon t_f$ angenommen werden;

$M_{f,Rd} = \frac{M_{f,k}}{\gamma_{M0}}$ der Bemessungswert der Biegebeanspruchbarkeit bei Berücksichtigung alleine der effektiven Flächen der Flansche;

$$c = a \left(0,25 + \frac{1,6 b_f t_f^2 f_{yf}}{t h_w^2 f_{yw}} \right).$$

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

(2) Wirkt auch eine Normalkraft N_{Ed} , so ist der Wert von $M_{f,Rd}$ in der Regel mit dem Faktor:

$$\left(1 - \frac{N_{Ed}}{(A_{f1} + A_{f2}) \cdot f_{yf}} \cdot \frac{1}{\gamma_{M0}} \right) \quad (5.9)$$

zu reduzieren. A_{f1} und A_{f2} sind die Flächen der Flansche.

5.5 Nachweis

(1) Der Nachweis ist in der Regel wie folgt zu führen:

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (5.10)$$

Dabei ist

V_{Ed} der Bemessungswert der einwirkenden Schubkraft aus Querkraft und Torsion.

6 Beanspruchbarkeit bei Querbelastung

6.1 Grundlagen

(1) Die Beanspruchbarkeit eines Trägersteges für Querlasten, die über die Flansche an den Längsrändern einwirken, ist für gewalzte und geschweißte Träger in der Regel nach 6.2 zu bestimmen. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Flansche infolge ihrer eigenen Querbiegesteifigkeit oder durch Verbände in ihrer Lage quer gehalten werden.

(2) Es werden 3 Arten der Lasteinleitung unterschieden:

- a) Lasten, die einseitig über einen Flansch eingeleitet werden und im Gleichgewicht mit Querkraften im Steg stehen, siehe Bild 6.1 a);
- b) Lasten, die beidseitig über beide Flansche eingeleitet werden und mit sich selbst im Gleichgewicht stehen, siehe Bild 6.1 b);
- c) Lasten, die in der Nähe des Trägerendes ohne Querstreifen eingeleitet werden und mit der Querkraft im Steg im Gleichgewicht stehen, siehe Bild 6.1 c).

(3) Bei Hohlkastenträgern mit geneigten Stegen ist in der Regel die Beanspruchbarkeit sowohl der Stege als auch der Gurte nachzuweisen. Die zu berücksichtigenden inneren Kräfte sind die Komponenten der äußeren Lasten in der Stegebene und der Gurtebene.

(4) Zusätzlich ist in der Regel die Auswirkung der Querbelastung auf die Momententragfähigkeit des Bauteils zu berücksichtigen, siehe 7.2.

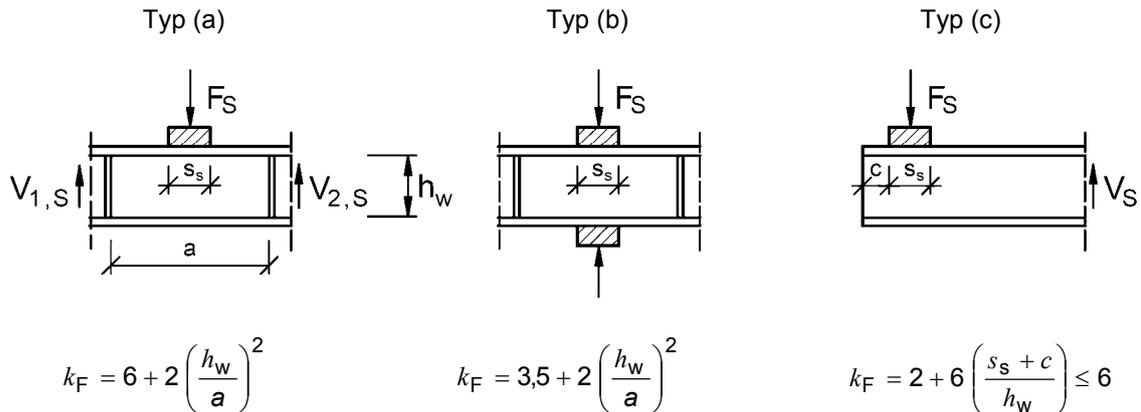


Bild 6.1 — Beulwerte für verschieden Arten der Lasteinleitung

6.2 Bemessungswert der Beanspruchbarkeit

(1) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit eines nicht ausgesteiften oder ausgesteiften Stegbleches bei Plattenbeulen unter Querbelastung ist in der Regel aus

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} \quad (6.1)$$

zu bestimmen. Dabei ist

t_w die Stegblechdicke;

f_{yw} die Streckgrenze des Stegblechs;

L_{eff} die wirksame Lastausbreitungslänge unter Berücksichtigung des Stegbeulens bei Querlasten:

$$L_{eff} = \chi_F \ell_y \quad (6.2)$$

ℓ_y die wirksame Lastausbreitungslänge ohne Stegbeulen (siehe 6.5), abhängig von der Länge s_s der starren Lasteinleitung, siehe 6.3;

χ_F der Abminderungsfaktor infolge Stegbeulen bei Querlasten, siehe 6.4(1).

6.3 Länge der starren Lasteinleitung

(1) Die Länge der starren Lasteinleitung s_s ist in der Regel die Länge, über die die Querlast auf den Flansch eingeleitet wird, siehe Bild 6.2. Diese Länge kann bei Lasteinleitung über Futter oder Bleche über einen Lastausbreitungswinkel 1:1 berechnet werden. Der Wert s_s ist in der Regel kleiner als h_w .

(2) Liegen mehrere Einzellasten dicht beieinander, so ist in der Regel die Beanspruchbarkeit sowohl für jede Einzellast als auch für die gesamte Querbelastung und diese mit einer Länge der starren Lasteinleitung entsprechend dem Abstand der äußeren Einzellasten zu ermitteln.

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

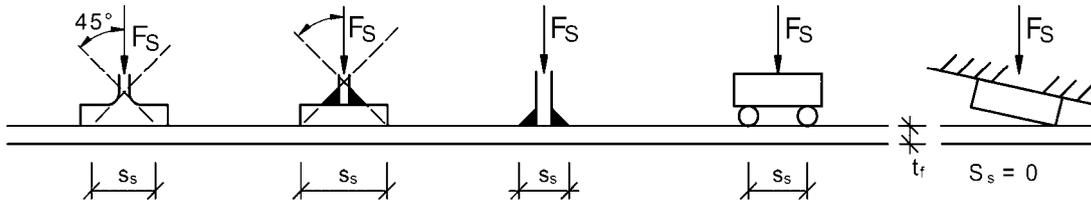


Bild 6.2 — Länge der starren Lasteinleitung

(3) Folgen die Futter oder Bleche an der Stelle der Lasteinleitung bei Verformung des Trägers nicht der Neigung des Trägers (siehe rechtes Teilbild 6.2), so ist in der Regel $s_s = 0$ anzusetzen.

6.4 Abminderungsfaktor χ_F für die wirksame Lastausbreitungslänge

(1) Der Abminderungsfaktor χ_F für die wirksame Lastausbreitungslänge ist in der Regel aus

$$\chi_F = \frac{0,5}{\lambda_F} \leq 1,0 \quad (6.3)$$

zu ermitteln, wobei gilt:

$$\lambda_F = \sqrt{\frac{\ell_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} \quad (6.4)$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E \frac{t_w^3}{h_w} \quad (6.5)$$

(2) Der Faktor k_F für Stege ohne Längssteifen ist in der Regel nach Bild 6.1 zu ermitteln.

ANMERKUNG Der nationale Anhang darf Hinweise zur Bestimmung von k_F für Stege mit Längssteifen geben. Folgende Regelungen werden empfohlen:

Für Stege mit Längssteifen darf k_F wie folgt bestimmt werden:

$$k_F = 6 + 2 \left[\frac{h_w}{a} \right]^2 + \left[5,44 \frac{b_1}{a} - 0,21 \right] \sqrt{\gamma_s} \quad (6.6)$$

Dabei ist

b_1 die Höhe des belasteten Einzelfeldes als lichter Abstand zwischen dem belasteten Flansch und der ersten Steife

$$\gamma_s = 10,9 \frac{I_{s\ell,1}}{h_w t_w^3} \leq 13 \left[\frac{a}{h_w} \right]^3 + 210 \left[0,3 - \frac{b_1}{a} \right] \quad (6.7)$$

$I_{s\ell,1}$ das Flächenträgheitsmoment der zu dem belasteten Flansch am nächsten gelegenen Steife einschließlich der wirksamen Stegteile nach Bild 9.1.

Gleichung (6.6) gilt für $0,05 \leq \frac{b_1}{a} \leq 0,3$ und $\frac{b_1}{h_w} \leq 0,3$ für den Typ (a) nach Bild 6.1.

(3) ℓ_y ist in der Regel nach 6.5 zu bestimmen.

6.5 Wirksame Lastausbreitungslänge

(1) Die wirksame Lastausbreitungslänge ohne Stegbeulen ℓ_y ist in der Regel mit Hilfe der dimensionslosen Parameter m_1 und m_2 mit

$$m_1 = \frac{f_{yf} b_f}{f_{yw} t_w} \quad (6.8)$$

$$m_2 = 0,02 \left(\frac{h_w}{t_f} \right)^2 \quad \text{für } \bar{\lambda}_F > 0,5$$

$$m_2 = 0 \quad \text{für } \bar{\lambda}_F \leq 0,5 \quad (6.9)$$

zu berechnen.

Bei Kastenträgern ist b_f in Gleichung (6.8) in der Regel an jeder Stegseite auf $15 \varepsilon t_f$ zu begrenzen.

(2) Für die Fälle (a) und (b) in Bild 6.1 ist ℓ_y in der Regel aus:

$$\ell_y = s_s + 2 t_f \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2} \right) \quad \text{mit } \ell_y \leq a \quad (\text{Quersteifenabstand}) \quad (6.10)$$

zu bestimmen.

(3) Für den Fall (c) ist ℓ_y in der Regel als kleinster Wert der Gleichungen (6.11) und (6.12) AC gestrichener Text AC zu ermitteln:

$$\ell_y = \ell_e + t_f \sqrt{\frac{m_1}{2} + \left(\frac{\ell_e}{t_f} \right)^2 + m_2} \quad (6.11)$$

$$\ell_y = \ell_e + t_f \sqrt{m_1 + m_2} \quad (6.12)$$

AC Dabei ist AC

$$\ell_e = \frac{k_F E t_w^2}{2 f_{yw} h_w} \leq s_s + c \quad (6.13)$$

6.6 Nachweis

(1) Der Nachweis ist in der Regel wie folgt zu führen:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{f_{yw} L_{eff} t_w} \leq 1,0 \quad (6.14)$$

$$\gamma_{M1}$$

Dabei ist

F_{Ed} der Bemessungswert der einwirkenden Querlast;

L_{eff} die wirksame Lastausbreitungslänge unter Berücksichtigung des Stegbeulens bei Querbelastung, siehe AC 6.2(1) AC;

t_w die Blechdicke.

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

7 Interaktion

7.1 Interaktion zwischen Schub, Biegemoment und Normalkraft

(1) Für $\bar{\eta}_3 \leq 0,5$ (siehe unten) darf der Einfluss der Schubkräfte auf die Beanspruchbarkeit für Biegemoment und Normalkraft vernachlässigt werden. Bei $\bar{\eta}_3 > 0,5$ ist in der Regel für die gemeinsame Wirkung von Biegung, Normalkraft und Schub im Steg von I-Trägern oder von Kastenträgern die Bedingung

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \left(2\bar{\eta}_3 - 1\right)^2 \leq 1,0 \quad \text{mit} \quad \bar{\eta}_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \quad (7.1)$$

zu erfüllen.

Dabei ist

$M_{f,Rd}$ der Bemessungswert der plastischen Momentenbeanspruchbarkeit des Querschnitts, der nur mit der effektiven Querschnittsfläche der Flansche berechnet wird;

$M_{pl,Rd}$ der Bemessungswert der plastischen Momentenbeanspruchbarkeit des Querschnitts, der mit der effektiven Querschnittsfläche der Flansche und der vollen Querschnittsfläche des Steges berechnet wird (unabhängig von der Querschnittsklasse).

