

Niedersächsisches
Ministerialblatt

62. (67.) Jahrgang

Hannover, den 30. 10. 2012

Nummer 37 j

10. ANLAGENBAND

zur

Liste der Technischen Baubestimmungen
— Fassung September 2012 —

DIN EN 1993-1-8

DIN EN 1993-1-8/NA

DIN EN 1993-4-1

DIN EN 1993-4-1/NA

Die hier abgedruckten Technischen Baubestimmungen sind nur in Verbindung mit dem RdErl. des MS vom 28. 9. 2012 (Nds. MBl. Nr. 37) zu verwenden.

Inhalt:

– DIN EN 1993-1-8: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen . . .	1
– DIN EN 1993-1-8/NA: Nationaler Anhang — National festgelegte Parameter — Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen	151
– DIN EN 1993-4-1: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4-1: Silos.	171
– DIN EN 1993-4-1/NA: Nationaler Anhang — National festgelegte Parameter — Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4-1: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen — Silos	289

DIN EN 1993-1-8

ICS 91.010.30; 91.080.10

Ersatzvermerk
siehe unten

**Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen;
Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009**

Eurocode 3: Design of steel structures –
Part 1-8: Design of joints;
German version EN 1993-1-8:2005 + AC:2009

Eurocode 3: Calcul des structures en acier –
Partie 1-8: Calcul des assemblages;
Version allemande EN 1993-1-8:2005 + AC:2009

Ersatzvermerk

Ersatz für DIN EN 1993-1-8:2005-07;
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 1993-1-5:2010-12, DIN EN 1993-1-5/NA: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 1993-1-8/NA:2010-12,
DIN EN 1993-1-11:2010-12 und DIN EN 1993-1-11/NA:2010-12 Ersatz für DIN 18801:1983-09;
mit DIN EN 1993-1-1:2010-12, DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12 und DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12 Ersatz für
DIN 18808:1984-10;
mit DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12, DIN EN 1993-4-1:2010-12 und DIN EN 1993-4-1/NA:2010-12 Ersatz für
DIN 18914:1985-09;
Ersatz für DIN EN 1993-1-8 Berichtigung 1:2009-12

Gesamtumfang 150 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

DIN EN 1993-1-8:2010-12

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 1993-1-8:2005 + 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 (Sp CEN/TC 250/SC 3)“ begleitet.

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 1993-1-1:1993-04, DIN V ENV 1993-1-1/A1:2002-05 und DIN V ENV 1993-1-1/A2:2002-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Vornorm-Charakter wurde aufgehoben;
- b) in Teil 1-1, Teil 1-8, Teil 1-9 und Teil 1-10 aufgeteilt;
- c) die Stellungnahmen der nationalen Normungsinstitute wurden eingearbeitet und der Text vollständig überarbeitet und in einen eigenständigen Normteil überführt.

Gegenüber DIN EN 1993-1-8:2005-07, DIN EN 1993-1-8 Berichtigung 1: 2009-12, DIN 18800-1:2008-11, DIN 18801:1983-09, DIN 18808:1984-10 und DIN 18914:1985-09 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 1079: 1938-01, 1938-11, 1970-09
DIN 1073 Beiblatt: 1974-07
DIN 4100: 1931-05, 1933-07, 1934xxxx-08, 1956-12, 1968-12
DIN 4101: 1937xxx-07, 1974-07
DIN 4115: 1950-08
DIN 18800-1: 1981-03, 1990-11, 2008-11
DIN 18800-1/A1: 1996-02
DIN 18801: 1983-09
DIN 18808: 1984-10
DIN 18914: 1985-09
DIN V ENV 1993-1-1: 1993-04
DIN V ENV 1993-1-1/A1: 2002-05
DIN V ENV 1993-1-1/A2: 2002-05
DIN EN 1993-1-8: 2005-07
DIN EN 1993-1-8 Berichtigung 1: 2009-12

DIN EN 1993-1-8:2010-12

— Leerseite —

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN 1993-1-8

Mai 2005

+AC

Juli 2009

ICS 91.010.30; 91.080.10

Ersatz für ENV 1993-1-1:1992

Deutsche Fassung

Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen

Eurocode 3: Design of steel structures —
Part 1-8: Design of joints

Eurocode 3: Calcul des structures en acier —
Partie 1-8: Calcul des assemblages

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 16. April 2004 angenommen.

Die Berichtigung tritt am 29. Juli 2009 in Kraft und wurde in EN 1993-1-8:2005 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 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Inhalt

Seite

Vorwort	5
Hintergrund des Eurocode-Programms	5
Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes	6
Nationale Fassungen der Eurocodes	7
Verbindung zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (EN und ETAG)	7
Nationaler Anhang zu EN 1993-1-8	7
1 Allgemeines	9
1.1 Anwendungsbereich	9
1.2 Normative Verweisungen	9
1.2.1 Bezugsnormengruppe 1: Schweißgeeignete Baustähle	9
1.2.2 Bezugsnormengruppe 2: Toleranzen, Maße und technische Lieferbedingungen	9
1.2.3 Bezugsnormengruppe 3: Hohlprofile	10
1.2.4 Bezugsnormengruppe 4: Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben	10
1.2.5 Bezugsnormengruppe 5: Schweißzusatzmittel und Schweißen	11
1.2.6 Bezugsnormengruppe 6: Niete	11
1.2.7 Bezugsnormengruppe 7: Bauausführung von Stahlbauten	11
1.3 Unterscheidung nach Grundsätzen und Anwendungsregeln	11
1.4 Begriffe	12
1.5 Formelzeichen	14
2 Grundlagen der Tragwerksplanung	21
2.1 Annahmen	21
2.2 Allgemeine Anforderungen	21
2.3 Schnittgrößen	21
2.4 Beanspruchbarkeit von Verbindungen	22
2.5 Annahmen für die Berechnung	22
2.6 Schubbeanspruchte Anschlüsse mit Stoßbelastung, Belastung mit Schwingungen oder mit Lastumkehr	22
2.7 Exzentrizitäten in Knotenpunkten	23
3 Schrauben-, Niet- und Bolzenverbindungen	23
3.1 Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben	23
3.1.1 Allgemeines	23
3.1.2 Vorgespannte Schrauben	24
3.2 Niete	24
3.3 Ankerschrauben	24
3.4 Kategorien von Schraubenverbindungen	24
3.4.1 Scherverbindungen	24
3.4.2 Zugverbindungen	25
3.5 Rand- und Lochabstände für Schrauben und Niete	26
3.6 Tragfähigkeiten einzelner Verbindungsmittel	28
3.6.1 Schrauben und Niete	28
3.6.2 Injektionsschrauben	32
3.7 Gruppen von Verbindungsmitteln	33
3.8 Lange Anschlüsse	34
3.9 Gleitfeste Verbindungen mit hochfesten 8.8 oder 10.9 Schrauben	34
3.9.1 Gleitwiderstand	34
3.9.2 Kombinierte Scher- und Zugbeanspruchung	35
3.9.3 Hybridverbindungen	36
3.10 Lochabminderungen	36
3.10.1 Allgemeines	36
3.10.2 Blockversagen von Schraubengruppen	36

3.10.3	Einseitig angeschlossene Winkel und andere unsymmetrisch angeschlossene Bauteile unter Zugbelastung	37
3.10.4	Anschlusswinkel für indirekten Anschluss	38
3.11	Abstützkräfte	39
3.12	Kräfteverteilung auf Verbindungsmittel im Grenzzustand der Tragfähigkeit	39
3.13	Bolzenverbindungen	39
3.13.1	Allgemeines	39
3.13.2	Bemessung der Bolzen	40
4	Schweißverbindungen	42
4.1	Allgemeines	42
4.2	Schweißzusätze	43
4.3	Geometrie und Abmessungen	43
4.3.1	Schweißnahtarten	43
4.3.2	Kehlnähte	43
4.3.3	Schlitznähte	44
4.3.4	Stumpfnähte	45
4.3.5	Lochschweißungen	45
4.3.6	Hohlkehlnähte	45
4.4	Schweißen mit Futterblechen	46
4.5	Beanspruchbarkeit von Kehlnähten	46
4.5.1	Schweißnahtlänge	46
4.5.2	Wirksame Nahtdicke	46
4.5.3	Tragfähigkeit von Kehlnähten	47
4.6	Tragfähigkeit von Schlitznähten	49
4.7	Tragfähigkeit von Stumpfnähten	49
4.7.1	Durchgeschweißte Stumpfnähte	49
4.7.2	Nicht durchgeschweißte Stumpfnähte	49
4.7.3	T-Stöße	49
4.8	Tragfähigkeit von Lochschweißungen	50
4.9	Verteilung der Kräfte	50
4.10	Steffenlose Anschlüsse an Flansche	51
4.11	Lange Anschlüsse	52
4.12	Exzentrisch belastete einseitige Kehlnähte oder einseitige nicht durchgeschweißte Stumpfnähte	53
4.13	Einschenkiger Anschluss von Winkelprofilen	53
4.14	Schweißen in kaltverformten Bereichen	53
5	Tragwerksberechnung, Klassifizierung und statische Modelle	54
5.1	Tragwerksberechnung	54
5.1.1	Allgemeines	54
5.1.2	Elastische Tragwerksberechnung	55
5.1.3	Starr-plastische Tragwerksberechnung	56
5.1.4	Elastisch-plastische Tragwerksberechnung	56
5.1.5	Berechnung von Fachwerkträgern	57
5.2	Klassifizierung von Anschlüssen	58
5.2.1	Allgemeines	58
5.2.2	Klassifizierung nach der Steifigkeit	59
5.2.3	Klassifizierung nach der Tragfähigkeit	61
5.3	Statisches Modell für Träger-Stützenanschlüsse	62
6	Anschlüsse mit H- oder I-Querschnitten	64
6.1	Allgemeines	64
6.1.1	Geltungsbereich	64
6.1.2	Kenngößen	65
6.1.3	Grundkomponenten eines Anschlusses	66
6.2	Tragfähigkeit	69
6.2.1	Schnittgrößen	69
6.2.2	Querkräfte	70

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Seite

6.2.3	Biegemomente	71
6.2.4	Äquivalenter T-Stummel mit Zugbeanspruchung	72
6.2.5	Äquivalenter T-Stummel mit Druckbeanspruchung.....	76
6.2.6	Tragfähigkeit der Grundkomponenten	77
6.2.7	Biegetragfähigkeit von Träger-Stützenanschlüssen und Stößen.....	95
6.2.8	Tragfähigkeit von Stützenfüßen mit Fußplatten	100
6.3	Rotationssteifigkeit.....	103
6.3.1	Grundmodell.....	103
6.3.2	Steifigkeitskoeffizienten für die Grundkomponenten eines Anschlusses	106
6.3.3	Stirnblechanschlüsse mit zwei oder mehr Schraubenreihen mit Zugbeanspruchung	109
6.3.4	Stützenfüße	111
6.4	Rotationskapazität	112
6.4.1	Allgemeines	112
6.4.2	Geschraubte Anschlüsse.....	112
6.4.3	Geschweißte Anschlüsse	113
7	Anschlüsse mit Hohlprofilen	113
7.1	Allgemeines	113
7.1.1	Geltungsbereich.....	113
7.1.2	Anwendungsbereich	114
7.2	Berechnung und Bemessung.....	116
7.2.1	Allgemeines	116
7.2.2	Versagensformen von Anschlüssen mit Hohlprofilen.....	116
7.3	Schweißnähte.....	119
7.3.1	Tragfähigkeit	119
7.4	Geschweißte Anschlüsse von KHP-Bauteilen	120
7.4.1	Allgemeines	120
7.4.2	Ebene Anschlüsse	121
7.4.3	Räumliche Anschlüsse	128
7.5	Geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP-Streben an RHP-Gurtstäbe.....	129
7.5.1	Allgemeines	129
7.5.2	Ebene Anschlüsse	130
7.5.3	Räumliche Anschlüsse	140
7.6	Geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP-Streben an I- oder H-Profil Gurtstäbe	142
7.7	Geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP-Streben an U-Profil Gurtstäbe	145

Vorwort

Dieses Dokument EN 1993-1-8:2005 wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 "Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau" erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist auch für alle anderen Eurocode-Teile verantwortlich.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis November 2005, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2010 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument ersetzt ENV 1993-1-1.

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, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Hintergrund des Eurocode-Programms

1975 beschloss die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, für das Bauwesen ein Programm auf der Grundlage des Artikels 95 der Römischen Verträge durchzuführen. Das Ziel des Programms war die Beseitigung technischer Handelshemmnisse und die Harmonisierung technischer Normen.

Im Rahmen dieses Programms leitete die Kommission die Bearbeitung von harmonisierten technischen Regelwerken für die Tragwerksplanung von Bauwerken ein, die im ersten Schritt als Alternative zu den in den Mitgliedsländern geltenden Regeln dienen und sie schließlich ersetzen sollten.

15 Jahre lang leitete die Kommission mit Hilfe eines Steuerkomitees mit Repräsentanten der Mitgliedsländer die Entwicklung des Eurocode-Programms, das zu der ersten Eurocode-Generation in den 80'er Jahren führte.

Im Jahre 1989 entschieden sich die Kommission und die Mitgliedsländer der Europäischen Union und der EFTA, die Entwicklung und Veröffentlichung der Eurocodes über eine Reihe von Mandaten an CEN zu übertragen, damit diese den Status von Europäischen Normen (EN) erhielten. Grundlage war eine Vereinbarung¹⁾ zwischen der Kommission und CEN. Dieser Schritt verknüpft die Eurocodes de facto mit den Regelungen der Ratsrichtlinien und Kommissionsentscheidungen, die die Europäischen Normen behandeln (z. B. die Ratsrichtlinie 89/106/EWG zu Bauprodukten, die Bauproduktenrichtlinie, die Ratsrichtlinien 93/37/EWG, 92/50/EWG und 89/440/EWG zur Vergabe öffentlicher Aufträge und Dienstleistungen und die entsprechenden EFTA-Richtlinien, die zur Einrichtung des Binnenmarktes eingeleitet wurden).

Das Eurocode-Programm umfasst die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

EN 1990, *Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung*;

EN 1991, *Eurocode 1: Einwirkung auf Tragwerke*;

¹⁾ Vereinbarung zwischen der Kommission der Europäischen Gemeinschaft und dem Europäischen Komitee für Normung (CEN) zur Bearbeitung der Eurocodes für die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauwerken (BC/CEN/03/89).

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

EN 1992, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbetonbauten*;

EN 1993, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*;

EN 1994, *Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Stahl-Beton-Verbundbauten*;

EN 1995, *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten*;

EN 1996, *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten*;

EN 1997, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik*;

EN 1998, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*;

EN 1999, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumkonstruktionen*.

Die Europäischen Normen berücksichtigen die Verantwortlichkeit der Bauaufsichtsorgane in den Mitgliedsländern und haben deren Recht zur nationalen Festlegung sicherheitsbezogener Werte berücksichtigt, so dass diese Werte von Land zu Land unterschiedlich bleiben können.

Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes

Die Mitgliedsländer der EU und von EFTA betrachten die Eurocodes als Bezugsdokumente für folgende Zwecke:

- als Mittel zum Nachweis der Übereinstimmung der Hoch- und Ingenieurbauten mit den wesentlichen Anforderungen der Richtlinie 89/106/EWG, besonders mit der wesentlichen Anforderung Nr. 1: Mechanischer Festigkeit und Standsicherheit und der wesentlichen Anforderung Nr. 2: Brandschutz;
- als Grundlage für die Spezifizierung von Verträgen für die Ausführung von Bauwerken und dazu erforderlichen Ingenieurleistungen;
- als Rahmenbedingung für die Herstellung harmonisierter, technischer Spezifikationen für Bauprodukte (EN's und ETA's)

Die Eurocodes haben, da sie sich auf Bauwerke beziehen, eine direkte Verbindung zu den Grundlagendokumenten²⁾, auf die in Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hingewiesen wird, wenn sie auch anderer Art sind als die harmonisierten Produktnormen³⁾. Daher sind die technischen Gesichtspunkte, die sich aus den

2) Entsprechend Artikel 3.3 der Bauproduktenrichtlinie sind die wesentlichen Angaben in Grundlagendokumenten zu konkretisieren, um damit die notwendigen Verbindungen zwischen den wesentlichen Anforderungen und den Mandaten für die Erstellung harmonisierter Europäischer Normen und Richtlinien für die Europäische Zulassungen selbst zu schaffen.

3) Nach Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hat das Grundlagendokument

- a) die wesentliche Anforderung zu konkretisieren, in dem die Begriffe und, soweit erforderlich, die technische Grundlage für Klassen und Anforderungshöhen vereinheitlicht werden,
- b) die Methode zur Verbindung dieser Klasse oder Anforderungshöhen mit technischen Spezifikationen anzugeben, z. B. rechnerische oder Testverfahren, Entwurfsregeln,
- c) als Bezugsdokument für die Erstellung harmonisierter Normen oder Richtlinien für Europäische Technische Zulassungen zu dienen.

Die Eurocodes spielen de facto eine ähnliche Rolle für die wesentliche Anforderung Nr. 1 und einen Teil der wesentlichen Anforderung Nr. 2.

Eurocodes ergeben, von den Technischen Komitees von CEN und den Arbeitsgruppen von EOTA, die an Produktnormen arbeiten, zu beachten, damit diese Produktnormen mit den Eurocodes vollständig kompatibel sind.

Die Eurocodes liefern Regelungen für den Entwurf, die Berechnung und Bemessung von kompletten Tragwerken und Baukomponenten, die sich für die tägliche Anwendung eignen. Sie gehen auf traditionelle Bauweisen und Aspekte innovativer Anwendungen ein, liefern aber keine vollständigen Regelungen für ungewöhnliche Baulösungen und Entwurfsbedingungen, wofür Spezialistenbeiträge erforderlich sein können.

Nationale Fassungen der Eurocodes

Die Nationale Fassung eines Eurocodes enthält den vollständigen Text des Eurocodes (einschließlich aller Anhänge), so wie von CEN veröffentlicht, mit möglicherweise einer nationalen Titelseite und einem nationalen Vorwort sowie einem Nationalen Anhang.

Der Nationale Anhang darf nur Hinweise zu den Parametern geben, die im Eurocode für nationale Entscheidungen offen gelassen wurden. Diese national festzulegenden Parameter (NDP) gelten für die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauten in dem Land, in dem sie erstellt werden. Sie umfassen:

- Zahlenwerte für γ -Faktoren und/oder Klassen, wo die Eurocodes Alternativen eröffnen;
- Zahlenwerte, wo die Eurocodes nur Symbole angeben;
- landesspezifische, geographische und klimatische Daten, die nur für ein Mitgliedsland gelten, z. B. Schneekarten;
- Vorgehensweise, wenn die Eurocodes mehrere zur Wahl anbieten;
- Entscheidungen zur Anwendung informativer Anhänge;
- Verweise zur Anwendung des Eurocodes, soweit diese ergänzen und nicht widersprechen.

Verbindung zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (EN und ETAZ)

Die harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte und die technischen Regelungen für die Tragwerksplanung⁴⁾ müssen konsistent sein. Insbesondere sollten die Hinweise, die mit den CE-Zeichen an den Bauprodukten verbunden sind und die die Eurocodes in Bezug nehmen, klar erkennen lassen, welche national festzulegenden Parameter (NDP) zugrunde liegen.

Nationaler Anhang zu EN 1993-1-8

Diese Norm enthält alternative Methoden, Zahlenangaben und Empfehlungen in Verbindung mit Anmerkungen, die darauf hinweisen, wo Nationale Festlegungen getroffen werden können. EN 1993-1-8 wird bei der nationalen Einführung einen Nationalen Anhang enthalten, der alle national festzulegenden Parameter enthält, die für die Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten im jeweiligen Land erforderlich sind.

Nationale Festlegungen sind bei folgenden Regelungen vorgesehen:

- 1.2.6 (Bezugsnormengruppe 6: Niete);

⁴⁾ siehe Artikel 3.3 und Art. 12 der Bauproduktenrichtlinie, ebenso wie 4.2, 4.3.1, 4.3.2 und 5.2 des Grundlagendokumentes Nr. 1

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

- 2.2(2);
- 3.1.1(3);
- 3.4.2(1);
- 5.2.1(2);
- 6.2.7.2(9).

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

(1) EN 1993-1-8 enthält Regeln für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Anschlüssen aus Stahl mit Stahlsorten S235, S275, AC S355, S420, S450 und S460 AC unter vorwiegend ruhender Belastung.

1.2 Normative Verweisungen

(1) 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).

1.2.1 Bezugsnormengruppe 1: Schweißgeeignete Baustähle

EN 10025-1:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 1: Allgemeine Lieferbedingungen*

EN 10025-2:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 2: Allgemeine Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle*

EN 10025-3:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 3: Technische Lieferbedingungen für normalgeglühte/normalisierend gewalzte schweißgeeignete Feinkornstähle*

EN 10025-4:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 4: Technische Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte schweißgeeignete Feinkornstähle*

EN 10025-5:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 5: Technische Lieferbedingungen für wetterfeste Baustähle*

EN 10025-6:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 6: Technische Lieferbedingungen für Flacherzeugnisse aus Stählen mit höherer Streckgrenze im vergüteten Zustand*

1.2.2 Bezugsnormengruppe 2: Toleranzen, Maße und technische Lieferbedingungen

EN 10029:1991, *Warmgewalztes Stahlblech von 3 mm Dicke an — Grenzabmaße, Formtoleranzen, zulässige Gewichtsabweichungen*

EN 10034:1993, *I- und H-Profile aus Baustahl — Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 10051:1991, *Kontinuierlich warmgewalztes Blech und Band ohne Überzug aus unlegierten und legierten Stählen — Grenzabmaße und Formtoleranzen (enthält Änderung A1:1997)*

EN 10055:1995, *Warmgewalzter gleichschenkliger T-Stahl mit gerundeten Kanten und Übergängen — Maße, Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 10056-1:1998, *Gleichschenklige und ungleichschenklige Winkel aus Stahl — Teil 1: Maße*

EN 10056-2:1993, *Gleichschenklige und ungleichschenklige Winkel aus Stahl — Teil 2: Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 10164:1993, *Stahlerzeugnisse mit verbesserten Verformungseigenschaften senkrecht zur Erzeugnisoberfläche — Technische Lieferbedingungen*

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

1.2.3 Bezugsnormengruppe 3: Hohlprofile

EN 10219-1:1997, *Kaltgefertigte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen — Teil 1: Technische Lieferbedingungen*

EN 10219-2:1997, *Kaltgefertigte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen — Teil 2: Grenzabmaße, Maße und statische Werte*

EN 10210-1:1994, *Warmgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen — Teil 1: Technische Lieferbedingungen*

EN 10210-2:1997, *Warmgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen — Teil 2: Grenzabmaße, Maße und statische Werte*

1.2.4 Bezugsnormengruppe 4: Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben

EN 14399-1:2002, *Hochfeste planmäßig vorgespannte Schraubenverbindungen für den Stahlbau — Teil 1: Allgemeine Anforderungen.*

EN 14399-2:2002, *Hochfeste planmäßig vorgespannte Schraubenverbindungen für den Stahlbau — Teil 2: Prüfung der Eignung zum Vorspannen*

EN 14399-3:2002, *Hochfeste planmäßig vorgespannte Schraubenverbindungen für den Stahlbau — Teil 3: System HR; Garnituren aus Sechskantschrauben und -muttern*

EN 14399-4:2002, *Hochfeste planmäßig vorgespannte Schraubenverbindungen für den Stahlbau — Teil 4: System HV; Garnituren aus Sechskantschrauben und -muttern*

EN 14399-5:2002, *Hochfeste planmäßig vorgespannte Schraubenverbindungen für den Stahlbau — Teil 5: Flache Scheiben für System HR*

EN 14399-6:2002, *Hochfeste planmäßig vorgespannte Schraubenverbindungen für den Stahlbau — Teil 6: Flache Scheiben mit Fase für die Systeme HR und HV*

EN ISO 898-1:1999, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl — Teil 1: Schrauben (ISO 898-1:1999)*

EN 20898-2:1993, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen — Teil 2: Muttern mit festgelegten Prüfkräften — Regelgewinde (ISO 898-2:1992)*

EN ISO 2320:1997, *Sechskantmuttern aus Stahl mit Klemmteil — Mechanische und funktionelle Eigenschaften (ISO 2320:1997)*

EN ISO 4014:2000, *Sechskantschrauben mit Schaft — Produktklassen A und B (ISO 4014:1999)*

EN ISO 4016:2000, *Sechskantschrauben mit Schaft — Produktklasse C (ISO 4016:1999)*

EN ISO 4017:2000, *Sechskantschrauben mit Gewinde bis Kopf — Produktklassen A und B (ISO 4017:1999).*

EN ISO 4018:2000, *Sechskantschrauben mit Gewinde bis Kopf — Produktklasse C (ISO 4018:1999)*

EN ISO 4032:2000, *Sechskantmuttern, Typ 1 — Produktklassen A und B (ISO 4032:1999)*

EN ISO 4033:2000, *Sechskantmuttern, Typ 2 — Produktklassen A und B (ISO 4033:1999)*

EN ISO 4034:2000, *Sechskantmuttern — Produktklasse C (ISO 4034:1999)*

EN ISO 7040:1997, *Sechskantmuttern mit Klemmteil (mit nichtmetallischem Einsatz), Typ 1 — Festigkeitsklassen 5, 8 und 10 (ISO 7040:1997)*

EN ISO 7042:1997, *Sechskantmuttern mit Klemmteil (Ganzmetallmuttern), Typ 2 — Festigkeitsklassen 5, 8, 10 und 12 (ISO 7042:1997)*

EN ISO 7719:1997, *Sechskantmuttern mit Klemmteil (Ganzmetallmuttern), Typ 1 — Festigkeitsklassen 5, 8 und 10 (ISO 7719:1997)*

ISO 286-2:1988, *ISO-System für Grenzmaße und Passungen — Tabellen der Grundtoleranzgrade und Grenzabmaße für Bohrungen und Wellen*

ISO 1891:1979, *Mechanische Verbindungselemente; Schrauben, Muttern und Zubehör, Benennungen*

EN ISO 7089:2000, *Flache Scheiben — Normale Reihe, Produktklasse A (ISO 7089:2000)*

EN ISO 7090:2000, *Flache Scheiben mit Fase — Normale Reihe, Produktklasse A (ISO 7090:2000)*

EN ISO 7091:2000, *Flache Scheiben — Normale Reihe, Produktklasse C (ISO 7091:2000)*

EN ISO 10511:1997, *Sechskantmuttern mit Klemmteil — Niedrige Form (mit nichtmetallischem Einsatz) (ISO 10511:1997)*

EN ISO 10512:1997, *Sechskantmuttern mit Klemmteil (mit nichtmetallischem Einsatz), Typ 1, mit metrischem Feingewinde — Festigkeitsklassen 6, 8 und 10 (ISO 10512:1997)*

EN ISO 10513:1997, *Sechskantmuttern mit Klemmteil (Ganzmetallmuttern), Typ 2, mit metrischem Feingewinde — Festigkeitsklassen 8, 10 und 12 (ISO 10513:1997)*

1.2.5 Bezugsnormengruppe 5: Schweißzusatzmittel und Schweißen

EN 12345:1998, *Schweißen — Mehrsprachige Benennungen für Schweißverbindungen mit bildlichen Darstellungen*

EN ISO 14555:1998, *Schweißen — Lichtbogenbolzenschweißen von metallischen Werkstoffen (ISO 14555:1998)*

EN ISO 13918:1998, *Schweißen — Bolzen und Keramikringe zum Lichtbogenbolzenschweißen (ISO 13918:1998)*

EN 288-3:1992, *Anforderung und Anerkennung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Teil 3: Schweißverfahrensprüfungen für das Lichtbogenschweißen von Stählen (enthält Änderung A1:1997)*

EN ISO 5817:2003, *Schweißen — Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) — Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO/DIS 5817:2000)*

1.2.6 Bezugsnormengruppe 6: Niete

ANMERKUNG Der Nationale Anhang gibt Hinweise zu Bezugsnormen.