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}}$$

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}}$$

AC $V_{bw,Rd}$ siehe (5.2). AC

Zusätzlich sind in der Regel die Anforderungen nach 4.6 und 5.5 zu erfüllen.

Die Schnittgrößen sind gegebenenfalls nach Theorie II. Ordnung zu ermitteln.

(2) Das Interaktionskriterium in (1) gilt in der Regel an jeder Querschnittsstelle, braucht jedoch an Innenstützen von Drucklaufträgern bei Vorhandensein einer Quersteife nur im Bereich außerhalb des Abstandes $h_w/2$ von der Stütze erfüllt zu werden.

(3) Der Bemessungswert $M_{f,Rd}$ der plastischen Momentenbeanspruchbarkeit des Querschnitts, der nur mit Flanschen berechnet wird, darf als das Produkt der effektiven Fläche des kleineren Flansches und der Streckgrenze ($= A_{ef} f_y / \gamma_{M0}$) multipliziert mit dem Abstand zwischen den Mittelebenen der Flanschbleche bestimmt werden.

(4) Wirkt zusätzlich eine Normalkraft N_{Ed} ein, ist in der Regel der Wert $M_{pl,Rd}$ nach EN 1993-1-1, 6.2.9 und $M_{f,Rd}$ nach 5.4(2) zu reduzieren. Ist die Normalkraft so groß, dass sich der gesamte Steg unter Druckbeanspruchung befindet, ist in der Regel 7.1(5) anzuwenden.

(5) Der Flansch eines Kastenträgers ist in der Regel nach 7.1(1) nachzuweisen, wobei $M_{f,Rd} = 0$ und τ_{Ed} als Mittelwert der Schubspannung im Flansch mit mindestens der Hälfte der maximalen Schubspannungen im Flansch anzusetzen ist; für $\bar{\eta}_1$ ist hierbei η_1 nach 4.6(1) anzusetzen. Zusätzlich sind in der Regel die Einzelfelder mit dem Mittelwert der Schubspannung in den Einzelfeldern und dem für Einzelfeldbeulen nach 5.3 ermittelten Abminderungsfaktor χ_w nachzuweisen, wobei von starrer Randlagerung an den Längssteifen ausgegangen werden darf.

7.2 Interaktion zwischen Querbelastung an den Längsrändern, Biegemoment und Normalkraft

(1) Bei gemeinsamer Wirkung von Querlasten an den Längsrändern, Biegemoment und Normalkraft ist in der Regel die Beanspruchbarkeit zusätzlich zu den Nachweisen in 4.6 und 6.6 mit der folgenden Interaktionsbeziehung zu prüfen:

$$\eta_2 + 0,8 \eta_1 \leq 1,4 \quad (7.2)$$

(2) Wirkt eine Querlast auf den Zugflansch, so ist in der Regel die Beanspruchbarkeit nach Abschnitt 6 nachzuweisen; zusätzlich sind die Regelungen in EN 1993-1-1, 6.2.1(5) einzuhalten.

8 Flanschinduziertes Stegblechbeulen

(1) Um das Einknicken des Druckflansches in den Steg zu vermeiden, hat in der Regel das Verhältnis h_w/t_w für den Steg das folgende Kriterium zu erfüllen:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}} \quad (8.1)$$

Dabei ist

- A_w die Stegfläche;
- A_{fc} die effektive Querschnittsfläche des Druckflansches;
- h_w die lichte Steghöhe;
- t_w die Stegdicke.

Der Wert k ist in der Regel wie folgt anzusetzen:

- bei Ausnutzung plastischer Rotationen $k = 0,3$;
- bei Ausnutzung der plastischen Momentenbeanspruchbarkeit $k = 0,4$;
- bei Ausnutzung der elastischen Momentenbeanspruchbarkeit $k = 0,55$.

(2) Bei Trägern, die in ihrer Stegebene gekrümmt sind, und bei denen der Druckflansch auf der konkaven Seite liegt, ist in der Regel das folgende Kriterium zu prüfen:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq \frac{k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}}{\sqrt{1 + \frac{h_w E}{3 r f_{yf}}}} \quad (8.2)$$

Dabei ist r der Krümmungsradius des Druckflansches.

ANMERKUNG Der nationale Anhang gibt weitere Informationen zu flanschinduziertem Stegblechbeulen.

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

9 Steifen und Detailausbildung

9.1 Allgemeines

(1) Die in diesem Abschnitt enthaltenen Regelungen zu Steifen in Plattenbauteilen ergänzen die Plattenbeulregeln in den Abschnitten 4 bis 7.

ANMERKUNG Im nationalen Anhang können weitere Anforderungen an Steifen und deren Detailausbildung für spezifische Anwendungsbereiche festgelegt werden.

(2) Beim Nachweis der Knicksicherheit von Steifen darf der wirksame Querschnitt mit einer mitwirkenden Blechbreite von $15\epsilon t$ auf jeder Seite, jedoch maximal dem Steifenabstand angenommen werden, siehe Bild 9.1.

(3) Die Normalkraft in Quersteifen ist in der Regel als Summe der Kräfte aus der Schubübertragung (siehe 9.3.3(3)) und den äußeren Lasten anzusetzen.

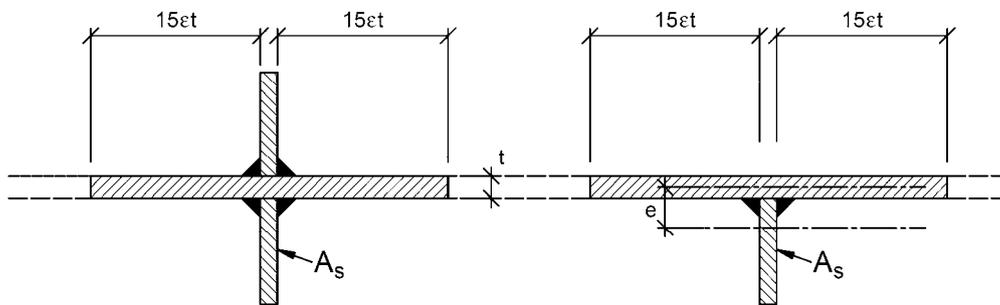


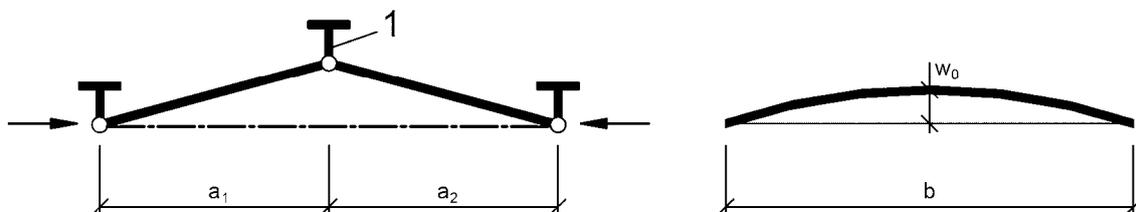
Bild 9.1 — Wirksamer Querschnitt von Steifen

9.2 Wirkung von Längsspannungen

9.2.1 Minimale Anforderungen an Quersteifen

(1) Um die Bedingung für starre Lagerung eines Blechfeldes mit oder ohne Längssteifen zu erfüllen, haben Quersteifen in der Regel den nachfolgenden Steifigkeits- und Festigkeitsanforderungen zu genügen.

(2) Die Quersteife wird in der Regel als gelenkig gelagerter Einfeldträger unter Querbelastung mit einer sinusförmigen geometrischen Imperfektion $w_0 = s/300$ behandelt, wobei s der kleinste Wert von a_1 , a_2 oder b ist, siehe Bild 9.2. Dabei sind a_1 und a_2 die Breiten der Beulfelder rechts und links der Quersteife und b ist die Spannweite der Quersteife bzw. der Abstand zwischen den Schwerpunkten der das Beulfeld begrenzenden Flansche. Exzentrizitäten sind in der Regel zu berücksichtigen.



Legende

1 Quersteife

Bild 9.2 — Quersteife

(3) Die Quersteife ist in der Regel für die Abtriebskräfte aus den Druckkräften in den Nachbarfeldern zu bemessen, wobei anzunehmen ist, dass die übrigen Quersteifen starr und ohne Imperfektionen sind; hierbei sind angreifende äußere Lasten sowie die Normalkraft entsprechend der ANMERKUNG zu 9.3.3(3) zu berücksichtigen. Die Bleche und die Längssteifen der Nachbarfelder werden als gelenkig an die Quersteifen angeschlossen betrachtet.

(4) Es ist in der Regel mit einer elastischen Berechnung nach Theorie II. Ordnung nachzuweisen, dass im Grenzzustand der Tragfähigkeit

— die maximale Spannung in den Steifen unter der Bemessungslast die Streckgrenze f_y/γ_{M1} nicht überschreitet;

— die zusätzliche Auslenkung zu der Imperfektion den Wert $b/300$ nicht überschreitet.

(5) Sind keine Normalkräfte in der Quersteife vorhanden, so dürfen beide Kriterien in (4) als erfüllt angesehen werden, wenn das Flächenträgheitsmoment I_{st} der Quersteife mindestens folgende Bedingungen erfüllt:

$$I_{st} = \frac{\sigma_m}{E} \left(\frac{b}{\pi} \right)^4 \left(1 + w_0 \frac{300}{b} u \right) \quad (9.1)$$

mit

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{cr,c}}{\sigma_{cr,p}} \frac{N_{Ed}}{b} \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \right)$$

$$u = \frac{\pi^2 E e_{max}}{f_y 300 b} \geq 1,0$$

γ_{M1}

Dabei ist

e_{max} der Abstand der Randfaser der Steife zum Schwerpunkt der Steife;

N_{Ed} der größte Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft in den Nachbarfeldern, jedoch mindestens die größte Druckspannung multipliziert mit der halben wirksamen Druckfläche eines Feldes einschließlich der Steifen;

$\sigma_{cr,c}$, $\sigma_{cr,p}$ sind in 4.5.3 und Anhang A definiert.

ANMERKUNG EN 1993-2 und EN 1993-1-7 geben Hinweise zur Behandlung senkrecht zur Blechebene belasteter Quersteifen.

(6) Bei Quersteifen unter Druckbeanspruchung ist in der Regel die einwirkende Normalkraft um den Wert $\Delta N_{st} = \sigma_m b^2 / \pi^2$ zur Berücksichtigung von Abtriebskräften zu erhöhen. Die Kriterien in (4) behalten ihre Gültigkeit, jedoch braucht ΔN_{st} bei der Berechnung der konstanten Druckspannung infolge der einwirkenden Druckbeanspruchung in der Quersteife nicht berücksichtigt zu werden.

(7) Sind keine Normalkräfte in der Quersteife vorhanden, so dürfen vereinfachend die Anforderungen in (4) nach Theorie I. Ordnung mit der folgenden gleichmäßig über die Länge b verteilten zusätzlichen Querlast q nachgewiesen werden:

$$q = \frac{\pi}{4} \sigma_m (w_0 + w_{el}) \quad (9.2)$$

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

Dabei ist

σ_m in (5) definiert;

w_0 in Bild 9.2 angegeben;

w_{el} die unter Annahme elastischen Werkstoffverhaltens ermittelte Verformung; diese darf entweder iterativ ermittelt oder mit dem maximalen Wert $b/300$ angenommen werden.

(8) Um Drillknicken von Steifen mit offenen Querschnitten zu vermeiden, ist in der Regel das folgende Kriterium zu erfüllen (solange kein Nachweis mit genaueren Methoden erfolgt):

$$\frac{I_T}{I_p} \geq 5,3 \frac{f_y}{E} \quad (9.3)$$

Dabei ist

I_p das polare Trägheitsmoment des Steifenquerschnitts alleine, gerechnet um den Anschlusspunkt an das Blech;

I_T das St. Venant'sche Torsionsträgheitsmoment für den Steifenquerschnitt alleine (ohne Blech).

(9) Wird die Wölbsteifigkeit berücksichtigt, ist in der Regel entweder das Kriterium in (8) oder das folgende Kriterium zu erfüllen:

$$\sigma_{cr} \geq \theta f_y \quad (9.4)$$

Dabei ist

σ_{cr} die kritische Drillknickspannung ohne Berücksichtigung von Einspanneffekten durch das Blech;

θ ein Beiwert zur Sicherstellung elastischen Verhaltens entsprechend der Querschnittsklasse 3.

ANMERKUNG Der Beiwert θ ist im nationalen Anhang festgelegt. Es wird ein Wert von $\theta = 6$ empfohlen.

9.2.2 Minimale Anforderungen an Längssteifen

(1) Die Anforderungen zur Vermeidung von Drillknicken in 9.2.1(8) and (9) gelten ebenfalls für Längssteifen.

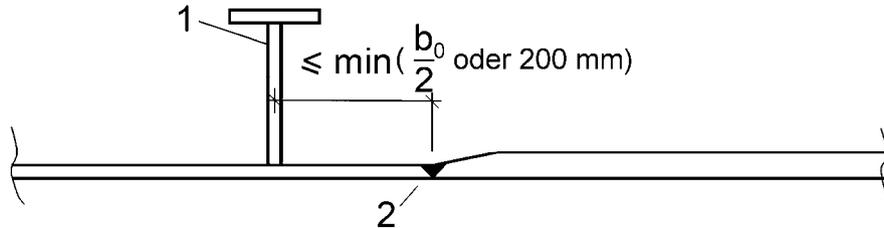
(2) Bei diskontinuierlich angeordnete Längssteifen, die nicht kraftschlüssig an den Quersteifen angeschlossen sind oder durch diese durchlaufen, sind in der Regel folgende Punkte zu beachten:

- Einsatz nur für Stege (d. h. nicht zulässig in Flanschen);
- bei Steifigkeitsannahmen für die statische Berechnung nicht zu berücksichtigen;
- bei Spannungsberechnungen zu vernachlässigen;
- zu berücksichtigen bei der Ermittlung der wirksamen Breiten von Einzelstegfeldern;
- zu berücksichtigen bei der Berechnung von Beul- bzw. Knickspannungen.

(3) Tragfähigkeitsnachweise für Steifen sind in der Regel nach 4.5.3 und 4.6 zu führen.

9.2.3 Geschweißte Blechstöße

(1) Schweißstöße von Blechen unterschiedlicher Blechdicken sind in der Regel in der Nähe von Quersteifen anzuordnen, siehe Bild 9.3. Exzentrizitäten brauchen nicht berücksichtigt zu werden, wenn der Abstand des Schweißstoßes zur Quersteife kleiner als der kleinere Wert von $b_0/2$ und 200 mm ist; b_0 ist der Abstand zwischen Längssteifen, die die dünnere Platte versteifen.



Legende

- 1 Quersteife
2 Schweißnaht

Bild 9.3 — Geschweißte Blechstöße

9.2.4 Steifenausschnitte

(1) Ausschnitte in Längssteifen sind in der Regel entsprechend Bild 9.4 auszubilden.

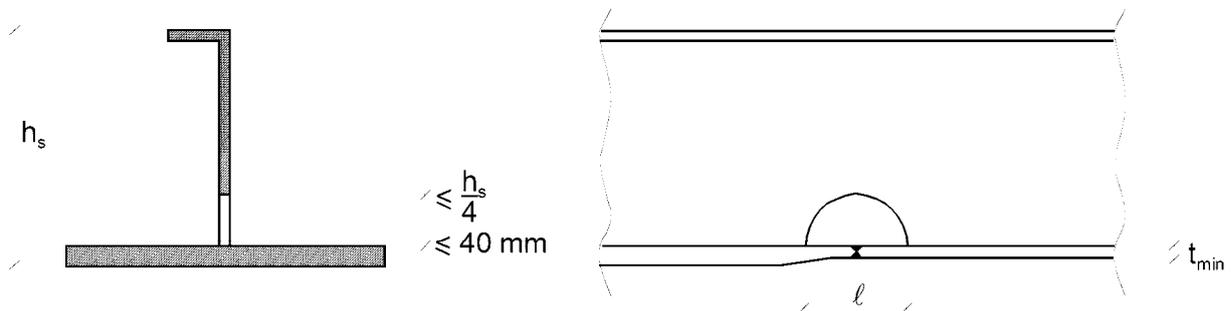


Bild 9.4 — Ausschnitte in Längssteifen

(2) Für die Ausschnittbreite ℓ sind in der Regel folgende Grenzwerte einzuhalten:

- $\ell \leq 6 t_{\min}$ bei druckbelasteten Flachsteifen;
- $\ell \leq 8 t_{\min}$ bei druckbelasteten Steifen mit anderen Querschnittsformen;
- $\ell \leq 15 t_{\min}$ bei Steifen mit anderen Querschnittsformen ohne Druckbelastung.

t_{\min} bezeichnet die kleinere Blechdicke.

(3) Die Grenzwerte für die Ausschnittbreite ℓ in (2) für druckbelastete Steifen darf um den Faktor $\sqrt{\frac{\sigma_{x,Rd}}{\sigma_{x,Ed}}}$ erhöht werden, wenn gilt: $\sigma_{x,Ed} \leq \sigma_{x,Rd}$ und $\ell \leq 15 t_{\min}$.

Dabei ist $\sigma_{x,Ed}$ die Druckspannung am Ausschnitt.

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

(4) Ausschnitte in Quersteifen sind in der Regel nach Bild 9.5 auszubilden.

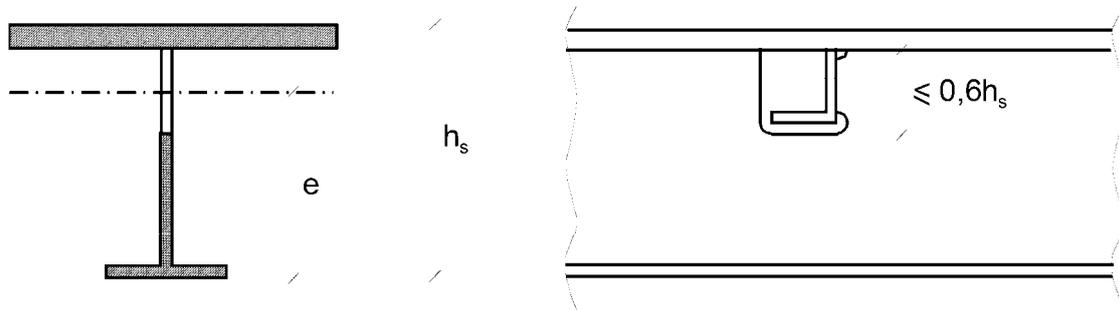


Bild 9.5 — Ausschnitte in Quersteifen

(5) Der Bruttoquerschnitt des Steges im Bereich des Ausschnittes ist in der Regel für folgende Querkraft V_{Ed} nachzuweisen:

$$V_{Ed} = \frac{I_{net}}{e} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \frac{\pi}{b_G} \quad (9.5)$$

Dabei ist

- I_{net} das Flächenträgheitsmoment des Nettoquerschnitts des Quersteife;
- e der maximale Abstand der Flanschunterseite zur Schwerlinie des Nettoquerschnitts, siehe Bild 9.5;
- b_G die Länge der Quersteife zwischen den Flanschen.

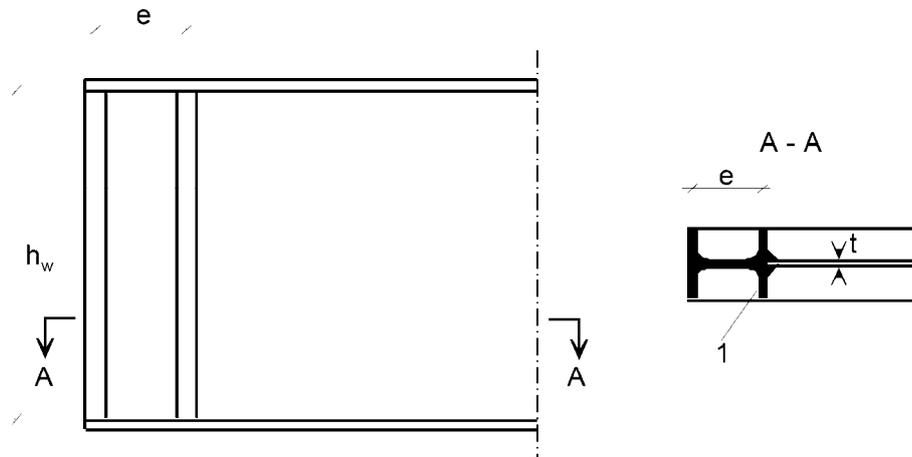
9.3 Wirkung von Schubspannungen

9.3.1 Starre Auflagersteifen

(1) Starre Auflagersteifen (siehe Bild 5.1) dienen in der Regel als Steifen für die Einleitung der Auflagerkräfte aus Lagern (siehe 9.4) und als kurze Biegeträger für die Verankerung der längsgerichteten Membranspannungen in der Stegebene.

ANMERKUNG EN 1993-2 gibt Hinweise zu Lagerbewegungen infolge von Exzentrizitäten.

(2) Eine starre Auflagersteife besteht in der Regel aus zwei doppelseitig angeordneten Quersteifen, die die Gurte eines kurzen Biegeträgers der Länge h_w bilden, siehe Bild 5.1 b). Der Stegstreifen zwischen den Quersteifen bildet den Steg des kurzen Biegeträgers. Alternativ darf die starre Auflagersteife auch aus einem eingesetzten Profilträger bestehen, der nach Bild 9.6 mit dem Stegblech verbunden wird.

**Legende**

1 eingesetzter Profilträger

Bild 9.6 — Eingesetzter Profilträger als Auflagersteife

(3) Die Mindestquerschnittsfläche jeder der beiden Quersteifen beträgt in der Regel $4 h_w t^2 / e$, wobei e der Abstand zwischen den Mittelachsen der Flachbleche ist und die Bedingung $e > 0,1 h_w$ erfüllen sollte, siehe Bild 5.1 b). Wird die Auflagersteife nicht aus zwei Quersteifen zusammengesetzt, sollte das elastische Widerstandsmoment für Biegung senkrecht zum Steg mindestens $4 h_w t^2$ betragen.

(4) Als Alternative darf das Trägerende auch mit einer einzigen doppelseitigen Quersteife ausgebildet sein, wenn sich eine weitere Quersteife so dicht am Lager befindet, dass das Einzelfeld den maximalen Schub aufnehmen kann, der bei der Bemessung von verformbaren Auflagersteifen entsteht.

9.3.2 Verformbare Auflagersteifen

(1) Eine verformbare Auflagersteife liegt bei einer einzelnen doppelseitigen Auflagersteife nach Bild 5.1 c) vor. Sie kann gegebenenfalls die Auflagerkräfte aus dem Lager aufnehmen (siehe 9.4).

9.3.3 Zwischenliegende Quersteifen

(1) Zwischenliegende Quersteifen, die als starre Randlagerung für die Stegbeulfelder dienen, sind in der Regel hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit und Steifigkeit nachzuweisen.

(2) Zwischenliegende Quersteifen, die als nicht starr zu betrachten sind, dürfen mit ihrer Steifigkeit bei der Berechnung von k_τ nach 5.3(5) berücksichtigt werden.

(3) Zwischenliegende starre Quersteifen haben in der Regel zusammen mit dem mittragenden Teil des Steges folgenden Mindestbedingungen für das Flächenträgheitsmoment I_{st} zu genügen:

$$\begin{aligned} \text{für } a / h_w < \sqrt{2} : I_{st} &\geq 1,5 h_w^3 t^3 / a^2 \\ \text{für } a / h_w \geq \sqrt{2} : I_{st} &\geq 0,75 h_w t^3 \end{aligned} \quad (9.6)$$

ANMERKUNG Die Tragfähigkeit starrer Quersteifen darf für eine Normalkraft $\left(V_{Ed} - \frac{1}{\lambda_w} f_{yw} h_w t / (\sqrt{3} \gamma_{M1}) \right)$ nach

9.2.1(3) geprüft werden. Im Falle veränderlicher Schubkraft wird der Nachweis für eine Schubkraft im Abstand von $0,5 h_w$ von dem Beulfeldrand mit der größten Schubkraft durchgeführt.

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

9.3.4 Längssteifen

(1) Die Querschnittstragfähigkeit von Längssteifen unter Längsspannungen ist in der Regel nachzuweisen, wenn diese als zur Querschnittstragfähigkeit beitragend angenommen werden.