1.2.7 Bezugsnormengruppe 7: Bauausführung von Stahlbauten

EN 1090-2, *Anforderungen an die Bauausführung von Stahlbauten*

1.3 Unterscheidung nach Grundsätzen und Anwendungsregeln

(1) Es gelten die Regeln der EN 1990, 1.4.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

1.4 Begriffe

(1) Nachstehende Begriffe werden in dieser Norm mit folgender Bedeutung verwendet:

1.4.1

Grundkomponente (eines Anschlusses)

Teil eines Anschlusses, der zu einem oder mehreren Kennwerten des Anschlusses beiträgt

1.4.2

Verbindung

konstruktiver Punkt, an dem sich zwei oder mehrere Bauteile treffen; für die Berechnung und Bemessung besteht die Verbindung aus einer Anordnung von Grundkomponenten, die für die Bestimmung der Kennwerte der Verbindung für die Übertragung der Schnittgrößen notwendig sind

1.4.3

angeschlossenes Bauteil

Bauteil, das in einem Anschluss mit anderen Bauteilen verbunden ist

1.4.4

Anschluss

Bereich, in dem zwei oder mehrere Bauteile miteinander verbunden sind; für die Berechnung und Bemessung besteht der Anschluss aus der Anordnung aller Grundkomponenten, die für die Bestimmung der Kennwerte des Anschlusses bei der Übertragung der Schnittgrößen zwischen den angeschlossenen Bauteilen notwendig sind; ein Träger-Stützenanschluss besteht z. B. aus einem Stegfeld mit entweder einer Verbindung (einseitige Anschlusskonfiguration) oder zwei Verbindungen (zweiseitige Anschlusskonfiguration), siehe Bild 1.1

1.4.5

Anschlusskonfiguration

Gestaltung eines Anschlusses oder mehrerer Anschlüsse an einem Knoten, an dem die Achsen von zwei oder mehreren angeschlossenen Bauteilen zusammenlaufen, siehe Bild 1.2

1.4.6

Rotationskapazität

Winkel, um den sich der Anschluss bei vorgegebenem Moment ohne Versagen verformen kann

1.4.7

Rotationssteifigkeit

Moment, um in einem Anschluss die Winkelverformung $\phi = 1$ zu erzeugen

1.4.8

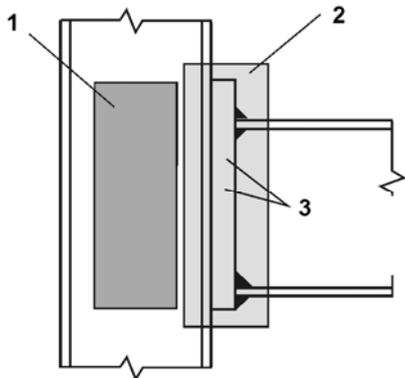
Kennwerte (eines Anschlusses)

Tragfähigkeit, bezogen auf die Schnittgrößen der angeschlossenen Bauteile, die Rotationssteifigkeit und die Rotationskapazität des Anschlusses

1.4.9

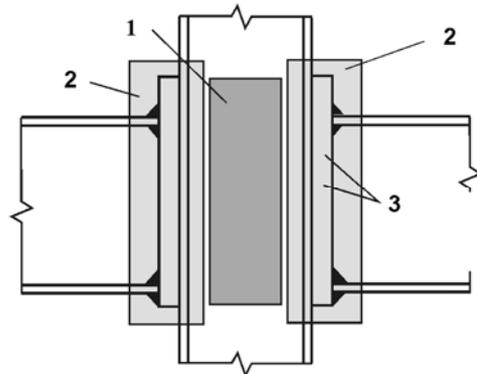
ebener Anschluss

in einer Fachwerk-Konstruktion erfasst der ebene Anschluss die Bauteile, die in der gleichen Ebene liegen



Anschluss =
Schubbeanspruchtes Stegfeld + Verbindung

a) Einseitige Anschlusskonfiguration



Linker Anschluss =
Schubbeanspruchtes Stegfeld + linke Verbindung
Rechter Anschluss =
Schubbeanspruchtes Stegfeld + rechte Verbindung

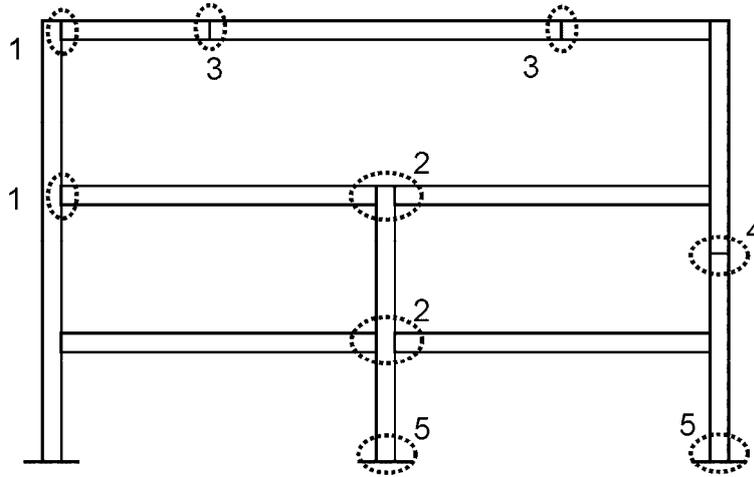
b) Zweiseitige Anschlusskonfiguration

Legende

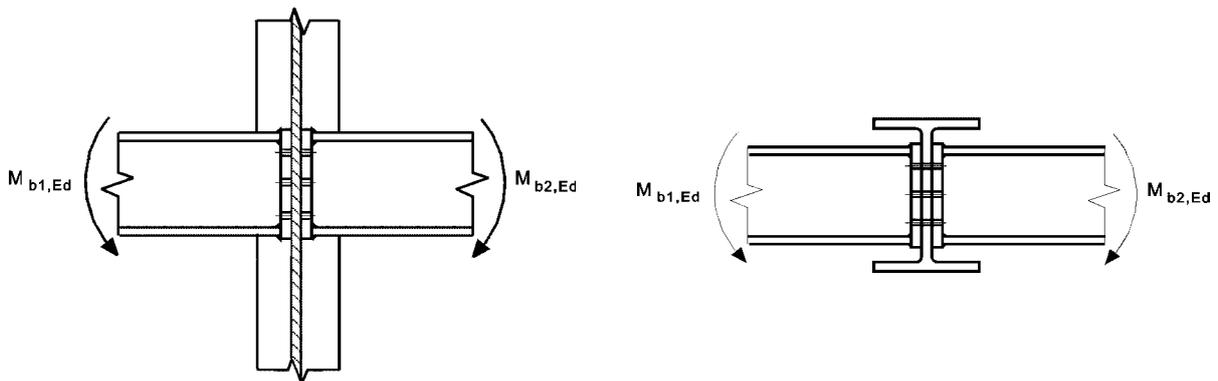
- 1 Schubbeanspruchtes Stegfeld
- 2 Verbindung
- 3 Komponenten (z. B. Schrauben, Stirnblech)

Bild 1.1 — Teile einer Träger-Stützenanschlusskonfiguration

DIN EN 1993-1-8:2010-12
 EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)



a) Anschlusskonfigurationen (starke Achse)



Zweiseitige Träger-Stützen-Anschlusskonfiguration

Zweiseitige Träger-Träger-Anschlusskonfiguration

b) Anschlusskonfigurationen (schwache Achse, nur für ausgeglichene Momente $M_{b1,Ed} \square M_{b2,Ed}$)

Legende

- 1 Einseitige Träger-Stützenanschlusskonfiguration
- 2 Zweiseitige Träger-Stützenanschlusskonfiguration
- 3 Trägerstoß
- 4 Stützenstoß
- 5 Fußplatte

Bild 1.2 — Anschlusskonfigurationen

1.5 Formelzeichen

(1) Folgende Formelzeichen werden im Sinne dieser Norm verwandt:

- d Nennwert des Schraubendurchmessers, des Bolzendurchmessers oder des Durchmessers des Verbindungsmittels;
- d_0 Lochdurchmesser für eine Schraube, einen Niet oder einen Bolzen;
- $d_{0,t}$ Lochgröße im Zugquerschnitt, im Allgemeinen der Lochdurchmesser, außer bei senkrecht zur Zugbeanspruchung angeordneten Langlöchern, dort sollte die Längsabmessung verwendet werden;

$d_{0,v}$	Lochgröße im schubbeanspruchten Querschnitt, im Allgemeinen der Lochdurchmesser, außer bei schubparallelen Langlöchern, dort sollte die Längsabmessung verwendet werden;
d_c	Höhe des Stützenstegs zwischen den Ausrundungen (Höhe des geraden Stegteils);
d_m	Mittelwert aus Eckmaß und Schlüsselweite des Schraubenkopfes oder der Schraubenmutter (maßgebend ist der kleinere Wert);
$f_{H,Rd}$	Bemessungswert der Hertz'schen Pressung;
f_{ur}	Zugfestigkeit des Nietwerkstoffs;
e_1	Randabstand in Krafrichtung, gemessen von der Lochachse zum Blechrand, siehe Bild 3.1;
e_2	Randabstand quer zur Krafrichtung, gemessen von der Lochachse zum Blechrand, siehe Bild 3.1;
e_3	Randabstand eines Langlochs zum parallelen Blechrand, gemessen von der Mittelachse des Langlochs, siehe Bild 3.1;
e_4	Randabstand eines Langlochs zum Blechrand, gemessen vom Mittelpunkt des Endradius in der Achse des Langlochs, siehe Bild 3.1;
l_{eff}	wirksame Länge einer Kehlnaht;
n	Anzahl der Reibflächen bei reibfesten Verbindungen oder Anzahl der Löcher für Verbindungsmittel im schubbeanspruchten Querschnitt;
p_1	Lochabstand von Verbindungsmitteln in Krafrichtung, gemessen von Achse zu Achse der Verbindungsmittel, siehe Bild 3.1;
$p_{1,0}$	Lochabstand von Verbindungsmitteln in Krafrichtung in einer Außenreihe am Blechrand, gemessen von Achse zu Achse der Verbindungsmittel, siehe Bild 3.1;
$p_{1,i}$	Lochabstand von Verbindungsmitteln in Krafrichtung in einer inneren Reihe, gemessen von Achse zu Achse der Verbindungsmittel, siehe Bild 3.1;
p_2	Lochabstand von Verbindungsmitteln quer zur Krafrichtung, gemessen von Achse zu Achse der Verbindungsmittel, siehe Bild 3.1;
r	Nummer einer Schraubenreihe;
	ANMERKUNG Bei einer biegebeanspruchten Schraubenverbindung mit mehr als einer Schraubenreihe im Zugbereich erfolgt die Nummerierung der Schraubenreihen beginnend mit der Schraubenreihe, die am weitesten von dem Druckpunkt entfernt liegt.
s_s	Länge der steifen Auflagerung;
t_a	Blechdicke des Flanschwinkels;
t_{fc}	Blechdicke des Stützenflansches;
t_p	Blechdicke der Unterlegscheibe (unter der Schraube oder der Mutter);
t_w	Blechdicke des Steges;
t_{wc}	Blechdicke des Stützensteges;
A	Brutto-Querschnittsfläche einer Schraube (Schaft);
A_0	Querschnittsfläche des Nietlochs;
A_{vc}	Schubfläche einer Stütze, siehe EN 1993-1-1;
A_s	Spannungsquerschnittsfläche einer Schraube oder einer Ankerschraube;
$A_{v,eff}$	wirksame Schubfläche;
$B_{p,Rd}$	Bemessungswert des Durchstanzwiderstandes des Schraubenkopfes und der Schraubenmutter;

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

E	Elastizitätsmodul;
$F_{p,Cd}$	Bemessungswert der Vorspannkraft;
$F_{t,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft auf eine Schraube im Grenzzustand der Tragfähigkeit;
$F_{t,Rd}$	Bemessungswert der Zugtragfähigkeit einer Schraube;
$F_{T,Rd}$	Bemessungswert der Zugtragfähigkeit des Flansches eines äquivalenten T-Stummels;
$F_{v,Rd}$	Bemessungswert der Abschertragfähigkeit einer Schraube;
$F_{b,Rd}$	Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit einer Schraube;
$F_{s,Rd,ser}$	Bemessungswert des Gleitwiderstandes einer Schraube im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit;
$F_{s,Rd}$	Bemessungswert des Gleitwiderstandes einer Schraube im Grenzzustand der Tragfähigkeit;
$F_{v,Ed,ser}$	Bemessungswert der einwirkenden Abscherkraft auf eine Schraube im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit;
$F_{v,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Abscherkraft auf eine Schraube im Grenzzustand der Tragfähigkeit;
$M_{j,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit eines Anschlusses;
S_j	Rotationssteifigkeit eines Anschlusses;
$S_{j,ini}$	Anfangs-Rotationssteifigkeit eines Anschlusses;
$V_{wp,Rd}$	Plastische Schubtragfähigkeit des Stegfeldes einer Stütze;
z	Hebelarm;
μ	Reibbeiwert;
ϕ	Rotationswinkel eines Anschlusses.

(2) In Abschnitt 7 werden die folgenden Abkürzungen für Hohlprofile verwendet:

- KHP für ein rundes Hohlprofil "Kreis-Hohlprofil";
- RHP für ein rechteckiges Hohlprofil „Rechteck-Hohlprofil“, hier einschließlich quadratischer Hohlprofile.

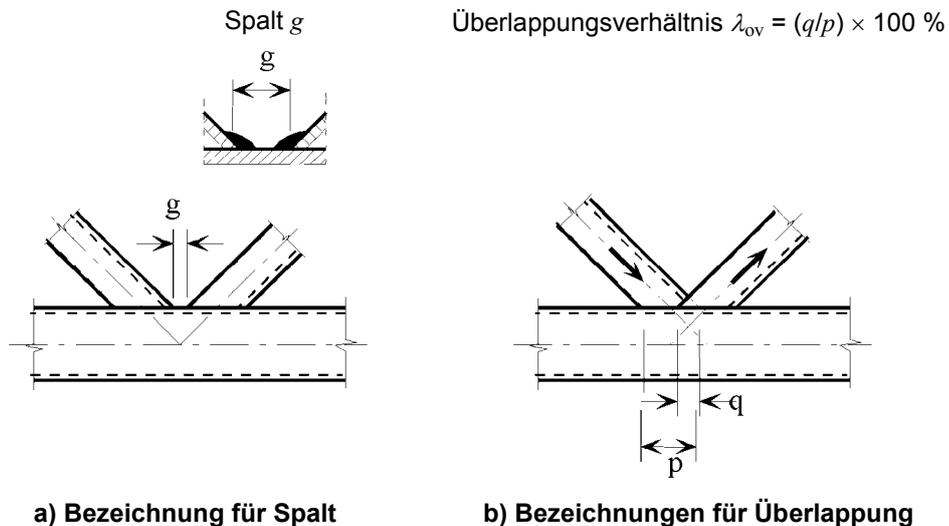


Bild 1.3 — Knotenanschlüsse mit Spalt und mit Überlappung

(3) In Abschnitt 7 werden die folgenden Formelzeichen verwendet:

A_i	Querschnittsfläche eines Bauteils i ($i = 0, 1, 2$ oder 3);
A_v	Schubfläche des Gurtstabes;
$A_{v,eff}$	wirksame Schubfläche des Gurtstabes;
L	Systemlänge eines Bauteils;
$M_{ip,i,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit des Anschlusses bei Biegung in der Tragwerksebene für das Bauteil i ($i = 0, 1, 2$ oder 3);
$M_{ip,i,Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden Momentes in der Tragwerksebene für das Bauteil i ($i = 0, 1, 2$ oder 3);
$M_{op,i,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit des Anschlusses bei Biegung aus der Tragwerksebene für das Bauteil i ($i = 0, 1, 2$ oder 3);
$M_{op,i,Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden Momentes aus der Tragwerksebene für das Bauteil i ($i = 0, 1, 2$ oder 3);
$N_{i,Rd}$	Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit des Anschlusses für das Bauteil i ($i = 0, 1, 2$ oder 3);
$N_{i,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft für das Bauteil i ($i = 0, 1, 2$ oder 3);
$W_{el,i}$	elastisches Widerstandsmoment des Bauteils i ($i = 0, 1, 2$ oder 3);
$W_{pl,i}$	plastisches Widerstandsmoment des Bauteils i ($i = 0, 1, 2$ oder 3);
b_i	Gesamtbreite eines RHP-Bauteils i ($i = 0, 1, 2$ oder 3), quer zur Tragwerksebene;
b_{eff}	wirksame (effektive) Breite einer Strebe, die auf den Gurtstab aufgesetzt ist;
$b_{e,ov}$	wirksame (effektive) Breite einer Strebe, die in einem Überlappungsstoß auf eine andere Strebe aufgesetzt ist;
$b_{e,p}$	wirksame (effektive) Breite bei Durchstanzen;
b_p	Blechbreite;
b_w	wirksame (effektive) Breite des Stegblechs eines Gurtstabes;
d_i	Gesamtdurchmesser bei KHP-Bauteilen i ($i = 0, 1, 2$ oder 3);
d_w	Stegblechhöhe von Gurtstäben mit I- oder H-Querschnitt;
e	Ausmittigkeit eines Anschlusses;
f_b	Festigkeitsgrenze für das Stegblech des Gurtstabes infolge lokalen Beulens;
f_{yi}	Streckgrenze des Werkstoffs von Bauteilen i ($i = 0, 1, 2$ oder 3);
f_{y0}	Streckgrenze des Werkstoffs eines Gurtstabes;
g	Spaltweite zwischen den Streben eines K- oder N-Anschlusses (negative Werte für g entsprechen einer Überlappung q); der Abstand g wird an der Oberfläche des Gurtstabes zwischen den Kanten der angeschlossenen Bauteile gemessen, siehe Bild 1.3(a);
h_i	Gesamthöhe des Querschnitts eines Bauteils i ($i = 0, 1, 2$ oder 3) in der Tragwerksebene;
h_z	Abstand zwischen den Gleichgewichtspunkten der wirksamen (effektiven) Breite der Teile eines Trägers mit rechteckigem Querschnitt, der mit einer Stütze mit I- oder H-Querschnitt verbunden ist
k	Beiwert mit Indizes g, m, n oder p , wie in Tabelle erklärt;
ℓ	Knicklänge eines Bauteils;

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

p	Projektion der Anschlusslänge einer Strebe auf die Oberfläche des Gurtstabes, ohne Berücksichtigung der Überlappung, siehe Bild 1.3(b);
q	Länge der Überlappung, gemessen an der Oberfläche des Gurtstabes zwischen den Streben-Achsen eines K- oder N-Anschlusses, siehe Bild 1.3(b);
r	Ausrundungsradius von I- oder H-Profilen oder Eckradius von rechteckigen Hohlprofilen;
t_f	Flanschdicke von I- oder H-Profilen;
t_i	Wanddicke eines Bauteils i ($i = 0, 1, 2$ oder 3);
t_p	Blechdicke;
t_w	Stegdicke von I- oder H-Profilen;
α	Beiwert, wie in Tabelle erklärt;
θ_i	eingeschlossener Winkel zwischen Strebe i und Gurtstab ($i = 1, 2$ oder 3);
κ	Beiwert, wie im Text erklärt;
μ	Beiwert, wie in Tabelle erklärt;
φ	Winkel zwischen Tragwerksebenen bei räumlichen Anschlüssen.

(4) In Abschnitt 7 werden die folgenden Zahlenindizes verwandt:

i	Zahlenindex zur Bestimmung von Bauteilen eines Anschlusses, wobei $i = 0$ für die Bezeichnung des Gurtstabes und $i = 1, 2$ oder 3 für die Bezeichnung der Streben gelten. Bei Anschlüssen mit zwei Streben bezeichnet $i = 1$ im Allgemeinen die Druckstrebe und $i = 2$ die Zugstrebe, siehe Bild 1.4(b). Bei einer einzelnen Strebe wird $i = 1$ verwendet, unabhängig ob druck- oder zugbelastet, siehe Bild 1.4(a);
i und j	Zahlenindex bei überlappenden Anschlüssen, i bezeichnet die überlappende Strebe und j die überlappte Strebe, siehe Bild 1.4(c).

(5) Im Abschnitt 7 werden die folgenden Spannungsverhältnisse verwandt:

n	Verhältnis $(\sigma_{0,Ed}/f_{y0})/\gamma_{M5}$ (für RHP-Gurtstäbe);
n_p	Verhältnis $(\sigma_{p,Ed}/f_{y0})/\gamma_{M5}$ (für KHP-Gurtstäbe);
$\sigma_{0,Ed}$	maximale einwirkende Druckspannung im Gurtstab am Anschluss;
$\sigma_{p,Ed}$	ist der Wert von $\sigma_{0,Ed}$ ohne die Spannungen infolge der Komponenten der Strebenkräfte am Anschluss parallel zum Gurt, siehe Bild 1.4.

(6) In Abschnitt 7 werden die folgenden geometrischen Verhältnisse verwandt:

β	Verhältnis der mittleren Durchmesser oder mittleren Breiten von Strebe und Gurtstab: — für T-, Y- und X-Anschlüsse: $\frac{d_1}{d_0}; \frac{d_1}{b_0} \text{ oder } \frac{b_1}{b_0}$ — für K- und N-Anschlüsse: $\frac{d_1 + d_2}{2d_0}; \frac{d_1 + d_2}{2b_0} \text{ oder } \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0}$ — für KT-Anschlüsse:
---------	---

$$\frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0}; \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3b_0} \text{ oder } \frac{b_1 + b_2 + b_3 + h_1 + h_2 + h_3}{6b_0}$$

β_p Verhältnis b_i/b_p ;

γ Verhältnis der Breite oder des Durchmessers des Gurtstabes zum zweifachen seiner Wanddicke:

$$\frac{d_0}{2t_0}; \frac{b_0}{2t_0} \text{ oder } \frac{b_0}{2t_f}$$

η Verhältnis der Höhe der Strebe zu Durchmesser oder Breite des Gurtstabes:

$$\frac{h_i}{d_0} \text{ oder } \frac{h_i}{b_0}$$

η_p Verhältnis h_i/b_p ;

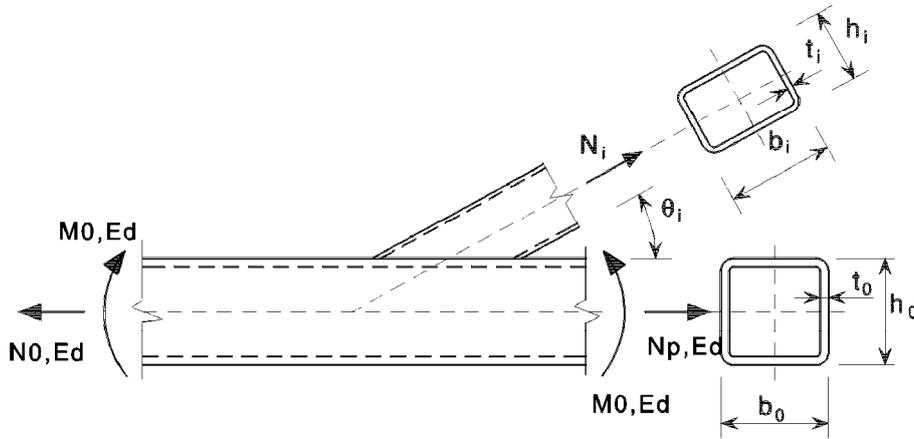
λ_{ov} Überlappungsverhältnis in Prozent ($\lambda_{ov} = (q/p) \times 100 \%$), wie in Bild 1.3(b) angegeben.