9.3.5 Schweißnähte

(1) Die Schweißnähte dürfen für den Nennwert des Schubflusses V_{Ed} / h_w bemessen werden, solange V_{Ed} den Wert $\chi_w f_{yw} h_w t / (\sqrt{3} \gamma_{M1})$ nicht überschreitet. Bei größeren Werten sind in der Regel die Halsnähte zwischen den Gurten und dem Steg für den Schubfluss $\eta f_{yw} t / (\sqrt{3} \gamma_{M1})$ zu bemessen.

(2) Anderenfalls sind in der Regel genauere Berechnungen zur Bemessung der Schweißnähte unter Berücksichtigung der Berechnungsmethode (elastisch/plastisch) und Einflüssen aus Theorie II. Ordnung durchzuführen.

9.4 Wirkung von Querlasten

(1) Reicht die Beanspruchbarkeit des nicht ausgesteiften Stegbleches nicht aus, sind in der Regel Quersteifen vorzusehen.

(2) Knicken von Quersteifen aus der Stegebene unter Querbelastung und Querkräften (siehe 9.3.3(3)) ist in der Regel nach EN 1993-1-1, 6.3.3 oder 6.3.4 unter Verwendung von Knicklinie c und einer Knicklänge von $l \geq 0,75 h_w$ nachzuweisen, wenn beide Steifenenden seitlich gehalten sind. Größere Knicklängen l sind bei Endlagerungen mit Verformungsmöglichkeit notwendig. Zusätzlich ist auch die Beanspruchbarkeit des Querschnitts der Quersteifen nachzuweisen, wenn Ausschnitte in den Quersteifen vorhanden sind.

(3) Bei Anwendung einseitiger oder anderer unsymmetrisch angeordneter Steifen ist die Exzentrizität bei Nachweisen nach EN 1993-1-1, 6.3.3 oder 6.3.4 in der Regel zu berücksichtigen. Werden die Steifen zur seitlichen Stützung des Obergurtes eingesetzt, so sollten sie eine Steifigkeit und Tragfähigkeit haben, die mit den Annahmen für die Bemessung gegen Biegedrillknicken übereinstimmen.

10 Methode der reduzierten Spannungen

(1) Die Methode der reduzierten Spannungen darf zur Bestimmung der Grenzspannungen ausgesteifter und nicht ausgesteifter Blechfelder eines Querschnitts benutzt werden.

ANMERKUNG 1 Dieses Verfahren ist eine Alternative zum Verfahren mit wirksamen Breiten nach Abschnitten 4 bis 7 unter Berücksichtigung folgender Punkte:

- die Spannungskomponenten des gesamten Spannungsfeldes, das sich aus $\sigma_{x,Ed}$, $\sigma_{z,Ed}$ und τ_{Ed} zusammensetzt, wirken gemeinsam;
- die Grenzspannungen des schwächsten Querschnittsteils können die Tragfähigkeit des gesamten Querschnitts bestimmen.

ANMERKUNG 2 Die Grenzspannungen dürfen ebenfalls zur Bestimmung äquivalenter wirksamer Flächen herangezogen werden. Anwendungsgrenzen der jeweiligen Methoden können im nationalen Anhang festgelegt werden.

(2) Bei ausgesteiften und nicht ausgesteiften Blechfeldern, die mit den gemeinsam wirkenden Spannungen $\sigma_{x,Ed}$, $\sigma_{z,Ed}$ und τ_{Ed} beansprucht werden, darf Querschnittsklasse 3 angenommen werden, wenn gilt:

$$\frac{\rho \alpha_{ult,k}}{\gamma_{M1}} \geq 1 \quad (10.1)$$

Dabei ist

- $\alpha_{ult,k}$ der kleinste Faktor für die Vergrößerung der Bemessungslasten, um den charakteristischen Wert der Beanspruchbarkeit am kritischen Punkt des Blechfeldes zu erreichen, siehe (4);
- ρ der Reduktionsbeiwert in Abhängigkeit des Schlankheitsgrades des Blechfeldes $\bar{\lambda}_p$, siehe (5);
- γ_{M1} der Teilsicherheitsbeiwert.

(3) Der $\boxed{\text{AC}}$ modifizierte Schlankheitsgrad des Blechfeldes $\boxed{\text{AC}} \bar{\lambda}_p$ des Blechfeldes ist in der Regel wie folgt zu bestimmen:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr}}} \quad (10.2)$$

Dabei ist

- α_{cr} der kleinste Faktor für die Vergrößerung der Bemessungslasten, um die elastische Verzweigungsbelastung für das gesamte einwirkende Spannungsfeld zu erreichen, siehe (6).

ANMERKUNG 1 Zur Bestimmung von α_{cr} für das gesamte einwirkende Spannungsfeld darf das ausgesteifte Blechfeld entsprechend den Regeln in Abschnitten 4 und 5 abgebildet werden, jedoch ohne die in 5.3(4) angegebene Abminderung des Flächenträgheitsmomentes der Längssteifen.

ANMERKUNG 2 Kann α_{cr} nicht für das gesamte Blechfeld einschließlich der Einzelfelder als Ganzes bestimmt werden, so dürfen getrennte Nachweise für die Einzelfelder und das gesamte Blechfeld geführt werden.

(4) Für die Bestimmung von $\alpha_{ult,k}$ darf das Fließkriterium benutzt werden:

$$\frac{1}{\alpha_{ult,k}^2} = \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y} \right) \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y} \right) + 3 \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y} \right)^2 \quad (10.3)$$

$\sigma_{x,Ed}$, $\sigma_{z,Ed}$ und τ_{Ed} sind die Komponenten des Spannungsfeldes im Grenzzustand der Tragfähigkeit.

ANMERKUNG Bei Verwendung der Fließbeziehung in Gleichung (10.3) wird angenommen, dass sich der Grenzzustand des Fließens ohne vorhergehendes Beulen einstellt.

(5) Der Abminderungsbeiwert ρ darf nach einer der beiden folgenden Methoden ermittelt werden:

a) der kleinste Werte der folgenden Abminderungsbeiwerte:

- ρ_x der Reduktionsbeiwert nach 4.5.4(1) für die Längsrichtung, falls erforderlich unter Berücksichtigung knickstabähnlichen Verhaltens;
- ρ_z der Reduktionsbeiwert nach 4.5.4(1), hier jedoch für die Querrichtung, falls erforderlich unter Berücksichtigung knickstabähnlichen Verhaltens;
- χ_w der Reduktionsbeiwert für Schubbeulen nach $\boxed{\text{AC}}$ 5.3(1) $\boxed{\text{AC}}$.

Alle Reduktionsbeiwerte werden mit dem $\boxed{\text{AC}}$ modifizierten Schlankheitsgrad des Blechfeldes $\boxed{\text{AC}} \bar{\lambda}_p$ des Blechfeldes nach Gleichung (10.2) ermittelt.

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

ANMERKUNG Dieses Vorgehen führt zu dem Nachweisformat:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M1}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y / \gamma_{M1}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M1}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y / \gamma_{M1}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y / \gamma_{M1}}\right)^2 \leq \rho^2 \quad (10.4)$$

ANMERKUNG Zur Bestimmung von ρ_z für Spannungen in Querrichtung ist in der Regel das Vorgehen nach Abschnitt 4 für Längsspannungen σ_x auf die Spannungen in Querrichtung σ_z anzuwenden. Aus Kompatibilitätsgründen ist Abschnitt 6 in der Regel nicht anzuwenden.

- b) ein aus den Abminderungsbeiwerten ρ_x , ρ_z und χ_w entsprechend a) interpolierter Abminderungsbeiwert, wobei die Gleichung für $\alpha_{ult,k}$ als Interpolationsfunktion herangezogen wird.

ANMERKUNG Diese Vorgehen führt zu dem Nachweisformat:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\rho_x f_y / \gamma_{M1}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{\rho_z f_y / \gamma_{M1}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\rho_x f_y / \gamma_{M1}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{\rho_z f_y / \gamma_{M1}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{\chi_w f_y / \gamma_{M1}}\right)^2 \leq 1 \quad (10.5)$$

ANMERKUNG 1 Da die Nachweise nach den Gleichungen (10.3), (10.4) und (10.5) bereits eine Interaktion zwischen Querkraft, Biegemoment, Normalkraft und Querbelastrung beinhalten, braucht Abschnitt 7 in der Regel nicht angewendet zu werden.

ANMERKUNG 2 Der nationale Anhang darf weitere Informationen zur Verwendung der Gleichungen (10.4) und (10.5) geben. Treten Zug- und Druckspannungen in einem Blechfeld auf, so wird empfohlen, die Gleichungen (10.4) und (10.5) lediglich auf die unter Druckbeanspruchung stehenden Querschnittsteile anzuwenden.

- (6) Liegen nicht die Werte α_{cr} für das gesamte Spannungsfeld, sondern nur die Werte $\alpha_{cr,i}$ jeweils für die Komponenten $\sigma_{x,Ed}$, $\sigma_{z,Ed}$ und τ_{Ed} des Spannungsfeldes vor, so darf der Wert α_{cr} für die gemeinsame Wirkung von $\sigma_{x,Ed}$, $\sigma_{z,Ed}$, τ_{Ed} wie folgt bestimmt werden:

$$\frac{1}{\alpha_{cr}} = \frac{1+\psi_x}{4 \alpha_{cr,x}} + \frac{1+\psi_z}{4 \alpha_{cr,z}} + \left[\left(\frac{1+\psi_x}{4 \alpha_{cr,x}} + \frac{1+\psi_z}{4 \alpha_{cr,z}} \right)^2 + \frac{1-\psi_x}{2 \alpha_{cr,x}^2} + \frac{1-\psi_z}{2 \alpha_{cr,z}^2} + \frac{1}{\alpha_{cr,\tau}^2} \right]^{1/2} \quad (10.6)$$

Dabei ist

$$\alpha_{cr,x} = \frac{\sigma_{cr,x}}{\sigma_{x,Ed}}$$

$$\alpha_{cr,z} = \frac{\sigma_{cr,z}}{\sigma_{z,Ed}}$$

AC

$$\alpha_{cr,\tau} = \frac{\tau_{cr}}{\tau_{Ed}} \quad \text{AC}$$

$\sigma_{cr,x}$, $\sigma_{cr,z}$, τ_{cr} , ψ_x und ψ_z werden nach Abschnitten 4 bis 6 bestimmt.

- (7) Die Bemessung von Steifen sowie die Detailausbildung haben in der Regel nach Abschnitt 9 zu erfolgen.

Anhang A (informativ)

Berechnung kritischer Spannungen für ausgesteifte Blechfelder

A.1 Äquivalente orthotrope Platten

- (1) Blechfelder mit mindestens drei Längssteifen, deren Steifigkeit verschmiert werden darf, dürfen als äquivalente orthotrope Platten nachgewiesen werden.
- (2) Die elastische kritische Beulspannung der äquivalenten orthotropen Platte ist:

$$\sigma_{cr,p} = k_{\sigma,p} \sigma_E \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E t^2}{12(1-\nu^2)b^2} = 190\,000 \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad \text{in MPa;}$$

- $k_{\sigma,p}$ der Beulwert für die orthotrope Platte mit verschmierten Steifen (ohne Betrachtung des Einzelfeldbeulens);
- b wie in Bild A.1 definiert;
- t die Blechdicke.

ANMERKUNG 1 Der Beulwert $k_{\sigma,p}$ darf entweder entsprechenden Beulwerttafeln für verschmierte Längssteifen entnommen oder mittels Computerberechnungen ermittelt werden. Alternativ dürfen auch Beulwerttafeln für diskrete Längssteifen verwendet werden, falls Einzelfeldbeulen ausgeschlossen werden kann bzw. in einer separaten Berechnung berücksichtigt wird.

ANMERKUNG 2 $\sigma_{cr,p}$ ist die kritische Beulspannung an dem Blechfeldrand mit der größten Druckspannung, siehe Bild A.1.

ANMERKUNG 3 Bei der Untersuchung von Stegen sollte die Breite b in den Gleichungen (A.1) und (A.2) durch h_w ersetzt werden.

ANMERKUNG 4 Für längs ausgesteifte Blechfelder mit mindestens drei äquidistant verteilten Längssteifen darf der Beulwert $k_{\sigma,p}$ zur Berücksichtigung des Gesamtfeldbeulens des ausgesteiften Blechfeldes näherungsweise wie folgt bestimmt werden:

$$k_{\sigma,p} = \frac{2\left((1+\alpha^2)^2 + \gamma - 1\right)}{\alpha^2(\psi+1)(1+\delta)} \quad \text{für } \alpha \leq \sqrt[4]{\gamma}$$

$$k_{\sigma,p} = \frac{4(1+\sqrt{\gamma})}{(\psi+1)(1+\delta)} \quad \text{für } \alpha > \sqrt[4]{\gamma} \quad (\text{A.2})$$

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

mit:

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \geq 0,5$$

$$\gamma = \frac{I_{sl}}{I_p}$$

$$\langle AC \rangle \delta = \frac{A_{sl}}{A_p} \langle AC \rangle$$

$$\alpha = \frac{a}{b} \geq 0,5$$

Dabei ist

I_{sl} das Flächenträgheitsmoment des gesamten längsversteiften Blechfeldes;

I_p das Flächenträgheitsmoment für Plattenbiegung $= \frac{bt^3}{12(1-\nu^2)} = \frac{bt^3}{10,92}$;

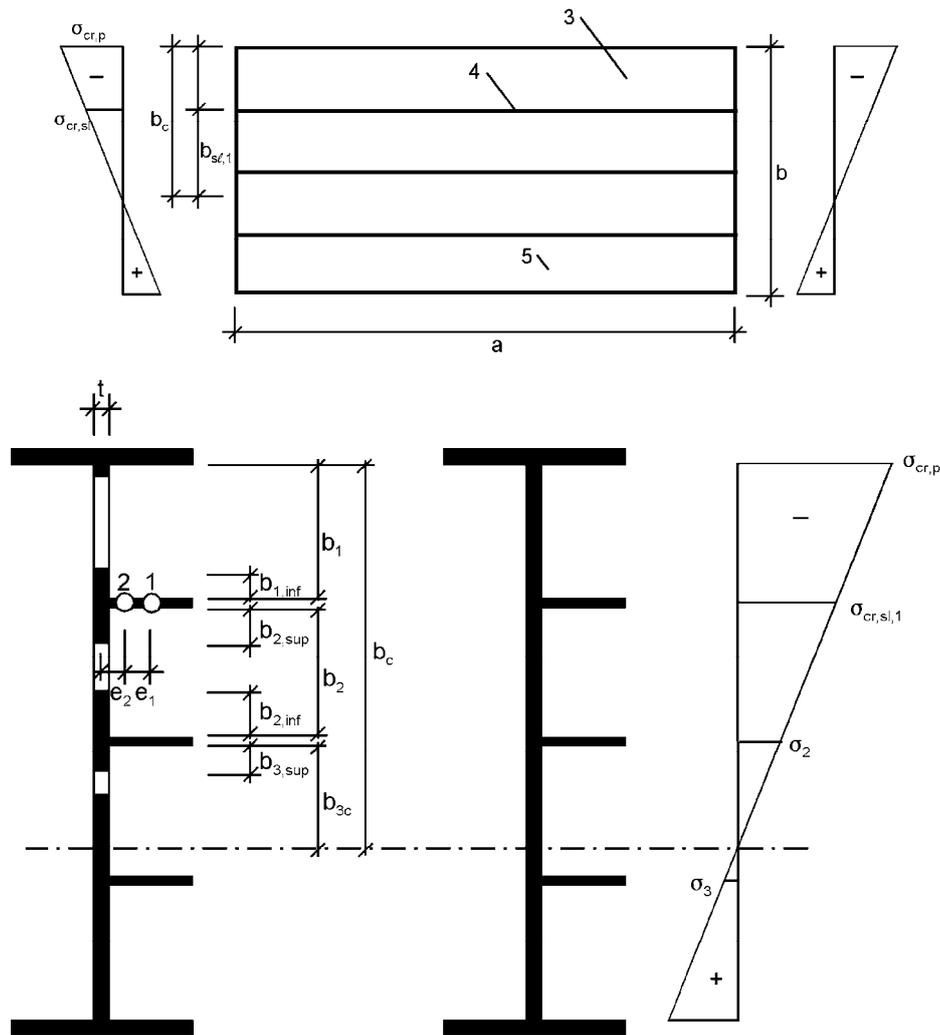
$\langle AC \rangle A_{sl} \langle AC \rangle$ die Summe der Bruttoquerschnittsflächen aller Längssteifen ohne Anteile des Blechfeldes;

A_p die Bruttoquerschnittsfläche des Bleches $= b t$;

σ_1 die größere Randspannung;

σ_2 die kleinere Randspannung.

a , b und t sind in Bild A.1 definiert.



$e = \max (e_1, e_2)$

Legende

- 1 Schwerelinie der $\boxed{\text{AC}}$ Längssteife $\boxed{\text{AC}}$
- 2 Schwerelinie des $\boxed{\text{AC}}$ Ersatzdruckstabes $\boxed{\text{AC}}$ = Längssteife + mitwirkende Blechteile
- 3 Einzelfeld
- 4 Längssteife
- 5 Blechdicke t

	Breite bei Bruttoquerschnittsfläche	Breite bei wirksamen Flächen nach Tabelle 4.1	Bedingung für ψ_i
$b_{1,inf}$	$\frac{3 - \psi_1}{5 - \psi_1} b_1$	$\frac{3 - \psi_1}{5 - \psi_1} b_{1,eff}$	$\psi_1 = \frac{\sigma_{cr,sl,1}}{\sigma_{cr,p}} > 0$
$b_{2,sup}$	$\frac{2}{5 - \psi_2} b_2$	$\frac{2}{5 - \psi_2} b_{2,eff}$	$\psi_2 = \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr,sl,1}} > 0$
$b_{2,inf}$	$\frac{3 - \psi_2}{5 - \psi_2} b_2$	$\frac{3 - \psi_2}{5 - \psi_2} b_{2,eff}$	$\psi_2 > 0$
$b_{3,sup}$	$0,4 b_{3c}$	$0,4 b_{3c,eff}$	$\psi_3 = \frac{\sigma_3}{\sigma_2} < 0$

Bild A.1 — Bezeichnungen für längsausgesteifte Beulfelder

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

A.2 Kritische Beulspannung bei Blechfeldern mit einer oder zwei Steifen in der Druckzone

A.2.1 Allgemeine Vorgehensweise

(1) Bei Blechfeldern mit nur einer Längssteife in der Druckzone darf die Vorgehensweise in A.1 dadurch vereinfacht werden, dass die elastische kritische Beulspannung mit Hilfe der elastischen kritischen Knickspannung der Längssteife als Ersatzdruckstab auf elastischer Bettung ermittelt wird. Die elastische Bettung steht dabei für die Plattenwirkung quer zur Längssteife. Die kritische Knickspannung darf nach A.2.2 ermittelt werden.

(2) Der Bruttoquerschnitt des Ersatzdruckstabes (zur Berechnung von $A_{s\ell,1}$ und $I_{s\ell,1}$) setzt sich in der Regel aus dem Bruttoquerschnitt der Steife und der anschließenden mitwirkenden Blechteile zusammen. Liegt das anschließende Einzelfeld voll im Druckbereich, ist ein Anteil $(3-\psi)/(5-\psi)$ der wirksamen Breite b_1 an der Kante des Feldes und ein Anteil $2/(5-\psi)$ an der Kante mit den höchsten Spannungen als mitwirkend anzusehen. Wechseln im anschließenden Einzelfeld die Spannungen von Druck auf Zug, sollte das 0,4fache der wirksamen Breite b_c der Druckzone verwendet werden, siehe Bild A.2 und Tabelle 4.1. ψ ist dabei das Spannungsverhältnis des betrachteten Einzelfeldes.

(3) Die wirksame Querschnittsfläche $A_{s\ell,eff}$ des Ersatzdruckstabes sollte in der Regel aus den wirksamen Querschnittsteilen der Steife und den anschließenden wirksamen Blechteilen zusammengesetzt werden, siehe Bild A.1. Der Schlankheitsgrad der Blechfelder in dem Ersatzdruckstab darf nach 4.4(4) ermittelt werden, wobei $\sigma_{com,Ed}$ für die Bruttofläche des Blechfeldes berechnet wird.

(4) Falls der Wert $\rho_c f_y / \gamma_{M1}$ (mit ρ_c nach 4.5.4(1)) größer als die mittlere Spannung $\sigma_{com,Ed}$ in dem Ersatzdruckstab ist, braucht keine weitere Abminderung der wirksamen Fläche des Ersatzdruckstabes vorgenommen zu werden; andernfalls ist die Abminderung nach (4.6) durch

$$A_{c,eff,loc} = \frac{\rho_c f_y A_{sl,1}}{\sigma_{com,Ed} \gamma_{M1}} \quad (A.3)$$

zu ersetzen.

(5) Die Abminderung in A.2.1(4) gilt in der Regel nur für die Fläche des Ersatzknickstabes. Außer für das Einzelfeldbeulen brauchen andere unter Druckbeanspruchung stehende Teile des Blechfeldes nicht abgemindert zu werden.

(6) Alternativ zur Verwendung der wirksamen Fläche nach A.2.1(4) darf die Beanspruchbarkeit des Ersatzdruckstabes auch nach A.2.1(5) bis (7) ermittelt und mit der mittleren Spannung $\sigma_{com,Ed}$ verglichen werden.

ANMERKUNG Diese Näherung in (6) darf auch im Falle mehrfacher Steifen verwendet werden, wobei als weitere Vereinfachung die Federung durch das Blech vernachlässigt werden darf. Dadurch wird der Ersatzdruckstab als freier Knickstab für Knicken quer zur Blechebene nachgewiesen.

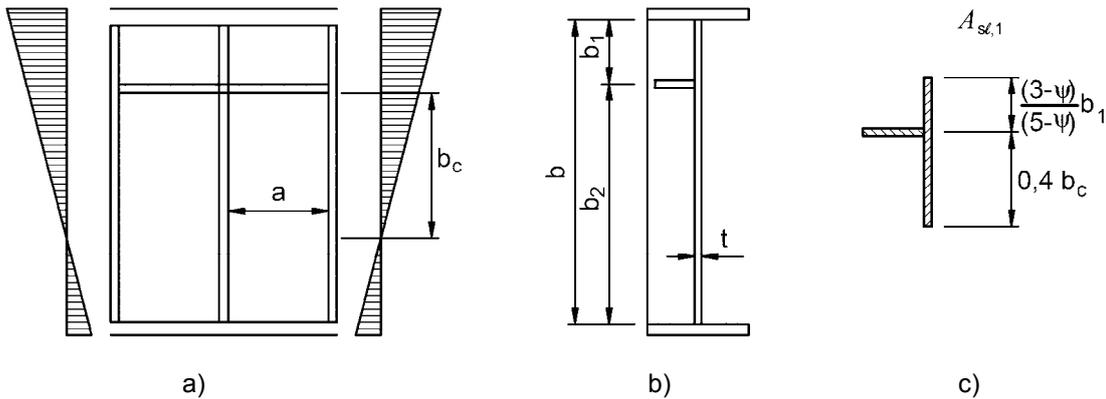


Bild A.2 — Bezeichnungen für ein Blechfeld mit nur einer Steife in der Druckzone

(7) Befinden sich zwei Steifen in der Druckzone eines ausgesteiften Beulfeldes, darf das Verfahren für eine Einzelsteife nach A.2.1(1) ebenso angewendet werden, siehe Bild A.3. Zunächst wird angenommen, dass jede der beiden Steifen für sich ausknicken kann, wobei die andere als starr gilt. Dann wird das gemeinsame Ausknicken beider Steifen durch Betrachtung einer einzigen Ersatzsteife berücksichtigt, in der beide Steifen zusammengeführt sind. Für diese Ersatzsteife gilt:

- a) ihre Querschnittsfläche und ihr Flächenträgheitsmoment $I_{s\ell}$ sind die Summe der entsprechenden Größen für die Einzelsteifen, die in den vorhergehenden Schritten betrachtet wurden;
- b) ihre Lage entspricht der Lage der Resultierenden der Druckkräfte in den Einzelsteifen, die in den vorhergehenden Schritten berechnet wurden.

Für die drei in Bild A.3 dargestellten Fälle wird jeweils ein kritischer Wert $\sigma_{cr,p}$ berechnet, siehe A.2.2(1), wobei jeweils gilt: $b_1 = b_1^*$ und $b_2 = b_2^*$ sowie $B^* = b_1^* + b_2^*$, siehe Bild A.3.