$\lambda_{ov,lim}$ Überlappung, bei der der Schub zwischen den Streben und der Oberfläche eines Gurtstabes kritisch werden kann

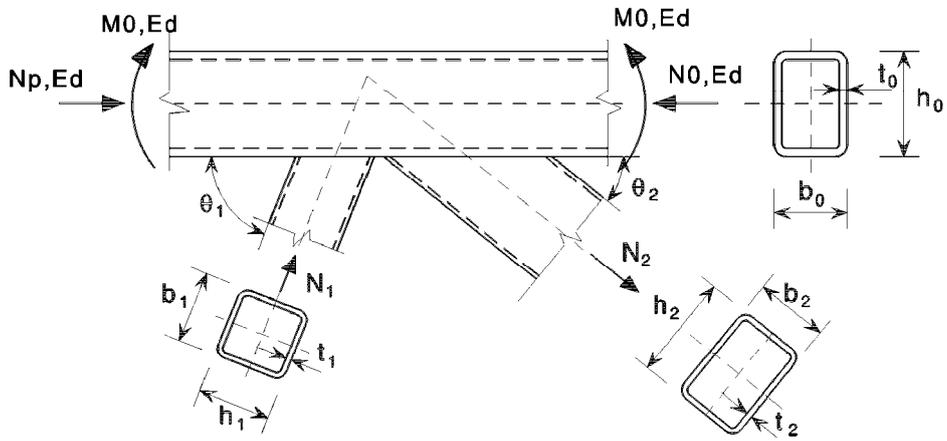
(7) Weitere Formelzeichen werden im Text erklärt.

ANMERKUNG Formelzeichen für Kreisprofile sind in Tabelle 7.2 angegeben.

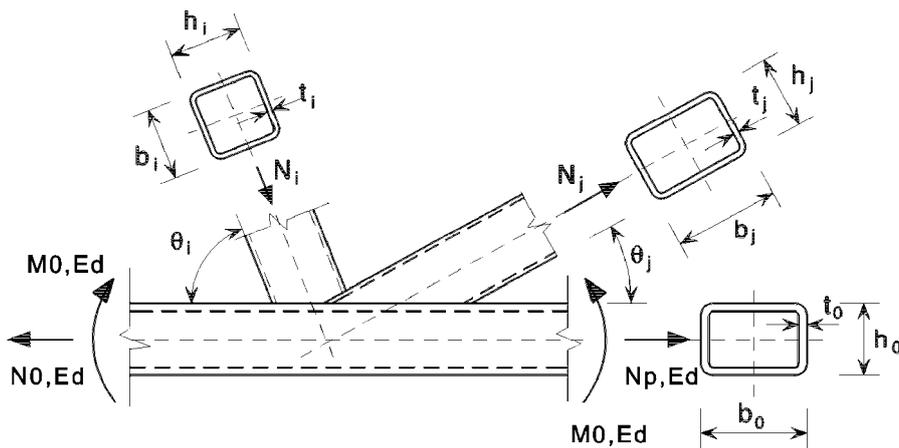
DIN EN 1993-1-8:2010-12
 EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)



a) Anschluss mit einer Strebe



b) Anschluss mit zwei Streben und Spalt



c) Anschluss mit zwei Streben und Überlappung

Bild 1.4 — Abmessungen und weitere Parameter eines Fachwerk-Knotenanschlusses mit Hohlprofilen

2 Grundlagen der Tragwerksplanung

2.1 Annahmen

(1) Die Regelungen dieses Teils von EN 1993 setzen voraus, dass die Ausführung den in 1.2 angegebenen Herstell- und Liefernormen entspricht und die verwendeten Baustoffe und Bauprodukte den Anforderungen in EN 1993 oder den maßgebenden Baustoff- und Bauproduktspezifikationen entsprechen.

2.2 Allgemeine Anforderungen

(1) \overline{AC} P \overline{AC} Die Anschlüsse \overline{AC} müssen so bemessen werden \overline{AC} , dass das Tragwerk die grundlegenden Anforderungen dieser Norm und von EN 1993-1-1 erfüllt.

(2) Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M für Anschlüsse sind in Tabelle 2.1 angegeben.

Tabelle 2.1 — Teilsicherheitsbeiwerte für Anschlüsse

Beanspruchbarkeit von Bauteilen und Querschnitten	γ_{M0} , γ_{M1} und γ_{M2} siehe EN 1993-1-1
Beanspruchbarkeit von Schrauben	γ_{M2}
Beanspruchbarkeit von Nieten	
Beanspruchbarkeit von Bolzen	
Beanspruchbarkeit von Schweißnähten	
Beanspruchbarkeit von Blechen auf Lochleibung	
Gleitfestigkeit	γ_{M3}
— im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Kategorie C)	
— im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (Kategorie B)	$\gamma_{M3,ser}$
Lochleibungsbeanspruchbarkeit von Injektionsschrauben	γ_{M4}
Beanspruchbarkeit von Knotenanschlüssen in Fachwerken mit Hohlprofilen	γ_{M5}
Beanspruchbarkeit von Bolzen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	$\gamma_{M6,ser}$
Vorspannung hochfester Schrauben	γ_{M7}
Beanspruchbarkeit von Beton	γ_c siehe EN 1992

ANMERKUNG Der Nationale Anhang gibt Hinweise zu Zahlenwerten für γ_M . Folgende Zahlenwerte werden empfohlen:
 $\gamma_{M2} = 1,25$; $\gamma_{M3} = 1,25$ und $\gamma_{M3,ser} = 1,1$; $\gamma_{M4} = 1,0$; $\gamma_{M5} = 1,0$; $\gamma_{M6,ser} = 1,0$; $\gamma_{M7} = 1,1$.

(3) \overline{AC} P \overline{AC} Für ermüdungsbeanspruchte Anschlüsse \overline{AC} müssen \overline{AC} zusätzlich die Grundsätze in EN 1993-1-9 gelten.

2.3 Schnittgrößen

(1) \overline{AC} P \overline{AC} Die für den Tragsicherheitsnachweis von Verbindungen erforderlichen Schnittgrößen \overline{AC} müssen \overline{AC} nach den Grundsätzen in EN 1993-1-1 ermittelt werden.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

2.4 Beanspruchbarkeit von Verbindungen

- (1) Die Beanspruchbarkeit einer Verbindung ist in der Regel anhand der Beanspruchbarkeiten ihrer Grundkomponenten zu bestimmen.
- (2) Für die Bemessung von Anschlüssen können linear-elastische oder elastisch-plastische Berechnungsverfahren angewendet werden.
- (3) Werden zur Aufnahme von Scherbeanspruchungen verschiedene Verbindungsmittel mit unterschiedlichen Steifigkeiten verwendet, so ist in der Regel dem Verbindungsmittel mit der höchsten Steifigkeit die gesamte Belastung zuzuordnen. Eine Ausnahme von dieser Regel ist in 3.9.3 angegeben.

2.5 Annahmen für die Berechnung

(1) \overline{P} \overline{AC} Bei der Berechnung von Anschlüssen \overline{AC} muss \overline{AC} eine wirklichkeitsnahe Verteilung der Schnittgrößen angenommen werden. Für die Verteilung der Kräfte und Momente \overline{AC} müssen die folgenden Annahmen getroffen werden: \overline{AC}

- a) die angenommene Verteilung der Kräfte und Momente steht im Gleichgewicht mit den im Anschluss angreifenden Schnittgrößen,
 - b) jedes Element des Anschlusses kann die ihm zugewiesenen Kräfte und Momente übertragen,
 - c) die Verformungen, welche durch diese Verteilung hervorgerufen werden, überschreiten nicht das Verformungsvermögen der Verbindungsmittel oder der Schweißnähte und der angeschlossenen Bauteile,
 - d) die angenommene Verteilung der Kräfte und Momente \overline{AC} muss \overline{AC} den Steifigkeitsverhältnissen im Anschluss entsprechen,
 - e) die Verformungen, die bei elastisch-plastischen Berechnungsmodellen aus Starrkörperverdrehungen und/oder Verformungen in der Tragwerksebene herrühren, sind physikalisch möglich,
 - f) das verwendete Berechnungsmodell steht nicht im Widerspruch zu Versuchsergebnissen, siehe EN 1990.
- (2) Die Anwendungsregeln in dieser Norm erfüllen die Annahmen in 2.5(1).

2.6 Schubbeanspruchte Anschlüsse mit Stoßbelastung, Belastung mit Schwingungen oder mit Lastumkehr

(1) Bei schubbeanspruchten Anschlüssen, die Stoßbelastungen oder erheblichen Belastungen aus Schwingungen ausgesetzt sind, sollten nur folgende Anschlussmittel verwendet werden:

- Schweißnähte;
- Schrauben mit Sicherung gegen unbeabsichtigtes Lösen der Muttern;
- vorgespannte Schrauben;
- Injektionsschrauben;
- andere Schrauben, die Verschiebungen der angeschlossenen Bauteile wirksam verhindern;
- Niete.

(2) Darf in einem Anschluss kein Schlupf auftreten (z. B. wegen Lastumkehr), sind in der Regel entweder gleitfeste Schraubverbindungen der Kategorie B oder C, siehe 3.4, Passschrauben, siehe 3.6.1, Niete oder Schweißnähte zu verwenden.

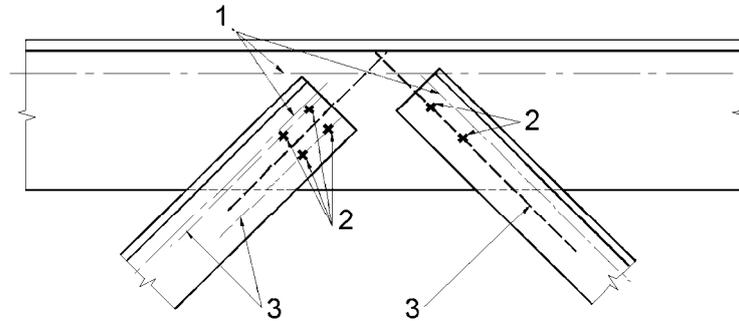
(3) In Windverbänden und/oder Stabilisierungsverbänden dürfen Schrauben der Kategorie A, siehe 3.4, benutzt werden.

2.7 Exzentrizitäten in Knotenpunkten

(1) Treten in Knotenpunkten Exzentrizitäten auf, so sind in der Regel die Anschlüsse und die angeschlossenen Bauteile für die daraus resultierenden Schnittgrößen zu bemessen. Davon ausgenommen sind Konstruktionen, für die nachgewiesen wurde, dass dies nicht erforderlich ist, siehe 5.1.5.

(2) Bei Anschlüssen von Winkel- oder T-Profilen mit einer oder zwei Schraubenreihen sind in der Regel die Exzentrizitäten nach 2.7(1) zu berücksichtigen. Exzentrizitäten in der Anschlussebene und aus der Anschlussebene heraus sind unter Berücksichtigung der Schwerpunktsachsen der Bauteile und der Bezugsachsen der Verbindung zu ermitteln, siehe Bild 2.1. Für den einschenklig angeschlossen Winkel kann das vereinfachte Bemessungsverfahren nach 3.10.3 angewendet werden.

ANMERKUNG Der Einfluss der Exzentrizität auf druckbeanspruchte Winkelprofile in Gitterstäben ist in EN 1993-1-1, Anhang BB 1.2 geregelt.



Legende

- 1 Schwerpunktsachsen
- 2 Verbindungsmittel
- 3 Bezugsachsen

Bild 2.1 — Bezugsachsen

3 Schrauben-, Niet- und Bolzenverbindungen

3.1 Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben

3.1.1 Allgemeines

(1) Alle Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben müssen in der Regel die Anforderungen der Bezugsnormengruppe 4 in 1.2.4 erfüllen.

(2) Die Regelungen dieses Teils gelten für Schrauben der in Tabelle 3.1 angegebenen Festigkeitsklassen.

(3) Die Streckgrenzen f_{yb} und die Zugfestigkeiten f_{ub} sind für Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.8, 8.8 und 10.9 in Tabelle 3.1 angegeben. Für die Bemessung sind in der Regel diese Werte als charakteristische Werte anzusetzen.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 3.1 — Nennwerte der Streckgrenze f_{yb} und der Zugfestigkeit f_{ub} von Schrauben

Schraubenfestigkeitsklasse	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

ANMERKUNG Im Nationalen Anhang darf die Anwendung bestimmter Schraubenklassen ausgeschlossen werden.

3.1.2 Vorgespannte Schrauben

(1) Schraubengarnituren der Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9, welche den Anforderungen der Bezugsnormengruppe 4 in 1.2.4 entsprechen, dürfen als vorgespannte Schrauben eingesetzt werden, sofern eine kontrollierte Vorspannung nach Bezugsnormengruppe 7 in 1.2.7 durchgeführt wird.

3.2 Niete

(1) Die Werkstoffkenngrößen, Abmessungen und Toleranzen von Stahl-Nieten müssen in der Regel die Anforderungen der Bezugsnormengruppe 6 in 1.2.6 erfüllen.

3.3 Ankerschrauben

(1) Für Ankerschrauben dürfen die folgenden Werkstoffe verwendet werden:

- Stahlsorten, welche den Anforderungen der Bezugsnormengruppe 1 in 1.2.1 entsprechen;
- Stahlsorten, welche den Anforderungen der Bezugsnormengruppe 4 in 1.2.4 entsprechen;
- Stahlsorten von Bewehrungsstählen, welche den Anforderungen nach EN 10080 entsprechen,

vorausgesetzt, dass der Nennwert der Streckgrenze bei scherbeanspruchten Ankerschrauben den Wert 640 N/mm² nicht überschreitet. Ohne Scherbeanspruchung liegt die obere Grenze bei 900 N/mm².

3.4 Kategorien von Schraubenverbindungen

3.4.1 Scherverbindungen

(1) Schraubenverbindungen mit Scherbeanspruchung werden in der Regel für die Bemessung in folgende Kategorien unterteilt:

a) Kategorie A: Scher-/Lochleibungsverbindung

Zu dieser Kategorie gehören Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6 bis 10.9. Vorspannung und besondere Oberflächenbehandlungen sind in der Regel nicht erforderlich. Der Bemessungswert der einwirkenden Scherkraft darf weder den Bemessungswert der Schertragfähigkeit nach 3.6 noch den Bemessungswert des Lochleibungswiderstandes nach 3.6 und 3.7 überschreiten.

b) Kategorie B: Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Zu dieser Kategorie gehören hochfeste vorgespannte Schrauben, welche die Anforderungen nach 3.1.2(1) erfüllen. Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit darf in der Regel kein Gleiten auftreten. Der Bemessungswert der einwirkenden Scherkraft im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit darf in der Regel den Bemessungswert des Gleitwiderstandes nach 3.9 nicht überschreiten. Der Bemessungswert der einwirkenden Abscherkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit darf in der Regel den Bemessungswert der Schertragfähigkeit nach 3.6 und des Lochleibungswiderstandes nach 3.6 und 3.7 nicht überschreiten.

c) Kategorie C: Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Zu dieser Kategorie gehören hochfeste vorgespannte Schrauben, welche die Anforderungen nach 3.1.2(1) erfüllen. Im Grenzzustand der Tragfähigkeit darf kein Gleiten auftreten. Der Bemessungswert der einwirkenden Scherkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit darf den Bemessungswert des Gleitwiderstandes nach 3.9 und des Lochleibungswiderstandes nach 3.6 und 3.7 nicht überschreiten.

Zusätzlich darf bei Zugverbindungen der Bemessungswert des plastischen Widerstands des Nettoquerschnitts im kritischen Schnitt durch die Schraubenlöcher $N_{net,Rd}$ (siehe EN 1993-1-1, 6.2) nicht überschritten werden.

In Tabelle 3.2 sind die Bemessungsnachweise für diese Verbindungskategorien zusammengefasst.

3.4.2 Zugverbindungen

(1) Zugbeanspruchte Schraubenverbindungen werden in der Regel für die Bemessung in folgende Kategorien unterteilt:

a) Kategorie D: nicht vorgespannt

Zu dieser Kategorie gehören Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6 bis 10.9. Vorspannung ist nicht erforderlich. Diese Kategorie darf bei Verbindungen, die häufig veränderlichen Zugbeanspruchungen ausgesetzt sind, nicht verwendet werden. Der Einsatz in Verbindungen, die durch normale Windlasten beansprucht werden, ist dagegen erlaubt.

b) Kategorie E: vorgespannt

Zu dieser Kategorie gehören hochfeste vorgespannte Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9, die nach Bezugsnormengruppe 7 in 1.2.7 kontrolliert vorgespannt werden.

In Tabelle 3.2 sind die Bemessungsregeln für diese Verbindungskategorien zusammengefasst.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 3.2 — Kategorien von Schraubenverbindungen

Kategorie	Nachweiskriterium	Anmerkungen
Scherverbindungen		
A Scher-/Lochleibungsverbindung	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Keine Vorspannung erforderlich. Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6 bis 10.9 dürfen verwendet werden.
B Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	In der Regel sind hochfeste Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 zu verwenden. Gleitwiderstand für Gebrauchstauglichkeit siehe 3.9.
C Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Tragfähigkeit	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\boxed{AC} \Sigma F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd} \boxed{AC}$	In der Regel sind hochfeste Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 zu verwenden. Gleitwiderstand für Tragfähigkeit siehe 3.9. $N_{net,Rd}$ siehe 3.4.1(1)c).
Zugverbindungen		
D Nicht vorgespannt	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Keine Vorspannung erforderlich. Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6 bis 10.9 dürfen verwendet werden. $B_{p,Rd}$ siehe Tabelle 3.4.
E Vorgespannt	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	In der Regel sind hochfeste Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 zu verwenden. $B_{p,Rd}$ siehe Tabelle 3.4.
Der Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft $F_{t,Ed}$ sollte Beiträge aus Abstützkräften berücksichtigen, siehe 3.11. Schrauben unter Scher- und Zugbeanspruchung gelten in der Regel die Kriterien, die in Tabelle 3.4 angegeben sind.		

ANMERKUNG Wird die Vorspannung nicht für den Gleitwiderstand eingesetzt, sondern aus anderen Gründen für die Ausführung oder als Qualitätsmaßnahme (z. B. für die Dauerhaftigkeit) gefordert, dann kann die Höhe der Vorspannung im Nationalen Anhang festgelegt werden.

3.5 Rand- und Lochabstände für Schrauben und Niete

- (1) Die Grenzwerte für Rand- und Lochabstände für Schrauben und Niete sind in Tabelle 3.3 angegeben.
- (2) Zu Grenzwerten für Rand- und Lochabstände für Konstruktionen unter Ermüdungsbelastung, siehe EN 1993-1-9.

Tabelle 3.3 — Grenzwerte für Rand- und Lochabstände

Rand- und Lochabstände, siehe Bild 3.1	Minimum	Maximum ^{1), 2), 3)}		
		Stahlkonstruktionen unter Verwendung von Stahlsorten nach EN 10025, ausgenommen Stahlsorten nach EN 10025-5		Stahlkonstruktionen unter Verwendung von Stahlsorten nach EN 10025-5
		Stahl, der dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzt ist	Stahl, der nicht dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzt ist	Ungeschützter Stahl
Randabstand e_1	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		Der größte Wert von: $8t$ oder 125 mm
Randabstand e_2	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		Der größte Wert von: $8t$ oder 125 mm
Randabstand e_3 bei Langlöchern	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Randabstand e_4 bei Langlöchern	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Lochabstand p_1	$2,2d_0$	Der kleinste Wert von: $14t$ oder 200 mm	Der kleinste Wert von: $14t$ oder 200 mm	Der kleinste Wert von: $14t_{\min}$ oder 175 mm
Lochabstand $p_{1,0}$		Der kleinste Wert von: $14t$ oder 200 mm		
Lochabstand $p_{1,i}$		Der kleinste Wert von: $28t$ oder 400 mm		
Lochabstand p_2 ⁵⁾	$2,4d_0$	Der kleinste Wert von: $14t$ oder 200 mm	Der kleinste Wert von: $14t$ oder 200 mm	Der kleinste Wert von: $14t_{\min}$ oder 175 mm

1) Keine Beschränkung der Maximalwerte für Rand- und Lochabstände, außer:
— bei druckbeanspruchten Bauteilen zur Verhinderung des lokalen Beulens und zur Vermeidung von Korrosion \overline{AC} von Bauteilen (die Grenzwerte sind in der Tabelle angegeben), \overline{AC} die dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzt sind;
— bei zugbeanspruchten Bauteilen \overline{AC} zur Vermeidung von Korrosion (die Grenzwerte sind in der Tabelle angegeben). \overline{AC}

2) Der Widerstand druckbeanspruchter Bleche gegen lokales Beulen zwischen den Verbindungsmitteln ist in der Regel nach EN 1993-1-1 unter Verwendung der Knicklänge $0,6 p_1$ zu berechnen. Lokales Beulen braucht nicht nachgewiesen werden, wenn p_1/t kleiner als 9ε ist. Der Randabstand quer zur Krafrichtung darf in der Regel die Anforderungen gegen lokales Beulen von druckbeanspruchten einseitig gestützten Flanschen nicht überschreiten, siehe EN 1993-1-1. Der Randabstand in Krafrichtung wird von dieser Anforderung nicht betroffen.

3) t ist die Dicke des dünnsten außen liegenden Blechs.

4) Die Grenzwerte für Langlochabmessungen sind in Bezugsnormengruppe 7 in 1.2.7 angegeben.

5) Bei versetzt angeordneten Schraubenreihen darf der minimale Lochabstand auf $p_2 = 1,2d_0$ reduziert werden, sofern der Minimalabstand L zwischen zwei Verbindungsmitteln größer oder gleich als $2,4d_0$ ist, siehe Bild 3.1b).

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

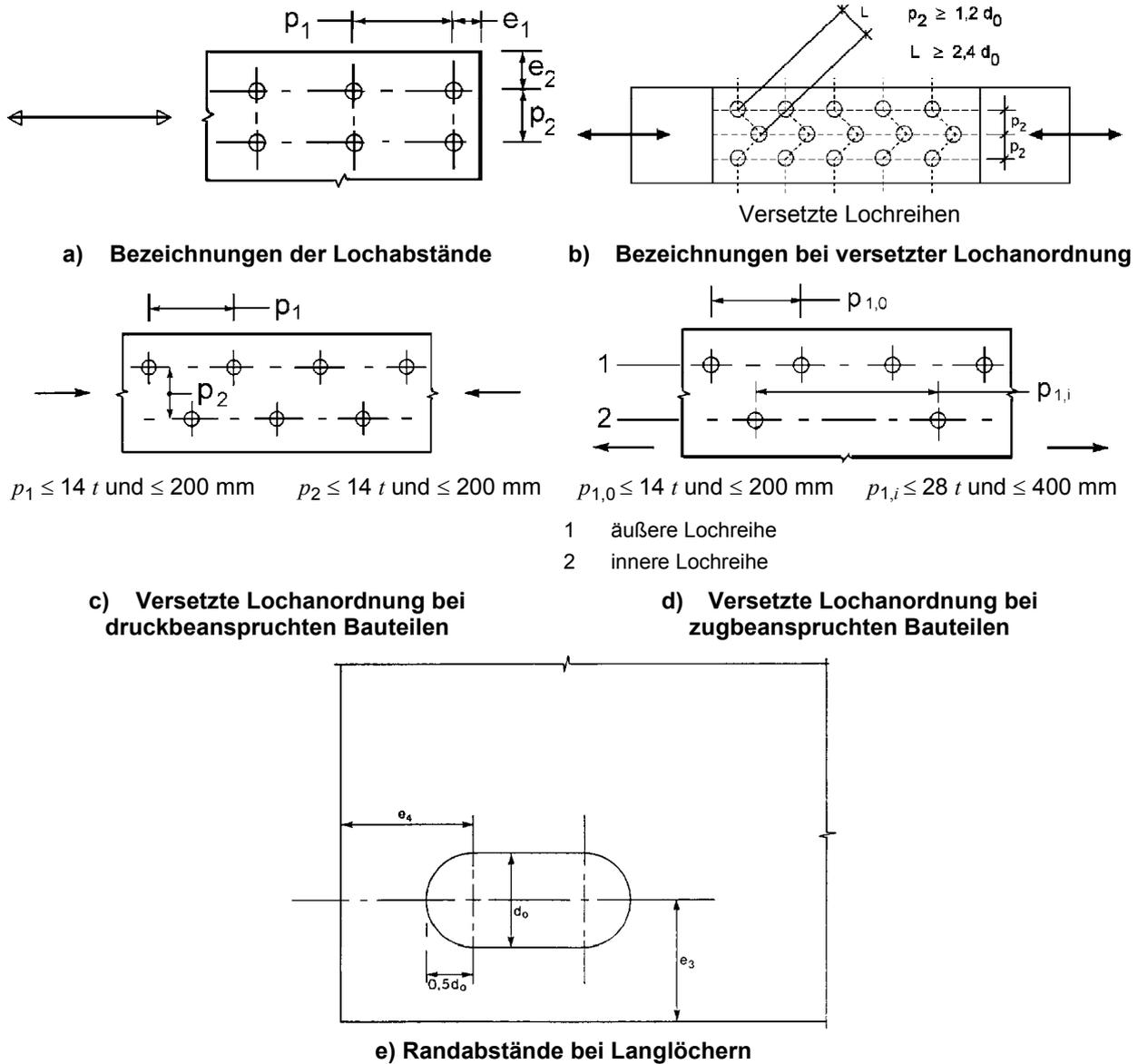


Bild 3.1 — Loch- und Randabstände von Verbindungsmitteln

3.6 Tragfähigkeiten einzelner Verbindungsmittel

3.6.1 Schrauben und Niete

(1) Die Bemessungswerte der Tragfähigkeit einzelner Verbindungsmittel unter Scher- und/oder Zugbeanspruchung sind in Tabelle 3.4 angegeben.