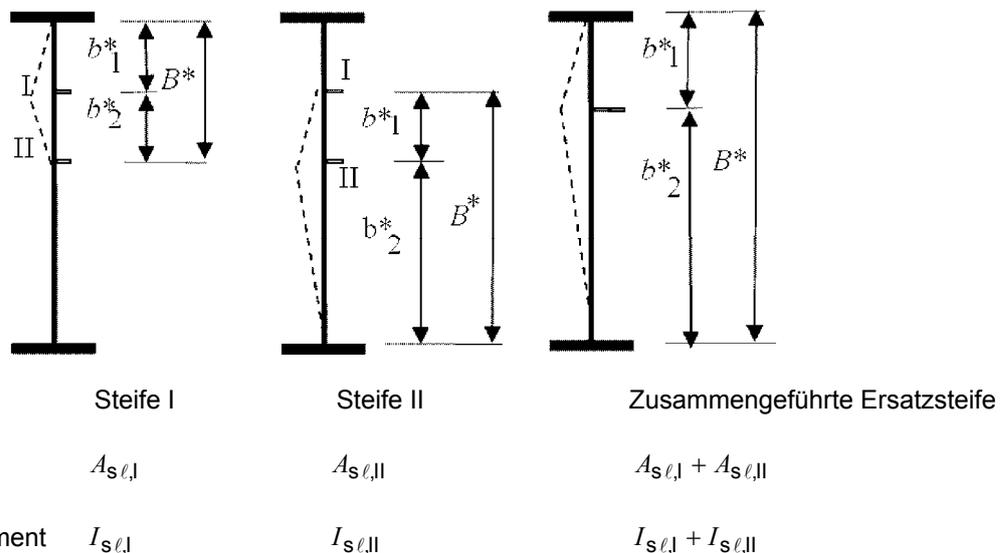


Bild A.3 — Bezeichnungen für ein Blechfeld mit zwei Steifen in der Druckzone

A.2.2 Vereinfachtes Modell für einen Ersatzstab mit elastischer Bettung durch ein Blech

(1) Bei nur einer Längssteife in der Druckzone und Vernachlässigung eventuell vorhandener weiterer Längssteifen in der Zugzone lautet die elastische kritische Knickspannung der Steifen:

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

AC

$$\sigma_{cr,s\ell} = \frac{1,05 E}{A_{s\ell,1}} \frac{\sqrt{I_{s\ell,1} t^3 b}}{b_1 b_2} \quad \text{für } a \geq a_c$$

$$\sigma_{cr,s\ell} = \frac{\pi^2 E I_{s\ell,1}}{A_{s\ell,1} a^2} + \frac{E t^3 b a^2}{4 \pi^2 (1 - \nu^2) A_{s\ell,1} b_1^2 b_2^2} \quad \text{für } a < a_c$$

AC (A.4)

mit

$$a_c = 4,33 \sqrt[4]{\frac{I_{s\ell,1} b_1^2 b_2^2}{t^3 b}}$$

Dabei ist

$A_{s\ell,1}$ die Bruttoquerschnittsfläche des Ersatzdruckstabes nach A.2.1(2);

$I_{s\ell,1}$ das Flächenträgheitsmoment des Bruttoquerschnitts des Ersatzdruckstabes nach A.2.1(2) für Knicken quer zur Blechebene;

b_1, b_2 die Abstände der Steifen zu den Längsrändern ($b_1 + b_2 = b$).

AC gestrichener Text **AC**

(2) Bei zwei Längssteifen in der Druckzone und Vernachlässigung eventuell vorhandener weiterer Längssteifen in der Zugzone ist in der Regel die maßgebende elastisch kritische Beulspannung der niedrigste Wert, der für die drei Fälle nach Gleichung (A.4) mit $b_1 = b_1^*$, $b_2 = b_2^*$ und $b = B^*$ berechnet wurde.

A.3 Schubbeulwerte für ausgesteifte Blechfelder

(1) Bei Blechfeldern mit mehr als zwei oder ohne Längssteifen, die durch starre Quersteifen begrenzt sind, darf der Schubbeulwert k_τ wie folgt bestimmt werden:

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 (h_w / a)^2 + k_{\tau s\ell} \quad \text{für } a / h_w \geq 1$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34 (h_w / a)^2 + k_{\tau s\ell} \quad \text{für } a / h_w < 1$$

(A.5)

Dabei ist

$$k_{\tau s\ell} = 9 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 \sqrt[4]{\left(\frac{I_{s\ell}}{t^3 h_w} \right)^3} \geq \frac{2,1}{t} \sqrt[3]{\frac{I_{s\ell}}{h_w}}$$

a der Abstand starrer Quersteifen, siehe Bild 5.3;

$I_{s\ell}$ das Flächenträgheitsmoment einer Längssteife um die z-z-Achse, siehe Bild 5.3 b). Bei Stegblechen mit **AC** gestrichener Text **AC** Steifen ist $I_{s\ell}$ die Summe der Steifigkeiten aller Einzelsteifen, wobei diese nicht gleichmäßig angeordnet sein müssen.

ANMERKUNG Gleichung (A.5) gilt nicht für Blechfelder mit verformbaren Zwischenquersteifen.

(2) Gleichung (A.5) darf auch für Blechfelder mit einer oder zwei Längssteifen angewendet werden, wenn für $\alpha = \frac{a}{h_w}$ gilt: $\alpha \geq 3$. Für Blechfelder mit einer oder zwei Längssteifen und $\alpha < 3$ darf der Schubbeulwert wie folgt bestimmt werden:

$$k_{\tau} = 4,1 + \frac{6,3 + 0,18 \frac{I_{s\ell}}{t^3 h_w}}{\alpha^2} + 2,2 \sqrt[3]{\frac{I_{s\ell}}{t^3 h_w}} \quad (\text{A.6})$$

Anhang B (informativ)

Bauteile mit veränderlichem Querschnitt

B.1 Allgemeines

- (1) Der Beulnachweis von aus Blechfeldern zusammengesetzten Bauteilen, bei denen die Regelmäßigkeitsbedingungen nach 4.1(1) nicht zutreffen, kann nach dem Verfahren in Abschnitt 10 durchgeführt werden.
- (2) Zur Bestimmung von $\alpha_{ult,N}$ und α_{cr} dürfen FE-Verfahren verwendet werden, siehe Anhang C.
- (3) Die Abminderungsfaktoren ρ_x , ρ_z und χ_w können für den Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_p$ den entsprechenden Plattenbeulkurven entnommen werden, siehe Abschnitte 4 und 5.

ANMERKUNG Die Abminderungsfaktoren ρ dürfen auch wie folgt ermittelt werden:

$$\rho = \frac{1}{\varphi_p + \sqrt{\varphi_p^2 - \bar{\lambda}_p}} \quad (\text{B.1})$$

mit

$$\varphi_p = \frac{1}{2} \left(1 + \alpha_p \left(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p0} \right) + \bar{\lambda}_p \right)$$

und

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr}}}$$

Dieses Vorgehen gilt für ρ_x , ρ_z und χ_w . Werte für $\bar{\lambda}_{p0}$ und α_p sind in Tabelle B.1 angegeben. Die Werte in Tabelle B.1 sind an den Beulkurven in Abschnitten 4 und 5 kalibriert und liefern eine direkte Verbindung zu der geometrischen Ersatzimperfektion durch:

$$e_0 = \alpha_p \left(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p0} \right) \frac{t}{6} \frac{1 - \frac{\rho \bar{\lambda}_p}{\gamma_{M1}}}{1 - \rho \bar{\lambda}_p} \quad (\text{B.2})$$

Tabelle B.1 — Zahlenwerte für $\bar{\lambda}_{p0}$ und α_p

Produkt	Vorherrschende Beulform	α_p	$\bar{\lambda}_{p0}$
warmgewalzt	Längsspannungen mit $\psi \geq 0$	0,13	0,70
	Längsspannungen mit $\psi < 0$		0,80
	Schubspannungen Querlasten		
geschweißt oder kaltgeformt	Längsspannungen mit $\psi \geq 0$	0,34	0,70
	Längsspannungen mit $\psi < 0$		0,80
	Schubspannungen Querlasten		

B.2 Interaktion von Plattenbeulen und Biegedrillknicken von Bauteilen

(1) Das in B.1 angegebene Verfahren darf auf den Nachweis von gemeinsam auftretendem Plattenbeulen und Biegedrillknicken von Bauteilen angewendet werden, wenn die Werte α_{ult} und α_{cr} wie folgt ermittelt werden:

α_{ult} ist der kleinste Faktor für die Vergrößerung der Bemessungswerte der Lasten, um die charakteristische Beanspruchbarkeit des kritischen Bauteilquerschnitts zu erreichen, wobei Plattenbeulen und Biegedrillknicken vernachlässigt und bei der Berechnung nicht betrachtet werden;

α_{cr} ist der kleinste Faktor für die Vergrößerung der Bemessungswerte der Lasten, um die elastische Verzweigungsbelastung für das Bauteil unter Einschluss von Plattenbeulen und Biegedrillknicken zu erreichen.

(2) Wenn α_{cr} Biegedrillknickverformungen enthält, ist in der Regel der Abminderungsfaktor ρ der kleinste Wert von ρ nach B.1(3) und χ_{LT} nach EN 1993-1-1, 6.3.3 anzusetzen.

Anhang C (informativ)

Berechnungen mit der Finite-Element-Methode (FEM)

C.1 Allgemeines

(1) Anhang C enthält Hinweise zur Anwendung von FE-Methoden bei Nachweisen im Grenzzustand der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit sowie bei Ermüdungsnachweisen von plattenartigen Bauteilen.

ANMERKUNG 1 EN 1993-1-6 gibt Hinweise zur Anwendung von FE-Methoden bei Schalentragwerken.

ANMERKUNG 2 Diese Anhang darf nur von Ingenieuren mit entsprechender Erfahrung bei der Anwendung von FE-Methoden angewendet werden.

(2) Die Wahl der jeweiligen FE-Methode hängt von der zu untersuchenden Fragestellung ab. Folgende Annahmen sind zu treffen:

Tabelle C.1 — Annahmen für Berechnungen mit FEM

Nr	Werkstoffverhalten	Strukturverhalten	Imperfektionen, siehe C.5	Anwendungsbeispiel
1	linear	linear	Nein	elastische mittragende Breite, elastische Tragfähigkeit
2	nichtlinear	linear	Nein	plastische Tragfähigkeit im Grenzzustand der Tragfähigkeit
3	linear	nichtlinear	Nein	kritische Plattenbeullast
4	linear	nichtlinear	Ja	elastische Tragfähigkeit unter Berücksichtigung von Plattenbeulen
5	nichtlinear	nichtlinear	Ja	elastisch-plastische Tragfähigkeit im Grenzzustand der Tragfähigkeit

C.2 Anwendung

(1) Bei Anwendung von FE-Berechnungen ist in der Regel besonders auf folgende Punkte zu achten:

- geeignete Modellierung des Bauteils und seiner Randbedingungen;
- geeignetes Programm und ausreichende Programmdokumentation;
- Ansatz von Imperfektionen;
- Ansatz der Werkstoffeigenschaften;
- Modellierung der Lasten;
- Modellierung der Kriterien für den Grenzzustand;
- anzuwendende Teilsicherheitsbeiwerte.

ANMERKUNG Der nationale Anhang darf Bedingungen für die Anwendung von FE-Berechnungen für Entwurf und Bemessung festlegen.

C.3 Modellierung

(1) Die Wahl der Finiten Elemente (z. B. Schalenelemente oder Volumenelemente) und die Netzgestaltung bestimmt die Genauigkeit der Ergebnisse durchzuführen. Im Zweifelsfall sind die Brauchbarkeit des Netzes und die Größe der Finiten Elemente durch Empfindlichkeitsprüfungen (gegebenenfalls mit anschließender Verfeinerung) nachzuweisen.

(2) Die FE-Modellierung darf durchgeführt werden für

- ein Bauteil als Ganzes;
- eine Substruktur als Teil des Bauteils.

ANMERKUNG Ein Beispiel für ein Bauteil könnte der Steg oder das druckbeanspruchte Bodenblech eines Kastenträgers im Stützenbereich eines Durchlaufträgers sein. Ein Beispiel für eine Substruktur könnte ein Einzelfeld des Bodenblechs sein, das unter zweiachsender Belastung steht.

(3) Die geometrischen und mechanischen Bedingungen für Lagerung, Koppelbedingungen und Einzelheiten der Lasteinleitung sind in der Regel so zu wählen, dass realistische oder auf der sicheren Seite liegende Resultate erzielt werden.

(4) Die Abmessungen sind in der Regel mit den Nennwerten zu modellieren.

(5) Sind Imperfektionen vorzusehen, so gelten für diese in der Regel die Form und die Amplituden gemäß C.5.

(6) Die Werkstoffeigenschaften sind in der Regel unter Beachtung von C.6(2) zu wählen.

C.4 Wahl des Programms und Dokumentation

(1) Das Programm muss für die Aufgabe geeignet und erwiesenermaßen zuverlässig sein.

ANMERKUNG Die Zuverlässigkeit kann durch geeignete Prüfberechnungen (benchmark tests) nachgewiesen werden.

(2) Netzgestaltung, Belastung, Randbedingungen und andere Eingaben sind in der Regel ebenso wie die Resultate nachprüfbar zu dokumentieren, so dass sie von unabhängigen Drittstellen reproduziert werden können.

C.5 Ansatz von Imperfektionen

(1) Bei FE-Berechnungen verwendete Imperfektionen sollten in der Regel sowohl geometrische als auch strukturelle Imperfektionen (Eigenspannungen) enthalten.

(2) Sind keine genaueren getrennten Ansätze von geometrischen und strukturellen Imperfektionen möglich, dürfen geometrische Ersatzimperfektionen verwendet werden.

ANMERKUNG 1 Geometrische Imperfektionen dürfen mit der Form der modalen Beulfigur angesetzt werden. Der nationale Anhang darf die zugehörigen Amplituden festlegen. Ein Wert entsprechend 80 % der geometrischen Fertigungstoleranzen wird empfohlen.

ANMERKUNG 2 Strukturelle Imperfektionen in Form von Eigenspannungen dürfen mit einer Eigenspannungsverteilung angesetzt werden, deren Verlauf und Amplitude im Mittel aus dem Fertigungsablauf erwartet werden können.

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

(3) Die Richtung der Imperfektionen ist in der Regel so anzusetzen, dass die niedrigste Beanspruchbarkeit erzielt wird.

(4) Für geometrische Ersatzimperfektionen dürfen die Ansätze in Tabelle C.2 und Bild C.1 angewendet werden.

Tabelle C.2 — Geometrische Ersatzimperfektionen

Imperfektionsansatz	Bauteil	Form	Amplitude
global	Bauteil der Länge ℓ	Bogen	siehe EN 1993-1-1, Tabelle 5.1
global	Längssteife der Länge a	Bogen	min ($a/400$, $b/400$)
lokal	Teilfeld oder Einzelfeld mit kurzer Länge a oder b	Beulform	min ($a/200$, $b/200$)
lokal	Verdrehung von Steifen und Flanschen	Bogen	1/50

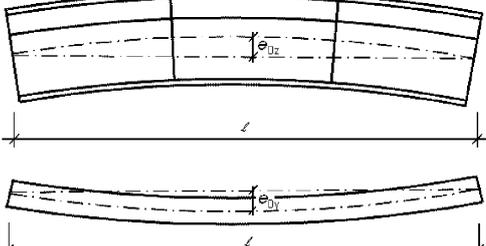
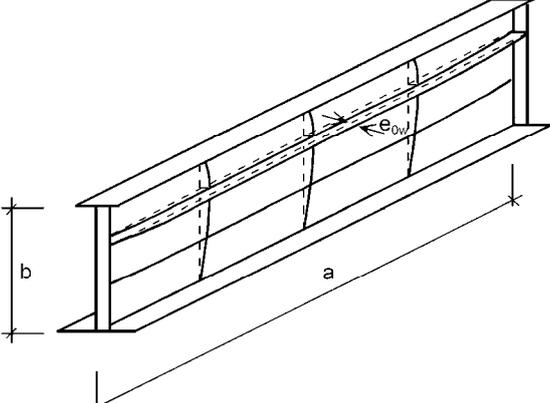
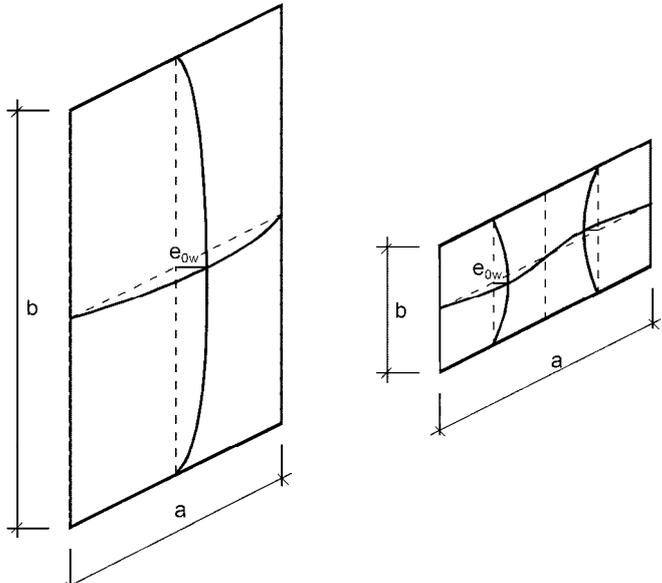
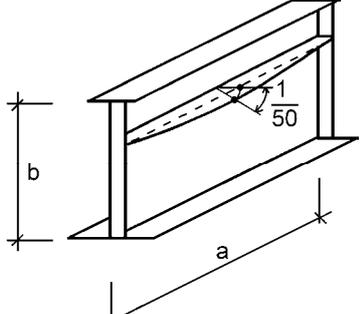
Imperfektionsansatz	Bauteil
global, Bauteil der Länge ℓ	
global, Längssteife der Länge a	
lokal, Teilfeld oder Einzelfeld	
lokal, Verdrehung von Steifen oder Flanschen	

Bild C.1 — Modellierung geometrischer Ersatzimperfectionen

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

(5) Bei Betrachtung des Zusammenwirkens verschiedener Imperfektionen ist in der Regel eine Leitimperfektion zu wählen; die Begleitimperfektionen dürfen auf 70 % abgemindert werden.

ANMERKUNG 1 Jede der Imperfektionen in Tabelle C.2 ist in der Regel als Leitimperfektion und die verbleibenden sind als Begleitimperfektionen anzusetzen.

ANMERKUNG 2 Geometrische Ersatzimperfektionen dürfen auch durch entsprechende Störlasten abgebildet werden.

C.6 Werkstoffeigenschaften

(1) Werkstoffeigenschaften sind in der Regel mit charakteristischen Werten anzusetzen.

(2) Abhängig von der gewünschten Genauigkeit und der Größe der erwarteten Dehnungen dürfen folgende Näherungen für das Werkstoffverhalten verwendet werden, siehe Bild C.2:

- a) elastisch-plastisch ohne Wiederverfestigung;
- b) elastisch-plastisch mit Pseudowiederverfestigung;
- c) elastisch-plastisch mit linearer Wiederverfestigung;
- d) wahre Spannungs-Dehnungs-Kurve, die aus der technischen Spannungs-Dehnungs-Kurve wie folgt ermittelt wird:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{true}} &= \sigma (1 + \varepsilon) \\ \varepsilon_{\text{true}} &= \ln (1 + \varepsilon)\end{aligned}\tag{C.1}$$

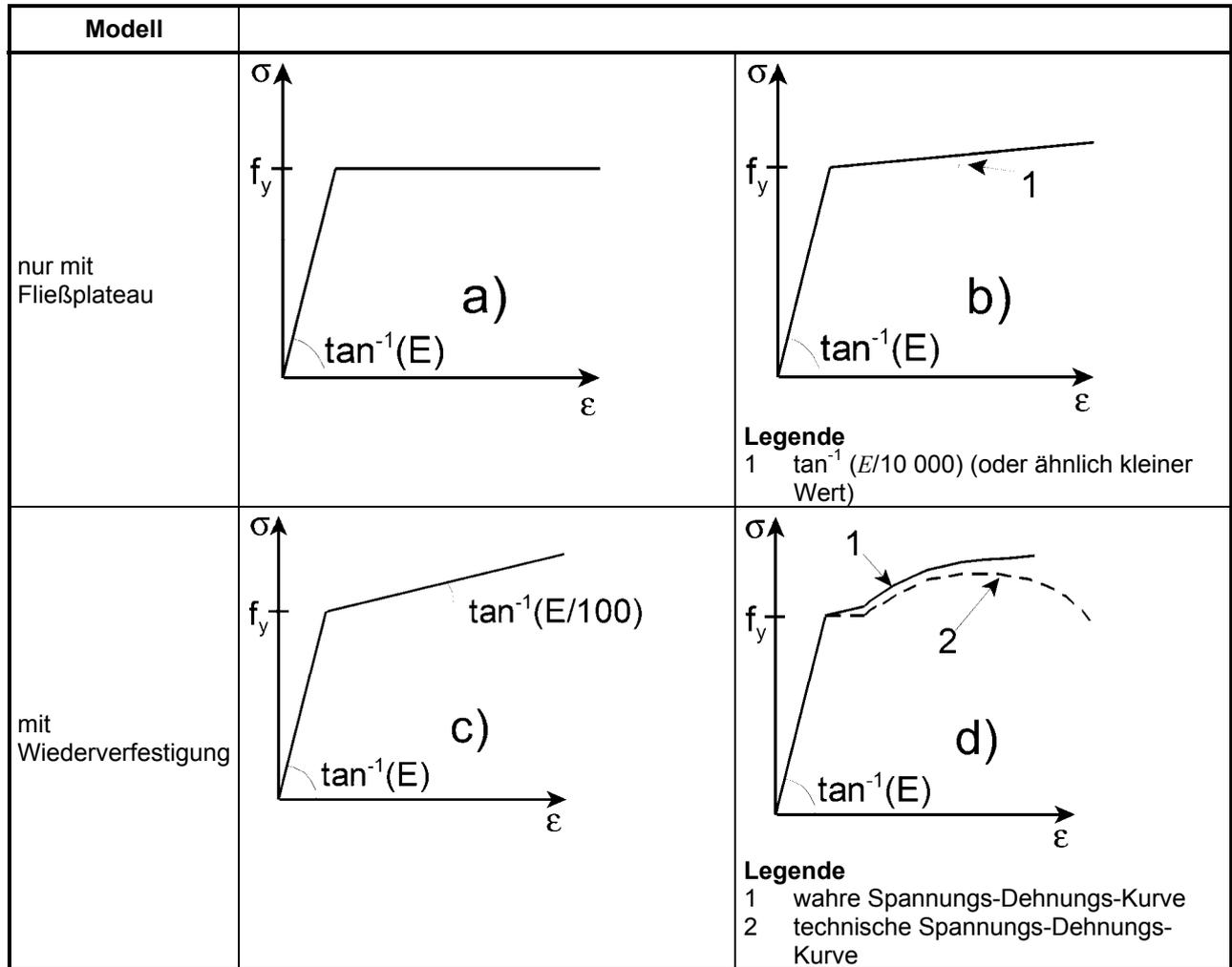


Bild C.2 — Modellierung des Werkstoffverhaltens

ANMERKUNG Für den Elastizitätsmodul im elastischen Bereich ist der Nennwert maßgebend.

C.7 Belastungen

(1) Die anzusetzenden Lasten sollten in der Regel die maßgebenden Teilsicherheitsbeiwerte und Kombinationsfaktoren enthalten. Für schrittweise Berechnungen darf ein einziger Lasterhöhungsfaktor α verwendet werden.

C.8 Kriterien für den Grenzzustand

(1) Folgende Kriterien für Grenzzustände sind in der Regel zu verwenden:

1. Für Bauteile mit Plattenbeulen:

Erreichen des Maximums der Last-Verformungskurve.

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

2. Für Bereiche unter Zugbeanspruchungen:

Erreichen eines Maximalwertes der Hauptmembrandehnung.