(2) Bei vorgespannten Schrauben, welche den Anforderungen nach 3.1.2(1) entsprechen, ist in der Regel der Bemessungswert der Vorspannkraft, $F_{p,Cd}$, wie folgt anzusetzen:

$$F_{p,Cd} = 0,7 f_{ub} A_s / \gamma_{M7} \tag{3.1}$$

ANMERKUNG Wird die Vorspannung bei der Bemessung nicht angesetzt, siehe Anmerkung zu Tabelle 3.2.

- (3) Die Tragfähigkeit für Zug- oder Scherbeanspruchung im Gewindequerschnitt darf in der Regel nur dann mit dem vollen Wert nach Tabelle 3.4 angesetzt werden, wenn die Schrauben Bezugsnormengruppe 4 in 1.2.4 entsprechen. Für Schrauben mit geschnittenem Gewinde, z. B. Ankerschrauben oder Zugstangen, die aus Rundstahl gefertigt werden, dürfen die Werte aus Tabelle 3.4 verwendet werden, sofern die Ausführung EN 1090 entspricht. Für Schrauben mit geschnittenem Gewinde, für welche die Anforderungen nach EN 1090 nicht erfüllt werden, sind die Werte aus Tabelle 3.4 in der Regel mit dem Faktor 0,85 abzumindern.
- (4) Die Abschertragfähigkeit $F_{v,Rd}$ in Tabelle 3.4 ist in der Regel nur anzusetzen, wenn die Schraubenlöcher ein normales Lochspiel entsprechend Bezugsnormengruppe 7 in 1.2.7 haben.
- (5) M12 und M14 Schrauben dürfen auch mit einem Lochspiel von 2 mm eingesetzt werden, sofern der Bemessungswert der Abschertragfähigkeit kleiner oder gleich dem Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit ist und wenn zusätzlich für Schrauben der Festigkeitsklassen 4.8, 5.8, 6.8, 8.8 und 10.9 die Abschertragfähigkeit $F_{v,Rd}$ nach Tabelle 3.4 mit dem Faktor 0,85 abgemindert wird.
- (6) Passschrauben sind in der Regel wie Schrauben mit normalem Lochspiel zu bemessen.
- (7) In der Regel darf bei Passschrauben das Gewinde nicht in der Scherfuge liegen.
- (8) Bei Passschrauben sollte die Länge des Gewindes im auf Lochleibung beanspruchten Blech nicht mehr als 1/3 der Blechdicke betragen, siehe Bild 3.2.
- (9) Für das Lochspiel bei Passschrauben gilt in der Regel Bezugsnormengruppe 7 in 1.2.7.
- (10) In einschnittigen Anschlüssen mit nur einer Schraubenreihe, siehe Bild 3.3, sollten Unterlegscheiben sowohl unter dem Schraubenkopf als auch unter der Mutter eingesetzt werden. Die Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd}$ der Schrauben ist zu begrenzen auf:

$$F_{b,Rd} \leq 1,5 f_u d t / \gamma_{M2} \quad (3.2)$$

ANMERKUNG Verbindungen mit nur einem Niet sollten bei einschnittigen Anschlüssen nicht verwendet werden.

- (11) Bei Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 in einschnittigen Anschlüssen mit nur einer Schraube oder nur einer Schraubenreihe sind in der Regel gehärtete Unterlegscheiben zu verwenden.
- (12) Übertragen Schrauben oder Niete Scher- und Lochleibungskräfte über Futterbleche mit einer Dicke t_p größer als ein Drittel des Durchmessers d , siehe Bild 3.4, so ist in der Regel die Schertragfähigkeit $F_{v,Rd}$ nach Tabelle 3.4 mit einem Beiwert β_p abzumindern:
- $$\beta_p = \frac{9d}{8d + 3t_p} \quad \text{jedoch } \beta_p \leq 1 \quad (3.3)$$
- (13) Bei zweischnittigen Verbindungen mit Futterblechen auf beiden Seiten des Stoßes ist in der Regel für den Wert t_p die Dicke des dickeren Futterblechs anzusetzen.
- (14) Verbindungen mit Nieten sind in der Regel für die Übertragung von Scher- und Lochleibungskräften zu bemessen. Bei Zugbeanspruchung darf der Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft $F_{t,Ed}$ den Bemessungswert der Tragfähigkeit $F_{t,Rd}$ nach Tabelle 3.4 nicht überschreiten.
- (15) Bei Einsatz der Stahlsorte S235 darf die Zugfestigkeit des Nietwerkstoffs f_{ur} „nach dem Schlagen“ mit 400 N/mm² angesetzt werden.
- (16) Im Allgemeinen sollte die Klemmlänge der Niete bei Schlagen mit Niethammer den Wert $4,5d$ und bei hydraulischem Nieten den Wert $6,5d$ nicht überschreiten.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

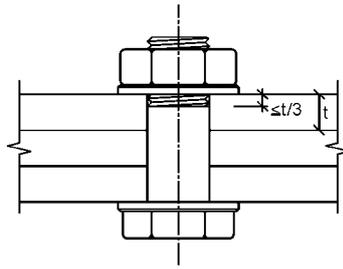


Bild 3.2 — In ein Schraubenloch hineinragendes Gewinde von Passschrauben

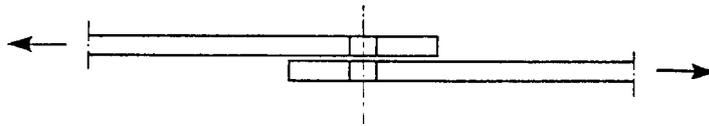


Bild 3.3 — Einschnittige Verbindung mit einer Schraubenreihe

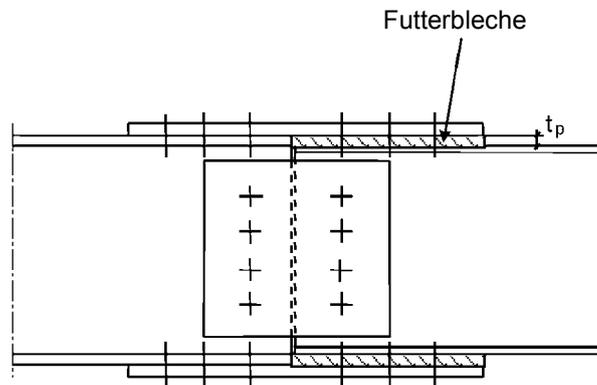


Bild 3.4 — Verbindungsmittel durch Futterbleche

Tabelle 3.4 — Beanspruchbarkeit einzelner Verbindungsmittel mit Scher- und/oder Zugbeanspruchung

Versagenskriterium	Schrauben	Niete
Abscheren je Scherfuge	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$ <ul style="list-style-type: none"> — wenn das Gewinde der Schraube in der Scherfuge liegt (A ist die Spannungsquerschnittsfläche A_s der Schraube): <ul style="list-style-type: none"> — für Festigkeitsklassen 4.6, 5.6 und 8.8: $\alpha_v = 0,6$ — für Festigkeitsklassen 4.8, 5.8, 6.8 und 10.9: $\alpha_v = 0,5$ — wenn der Schaft der Schraube in der Scherfuge liegt (A ist die Schaftquerschnittsfläche der Schraube): $\alpha_v = 0,6$ 	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}}$
Lochleibung ^{1), 2), 3)}	$\langle AC \rangle F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} \langle AC \rangle$ <p>wobei α_b der kleinste Wert ist von α_d; $\frac{f_{ub}}{f_u}$ oder 1,0;</p> <p>in Krafrichtung:</p> <ul style="list-style-type: none"> — für am Rand liegende Schrauben: $\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}$, — für innen liegende Schrauben: $\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$ <p>quer zur Krafrichtung:</p> <ul style="list-style-type: none"> — $\langle AC \rangle$ für am Rand liegende Schrauben: k_1 ist der kleinste Wert von $2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7$, $1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7$ und $2,5 \langle AC \rangle$ — für innen liegende Schrauben: k_1 ist der kleinste Wert von $1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7$ oder $2,5$ 	
Zug ²⁾	$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>wobei $k_2 = 0,63$ für Senkschrauben, sonst $k_2 = 0,9$.</p>	$F_{t,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}}$
Durchstanzen	$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$	kein Nachweis erforderlich
Kombination von Scher-/Lochleibung und Zug	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$	

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 3.4 (fortgesetzt)

1)	Die Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd}$ wird
—	bei großem Lochspiel statt normalem Lochspiel mit dem Beiwert 0,8 abgemindert;
—	bei Langlöchern mit Längsachse quer zur Krafrichtung mit dem Beiwert 0,6 gegenüber normalem Lochspiel abgemindert.
2)	Bei Senkschrauben
—	wird bei der Bestimmung der Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd}$ die Blechdicke t als Dicke des maßgebenden Verbindungsbleches abzüglich der Hälfte der Senkung, angesetzt;
—	gelten bei der Bestimmung der Zugtragfähigkeit $F_{t,Rd}$ die Regeln der Bezugsnormengruppe 4 in 1.2.4; andernfalls sollte eine entsprechende Anpassung der Zugtragfähigkeit $F_{t,Rd}$ erfolgen.
3)	Bei schräg angreifenden Schraubenkräften darf die Lochleibungstragfähigkeit getrennt für die Kraftkomponenten parallel und senkrecht zum Rand nachgewiesen werden.

3.6.2 Injektionsschrauben

3.6.2.1 Allgemeines

(1) Injektionsschrauben können bei Verbindungen der Kategorie A, B und C, siehe 3.4, als Alternative zu normalen Schrauben und Nieten verwendet werden.

(2) Herstellung und Einbau von Injektionsschrauben erfolgt nach Bezugsnormengruppe 7 in 1.2.7.

3.6.2.2 Beanspruchbarkeiten

(1) Die Bemessungsregeln in 3.6.2.2(2) bis 3.6.2.2(6) gelten für Injektionsschrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9. Schraubengruppen sollten den Anforderungen in Bezugsnormengruppe 4 in 1.2.4 genügen, bei Vorspannung der Schrauben siehe jedoch auch 3.6.2.2(3).

(2) Der Bemessungswert der einwirkenden Abscherkraft einer Schraube der Kategorie A im Grenzzustand der Tragfähigkeit darf in der Regel weder den Bemessungswert der Schertragfähigkeit F_{AC} der Schraube oder einer Schraubengruppe nach $\langle AC \rangle$ 3.6 und 3.7, noch der Lochleibungstragfähigkeit des Injektionsharzes nach 3.6.2.2(5) überschreiten.

(3) Für Verbindungen der Kategorie B und C sind in der Regel vorgespannte Injektionsschrauben einzusetzen; dabei sind Schraubengarnituren nach 3.1.2(1) zu verwenden.

(4) Die Bemessungswerte der einwirkenden Scherkraft in Verbindungen der Kategorie B im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und der einwirkenden Scherkraft in Verbindungen der Kategorie C im Grenzzustand der Tragfähigkeit dürfen in der Regel die Bemessungswerte des Gleitwiderstandes der Verbindung nach 3.9 sowie der Lochleibungstragfähigkeit des Injektionsharzes nach 3.6.2.2(5), die für die jeweiligen Grenzzustände gelten, nicht überschreiten. Zusätzlich darf, als wäre keine Injektion vorhanden, in der Regel der Bemessungswert der einwirkenden Scherkraft in Verbindungen der Kategorie B und C im Grenzzustand der Tragfähigkeit weder den Bemessungswert der Schertragfähigkeit der Schraube nach 3.6 noch den Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit der Stahlbleche nach 3.6 und 3.7 überschreiten.

(5) Die Lochleibungstragfähigkeit des Injektionsharzes, $F_{b,Rd,resin}$, kann wie folgt ermittelt werden:

$$F_{b,Rd,resin} = \frac{k_t k_s d t_{b,resin} \beta f_{b,resin}}{\gamma_{M4}} \quad (3.4)$$

Dabei ist

$F_{b,Rd,resin}$ der Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit des Injektionsharzes;

β der Beiwert abhängig vom Verhältnis der Blechdicken der verbundenen Bleche, siehe Tabelle 3.5 und Bild 3.5;

$f_{b,resin}$ die Festigkeit des Injektionsharzes bei Lochleibungsbeanspruchung, ermittelt nach Bezugsnormengruppe 7 in 1.2.7;

- $t_{b,resin}$ die effektive Lochleibungsdicke bei Injektionsschrauben entsprechend Tabelle 3.5;
- k_t 1,0 im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (lange Einwirkungsdauer);
1,2 im Grenzzustand der Tragfähigkeit;
- k_s 1,0 bei Löchern mit normalem Lochspiel oder $(1,0 - 0,1 m)$ bei übergroßen Löchern;
- m die Differenz, in mm, zwischen normalem Lochspiel und übergroßem Lochspiel. Bei kurzen Langlöchern nach Bezugsnormengruppe 7 in 1.2.7, $m = 0,5 \times$ (Differenz, in mm, zwischen Lochlänge und Lochweite).

(6) Bei Schrauben mit einer größeren Klemmlänge als $3d$ sollte die effektive Lochleibungsdicke $t_{b,resin}$ der Injektionsschrauben den Wert $3d$ nicht überschreiten, siehe Bild 3.6.

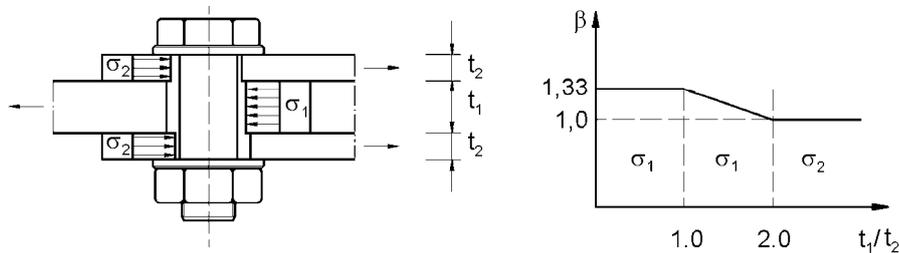


Bild 3.5 — Beiwert β in Abhängigkeit vom Verhältnis der Blechdicken

Tabelle 3.5 — Werte für β und $t_{b,resin}$

t_1/t_2	β	$t_{b,resin}$
$\geq 2,0$	1,0	$2 t_2 \leq 1,5 d$
$1,0 < t_1/t_2 < 2,0$	$1,66 - 0,33 (t_1/t_2)$	$t_1 \leq 1,5 d$
$\leq 1,0$	1,33	$t_1 \leq 1,5 d$

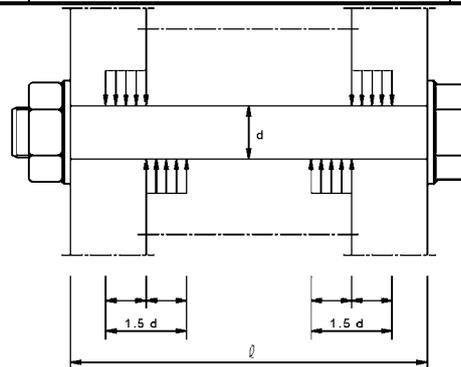


Bild 3.6 — Begrenzung der effektiven Länge von langen Injektionsschrauben

3.7 Gruppen von Verbindungsmitteln

(1) Die Beanspruchbarkeit von Gruppen von Verbindungsmitteln darf als Summe der Lochleibungstragfähigkeiten $F_{b,Rd}$ der einzelnen Verbindungsmittel angenommen werden, sofern die jeweilige Abschertragfähigkeit $F_{v,Rd}$ der einzelnen Verbindungsmittel mindestens so groß ist wie der Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd}$. Andernfalls ist die Beanspruchbarkeit der Gruppe von Verbindungsmitteln in

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

der Regel durch Multiplikation der Anzahl an Verbindungsmitteln mit der kleinsten vorhanden Abschertragfähigkeit bzw. Lochleibungstragfähigkeit zu ermitteln.

3.8 Lange Anschlüsse

(1) Wenn der Abstand L_j zwischen den Achsen des ersten und des letzten Verbindungsmittels in einem langen Anschluss, gemessen in Richtung der Kraftübertragung, siehe Bild 3.7, mehr als $15 d$ beträgt, so ist in der Regel der Bemessungswert der Abschertragfähigkeit $F_{v,Rd}$ aller Verbindungsmittel, berechnet nach Tabelle 3.4, mit einem Abminderungsbeiwert β_{Lf} abzumindern. Dieser Abminderungsbeiwert ergibt sich zu:

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} \quad (3.5)$$

jedoch $\beta_{Lf} \leq 1,0$ und $\beta_{Lf} \geq 0,75$

(2) Die Regelung in 3.8(1) gilt nicht, wenn eine gleichmäßige Verteilung der Kraftübertragung über die Länge des Anschlusses erfolgt, z. B. bei der Übertragung der Schubkraft zwischen Stegblech und Flansch eines Querschnitts.

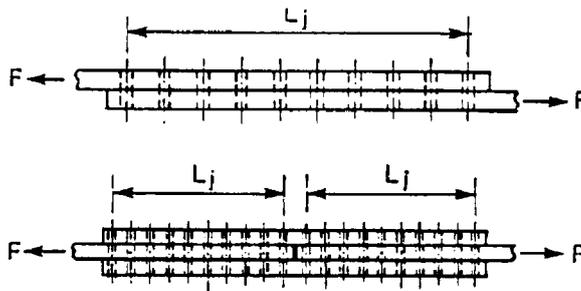


Bild 3.7 — Lange Anschlüsse

3.9 Gleitfeste Verbindungen mit hochfesten 8.8 oder 10.9 Schrauben

3.9.1 Gleitwiderstand

(1) Der Bemessungswert des Gleitwiderstandes vorgespannter hochfester Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 oder 10.9 ist in der Regel wie folgt zu ermitteln:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C} \quad \text{AC} (3.6a) \quad \text{AC}$$

$$\text{AC} F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3,ser}} F_{p,C} \quad (3.6b) \quad \text{AC}$$

Dabei ist

k_s der Beiwert, siehe Tabelle 3.6;

n die Anzahl AC der Reiboberflächen; AC

μ die Reibungszahl, entweder durch Versuche nach Bezugsnormengruppe 7 in 1.2.7 für die jeweilige Reiboberfläche zu ermitteln oder der Tabelle 3.7 zu entnehmen.

(2) Bei Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9 nach Bezugsnormengruppe 4 in 1.2.4 mit kontrollierter Vorspannung nach Bezugsnormengruppe 7 in 1.2.7 ist in der Regel die Vorspannkraft $F_{p,C}$ in Gleichung (3.6) wie folgt anzunehmen:

$$F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s \quad (3.7)$$

Tabelle 3.6 — Zahlenwerte k_s

Beschreibung	k_s
Schrauben in Löchern mit normalem Lochspiel	1,0
Schrauben in übergroßen Löchern oder in kurzen Langlöchern, deren Längsachse quer zur Krafrichtung liegt	0,85
Schrauben in großen Langlöchern, deren Längsachse quer zur Krafrichtung liegt	0,7
Schrauben in kurzen Langlöchern, deren Längsachse parallel zur Krafrichtung liegt	0,76
Schrauben in großen Langlöchern, deren Längsachse parallel zur Krafrichtung liegt	0,63

Tabelle 3.7 — Reibungszahl μ für vorgespannte Schrauben

Gleitflächenklassen (siehe Bezugsnormengruppe 7 in 1.2.7)	Reibungszahl μ
A	0,5
B	0,4
C	0,3
D	0,2

ANMERKUNG 1 Anforderungen an Versuche und deren Bewertung sind in Bezugsnormengruppe 7 in 1.2.7 angegeben.

ANMERKUNG 2 Die Einstufung von anderen Vorbehandlungen in Gleitflächenklassen sollte auf der Grundlage von Versuchen und mit Proben vorgenommen werden, deren Oberflächen der Vorbehandlung im wirklichen Bauwerk nach Bezugsnormengruppe 7 in 1.2.7 entsprechen.

ANMERKUNG 3 Die Definition der Gleitflächenklassen ist in Bezugsnormengruppe 7 in 1.2.7 enthalten.

ANMERKUNG 4 Bei beschichteten Oberflächen besteht die Möglichkeit eines zeitabhängigen Verlustes der Vorspannung.

3.9.2 Kombinierte Scher- und Zugbeanspruchung

(1) Wenn eine gleitfeste Verbindung zusätzlich zur einwirkenden Abscherkraft $F_{v,Ed}$ oder $F_{v,Ed,ser}$ durch eine einwirkende Zugkraft $F_{t,Ed}$ oder $F_{t,Ed,ser}$ beansprucht wird, ist in der Regel der Gleitwiderstand je Schraube wie folgt anzunehmen:

$$\text{bei Kategorie B Verbindungen: } F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8 F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{M3,ser}} \quad (3.8a)$$

$$\text{bei Kategorie C Verbindungen: } F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8 F_{t,Ed})}{\gamma_{M3}} \quad (3.8b)$$

(2) Stehen in einer biegebeanspruchten Verbindung die Zugkräfte in den Schrauben mit der über Kontakt übertragenden Druckkraft im Gleichgewicht, so ist eine Abminderung des Gleitwiderstandes nicht erforderlich.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

3.9.3 Hybridverbindungen

(1) Als Ausnahme zu 2.4(3) darf der Gleitwiderstand von Verbindungen der Kategorie C in 3.4 mit vorgespannten Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9 mit der Tragfähigkeit von Schweißnähten überlagert werden, vorausgesetzt, dass das endgültige Anziehen der Schrauben nach der vollständigen Ausführung der Schweißarbeiten erfolgt.

3.10 Lochabminderungen

3.10.1 Allgemeines

(1) Lochabminderungen bei der Bemessung von Bauteilen sind in der Regel entsprechend EN 1993-1-1 vorzunehmen.

3.10.2 Blockversagen von Schraubengruppen

(1) Das Blockversagen einer Schraubengruppe wird durch das Schubversagen des Blechs entlang der schubbeanspruchten Schraubenreihe verursacht. Dies geschieht in Kombination mit dem Zugversagen des Blechs entlang der zugbeanspruchten Schraubenreihe am Kopf der Schraubengruppe. Bild 3.8 stellt das Blockversagen dar.

(2) Für eine symmetrisch angeordnete Schraubengruppe unter zentrischer Belastung ergibt sich der Widerstand gegen Blockversagen $V_{\text{eff},1,\text{Rd}}$ zu:

$$V_{\text{eff},1,\text{Rd}} = f_u A_{\text{nt}} / \gamma_{\text{M}2} + \frac{f_y}{\sqrt{3}} A_{\text{nv}} / \gamma_{\text{M}0} \quad (3.9)$$

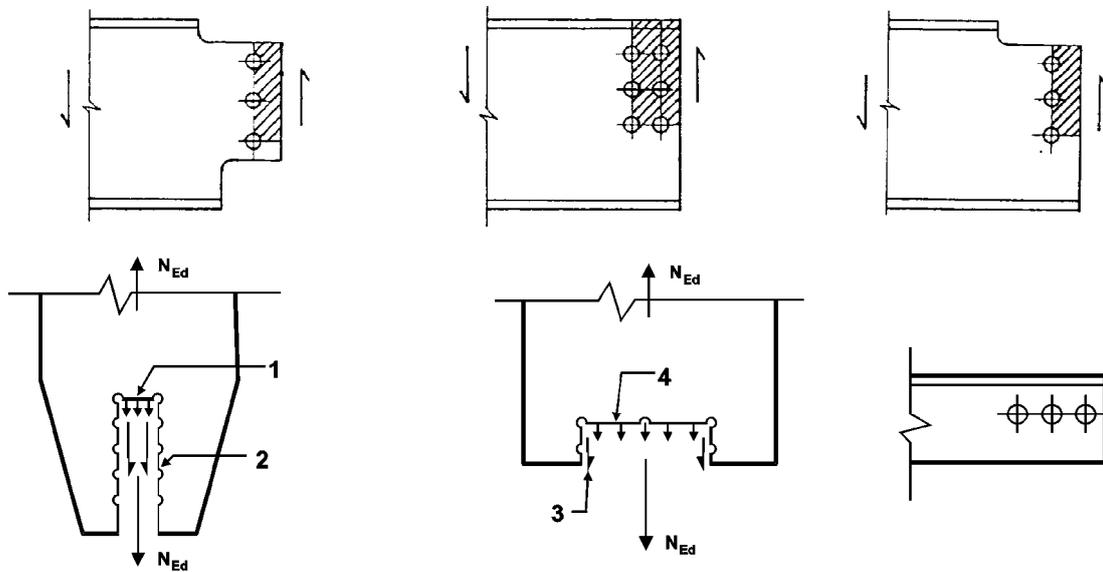
Dabei ist

A_{nt} die zugbeanspruchte Netto-Querschnittsfläche;

A_{nv} die schubbeanspruchte Netto-Querschnittsfläche.

(3) Für eine Schraubengruppe unter exzentrischer Belastung ergibt sich der Widerstand gegen Blockversagen $V_{\text{eff},2,\text{Rd}}$ zu:

$$V_{\text{eff},2,\text{Rd}} = 0,5 f_u A_{\text{nt}} / \gamma_{\text{M}2} + \frac{f_y}{\sqrt{3}} A_{\text{nv}} / \gamma_{\text{M}0} \quad (3.10)$$



Legende

- 1 kleine Zugkraft
- 2 große Schubkraft
- 3 kleine Schubkraft
- 4 große Zugkraft

Bild 3.8 — Blockversagen von Schraubengruppen

3.10.3 Einseitig angeschlossene Winkel und andere unsymmetrisch angeschlossene Bauteile unter Zugbelastung

(1) Die Exzentrizität von Anschlüssen, siehe 2.7(1), sowie die Einflüsse von Loch- und Randabständen der Schrauben sind in der Regel bei der Bestimmung der Tragfähigkeiten von:

- unsymmetrischen Bauteilen;
- symmetrischen Bauteilen, deren Anschluss unsymmetrisch erfolgt, z. B. bei einseitig angeschlossenen Winkeln,

zu berücksichtigen.

(2) Einseitig mit einer Schraubenreihe angeschlossene Winkel, siehe Bild 3.9, dürfen wie zentrisch belastete Winkel bemessen werden, wenn die Tragfähigkeit $N_{u,Rd}$ mit einem effektiven Nettoquerschnitt wie folgt bestimmt wird:

$$\text{mit 1 Schraube:} \quad N_{u,Rd} = \frac{2,0(e_2 - 0,5d_0)t f_u}{\gamma_{M2}} \quad (3.11)$$

$$\text{mit 2 Schrauben:} \quad N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{\text{net}} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (3.12)$$

$$\text{mit 3 oder mehr Schrauben:} \quad N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{\text{net}} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (3.13)$$

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

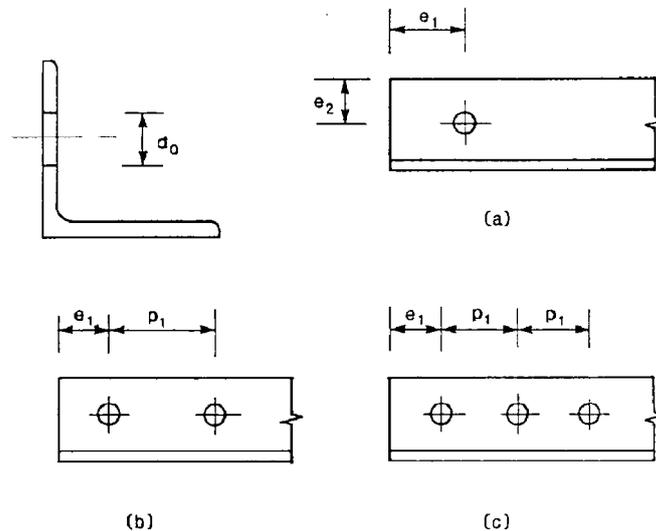
Dabei ist

β_2 und β_3 die Abminderungsbeiwerte in Abhängigkeit vom Lochabstand p_1 , siehe Tabelle 3.8. Für Zwischenwerte von p_1 darf der Wert β interpoliert werden;

A_{net} die Nettoquerschnittsfläche des Winkels. Wird ein ungleichschenkliger Winkel am kleineren Schenkel angeschlossen, so ist A_{net} in der Regel für einen äquivalenten gleichschenkligen Winkel mit den kleineren Schenkelabmessungen zu berechnen.

Tabelle 3.8 — Abminderungsbeiwerte β_2 und β_3

Lochabstand	p_1	$\leq 2,5 d_0$	$\geq 5,0 d_0$
2 Schrauben	β_2	0,4	0,7
3 Schrauben oder mehr	β_3	0,5	0,7



Legende

- a) 1 Schraube
- b) 2 Schrauben
- c) 3 Schrauben

Bild 3.9 — Einseitig angeschlossene Winkel

3.10.4 Anschlusswinkel für indirekten Anschluss

(1) Anschlusswinkel für indirekten Anschluss, wie z. B. in Bild 3.10 dargestellt, verbinden z. B. abstehende Schenkel von Winkelprofilen mit den Knotenblechen und sind in der Regel für das 1,2fache der Kraft in dem abstehenden Schenkel des angeschlossenen Winkels zu bemessen.

(2) Die Verbindungsmittel zwischen dem Anschlusswinkel und dem abstehenden Schenkel des angeschlossenen Winkelprofils sind in der Regel für das 1,4fache der Kraft in dem abstehenden Schenkel des angeschlossenen Winkels zu bemessen.

(3) Anschlusswinkel zur Verbindung von U-Profilen oder ähnlichen Bauteilen sind in der Regel für das 1,1fache der Kraft in dem abstehenden Flansch des U-Profils zu bemessen.

(4) Die Verbindungsmittel zwischen Anschlusswinkel und U-Profil oder ähnlichen Bauteilen sind in der Regel für das 1,2fache der Kraft, die in dem angeschlossenen U-Profil-Flansch vorliegt, zu bemessen.

(5) Auf keinen Fall sollten weniger als zwei Schrauben oder Niete zur Verbindung eines Anschlusswinkels für indirekten Anschluss mit einem Knotenblech oder einer ähnlichen Komponente verwendet werden.

(6) Die Verbindung des Anschlusswinkels an ein Knotenblech oder eine ähnliche Komponente sollte bis an das Ende des angeschlossenen Bauteils durchgeführt werden. Die Verbindung des Anschlusswinkels an das angeschlossene Bauteil sollte vom Ende des angeschlossenen Bauteils über das Ende des Knotenblechs hinausgeführt werden.

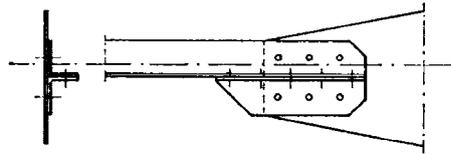


Bild 3.10 — Anschlusswinkel für indirekten Anschluss

3.11 Abstützkräfte

(1) Werden Verbindungsmittel auf Zug belastet, so sind bei der Bemessung zusätzliche Abstützkräfte zu berücksichtigen, sofern diese infolge von Hebelwirkungen aus Blechkontakten auftreten können.

ANMERKUNG Die Regelungen in 6.2.4 berücksichtigen implizit solche Abstützkräfte.

3.12 Kräfteverteilung auf Verbindungsmittel im Grenzzustand der Tragfähigkeit

(1) Tritt in einem Anschluss ein äußeres Moment auf, so darf die Verteilung der einwirkenden Kräfte auf die Verbindungsmittel entweder linear (d. h. proportional zum Abstand vom Rotationszentrum) oder plastisch (d. h. jede Verteilung, die das Gleichgewicht erfüllt, ist möglich, vorausgesetzt, dass die Tragfähigkeiten der Komponenten nicht überschritten werden und die Duktilitäten der Komponenten ausreichend sind) ermittelt werden.

(2) Die lineare Verteilung der einwirkenden Kräfte ist in der Regel in folgenden Fällen zu verwenden:

- Schrauben in gleitfesten Verbindungen der Kategorie C,
- Scher-/Lochleibungsverbindungen, bei denen die Abschertragfähigkeit $F_{v,Rd}$ kleiner ist als die Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd}$,
- Verbindungen unter Stoßbelastung, Schwingbelastung oder mit Lastumkehr (außer Windlasten).

(3) Für einen nur durch zentrische Schubkraft beanspruchten Anschluss darf für die Verbindungsmittel eine gleichmäßige Lastverteilung angenommen werden, wenn nur Verbindungsmittel der gleichen Größe und Klassifizierung verwendet werden.

3.13 Bolzenverbindungen

3.13.1 Allgemeines

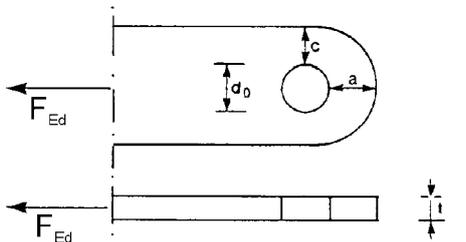
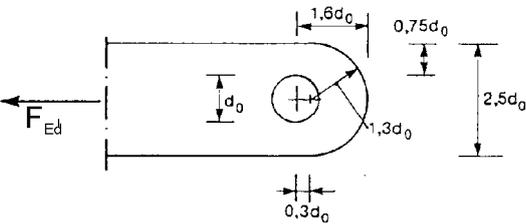
(1) Bolzen sind in der Regel gegen Lösen zu sichern.

(2) Bolzenverbindungen, in denen keine Verdrehung in den Augen erforderlich ist, dürfen wie Einschraubverbindungen bemessen werden, wenn die Bolzenlänge kleiner als das Dreifache des Bolzendurchmessers ist, siehe 3.6.1. Anderenfalls gelten die Regelungen in 3.13.2.

(3) Für Augenstäbe sind in der Regel die Anforderungen in Tabelle 3.9 einzuhalten.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 3.9 — Geometrische Anforderungen an Augenstäbe

<p>Möglichkeit A: Dicke t vorgegeben</p>	 $a \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y} + \frac{2d_0}{3} \quad ; \quad c \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y} + \frac{d_0}{3}$
<p>Möglichkeit B: Geometrie vorgegeben</p>	 $t \geq 0,7 \sqrt{\frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y}} \quad ; \quad d_0 \leq 2,5t$

(4) Bauteile mit Bolzenverbindungen sind in der Regel so zu konstruieren, dass Exzentrizitäten vermieden werden; auf ausreichende Dimensionierung des Übergangs von Augenstab zu Bauteil ist zu achten.

3.13.2 Bemessung der Bolzen

(1) Die Bemessungsregeln für massive Rundbolzen sind in Tabelle 3.10 angegeben.

(2) Die einwirkenden Biegemomente in einem Bolzen sind in der Regel unter der Annahme zu berechnen, dass die Augenstabelle gelenkige Auflager bilden. Dabei ist anzunehmen, dass die Lochleibungspressung zwischen dem Bolzen und den Augenstabellechen gleichmäßig über die jeweilige Kontaktfläche verteilt ist, siehe Bild 3.11.

(3) Soll der Bolzen austauschbar sein, ist neben den Anforderungen in 3.13.1 und 3.13.2 die Lochleibungsspannung wie folgt zu beschränken:

$$\sigma_{h,Ed} \leq f_{h,Rd} \tag{3.14}$$

Dabei ist

$$\sigma_{h,Ed} = 0,591 \sqrt{\frac{E F_{b,Ed,ser} (d_0 - d)}{d^2 t}} \quad (3.15)$$

$$f_{h,Rd} = 2,5 f_y / \gamma_{M6,ser} \quad (3.16)$$

Dabei ist

 d der Bolzendurchmesser; d_0 der Bolzenlochdurchmesser; $F_{b,Ed,ser}$ der Bemessungswert der einwirkenden Lochleibungskraft im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

Tabelle 3.10 — Bemessungsregeln für Bolzenverbindungen

Versagenskriterium	Bemessungsregeln
Abscheren des Bolzens	$F_{v,Rd} = 0,6 A f_{up} / \gamma_{M2} \geq F_{v,Ed}$
Lochleibung von Augenblech und Bolzen	$F_{b,Rd} = 1,5 t d f_y / \gamma_{M0} \geq F_{b,Ed}$
Bei austauschbaren Bolzen zusätzlich	$F_{b,Rd,ser} = 0,6 t d f_y / \gamma_{M6,ser} \geq F_{b,Ed,ser}$
Biegung des Bolzens	$M_{Rd} = 1,5 W_{ef} f_{yp} / \gamma_{M0} \geq M_{Ed}$
Bei austauschbaren Bolzen zusätzlich	$M_{Rd,ser} = 0,8 W_{ef} f_{yp} / \gamma_{M6,ser} \geq M_{Ed,ser}$
Kombination von Abscheren und Biegung des Bolzens	$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$
d Bolzendurchmesser; f_y kleinerer Wert der Streckgrenze f_{yb} des Bolzenwerkstoffs und des Werkstoffs des Augenstabs; f_{up} Bruchfestigkeit des Bolzens; f_{yp} Streckgrenze des Bolzens; t Dicke des Augenstablechs; A Querschnittsfläche des Bolzens.	

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

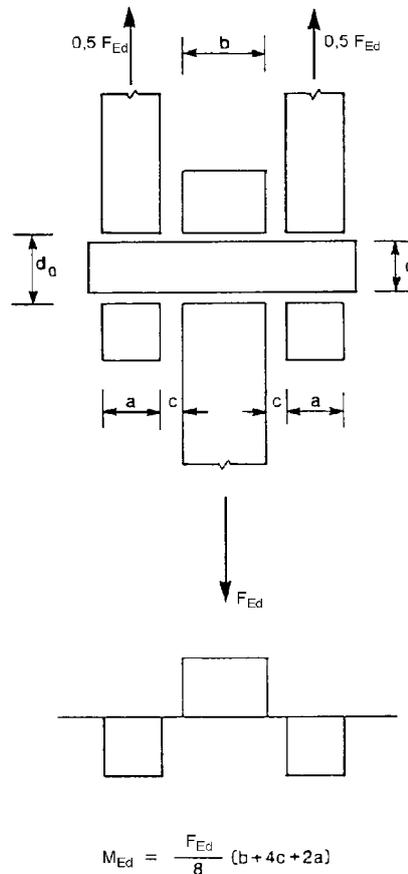


Bild 3.11 — Biegemoment in einem Bolzen

4 Schweißverbindungen

4.1 Allgemeines

(1) Die Bestimmungen dieses Abschnittes beziehen sich auf schweißbare Baustähle, die den Anforderungen nach EN 1993-1-1 entsprechen und Erzeugnisdicken von 4 mm oder mehr aufweisen. Weiterhin beschränkt sich die Gültigkeit auf Anschlüsse, in denen das Schweißgut mit dem Grundwerkstoff hinsichtlich der mechanischen Kenngrößen verträglich ist, siehe 4.2.

Für Schweißnähte bei dünneren Erzeugnisdicken gilt EN 1993-1-3; zu Schweißnähten von Hohlprofilen mit Blechdicken von 2,5 mm und mehr siehe Abschnitt 7.

Für das Schweißen von Kopfbolzendübeln ist EN 1994-1-1 zu beachten.

ANMERKUNG Zu weiteren Bestimmungen für das Schweißen von Kopfbolzendübeln siehe auch EN ISO 14555 und EN ISO 13918.

(2) \square AC \square P \square AC \square Für Schweißnähte, die auf Ermüdung beansprucht werden, \square AC \square müssen \square AC \square auch die Grundsätze in EN 1993-1-9 gelten.

(3) Im Allgemeinen ist, sofern nicht anderweitig festgelegt, Qualitätsstandard C nach EN ISO 25817 erforderlich. Der Umfang der Schweißnahtprüfung ist in der Regel unter Verwendung der Bezugsnormengruppe 7 in 1.2.7 festzulegen. Die Qualitätsanforderungen an Schweißnähte sollten nach EN ISO 25817 gewählt werden. Zu Qualitätsanforderungen an ermüdungsbeanspruchte Schweißnähte, siehe EN 1993-1-9.

- (4) Die Terrassenbruchgefahr ist in der Regel zu beachten.
- (5) Hinweise zum Terrassenbruch gibt EN 1993-1-10.

4.2 Schweißzusätze

- (1) Für die Schweißzusätze gelten in der Regel die Normen der Bezugsgromengruppe 5 in 1.2.5.
- (2) Die für das Schweißgut spezifizierten Werte der Streckgrenze, Bruchfestigkeit, Bruchdehnung und Mindestkerbschlagarbeit müssen in der Regel mindestens den spezifizierten Werten für den verschweißten Grundwerkstoff entsprechen.

ANMERKUNG Grundsätzlich liegt die Wahl von Elektroden mit höherer Güte als die für die verwendeten Stahlsorten auf der sicheren Seite.

4.3 Geometrie und Abmessungen

4.3.1 Schweißnahtarten

- (1) Diese Norm gilt für die Bemessung von Kehlnähten, Schlitznähten, Stumpfnähten, Lochschweißungen und Hohlkehlnähten. Stumpfnähte können entweder durchgeschweißt oder nicht durchgeschweißt sein. Schlitznähte sowie Lochschweißungen können sowohl an Kreislöchern als auch an Langlöchern verwendet werden.
- (2) Die üblichen Schweißnahtarten und Anschlussformen sind in EN 12345 dargestellt.

4.3.2 Kehlnähte

4.3.2.1 Allgemeines

- (1) Kehlnähte dürfen für die Verbindung von Bauteilen verwendet werden, wenn die Flanken einen Öffnungswinkel von 60° bis 120° bilden.
- (2) Kleinere Winkel als 60° sind ebenfalls zulässig. In diesen Fällen sollte die Schweißnaht allerdings als eine nicht durchgeschweißte Stumpfnäht behandelt werden.
- (3) Bei Öffnungswinkeln über 120° ist in der Regel die Beanspruchbarkeit der Kehlnähte durch Versuche nach EN 1990, Anhang D nachzuweisen.
- (4) An den Enden von Bauteilen sollten Kehlnähte durchgehend mit voller Abmessung und einer Mindestlänge gleich der doppelten Schenkellänge der Naht um die Ecken der Bauteile herumgeführt werden, wo immer eine solche Umschweißung möglich ist.

ANMERKUNG Bei unterbrochen geschweißten Kehlnähten gilt diese Regelung nur für den letzten Schweißnahtabschnitt am Bauteilende.

- (5) Umschweißungen an den Bauteilenden sollten in den Zeichnungen angegeben werden.
- (6) Zur Exzentrizität von einseitigen Kehlnähten siehe 4.12.

4.3.2.2 Unterbrochen geschweißte Kehlnähte

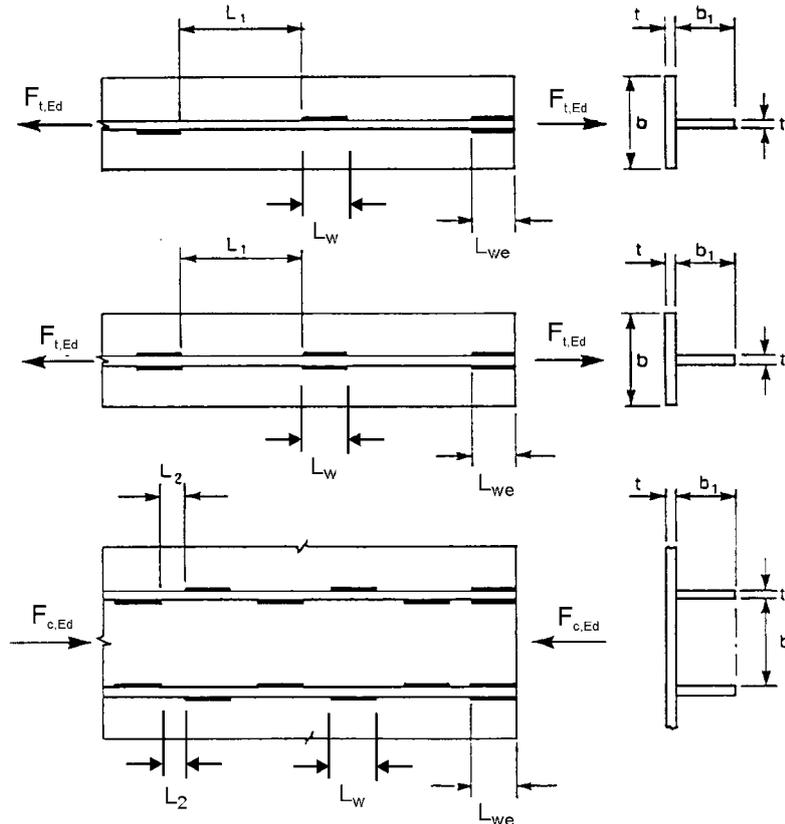
- (1) Unterbrochen geschweißte Kehlnähte sind bei Korrosionsgefährdung in der Regel nicht anzuwenden.
- (2) Für die unverschweißten Spaltlängen (L_1 oder L_2) zwischen den einzelnen Schweißabschnitten L_w einer unterbrochen geschweißten Kehlnäht gelten die Anforderungen in Bild 4.1.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

(3) Die unverschweißte Spaltlänge (L_1 oder L_2) einer unterbrochen geschweißten Kehlnaht sollte an der gegenüberliegenden Seite oder an derselben Seite bestimmt werden, je nach dem, welche kürzer ist.

(4) Bei Bauteilen, die mit unterbrochen geschweißten Kehlnähten verbunden werden, sollten am Ende stets Schweißabschnitte L_{we} vorgesehen werden.

(5) Bei einem mit unterbrochen geschweißten Kehlnähten zusammengesetzten Bauteil sollte an jedem Blechende beidseitig ein Schweißabschnitt mit einer Länge von mindestens $3/4$ der Breite des schmaleren Bleches vorgesehen werden, siehe Bild 4.1.



Der kleinste Wert von $L_{we} \geq 0,75 b$ und $0,75 b_1$

Für zusammengesetzte zugbeanspruchte Bauteile:

Der kleinste Wert von $L_1 \leq 16 t$ und $16 t_1$ und 200 mm

Für zusammengesetzte druck- oder schubbeanspruchte Bauteile:

Der kleinste Wert von $L_2 \leq 12 t$ und $12 t_1$ und $0,25 b$ und 200 mm

Bild 4.1 — Unterbrochen geschweißte Kehlnähte

4.3.3 Schlitznähte

(1) Schlitznähte, einschließlich Kehlnähte in Kreis- oder Langlöchern, dürfen nur verwendet werden, um Schub zu übertragen oder um Beulen oder Klaffen von überlappten Teilen zu verhindern.

(2) Für eine Schlitznaht sollte der Durchmesser eines Kreisloches oder die Breite eines Langloches nicht kleiner sein als die vierfache Blechdicke.

(3) Die Enden von Langlöchern sollten halbkreisförmig ausgeführt werden, außer wenn die Langlöcher über den Rand des betreffenden Teiles hinaus gehen.

(4) Die Abstände der Mittelpunkte von Schlitznähten sollten die Grenzwerte zur Vermeidung lokalen Beulens nicht überschreiten, siehe Tabelle 3.3.

4.3.4 Stumpfnähte

(1) Eine durchgeschweißte Stumpfnah ist eine Schweißnaht mit vollständigem Einbrand und vollständiger Verschmelzung des Schweißwerkstoffes mit dem Grundmaterial über die gesamte Dicke der Verbindung.

(2) Bei einer nicht durchgeschweißten Stumpfnah ist die Durchschweißung kleiner als die volle Dicke des Grundmaterials.

(3) Unterbrochen geschweißte Stumpfnähte sind in der Regel zu vermeiden.

(4) Bezüglich der Exzentrizität von einseitigen nicht durchgeschweißten Stumpfnähten siehe 4.12.

4.3.5 Lochschweißungen

(1) Lochschweißungen können verwendet werden, um:

- Schub zu übertragen,
- Beulen oder das Klaffen von überlappten Teilen zu verhindern, und
- Komponenten von mehrteiligen Bauteilen zu verbinden.

Sie sollten jedoch nicht in zugbeanspruchten Verbindungen verwendet werden.

(2) Für eine Lochschweißung sollte der Durchmesser eines Kreisloches oder die Breite eines Langloches mindestens 8 mm größer sein als die Blechdicke.

(3) Die Enden von Langlöchern sollten entweder halbkreisförmig sein, oder es sollten ausgerundete Ecken mit einem Radius vorgesehen werden, der mindestens der Blechdicke entspricht, außer wenn die Langlöcher über den Rand des betreffenden Teiles hinausgehen.

(4) Die Dicke einer Lochschweißung sollte bei Blechdicken bis zu 16 mm der Blechdicke entsprechen. Bei Blechdicken über 16 mm sollte die Dicke der Lochschweißung mindestens der Hälfte der Blechdicke entsprechen, jedoch nicht kleiner als 16 mm sein.