ANMERKUNG 1 Der Maximalwert der Hauptmembrandehnung darf im nationalen Anhang festgelegt werden; es wird ein Wert von 5 % empfohlen.

ANMERKUNG 2 Andere Kriterien dürfen verwendet werden (z. B. Erreichen eines Fließkriteriums oder Begrenzung der Fließzone).

C.9 Teilsicherheitsbeiwerte

(1) Der ermittelte Lasterhöhungsfaktor α_u , mit dem der Grenzzustand erreicht wird, soll ausreichend zuverlässig sein.

(2) Der erforderliche Lasterhöhungsfaktor α_u besteht in der Regel aus zwei Anteilen:

1. α_1 zur Abdeckung der Modellunsicherheit bei der Modellierung mit Finiten Elementen; α_1 ist in der Regel aus der Auswertung geeigneter Versuche zu ermitteln, siehe EN 1990, Anhang D;
2. α_2 zur Abdeckung von Ungenauigkeiten des Belastungs- und des Widerstandsmodells. α_2 darf mit γ_{M1} angesetzt werden, wenn der Verlust der Stabilität maßgebend ist, und mit γ_{M2} , wenn Werkstoffversagen zu erwarten ist.

(3) Der Nachweis ist in der Regel mit

$$\alpha_u > \alpha_1 \alpha_2 \quad (\text{C.2})$$

zu führen.

ANMERKUNG Der nationale Anhang darf Hinweise zur Festlegung von γ_{M1} und γ_{M2} geben. Es wird empfohlen, die Zahlenwerte für γ_{M1} und γ_{M2} in den entsprechenden Teilen der EN 1993 anzuwenden.

Anhang D (informativ)

Bauteile mit profilierten Stegblechen

D.1 Allgemeines

(1) Die Bemessungsregeln in Anhang D gelten für Bauteile mit trapezförmig oder sinusförmig profilierten Stegblechen und Blechgurten nach Bild D.1.

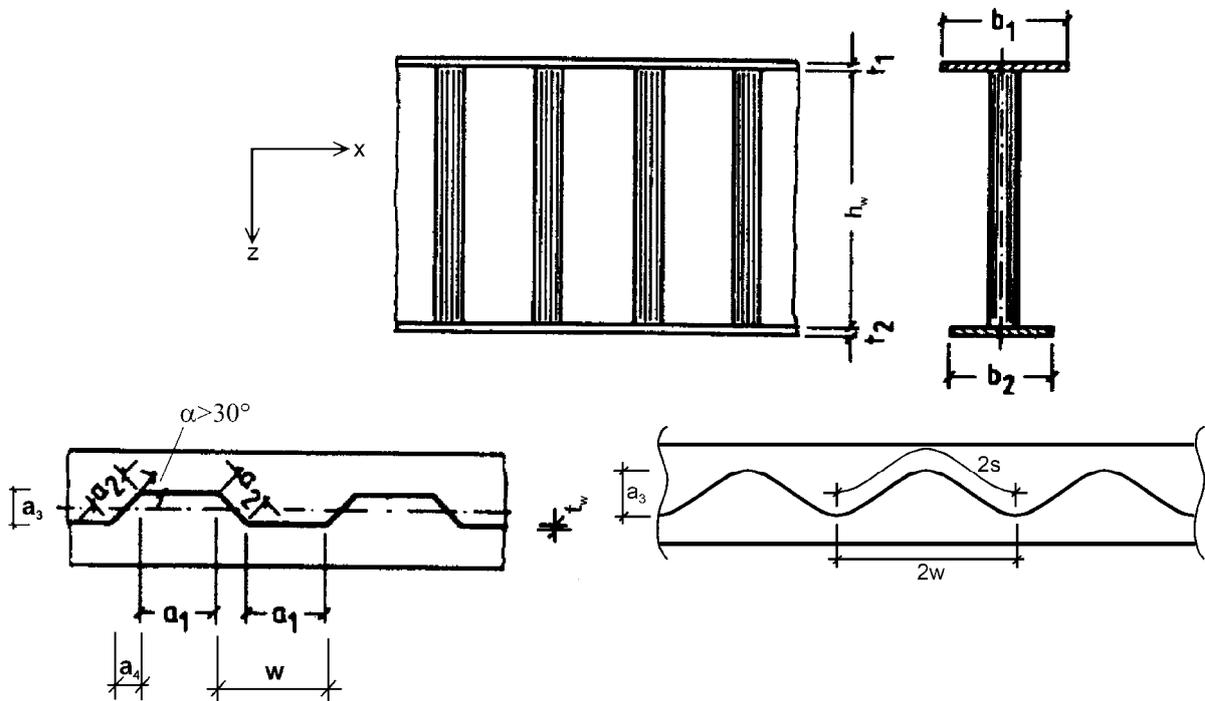


Bild D.1 — Bezeichnungen

D.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit

D.2.1 Momententragfähigkeit

(1) Die Beanspruchbarkeit für Biegemomente $\overline{AC} M_{y,Rd} \overline{AC}$ ist in der Regel wie folgt zu ermitteln:

\overline{AC}

$$M_{y,Rd} = \min \left\{ \underbrace{\frac{b_2 t_2 f_{yf,r}}{\gamma_{M0}} \left(h_w + \frac{t_1 + t_2}{2} \right)}_{\text{Zuggurt}}; \underbrace{\frac{b_1 t_1 f_{yf,r}}{\gamma_{M0}} \left(h_w + \frac{t_1 + t_2}{2} \right)}_{\text{Druckgurt}}; \underbrace{\frac{b_1 t_1 \chi f_{yf}}{\gamma_{M1}} \left(h_w + \frac{t_1 + t_2}{2} \right)}_{\text{Druckgurt}} \right\} \quad \overline{AC} (D.1)$$

D.2.2 Schubtragfähigkeit

(1) Die Schubtragfähigkeit $V_{bw,Rd}$ ist in der Regel wie folgt zu bestimmen:

AC

$$V_{bw,Rd} = \chi_c \frac{f_{yw}}{\gamma_{M1} \sqrt{3}} h_w t_w \quad \text{AC (D.4)}$$

Dabei ist

χ_c der kleinere Wert der Abminderungsbeiwerte aus lokalem Plattenbeulen $\chi_{c,\ell}$ (siehe (2)) und Knicken $\chi_{c,g}$ (siehe (3)) ist.

(2) Der Abminderungsbeiwert $\chi_{c,\ell}$ für lokales Plattenbeulen ist in der Regel wie folgt zu ermitteln:

$$\chi_{c,\ell} = \frac{1,15}{0,9 + \bar{\lambda}_{c,\ell}} \leq 1,0 \quad \text{(D.5)}$$

mit

AC

$$\bar{\lambda}_{c,\ell} = \sqrt{\frac{f_{yw}}{\tau_{cr,\ell} \sqrt{3}}} \quad \text{AC (D.6)}$$

$$\tau_{cr,\ell} = 4,83 E \left[\frac{t_w}{a_{\max}} \right]^2 \quad \text{(D.7)}$$

a_{\max} ist der größere Wert von a_1 und a_2 .

ANMERKUNG Der nationale Anhang darf Hinweise zur Bestimmung von $\tau_{cr,\ell}$ und $\chi_{c,\ell}$ für sinusförmig profilierte Stegbleche geben. Die Verwendung der folgenden Gleichung wird empfohlen:

$$\tau_{cr,\ell} = \left(5,34 + \frac{a_3 s}{h_w t_w} \right) \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_w}{s} \right)^2$$

Dabei ist

w die Länge der Projektion einer halben Welle, siehe Bild D.1;

s die abgewinkelte Länge einer halben Welle, siehe Bild D.1.

(3) Der Abminderungsbeiwert $\chi_{c,g}$ für Knicken ist in der Regel wie folgt zu berechnen:

$$\chi_{c,g} = \frac{1,5}{0,5 + \bar{\lambda}_{c,g}} \leq 1,0 \quad \text{(D.8)}$$

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

Dabei ist

AC

$$\bar{\lambda}_{c,g} = \sqrt{\frac{f_{yw}}{\tau_{cr,g} \sqrt{3}}} \quad \text{AC (D.9)}$$

$$\tau_{cr,g} = \frac{32,4}{t_w h_w^2} \sqrt[4]{D_x D_z^3} \quad \text{(D.10)}$$

$$D_x = \frac{E t^3}{12(1-\nu^2)} \frac{w}{s}$$

$$D_z = \frac{E I_z}{w}$$

I_z das Flächenträgheitsmoment eines Profilierungsabschnittes der Länge w , siehe Bild D.1.

ANMERKUNG 1 Die Werte s und I_z werden für die wirkliche Form der Profilierung ermittelt.

ANMERKUNG 2 Gleichung (D.10) gilt für Bleche unter der Annahme gelenkiger Randlagerung.

D.2.3 Anforderungen an Endsteifen

(1) Endsteifen sind in der Regel nach Abschnitt 9 zu bemessen.

Anhang E (normativ)

Alternative Methoden zur Bestimmung wirksamer Querschnitte

E.1 Wirksame Querschnittsflächen für Spannungen unterhalb der Streckgrenze

(1) Als Alternative zum Vorgehen nach 4.4(2) dürfen folgende Gleichungen zur Ermittlung wirksamer Flächen für Spannungen unterhalb der Streckgrenze angewendet werden:

a) für zweiseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile:

$$\rho = \frac{1 - 0,055(3 + \psi) / \bar{\lambda}_{p,red}}{\bar{\lambda}_{p,red}} + 0,18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,red})}{(\bar{\lambda}_p - 0,6)} \leq 1,0 \quad (\text{E.1})$$

b) für einseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile:

$$\rho = \frac{1 - 0,188 / \bar{\lambda}_{p,red}}{\bar{\lambda}_{p,red}} + 0,18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,red})}{(\bar{\lambda}_p - 0,6)} \leq 1,0 \quad (\text{E.2})$$

Die Bezeichnungen sind in 4.4(2) und 4.4(4) angegeben. Der Einfluss knickstabähnlichen Verhaltens ist bei der Berechnung der Tragfähigkeit nach 4.4(5) zu berücksichtigen.

E.2 Wirksame Querschnittsflächen für die Steifigkeit

(1) Zur Bestimmung wirksamer Querschnittsflächen für die Steifigkeit darf der Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{p,ser}$ für die Gebrauchstauglichkeit wie folgt ermittelt werden:

$$\bar{\lambda}_{p,ser} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{com,Ed,ser}}{f_y}} \quad (\text{E.3})$$

Dabei ist

$\sigma_{com,Ed,ser}$ die größte Druckspannung (berechnet für den wirksamen Querschnitt) im betrachteten Querschnittsteil unter Lasten im Gebrauchtauglichkeitszustand.

(2) Das Flächenträgheitsmoment darf durch eine Interpolation der Bruttoquerschnittsfläche und der wirksamen Querschnittsfläche unter der entsprechenden Lastkombination wie folgt angenommen werden:

$$I_{eff} = I_{gr} - \frac{\sigma_{gr}}{\sigma_{com,Ed,ser}} (I_{gr} - I_{eff}(\sigma_{com,Ed,ser})) \quad (\text{E.4})$$

Dabei ist

I_{gr} das Flächenträgheitsmoment des Bruttoquerschnitts;

σ_{gr} die größte am Bruttoquerschnitt ermittelte Biegespannung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit;

$I_{eff}(\sigma_{com,Ed,ser})$ das für den wirksamen Querschnitt ermittelte Flächenträgheitsmoment; der wirksame Querschnitt wird nach (E.1) für die größte Spannung innerhalb der betrachteten Bauteillänge $\sigma_{com,Ed,ser} \geq \sigma_{gr}$ ermittelt.

DIN EN 1993-1-5:2010-12
EN 1993-1-5:2006 + AC:2009 (D)

(3) Das wirksame Flächenträgheitsmoment I_{eff} darf veränderlich entsprechend dem Spannungszustand entlang des Bauteils angenommen werden. Alternativ darf I_{eff} als konstant entlang des Bauteils, berechnet für das größte einwirkende positive Biegemoment unter Gebrauchtauglichkeitslasten, angesetzt werden.

(4) Die Berechnung erfordert ein iteratives Vorgehen. Auf der sicheren Seite darf die Berechnung jedoch in einem Schritt für eine Spannung größer oder gleich $\sigma_{\text{com,Ed,ser}}$ durchgeführt werden.