(5) Die Abstände der Mittelpunkte von Lochschweißungen sollten die Grenzwerte zur Vermeidung lokalen Beulens nicht überschreiten, siehe Tabelle 3.3.

4.3.6 Hohlkehlnähte

(1) Die wirksame Nahtdicke von Hohlkehlnähten, die bündig zur Oberfläche von Bauteilen mit Vollquerschnitt verlaufen, ist in Bild 4.2 definiert. Zur Bestimmung der wirksamen Nahtdicke von Hohlkehlnähten bei Rechteckhohlprofilen siehe 7.3.1(7).

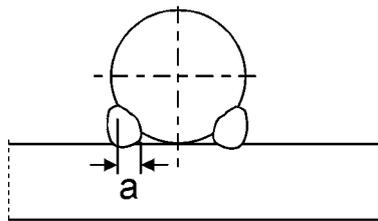


Bild 4.2 — Wirksame Nahtdicke von Hohlkehlnähten an Vollquerschnitten

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

4.4 Schweißen mit Futterblechen

- (1) Wird mit Futterblechen geschweißt, so sollte das Futterblech bündig zum Rand des zu verschweißenden Bauteils angepasst werden.
- (2) Liegt zwischen zwei zu verschweißenden Bauteilen ein Futterblech mit einer kleineren Dicke als der zur Übertragung der Kraft erforderlichen Schenkellänge der Schweißnaht, so ist in der Regel die erforderliche Schenkellänge der Schweißnaht um den Betrag der Futterblechdicke zu vergrößern.
- (3) Liegt zwischen zwei zu verschweißenden Bauteilen ein Futterblech mit einer gleichgroßen oder größeren Dicke als der zur Übertragung der Kraft erforderlichen Schenkellänge der Schweißnaht, sollten die Bauteile jeweils mit dem Futterblech mit einer separaten Schweißnaht verbunden werden, die zur Übertragung der Kräfte ausreicht.

4.5 Beanspruchbarkeit von Kehlnähten

4.5.1 Schweißnahtlänge

- (1) \overline{AC} Als wirksame Länge l_{eff} einer Kehlnaht \overline{AC} ist die Gesamtlänge mit voller Nahtdicke anzusetzen. Diese kann als die tatsächliche Länge der Schweißnaht abzüglich des zweifachen Betrages der wirksamen Kehlnahtdicke a angesetzt werden. Ist die Kehlnaht über die gesamte Länge einschließlich der Nahtenden voll ausgeführt, braucht keine Abminderung der wirksamen Länge um die Nahtenden durchgeführt werden.
- (2) Kehlnähte, deren wirksame Länge weniger als 30 mm oder das 6fache der Nahtdicke beträgt, je nach dem welcher Wert größer ist, sollten für die Übertragung von Kräften nicht in Betracht gezogen werden.

4.5.2 Wirksame Nahtdicke

- (1) Die wirksame Nahtdicke a einer Kehlnaht ist in der Regel als die bis zum theoretischen Wurzelpunkt gemessene Höhe des einschreibbaren (gleichschenkligen oder nicht gleichschenkligen) Dreiecks anzunehmen, siehe Bild 4.3.
- (2) Die wirksame Nahtdicke einer Kehlnaht sollte mindestens 3 mm betragen.
- (3) Bei der Bestimmung der Beanspruchbarkeit einer Kehlnaht mit tiefem Einbrand darf eine vergrößerte Nahtdicke berücksichtigt werden, siehe Bild 4.4, wenn der über den theoretischen Wurzelpunkt hinausgehende Einbrand durch eine Verfahrensprüfung nachgewiesen wird.

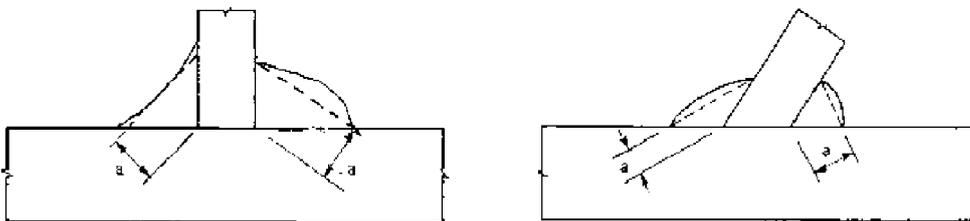


Bild 4.3 — Kehlnahtdicke

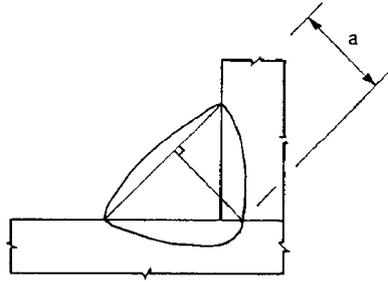


Bild 4.4 — Kehlnahtdicke bei tiefem Einbrand

4.5.3 Tragfähigkeit von Kehl Nähten

4.5.3.1 Allgemeines

(1) Die Tragfähigkeit von Kehl Nähten ist in der Regel mit Hilfe des richtungsbezogenen Verfahrens, siehe 4.5.3.2, oder des vereinfachten Verfahrens, siehe 4.5.3.3, zu ermitteln.

4.5.3.2 Richtungsbezogenes Verfahren

(1) Bei diesem Verfahren werden die Kräfte, die je Längeneinheit übertragen werden können, aufgeteilt in Anteile parallel und rechtwinklig zur Längsachse der Schweißnaht und normal und rechtwinklig zur Lage der wirksamen Kehlnahtfläche.

(2) Die wirksame Kehlnahtfläche A_w ist mit $A_w = \Sigma a \ell_{\text{eff}}$ zu ermitteln.

(3) Die Lage der wirksamen Kehlnahtfläche wird im Wurzelpunkt konzentriert angenommen.

(4) Die einwirkende Spannung wird gleichmäßig über den Nahtquerschnitt verteilt angenommen und führt, wie in Bild 4.5 dargestellt, zu folgenden Normal- und Schubspannungen:

- σ_{\perp} Normalspannung senkrecht zur Schweißnahtachse
- σ_{\parallel} Normalspannung parallel zur Schweißnahtachse
- τ_{\perp} Schubspannung (in der Ebene der Kehlnahtfläche) senkrecht zur Schweißnahtachse
- τ_{\parallel} Schubspannung (in der Ebene der Kehlnahtfläche) parallel zur Schweißnahtachse.

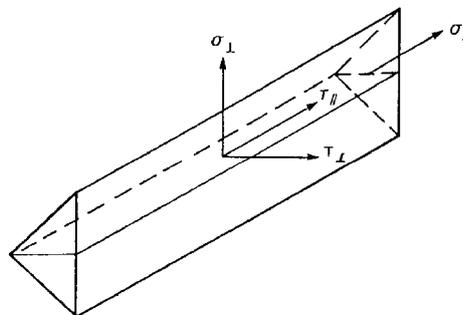


Bild 4.5 — Spannungen im wirksamen Kehlnahtquerschnitt

(5) Bei der Bestimmung der Beanspruchbarkeit der Kehlnaht werden die Normalspannungen σ_{\parallel} parallel zur Schweißnahtachse vernachlässigt.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

(6) Die Tragfähigkeit einer Kehlnaht ist ausreichend, wenn die folgenden beiden Bedingungen erfüllt sind:

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) \text{ und } \sigma_{\perp} \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2} \quad (4.1)$$

Dabei ist

f_u die Zugfestigkeit des schwächeren der angeschlossenen Bauteile;

β_w der Korrelationsbeiwert, siehe Tabelle 4.1.

(7) Bei der Bemessung von Kehlnähten zwischen Bauteilen mit unterschiedlichen Stahlsorten sind in der Regel die Werkstoffkenngrößen des Bauteils mit der geringeren Festigkeit zu verwenden.

Tabelle 4.1 — Korrelationsbeiwert β_w für Kehlnähte

Norm und Stahlsorte			Korrelationsbeiwert β_w
EN 10025	EN 10210	EN 10219	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0

4.5.3.3 Vereinfachtes Verfahren

(1) Als alternatives Verfahren zu 4.5.3.2 darf die Tragfähigkeit einer Kehlnaht als ausreichend angenommen werden, wenn an jedem Punkt längs der Naht die Resultierende aller auf die wirksame Kehlnahtfläche einwirkenden Kräfte je Längeneinheit folgende Bedingung erfüllt:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} \quad (4.2)$$

Dabei ist

$F_{w,Ed}$ der Bemessungswert der auf die wirksame Kehlnahtfläche einwirkenden Kräfte je Längeneinheit;

$F_{w,Rd}$ der Bemessungswert der Tragfähigkeit der Schweißnaht je Längeneinheit.

(2) Die Tragfähigkeit $F_{w,Rd}$ der Schweißnaht je Längeneinheit ist unabhängig von der Orientierung der wirksamen Kehlnahtfläche zur einwirkenden Kraft wie folgt zu ermitteln:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a \quad (4.3)$$

Dabei ist

$f_{vw,d}$ der Bemessungswert der Scherfestigkeit der Schweißnaht.

(3) Die Scherfestigkeit der Schweißnaht $f_{vw,d}$ ist wie folgt zu ermitteln:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (4.4)$$

Dabei sind

f_u und β_w nach Definitionen in 4.5.3.2(6).

4.6 Tragfähigkeit von Schlitznähten

(1) Die Tragfähigkeit einer Schlitznaht ist in der Regel nach einem der in 4.5 angegebenen Verfahren zu ermitteln.

4.7 Tragfähigkeit von Stumpfnähten

4.7.1 Durchgeschweißte Stumpfnähte

(1) Die Tragfähigkeit von durchgeschweißten Stumpfnähten ist in der Regel mit der Tragfähigkeit des schwächeren der verbundenen Bauteile gleichzusetzen. Das trifft zu, wenn die Schweißnaht mit Schweißzusätzen ausgeführt wird, die entsprechend Schweißgutprüfungen Mindestwerte der Streckgrenze und der Zugfestigkeit aufweisen, die nicht geringer sind als die für den Grundwerkstoff.

4.7.2 Nicht durchgeschweißte Stumpfnähte

(1) Die Tragfähigkeit von nicht durchgeschweißten Stumpfnähten ist in der Regel wie für Kehlnähte mit tiefem Einbrand zu ermitteln, siehe 4.5.2(3).

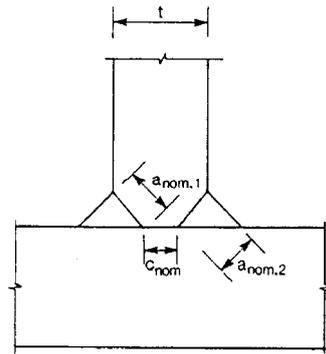
(2) Die Nahtdicke einer nicht durchgeschweißten Stumpfnahnt sollte nicht größer sein als die mit dem Schweißverfahren erreichbare Tiefe des Einbrandes, siehe 4.5.2(3).

4.7.3 T-Stöße

(1) Die Tragfähigkeit eines T-Stoßes mit beidseitig angeordneten nicht durchgeschweißten Stumpfnähten, die durch darüber gelegte Kehlnähte verstärkt sind, kann wie bei einer durchgeschweißten Stumpfnahnt (siehe 4.7.1) ermittelt werden, wenn die gesamte Nahtdicke, abgesehen von dem unverschweißten Spalt, mindestens der Dicke t des Stegblechteils entspricht und der ungeschweißte Spalt nicht größer als $t/5$ oder 3 mm ist (der kleinere Wert ist maßgebend), siehe  Bild 4.6. 

(2) Die Tragfähigkeit eines T-Stoßes, der die in 4.7.3(1) angegebenen Anforderungen nicht erfüllt, ist in der Regel, je nach Tiefe des Einbrandes, wie für eine Kehlnahnt oder eine Kehlnahnt mit tiefem Einbrand zu ermitteln, siehe 4.5. Die Nahtdicke ist in der Regel nach den Bestimmungen für Kehlnähte, siehe 4.5.2, oder nicht durchgeschweißten Stumpfnähten, siehe 4.7.2, zu ermitteln.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)



$$a_{\text{nom},1} + a_{\text{nom},2} \geq t$$

Der kleinere Wert: $c_{\text{nom}} \leq t/5$ und 3 mm

Bild 4.6 — Wirksam durchgeschweißter T-Stoß

4.8 Tragfähigkeit von Lochschweißungen

(1) Die Tragfähigkeit $F_{w,Rd}$ einer Lochschweißung, siehe 4.3.3, ist in der Regel wie folgt zu ermitteln:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} A_w \quad (4.5)$$

Dabei ist

$f_{vw,d}$ der Bemessungswert der Scherfestigkeit der Schweißnaht, siehe 4.5.3.3(3);

A_w die wirksame Schweißnahtfläche, in diesem Falle die Fläche des Loches.

4.9 Verteilung der Kräfte

(1) Die Verteilung der einwirkenden Kräfte in einer geschweißten Verbindung darf entweder mit der Annahme elastischen oder plastischen Verhaltens nach 2.4 und 2.5 berechnet werden.

(2) Eine vereinfachte Verteilung der einwirkenden Kräfte auf die Schweißnähte eines Anschlusses darf angenommen werden.

(3) Eigenspannungen und Spannungen, die nicht aus der Kräfteübertragung durch die Schweißnähte herrühren, brauchen nicht in den Schweißnahtnachweis einbezogen werden. Dies gilt insbesondere für Normalspannungen parallel zur Schweißnahtachse.

(4) Schweißanschlüsse sind in der Regel so zu konstruieren, dass sie ein ausreichendes Verformungsvermögen aufweisen. Allerdings sollte die Duktilität von Schweißnähten nicht von vornherein in Ansatz gebracht werden.

(5) Wenn sich in den Anschlüssen plastische Gelenke bilden können, sind in der Regel die Schweißnähte so zu bemessen, dass sie mindestens dieselbe Tragfähigkeit aufweisen wie das schwächste angeschlossene Bauteil.

(6) Wenn in Anschlüssen auf Grund von Gelenkrotationen plastische Rotationskapazität gefordert wird, sind die Schweißnähte für eine Tragfähigkeit auszulegen, mit der ein Bruch der Nähte vor dem Fließen des angrenzenden Bauteils verhindert wird.

(7) Bei der Ermittlung der Tragfähigkeit unterbrochen geschweißter Schweißnähte unter Verwendung der Gesamtlänge ℓ_{tot} , ist die Scherkraft für die Schweißnaht je Längeneinheit $F_{w,Ed}$ mit dem Beiwert $(e+\ell)/\ell$ zu vergrößern, siehe Bild 4.7.

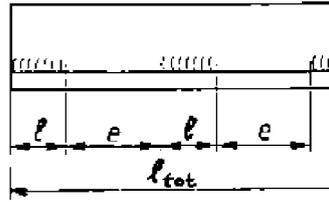


Bild 4.7 — Berechnung der Scherkräfte auf unterbrochen geschweißte Schweißnähte

4.10 Steifenlose Anschlüsse an Flansche

(1) Wird ein Blech (oder Trägerflansch) quer an den Flansch eines I-, H- oder anderen Querschnitts ohne Steifen angeschweißt, siehe Bild 4.8, und ist die Anforderung in 4.10(3) erfüllt, so ist in der Regel für die einwirkende Kraft senkrecht zu dem Flansch der folgende Nachweis zu führen:

- für Stege von I- oder H-Querschnitten, nach 6.2.6.2 oder nach 6.2.6.3;
- für das Querblech von RHP-Trägern, nach Tabelle 7.13;
- für Flansche nach Gleichung (6.20) in 6.2.6.4.3(1), wobei die einwirkende Kraft über eine wirksame Breite b_{eff} , nach 4.10(2) oder 4.10(4) verteilt, angenommen werden darf.

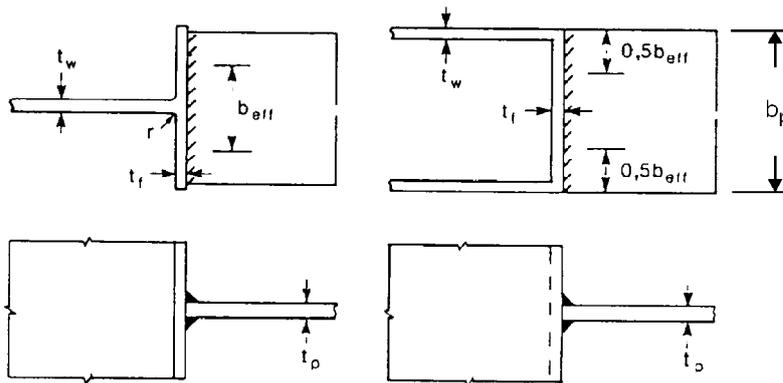


Bild 4.8 — Wirksame Breite bei steifenlosen T-Stößen

(2) Bei einem unausgesteiften I- oder H-Querschnitt ist in der Regel die wirksame Breite b_{eff} wie folgt zu ermitteln:

$$b_{\text{eff}} = t_w + 2s + 7kt_f \quad (4.6a)$$

Dabei gilt

$$k = (t_f / t_p) (f_{y,f} / f_{y,p}) \text{ jedoch } k \leq 1 \quad (4.6b)$$

Dabei ist

$f_{y,f}$ die Streckgrenze des Flansches des I- oder H-Querschnitts;

$f_{y,p}$ die Streckgrenze des angeschweißten Blechs.

Die Abmessung s sollte wie folgt bestimmt werden:

- für gewalzte I- oder H-Querschnitte: $s = r$ (4.6c)

- für geschweißte I- oder H-Querschnitte: $s = \sqrt{2} a$ (4.6d)

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

(3) Bei einem unausgesteiften I- oder H-Querschnitt sollte die wirksame Breite b_{eff} folgende Bedingung erfüllen:

$$b_{\text{eff}} \geq (f_{y,p}/f_{u,p}) b_p \quad (4.7)$$

Dabei ist

$f_{u,p}$ die Zugfestigkeit des angeschweißten Blechs;

b_p die Breite des angeschweißten Blechs.

Wird die Bedingung (4.7) nicht erfüllt, ist der Anschluss auszusteifen.

(4) Bei anderen Querschnitten, z. B. Kasten- oder U- Querschnitte, bei denen die Breite des angeschweißten Blechs der Breite des Flansches entspricht, ist in der Regel die wirksame Breite b_{eff} wie folgt zu ermitteln:

$$b_{\text{eff}} = 2t_w + 5t_f \text{ jedoch } b_{\text{eff}} \leq 2t_w + 5k t_f \quad (4.8)$$

ANMERKUNG Für Hohlprofile siehe Tabelle 7.13.

(5) In jedem Fall, auch für $b_{\text{eff}} \leq b_p$, sind die Schweißnähte des an den Flansch angeschlossenen Blechs so zu bemessen, dass sie die Kraft $b_p t_p f_{y,p}/\gamma_{M0}$, die der Fließbeanspruchbarkeit des Blechs bei Annahme gleichmäßiger Spannungsverteilung entspricht, übertragen können.

4.11 Lange Anschlüsse

(1) Bei überlappten Stößen ist in der Regel die Tragfähigkeit einer Kehlnaht mit einem Abminderungsbeiwert β_{Lw} abzumindern, um die Auswirkungen ungleichmäßiger Spannungsverteilungen über die Länge zu berücksichtigen.

(2) Die Regelungen in 4.11 gelten nicht, wenn die Spannungsverteilung in der Schweißnaht durch die Spannungsverteilung im angrenzenden Grundmaterial erzeugt wird, wie z. B. im Fall einer Halsnaht zwischen Flansch und Stegblech eines Blechträgers.

(3) Bei überlappten Stößen, die länger als $150a$ sind, ist der Abminderungsbeiwert β_{Lw} , hier als $\beta_{Lw,1}$ bezeichnet, wie folgt anzunehmen:

$$\beta_{Lw,1} = 1,2 - 0,2L_j/(150a) \text{ jedoch } \beta_{Lw,1} \leq 1,0 \quad (4.9)$$

Dabei ist

L_j die Gesamtlänge der Überlappung in Richtung der Kraftübertragung.

(4) Bei Kehlnähten, die Querstreifen in Blechträgern anschließen und länger als 1,7 m sind, darf der Abminderungsbeiwert β_{Lw} , hier als $\beta_{Lw,2}$ bezeichnet, wie folgt angesetzt werden:

$$\beta_{Lw,2} = 1,1 - L_w/17 \text{ jedoch } \beta_{Lw,2} \leq 1,0 \text{ und } \beta_{Lw,2} \geq 0,6 \quad (4.10)$$

Dabei ist

L_w die Länge der Schweißnaht, in m.

4.12 Exzentrisch belastete einseitige Kehlnähte oder einseitige nicht durchgeschweißte Stumpfnähte

- (1) Lokale Exzentrizitäten sollten möglichst vermieden werden.
- (2) Lokale Exzentrizitäten (relativ zur Wirkungslinie der einwirkenden Kraft) sind in der Regel in folgenden Fällen zu berücksichtigen:
 - wenn ein Biegemoment um die Längsachse der Schweißnaht Zug in der Schweißnahtwurzel erzeugt, siehe Bild 4.9(a);
 - wenn eine Zugkraft senkrecht zur Längsachse der Schweißnaht ein Biegemoment und damit Zug in der Schweißnahtwurzel erzeugt, siehe Bild 4.9(b).
- (3) Lokale Exzentrizitäten an einer Schweißnaht brauchen nicht berücksichtigt werden, wenn diese Teil einer Schweißnahtgruppe um den Umfang eines Hohlprofils sind.

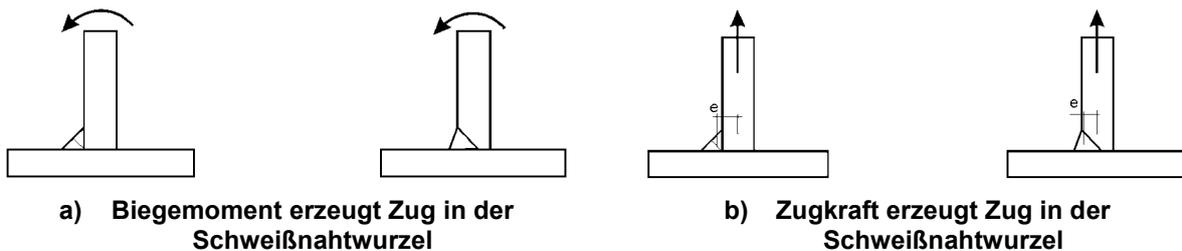


Bild 4.9 — Einseitige Kehlnähte und einseitige nicht durchgeschweißte Stumpfnähte

4.13 Einschenkliger Anschluss von Winkelprofilen

- (1) Bei einschenkligem Anschluss von Winkelprofilen darf die Exzentrizität der überlappten Endverbindungen vernachlässigt und das Bauteil wie unter zentrisch angreifender Kraft bemessen werden, wenn eine wirksame Querschnittsfläche verwendet wird.
- (2) Bei gleichschenkligen Winkeln oder ungleichschenkligen Winkeln, die am größeren Schenkel angeschlossen sind, darf die wirksame Querschnittsfläche gleich der Bruttoquerschnittsfläche angesetzt werden.
- (3) Bei ungleichschenkligen Winkeln, die an dem kleineren Schenkel angeschlossen sind, ist als wirksame Querschnittsfläche die Bruttoquerschnittsfläche eines gleichschenkligen Winkels mit der Schenkellänge gleich dem kleineren Schenkel anzusetzen. Zur Bestimmung der Beanspruchbarkeit des Querschnitts siehe EN 1993-1-1. Bei der Bestimmung der Knickbeanspruchbarkeit eines ungleichschenkligen Winkels unter Druck ist EN 1993-1-1 zu beachten und die tatsächliche Bruttoquerschnittsfläche zu verwenden.

4.14 Schweißen in kaltverformten Bereichen

- (1) Im Bereich von $5t$ beidseits kaltverformter Bereiche, siehe Tabelle 4.2, darf geschweißt werden, wenn eine der beiden folgenden Bedingungen erfüllt ist:
 - die kaltverformten Bereiche wurden nach dem Kaltverformen und vor dem Schweißen normalisiert;
 - Das Verhältnis r/t erfüllt die Grenzwerte in Tabelle 4.2.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 4.2 — Bedingungen für das Schweißen in kaltverformten Bereichen und Umgebung

<i>r/t</i>	Dehnungen infolge der Kaltverformung (%)	Maximale Dicke (mm)		
		Allgemeines		Durch Aluminium vollberuhigter Stahl (Al ≥ 0,02 %)
		Überwiegend statische Lasten	Überwiegend ermüdungs- beansprucht	
≥25	≤2	jede	jede	jede
≥10	≤5	jede	16	jede
≥3,0	≤14	24	12	24
≥2,0	≤20	12	10	12
≥1,5	≤25	8	8	10
≥1,0	≤33	4	4	6

AC ANMERKUNG Bei kaltgeformten Hohlprofilen nach EN 10219, die nicht die in Tabelle 4.2 festgelegten Grenzen erfüllen, kann vorausgesetzt werden, dass sie diese Grenzen erfüllen, sofern diese Profile eine Dicke aufweisen, die nicht größer als 12,5 mm und Al-beruhigt sind mit einer Qualität von J2H, K2H, MH, MLH, NH oder NLH und ferner $C \leq 0,18 \%$, $P \leq 0,020 \%$ und $S \leq 0,012 \%$ erfüllen.

In anderen Fällen ist Schweißen nur innerhalb eines Abstandes von 5 t von den Kanten zulässig, wenn durch Prüfungen bewiesen werden kann, dass Schweißen für diese besondere Anwendung zulässig ist. **AC**

5 Tragwerksberechnung, Klassifizierung und statische Modelle

5.1 Tragwerksberechnung

5.1.1 Allgemeines

(1) Die Auswirkung der Momenten-Rotations-Charakteristika der Anschlüsse auf die Verteilung der Schnittgrößen in einem Tragwerk und auf die Tragwerksverformungen ist in der Regel zu berücksichtigen, außer wenn die Auswirkungen vernachlässigbar klein sind.

(2) Zur Überprüfung, ob die Momenten-Rotations-Charakteristika der Anschlüsse zu berücksichtigen sind, dürfen die drei folgenden vereinfachten Modelle für die Anschlüsse verwendet werden:

- gelenkig, bei dem angenommen wird, dass keine Biegemomente übertragen werden;
- biegesteif, bei dem angenommen wird, dass die Momenten-Rotations-Charakteristik eines Anschlusses bei der Tragwerksberechnung nicht berücksichtigt werden muss;
- nachgiebig, bei dem die Momenten-Rotations-Charakteristik eines Anschlusses bei der Tragwerksberechnung zu berücksichtigen ist.

(3) Das zutreffende Anschlussmodell kann nach Tabelle 5.1 in Verbindung mit der Klassifizierung des Anschlusses und dem verwendeten Berechnungsverfahren bestimmt werden.

(4) Die Momenten-Rotations-Charakteristik eines Anschlusses darf für Berechnungen durch vereinfachte Kurvenverläufe angenähert werden. Dazu gehören einfache lineare Abschätzungen (z. B. bi-linear oder tri-linear), vorausgesetzt, der angenommene Kurvenverlauf liegt vollständig unterhalb der wirklichen Momenten-Rotations-Charakteristik.

Tabelle 5.1 — Anschlussmodelle

Berechnungsverfahren	Klassifizierung des Anschlusses		
	gelenkig	biegesteif	nachgiebig
Elastisch	gelenkig	biegesteif	nachgiebig
Starr-Plastisch	gelenkig	volltragfähig	teiltragfähig
Elastisch-Plastisch	gelenkig	biegesteif und volltragfähig	nachgiebig und teiltragfähig nachgiebig und volltragfähig biegesteif und teiltragfähig
Anschlussmodell	gelenkig	biegesteif	nachgiebig

5.1.2 Elastische Tragwerksberechnung

(1) Bei linear-elastischen Berechnungsverfahren sind die Anschlüsse in der Regel nach ihrer Rotationssteifigkeit zu klassifizieren, siehe 5.2.2.

(2) Die Anschlüsse müssen in der Regel ausreichende Tragfähigkeiten haben, um die in den Anschlüssen berechneten Schnittgrößen übertragen zu können.

(3) Bei verformbaren Anschlüssen ist für die Berechnungen in der Regel die Rotationssteifigkeit S_j anzusetzen, die zu dem Biegemoment $M_{j,Ed}$ gehört. Ist $M_{j,Ed}$ kleiner als $2/3 M_{j,Rd}$, so darf für die Tragwerksberechnung die Anfangssteifigkeit $S_{j,ini}$ benutzt werden, siehe Bild 5.1(a).

(4) Als Vereinfachung für 5.1.2(3) darf die Rotationssteifigkeit in den Berechnungen für alle einwirkenden Momente $M_{j,Ed}$ mit $S_{j,ini}/\eta$ angesetzt werden, siehe Bild 5.1(b), wobei der Anpassungsbeiwert η für die Steifigkeit der Tabelle 5.2 zu entnehmen ist.

(5) Für Anschlüsse von H- oder I-Profilen wird S_j in 6.3.1 angegeben.

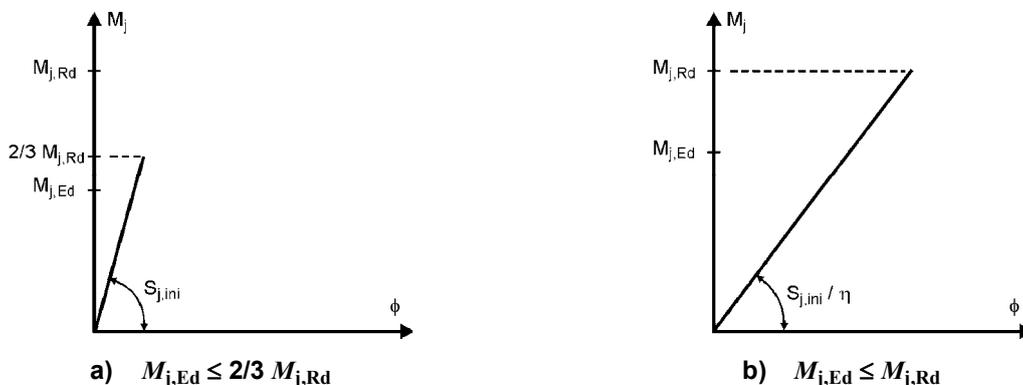


Bild 5.1 — Rotationssteifigkeit für linear-elastische Tragwerksberechnungen

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 5.2 — Anpassungsbeiwert η für die Steifigkeit

Anschlussausbildung	Träger-Stützen-Anschlüsse	Andere Anschlüsse (Träger-Träger-Anschlüsse, Trägerstöße, Stützenfußanschlüsse)
Geschweißt	2	3
Geschraubtes Stirnblech	2	3
Geschraubter Flanschwinkel	2	3,5
Fußplatte	—	3

5.1.3 Starr-plastische Tragwerksberechnung

- (1) Bei starr-plastischer Tragwerksberechnung sind die Anschlüsse nach ihrer Tragfähigkeit zu klassifizieren, siehe 5.2.3.
- (2) Für Anschlüsse von H- oder I-Profilen wird $M_{j,Rd}$ in 6.2 angegeben.
- (3) Für Anschlüsse von Hohlprofilen dürfen die Verfahren in Abschnitt 7 angewendet werden.
- (4) Die Anschlüsse müssen ausreichende Rotationskapazität haben, um die Rotationsanforderungen, die sich aus der Tragwerksberechnung ergeben, erfüllen zu können.
- (5) Für Anschlüsse von H- oder I-Profilen ist die Rotationskapazität in der Regel nach 6.4 zu überprüfen.

5.1.4 Elastisch-plastische Tragwerksberechnung

- (1) Bei elastisch-plastischer Tragwerksberechnung sind die Anschlüsse in der Regel sowohl nach der Steifigkeit, siehe 5.2.2, als auch nach der Tragfähigkeit, siehe 5.2.3, zu klassifizieren.
- (2) Für Anschlüsse von H- oder I-Profilen wird $M_{j,Rd}$ in 6.2, S_j in 6.3.1 und ϕ_{Cd} in 6.4 angegeben.
- (3) Für Anschlüsse von Hohlprofilen dürfen die Verfahren in Abschnitt 7 angewendet werden.
- (4) Bei der Ermittlung des Schnittgrößenverlaufs ist die Momenten-Rotations-Charakteristik der Anschlüsse in der Regel zu berücksichtigen.
- (5) Vereinfachend darf eine bi-lineare Momenten-Rotations-Charakteristik nach Bild 5.2 verwendet werden. Der Anpassungsbeiwert η für die Steifigkeit ist dann nach Tabelle 5.2 bestimmt werden.

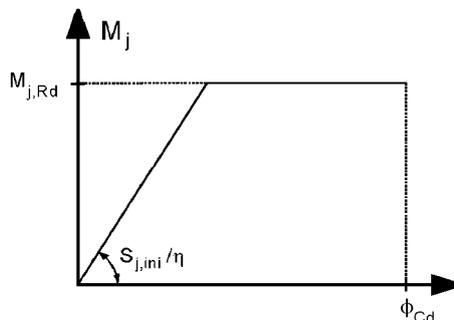


Bild 5.2 — Vereinfachte bi-lineare Momenten-Rotations-Charakteristik

5.1.5 Berechnung von Fachwerkträgern

(1) Die Regelungen in 5.1.5 gelten nur für Tragwerke, deren Anschlüsse nach Abschnitt 7 nachgewiesen werden.

(2) Für die Verteilung der Normalkräfte in einem Fachwerkträger darf vereinfachend von gelenkigen Anschlüssen der Stäbe ausgegangen werden, siehe auch 2.7.

(3) Sekundäre Momente in Anschlüssen, die aus den tatsächlichen Steifigkeiten der Anschlüsse herrühren, dürfen bei der Bemessung der Stäbe und Anschlüsse vernachlässigt werden, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- die geometrischen Abmessungen der Anschlüsse liegen in den Gültigkeitsgrenzen, die jeweils in Tabelle 7.1, Tabelle 7.8, Tabelle 7.9 oder Tabelle 7.20 angegeben sind;
- das Verhältnis von Systemlänge zu Bauteilhöhe der Stäbe in der Ebene des Fachwerks unterschreitet nicht einen bestimmten Grenzwert. Für Hochbauten darf der Grenzwert mit 6 angenommen werden. Größere Grenzwerte können für andere Anwendungen gelten, siehe entsprechende Teile von EN 1993;
- AC die Knotenexzentrizität ist innerhalb der in 5.1.5(5) festgelegten Grenzen. AC

(4) Momente infolge Querbelastrung zwischen den Knotenpunkten (unabhängig davon, ob in Fachwerkebene oder rechtwinklig dazu) sind in der Regel bei der Bemessung der querbelastrten Bauteile selbst zu berücksichtigen. Werden die Bedingungen in 5.1.5(3) eingehalten, darf davon ausgegangen werden, dass:

- die Streben gelenkig an den Gurtstab angeschlossen sind, so dass keine Übertragung von Momenten aus den Gurtstäben auf die Streben oder umgekehrt stattfindet;
- die Gurtstäbe als Durchlaufträger mit gelenkigen Auflagern an den Knotenpunkten wirken.

(5) Momente aus Knotenexzentrizitäten dürfen bei der Bemessung von zugbeanspruchten Gurtstäben und Streben vernachlässigt werden. Sie dürfen ebenfalls bei der Bemessung von Anschlüssen vernachlässigt werden, wenn die Knotenexzentrizitäten in den folgenden Grenzen liegen:

$$-0,55 d_0 \leq e \leq 0,25 d_0 \quad (5.1a)$$

$$-0,55 h_0 \leq e \leq 0,25 h_0 \quad (5.1b)$$

Dabei ist

- e die Knotenexzentrizität, siehe Bild 5.3;
- d_0 der Durchmesser des Gurtstabes;
- h_0 die Höhe des Gurtstabes in der Fachwerkebene.

(6) Bei der Bemessung von druckbeanspruchten Gurtstäben sind die aus den Knotenexzentrizitäten resultierenden Momente in der Regel zu berücksichtigen, auch wenn die Knotenexzentrizitäten innerhalb der in 5.1.5(5) genannten Grenzen liegen. In diesem Fall sind die Momente aus der Knotenexzentrizität auf die beiden angeschlossenen druckbeanspruchten Gurtstäbe nach ihrer relativen Steifigkeit I/L zu verteilen, wobei L die Systemlänge der Gurtstäbe zwischen den Knotenpunkten ist.

(7) Liegen die Knotenexzentrizitäten außerhalb der in 5.1.5(5) genannten Grenzen, dann sind die aus den Knotenexzentrizitäten resultierenden Momente nicht nur bei der Bemessung AC der Bauteile AC, sondern auch bei der Bemessung der Anschlüsse zu berücksichtigen. In diesem Fall sind die Momente aus der Knotenexzentrizität zwischen allen Bauteilen, die sich an einem Knoten treffen, nach ihrer relativen Steifigkeit I/L zu verteilen.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

(8) Die Spannungen in den Gurtstäben infolge von Gurtmomenten sind auch bei der Bestimmung der Beiwerte k_m , k_n und k_p für die Bemessung der Anschlüsse zu berücksichtigen, siehe Tabelle 7.2 bis Tabelle 7.5, Tabelle 7.10 und Tabelle 7.12 bis Tabelle 7.14.

(9) Wann Momente bei der Bemessung zu berücksichtigen sind, ist in Tabelle 5.3 zusammengefasst.

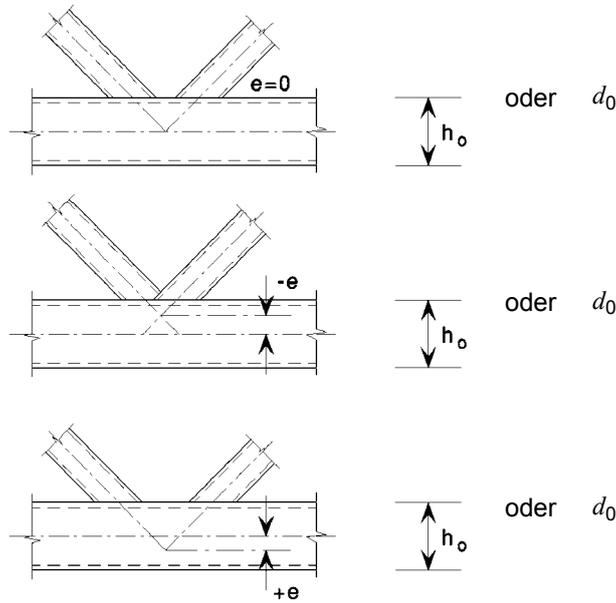


Bild 5.3 — Knotenexzentrizitäten

Tabelle 5.3 — Berücksichtigung von Biegemomenten

Komponente	Biegemomente hervorgerufen durch		
	Sekundäreinflüsse	Querbelastung	Knotenexzentrizität
Druckbeanspruchter Gurt	Nein, sofern 5.1.5(3) erfüllt ist	Ja	Ja
Zugbeanspruchter Gurt			AC) Nein, sofern 5.1.5(3) und (5) erfüllt sind AC)
Strebe			AC) Nein, sofern 5.1.5(3) und (5) erfüllt sind AC)
Anschluss			AC) Nein, sofern 5.1.5(3) und (5) erfüllt sind AC)

5.2 Klassifizierung von Anschlüssen

5.2.1 Allgemeines

(1) Alle Anschlussdetails müssen in der Regel die Voraussetzungen des zu Grunde gelegten Berechnungsverfahrens erfüllen, ohne dass dadurch unzulässige Auswirkungen auf andere Teile des Tragwerks entstehen.

(2) Anschlüsse können nach ihrer Steifigkeit, siehe 5.2.2, und nach ihrer Tragfähigkeit, siehe 5.2.3, klassifiziert werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann AC) hierzu AC) weitere Hinweise geben, z. B. zu 5.2.2.1(2).

5.2.2 Klassifizierung nach der Steifigkeit

5.2.2.1 Allgemeines

- (1) Ein Anschluss kann je nach vorhandener Rotationssteifigkeit als starr, gelenkig oder verformbar klassifiziert werden, indem die Anfangssteifigkeit $S_{j,ini}$ mit den Grenzkriterien in 5.2.2.5 verglichen wird.

ANMERKUNG Zur Bestimmung von $S_{j,ini}$ für Anschlüsse von H- oder I-Profilen siehe 6.3.1. Regelungen zur Bestimmung von $S_{j,ini}$ für Anschlüsse von Hohlprofilen sind in dieser Norm nicht angegeben.

- (2) Die Klassifizierung eines Anschlusses kann auf der Grundlage von Laborversuchen oder Anwendungserfahrungen oder auf der Grundlage von Nachrechnungen erfolgen, die sich auf Versuchsergebnisse stützen.

5.2.2.2 Gelenkige Anschlüsse

- (1) Ein gelenkiger Anschluss muss in der Regel in der Lage sein, die auftretenden Schnittkräfte zu übertragen, ohne dass größere Momente erzeugt werden, welche unzulässige Auswirkungen auf die angeschlossenen Bauteile oder das Gesamttragwerk haben könnten.

- (2) Ein gelenkiger Anschluss muss in der Regel in der Lage sein, die auftretenden Gelenkverdrehungen infolge der Bemessungswerte der einwirkenden Lasten auszuführen.

5.2.2.3 Starre Anschlüsse

- (1) Bei starren Anschlüssen kann angenommen werden, dass diese eine ausreichend große Rotationssteifigkeit haben, so dass bei der Berechnung der Verformungen volle Stetigkeit der Biegelinien angesetzt werden kann.

5.2.2.4 Verformbare Anschlüsse

- (1) Ein Anschluss, der weder die Merkmale für starre Anschlüsse noch für gelenkige Anschlüsse erfüllt, ist als verformbarer Anschluss einzustufen.

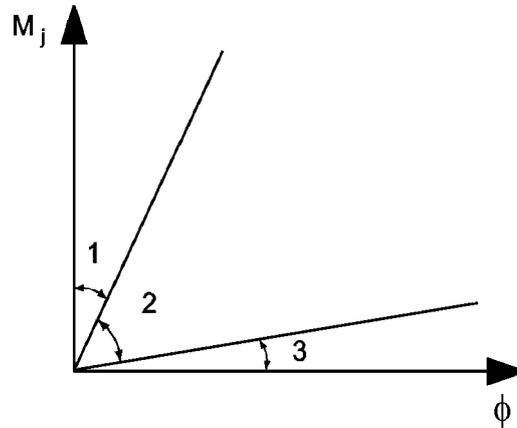
ANMERKUNG Verformbare Anschlüsse führen zu einem vorausberechenbaren Zusammenwirken der Bauteile im Tragwerk, das durch die Momenten-Rotations-Charakteristik gesteuert wird.

- (2) Verformbare Anschlüsse sollten in der Lage sein, alle auftretenden Schnittgrößen zu übertragen.

5.2.2.5 Grenzkriterien

- (1) Grenzkriterien für Anschlüsse (ausgenommen Stützenfuß-Anschlüsse) sind in 5.2.2.1(1) und Bild 5.4 angegeben.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)



Zone 1: starr, wenn $S_{j,ini} \geq K_b EI_b/L_b$

Dabei ist

$K_b = 8$ bei Rahmentragwerken, bei denen zusätzliche Aussteifungen die Horizontalverschiebungen um mindestens 80 % verringern

$K_b = 25$ bei anderen Rahmentragwerken, vorausgesetzt, dass in jedem Geschoss $K_b/K_c \geq 0,1^a$

Zone 2: verformbar

In Zone 2 sind alle Anschlüsse als verformbar anzusehen. Die Anschlüsse in den Zonen 1 oder 3 können bei Bedarf auch als verformbar behandelt werden.

Zone 3: gelenkig, wenn $S_{j,ini} \leq 0,5 EI_b/L_b$

^a Bei Rahmentragwerken mit $K_b/K_c < 0,1$ sollten die Anschlüsse als verformbar angesehen werden.

Legende

K_b Mittelwert aller I_b/L_b für alle Deckenträger eines Geschosses;

K_c Mittelwert aller I_c/L_c für alle Stützen eines Geschosses;

I_b Flächenträgheitsmoment zweiter Ordnung eines Trägers;

I_c Flächenträgheitsmoment zweiter Ordnung einer Stütze;

L_b Spannweite eines Trägers (von Stützenachse zu Stützenachse);

L_c Geschosshöhe einer Stütze.

Bild 5.4 — Klassifizierung von Anschlüssen nach der Steifigkeit

(2) Stützenfußanschlüsse können als starr klassifiziert werden, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt werden:

— bei Rahmentragwerken, bei denen zusätzliche Aussteifungen die Horizontalverschiebungen um mindestens 80 % verringern und die Einflüsse der Seitenverschiebungen vernachlässigt werden können:

— wenn $\bar{\lambda}_0 \leq 0,5$; (5.2a)

— wenn $0,5 < \bar{\lambda}_0 < 3,93$ und $S_{j,ini} \geq 7 (2 \bar{\lambda}_0 - 1) EI_c/L_c$; (5.2b)

— wenn $\bar{\lambda}_0 \geq 3,93$ und $S_{j,ini} \geq 48 EI_c/L_c$. (5.2c)

— bei anderen Rahmentragwerken wenn $S_{j,ini} \geq 30 EI_c/L_c$. (5.2d)

Dabei ist

$\bar{\lambda}_0$ der Schlankheitsgrad einer Stütze, bei der beide Enden gelenkig angenommen werden;

I_c, L_c wie in Bild 5.4 angegeben.

5.2.3 Klassifizierung nach der Tragfähigkeit

5.2.3.1 Allgemeines

(1) Ein Anschluss kann als volltragfähig, gelenkig oder teiltragfähig klassifiziert werden, indem seine Momententragfähigkeit $M_{j,Rd}$ mit den Momententragfähigkeiten der angeschlossenen Bauteile verglichen wird. Dabei gelten die Momententragfähigkeiten der angeschlossenen Bauteile direkt am Anschluss.

5.2.3.2 Gelenkige Anschlüsse

(1) Ein gelenkiger Anschluss muss in der Regel in der Lage sein, die auftretenden Schnittkräfte zu übertragen, ohne dass größere Momente erzeugt werden, welche unzulässige Auswirkungen auf die angeschlossenen Bauteile oder das Gesamttragwerk haben könnten.

(2) Ein gelenkiger Anschluss muss in der Regel in der Lage sein, die auftretenden Gelenkverdrehungen infolge der Bemessungswerte der einwirkenden Lasten auszuführen.

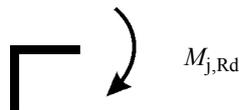
(3) Ein Anschluss darf als gelenkig angesehen werden, wenn seine Momententragfähigkeit $M_{j,Rd}$ nicht größer als 1/4 der Momententragfähigkeit des volltragfähigen Anschlusses ist und ausreichende Rotationskapazität besteht.

5.2.3.3 Volltragfähige Anschlüsse

(1) Die Tragfähigkeit eines volltragfähigen Anschlusses darf in der Regel nicht geringer sein als die Tragfähigkeit der angeschlossenen Bauteile.

(2) Ein Anschluss darf als volltragfähig eingestuft werden, wenn er die Kriterien in Bild 5.5 erfüllt.

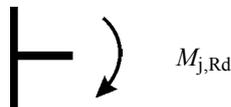
a) Stützenkopf



Entweder $M_{j,Rd} \geq M_{b,p\ell,Rd}$

oder $M_{j,Rd} \geq M_{c,p\ell,Rd}$

b) zwischen zwei Geschossen



Entweder $M_{j,Rd} \geq M_{b,p\ell,Rd}$

oder $M_{j,Rd} \geq 2 M_{c,p\ell,Rd}$

Dabei ist

$M_{b,p\ell,Rd}$ die plastische Momententragfähigkeit eines Trägers

$M_{c,p\ell,Rd}$ die plastische Momententragfähigkeit einer Stütze

Bild 5.5 — Volltragfähige Anschlüsse

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

5.2.3.4 Teiltragfähige Anschlüsse

(1) Ein Anschluss, der weder die Kriterien für volltragfähige Anschlüsse noch für gelenkige Anschlüsse erfüllt, ist als teiltragfähig einzustufen.

5.3 Statisches Modell für Träger-Stützenanschlüsse

(1) Bei der Modellbildung für das Verformungsverhalten eines Träger-Stützenanschlusses sind die Schubverformungen des Stützenstegfeldes und die Rotationsverformungen der Verbindungen zu berücksichtigen.

(2) Die Anschlüsse sind für die durch die angeschlossenen Bauteile eingetragenen Schnittgrößen, nämlich die Biegemomente $M_{b1,Ed}$ und $M_{b2,Ed}$, die Normalkräfte $N_{b1,Ed}$ und $N_{b2,Ed}$ und die Querkkräfte $V_{b1,Ed}$ und $V_{b2,Ed}$ zu bemessen, siehe Bild 5.6.

(3) Die resultierende Schubkraft $V_{wp,Ed}$ in einem Stützenstegfeld ist wie folgt zu ermitteln:

$$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed})/z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed})/2 \quad (5.3)$$

Dabei ist

z der Hebelarm, siehe 6.2.7.

(4) Für eine wirklichkeitsnahe Berechnung des Verhaltens des Anschlusses sollten das Stützenstegfeld und die einzelnen Verbindungen unter Berücksichtigung der Schnittgrößen der Bauteile am Anschnitt des Stützenstegfeldes getrennt modelliert werden, siehe Bild 5.6(a) und Bild 5.7.

(5) Vereinfachend zu 5.3(4) können einseitige Anschlüsse auch in Form punktförmiger Einzelanschlüsse und zweiseitige Anschlüsse auch in Form von zwei getrennten, punktförmigen interagierenden Einzelanschlüssen in den Schwerachsen modelliert werden. Somit ergeben sich für einen zweiseitigen Träger-Stützenanschluss zwei Momenten-Rotations-Charakteristiken, nämlich für jede Anschlussseite eine.

(6) Bei einem zweiseitigen Träger-Stützenanschluss sollte jeder dieser Einzelanschlüssen durch eine eigene Rotationsfeder modelliert werden, siehe Bild 5.8, deren Momenten-Rotations-Charakteristik sowohl das Verhalten des Stützenstegfeldes als auch der jeweiligen Verbindungen berücksichtigt.

(7) Bei der Bestimmung der Momententragfähigkeit und der Rotationssteifigkeit jedes Anschlusses sollte der mögliche Einfluss des Stützenstegfeldes durch die Übertragungsparameter β_1 und β_2 berücksichtigt werden.

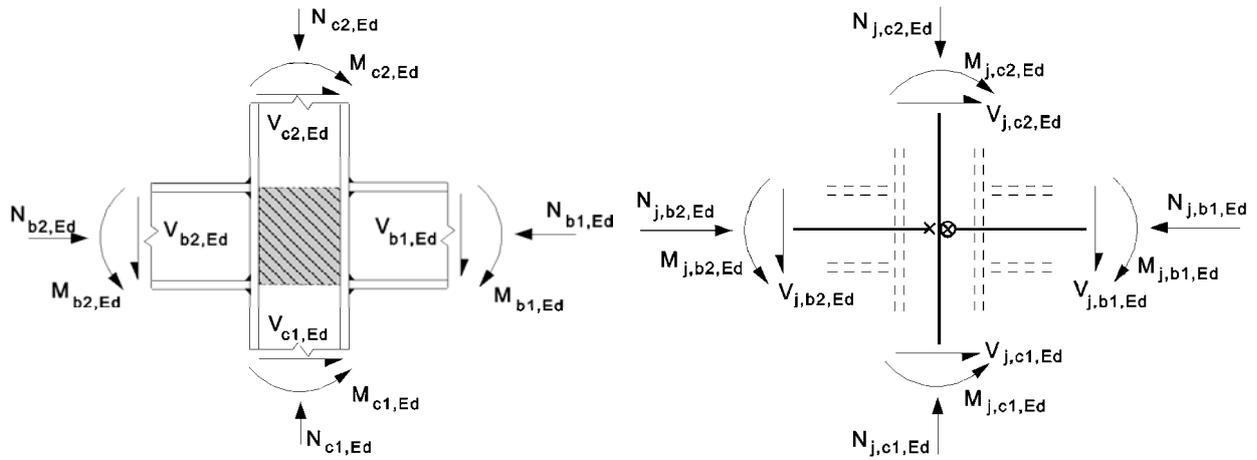
Dabei ist

β_1 der Übertragungsparameter β für den rechten Anschluss;

β_2 der Übertragungsparameter β für den linken Anschluss.

ANMERKUNG Die Übertragungsparameter β_1 und β_2 werden in 6.2.7.2(7) und 6.3.2(1) verwendet. Sie werden auch in 6.2.6.2(1) und 6.2.6.3(4) in Verbindung mit der Tabelle 6.3 benutzt, um den Abminderungsbeiwert ω für den Schub zu bestimmen.

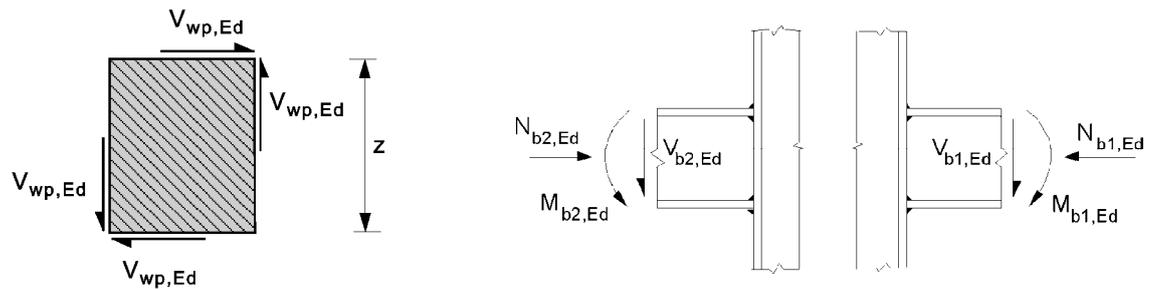
(8) Näherungswerte für β_1 und β_2 für die Trägeranschlussmomente $M_{b1,Ed}$ und $M_{b2,Ed}$ am Anschnitt zum Stützenstegfeld, siehe Bild 5.6(a), können der Tabelle 5.4 entnommen werden.



a) Werte am Anschnitt des Stützfeldes b) Werte am Knotenpunkt der Schwerachsen

Positive Richtung der Schnittgrößen in den Gleichungen (5.3) und (5.4)

Bild 5.6 — Schnittgrößen, die auf den Anschluss einwirken



a) Schubkäfte im Stützenstegfeld

b) Verbindungen mit den Schnittgrößen der angeschlossenen Träger

Bild 5.7 — Schnittgrößen, die auf ein Stützenstegfeld am Knoten einwirken



Einseitiger Anschluss

Zweiseitiger Anschluss

Legende

- 1 Anschluss
- 2 Anschluss 2 linke Seite
- 3 Anschluss 1 rechte Seite

Bild 5.8 — Vereinfachte statische Modelle für Anschlüsse

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

(9) Als Alternative zu 5.3(8) können genauere Werte für β_1 und β_2 , die sich auf die Momente $M_{j,b1,Ed}$ und $M_{j,b2,Ed}$ am Schnittpunkt der Systemlinien nach Bild 5.6(b) beziehen, wie folgt ermittelt werden:

$$\beta_1 = \left| 1 - M_{j,b2,Ed} / M_{j,b1,Ed} \right| \leq 2 \quad (5.4a)$$

$$\beta_2 = \left| 1 - M_{j,b1,Ed} / M_{j,b2,Ed} \right| \leq 2 \quad (5.4b)$$

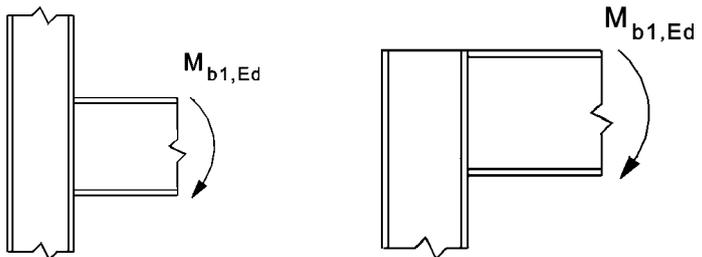
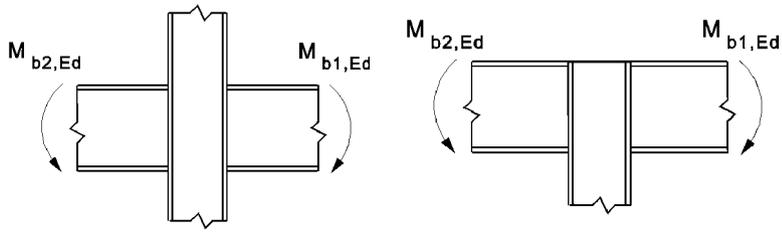
Dabei ist

$M_{j,b1,Ed}$ das Moment am Schnittpunkt des rechten Trägers;

$M_{j,b2,Ed}$ das Moment am Schnittpunkt des linken Trägers.

(10) Bei einem unausgesteiften zweiseitigen Träger-Stützenanschluss mit zwei Trägern unterschiedlicher Höhe ist bei der Bestimmung der Momenten Tragfähigkeit der tatsächliche Schubspannungsverlauf im Stützenstegfeld zu berücksichtigen.

Tabelle 5.4 — Näherungswerte für den Übertragungsparameter β

Ausführung der Anschlüsse	Einwirkung	Wert β
	$M_{b1,Ed}$	$\beta \approx 1$
	$M_{b1,Ed} = M_{b2,Ed}$	$\beta = 0^a$
	$M_{b1,Ed} / M_{b2,Ed} > 0$	$\beta \approx 1$
	$M_{b1,Ed} / M_{b2,Ed} < 0$	$\beta \approx 2$
	$M_{b1,Ed} + M_{b2,Ed} = 0$	$\beta \approx 2$

^a In diesem Falle ist β der genaue Wert.

6 Anschlüsse mit H- oder I-Querschnitten

6.1 Allgemeines

6.1.1 Geltungsbereich

(1) Dieser Abschnitt enthält Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Kenndaten von beliebigen Anschlüssen für Tragwerksberechnungen. Für die Anwendung dieser Verfahren wird ein Anschluss als eine Zusammenstellung von Grundkomponenten dargestellt, siehe 1.3(1).

(2) Die in dieser Norm verwendeten Grundkomponenten sind in Tabelle 6.1 aufgeführt. Die Kenngrößen dieser Grundkomponenten können nach den Regelungen dieser Norm bestimmt werden. Weitere Grundkomponenten sind möglich, wenn deren Kenngrößen mit Versuchen oder mit numerischen Verfahren, die an Versuchen kalibriert sind, bestimmt werden, siehe EN 1990.

ANMERKUNG Die in dieser Norm angegebenen Berechnungsverfahren für Grundkomponenten sind allgemein gültig und können auf ähnliche Komponenten in anderen Anschlusskonfigurationen übertragen werden. Allerdings beruhen die hier angegebenen Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Momententragfähigkeit, der Rotationssteifigkeit und der Rotationskapazität eines Anschlusses auf einer Verteilung der inneren Kräfte und Momente, die zu den in Bild 1.2 dargestellten Anschlusskonfigurationen gehört. Bei anderen Anschlusskonfigurationen sind die Berechnungsverfahren zur Bestimmung von Momententragfähigkeit, Rotationssteifigkeit und Rotationskapazität an die dafür zutreffende Verteilung der inneren Kräfte und Momente anzupassen.

6.1.2 Kenngrößen

6.1.2.1 Momenten-Rotations-Charakteristik

(1) Ein Anschluss kann durch eine Rotationsfeder dargestellt werden, welche die verbundenen Bauteile im Kreuzungspunkt der Schwerpunktlinien verbindet, siehe z. B. Bild 6.1(a) und (b) für einen einseitigen Träger-Stützenanschluss. Die Kenngrößen der Feder können in Form einer Momenten-Rotations-Charakteristik dargestellt werden, die die Beziehung zwischen dem am Anschluss angreifenden Biegemoment $M_{j,Ed}$ und der zugehörigen Rotation ϕ_{Ed} zwischen den verbundenen Bauteilen beschreibt. Im Allgemeinen ist diese Momenten-Rotations-Charakteristik nicht-linear, siehe Bild 6.1(c).

(2) Die Momenten-Rotations-Charakteristik liefert die drei wesentlichen Kenngrößen, siehe Bild 6.1(c):

- Momententragfähigkeit;
- Rotationssteifigkeit;
- Rotationskapazität.

ANMERKUNG In bestimmten Fällen enthält die wirkliche Momenten-Rotations-Kurve Anfangsverdrehungen auf Grund von Schraubenschlupf, Passungenauigkeiten oder bei Stützenfußanschlüssen durch Fundament-Boden-Interaktion. Solche möglicherweise nicht unerheblichen Anfangsverdrehungen sollten in der Momenten-Rotations-Charakteristik berücksichtigt werden.

(3) Die Momenten-Rotations-Charakteristik eines Träger-Stützenanschlusses darf in der Regel zu keinem Widerspruch mit den Annahmen für die Gesamttragwerksberechnung und für die Bemessung der einzelnen Bauteile führen, siehe EN 1993-1-1.

(4) Wird die Momenten-Rotations-Charakteristik von Anschlüssen und Stützenfüßen von I- oder H-Querschnitten nach 6.3.1(4) ermittelt, kann angenommen werden, dass die Bedingungen in 5.1.1(4) für die Vereinfachung dieser Charakteristik für Zwecke der Tragwerksberechnung erfüllt sind.

6.1.2.2 Momententragfähigkeit

(1) Die Momententragfähigkeit $M_{j,Rd}$, die dem maximalen Moment der Momenten-Rotations-Charakteristik entspricht, siehe Bild 6.1(c), ist in der Regel nach 6.1.3(4) zu ermitteln.

6.1.2.3 Rotationssteifigkeit

(1) Die Rotationssteifigkeit S_j , die nach Bild 6.1(c) der Sekantensteifigkeit entspricht, ist in der Regel nach 6.3.1(4) zu ermitteln. Diese Definition von S_j gilt für Verdrehungen bis zu dem Wert ϕ_{Xd} in einer Momenten-Rotations-Charakteristik, bei dem das Moment $M_{j,Ed}$ den Wert $M_{j,Rd}$ erreicht, nicht jedoch darüber hinaus, siehe Bild 6.1(c). Die Anfangssteifigkeit $S_{j,ini}$ ist die Steigung des elastischen Bereichs der Momenten-Rotations-Charakteristik und ist in der Regel nach 6.1.3(4) zu ermitteln.

6.1.2.4 Rotationskapazität

(1) Mit der Rotationskapazität ϕ_{Cd} eines Anschlusses wird die maximale Rotation in einer Momenten-Rotations-Charakteristik bezeichnet, siehe Bild 6.1(c). ϕ_{Cd} ist in der Regel nach 6.1.3(4) zu ermitteln.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

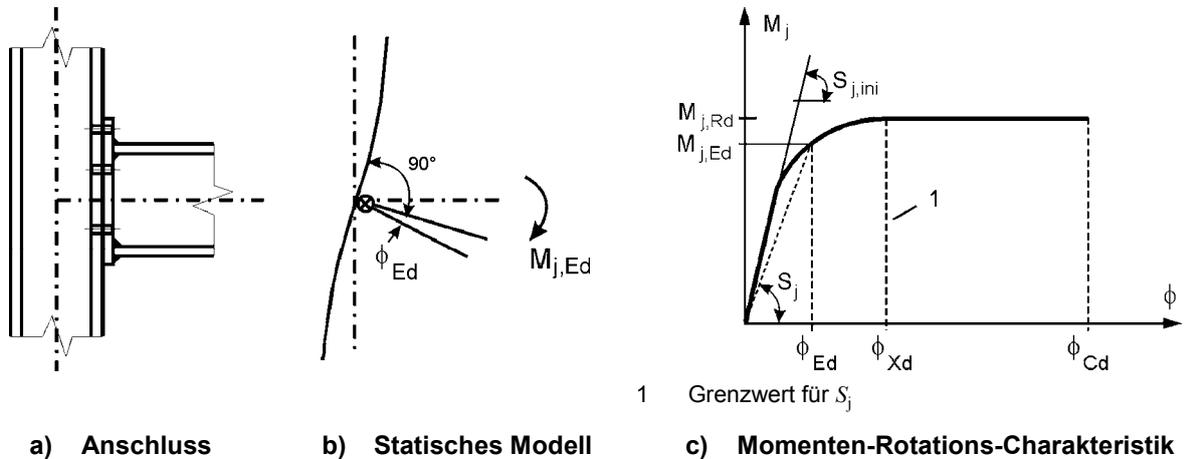


Bild 6.1 — Momenten-Rotations-Charakteristik eines Anschlusses

6.1.3 Grundkomponenten eines Anschlusses

(1) Die Momenten-Rotations-Charakteristik eines Anschlusses hängt von den Kenngrößen seiner Grundkomponenten ab, die in der Regel nach 6.1.3(2) auszuwählen sind.

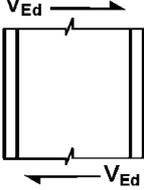
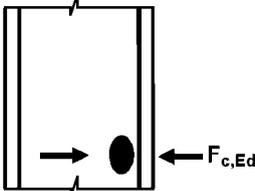
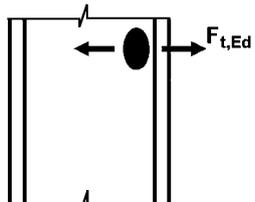
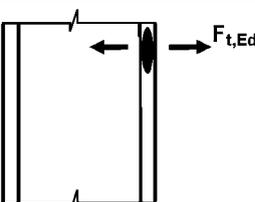
(2) Die Grundkomponenten und Hinweise zur Bestimmung ihrer Kenngrößen sind Tabelle 6.1 zu entnehmen.

(3) Bestimmte Komponenten können verstärkt werden. Einzelheiten zu den verschiedenen Verstärkungsmöglichkeiten sind in 6.2.4.3 und 6.2.6 angegeben.

(4) Die Zusammenhänge zwischen den Kenngrößen der Grundkomponenten eines Anschlusses und den Kenngrößen des Anschlusses sind in den folgenden Abschnitten angegeben:

- für die Momenten­tragfähigkeit in 6.2.7 und 6.2.8;
- für die Rotationssteifigkeit in 6.3.1;
- für die Rotationskapazität in 6.4.

Tabelle 6.1 — Grundkomponenten eines Anschlusses

Komponente			Verweis auf Berechnungsverfahren		
			Tragfähigkeit	Steifigkeitskoeffizient	Rotationskapazität
1	Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung		6.2.6.1	6.3.2	6.4.2 6.4.3
2	Stützensteg mit Querdrukbeanspruchung		6.2.6.2	6.3.2	6.4.2 6.4.3
3	Stützensteg mit Quertzugbeanspruchung		6.2.6.3	6.3.2	6.4.2 6.4.3
4	Stützenflansch mit Biegung		6.2.6.4	6.3.2	6.4.2 6.4.3

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 6.1 (fortgesetzt)

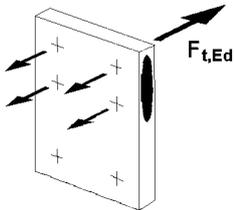
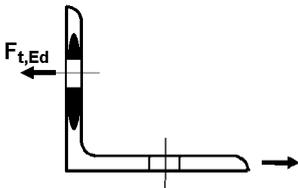
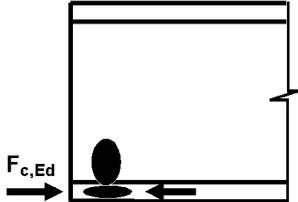
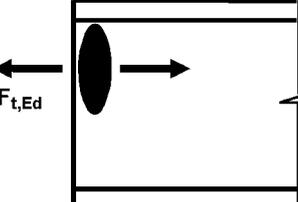
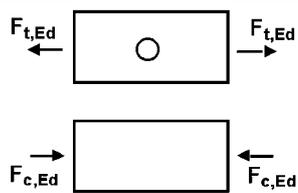
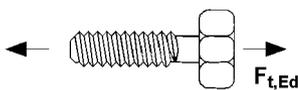
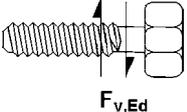
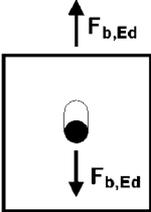
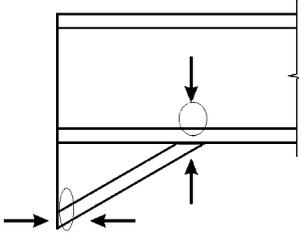
Komponente			Verweis auf Berechnungsverfahren		
			Tragfähigkeit	Steifigkeitskoeffizient	Rotationskapazität
5	Stirnblech mit Biegebeanspruchung		6.2.6.5	6.3.2	6.4.2
6	Flanschwinkel mit Biegebeanspruchung		6.2.6.6	6.3.2	6.4.2
7	Träger- oder Stützenflansch und -steg mit Druckbeanspruchung		6.2.6.7	6.3.2	a
8	Trägersteg mit Zugbeanspruchung		6.2.6.8	6.3.2	a
9	Blech mit Zug- oder Druckbeanspruchung		auf Zug: — EN 1993-1-1 auf Druck: — EN 1993-1-1	6.3.2	a
10	Schrauben mit Zugbeanspruchung		mit Stützenflansch: — 6.2.6.4 mit Stirnblech: — 6.2.6.5 mit Flanschwinkel: — 6.2.6.6	6.3.2	6.4.2
11	Schrauben mit Abscherbeanspruchung		3.6	6.3.2	6.4.2

Tabelle 6.1 (fortgesetzt)

Komponente		Verweis auf Berechnungsverfahren			
		Tragfähigkeit	Steifigkeitskoeffizient	Rotationskapazität	
12	Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung (im Trägerflansch, Stützenflansch, Stirnblech oder Winkel)		3.6	6.3.2	a
13	Beton (einschließlich Mörtel) mit Druckbeanspruchung		6.2.6.9	6.3.2	a
14	Fußplatte mit Biegebeanspruchung infolge Druck		6.2.6.10	6.3.2	a
15	Fußplatte mit Biegebeanspruchung infolge Zug		6.2.6.11	6.3.2	a
16	Ankerschrauben mit Zugbeanspruchung		6.2.6.12	6.3.2	a
17	Ankerschrauben mit Abscherbeanspruchung		6.2.2	a	a
18	Ankerschrauben mit Lochleibungsbeanspruchung		6.2.2	a	a
19	Schweißnähte		4	6.3.2	a
20	Vouten		6.2.6.7	6.3.2	a
a		Dazu enthält diese Norm keine Regelungen.			

6.2 Tragfähigkeit

6.2.1 Schnittgrößen

(1) Außer in den in 6.2.1(2) und 6.2.1(3) spezifizierten Fällen darf angenommen werden, dass die Beanspruchungen der angeschlossenen Bauteile die Tragfähigkeit der Grundkomponenten eines Anschlusses nicht beeinflussen.

(2) Die Druckspannung in einer Stütze ist in der Regel bei der Ermittlung der Tragfähigkeit des Stützenstegfeldes mit Querdruck zu berücksichtigen, siehe 6.2.6.2(2).

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

(3) Der Schub in einem Stützenstegfeld ist in der Regel bei der Ermittlung der Tragfähigkeit der folgenden Grundkomponenten zu berücksichtigen:

- Stützensteg mit Querdruck, siehe 6.2.6.2;
- Stützensteg mit Querkzug, siehe 6.2.6.3.

6.2.2 Querkräfte

(1) In geschweißten Verbindungen oder geschraubten Verbindungen mit geschweißten Stirnblechen sind in der Regel die Schweißnähte am Steg des angeschlossenen Trägers für die gesamte Querkraft ohne Mitwirkung der Schweißnähte an den Trägerflanschen zu bemessen.

(2) In geschraubten Verbindungen mit Stirnblechen sollte die Tragfähigkeit jeder einzelnen Schraubenreihe für gleichzeitig wirkende Quer- und Zugkräfte nach den in Tabelle 3.4 angegebenen Kriterien überprüft werden. Dabei ist der Einfluss von Abstützkräften auf die Zugkraft in den Schrauben zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Vereinfachend darf angenommen werden, dass bei den für die Zugbeanspruchung benötigten Schrauben die volle Zugtragfähigkeit vorhanden ist, wenn die Querkraft den Wert aus folgenden Beiträgen nicht überschreitet:

- a) die volle Abschertragfähigkeit der Schrauben, die nicht für die Zugbeanspruchung herangezogen werden und
- b) das (0,4/1,4)fache der vollen Abschertragfähigkeit der Schrauben, die die volle Zugbeanspruchung aufnehmen müssen.

(3) In geschraubten Verbindungen mit Flanschwinkeln kann angenommen werden, dass der Winkel, der an den druckbeanspruchten Trägerflansch anschließt, die volle Querkraft des Trägers auf die Stütze überträgt, wenn:

- der Spalt g zwischen Trägerende und Stützenflansch nicht größer ist als die Dicke t_a des Flanschwinkels;
- die Querkraft nicht größer ist als die Abschertragfähigkeit der Schrauben, welche den Flanschwinkel mit der Stütze verbinden;
- der Trägersteg die Anforderungen in EN 1993-1-5, Abschnitt 6 erfüllt.

(4) Die Schubtragfähigkeit eines Anschlusses kann aus der Verteilung der Kräfte und Momente auf die Grundkomponenten des Anschlusses und den Tragfähigkeiten der Grundkomponenten abgeleitet werden, siehe Tabelle 6.1.

(5) Wenn für die Aufnahme der Querkräfte an Fußplatten keine speziellen Schubelemente vorgesehen sind, wie z. B. Blockanker oder Dübel, so ist in der Regel nachzuweisen, dass die Querkräfte \overline{AC} gestrichener Text \overline{AC} durch den Gleitwiderstand zwischen Fußplatte und Fundament, siehe 6.2.2(6), \overline{AC} und, \overline{AC} falls die Schraubenlöcher nicht übergroß sind, durch die Abschertragfähigkeit der Ankerschrauben, \overline{AC} siehe 6.2.2(7), zusammen \overline{AC} übertragen werden können. Die Lochleibungstragfähigkeit von Blockankern oder Dübeln im Beton ist in der Regel nach EN 1992 zu überprüfen.

(6) Der Gleitwiderstand $F_{f,Rd}$ zwischen Fußplatte und Mörtelschicht ist wie folgt zu bestimmen:

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} N_{c,Ed} \quad (6.1)$$

Dabei ist

$C_{f,d}$ der Reibbeiwert zwischen Fußplatte und Mörtelschicht. Folgende Werte können verwendet werden:

- für Sand-Zement-Mörtel $C_{f,d} = 0,20$
- für andere Mörtel-Zusammensetzungen sollte der Reibbeiwert $C_{f,d}$ nach EN 1990, Anhang D durch Versuche bestimmt werden;

$N_{c,Ed}$ Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft in der Stütze.

ANMERKUNG Wird die Stütze durch eine Zugkraft belastet, gilt $F_{f,Rd} = 0$.

(7) Die Abschertragfähigkeit $F_{vb,Rd}$ einer Ankerschraube ist als Minimum der beiden Werte $F_{1,vb,Rd}$ und $F_{2,vb,Rd}$ zu bestimmen:

— $F_{1,vb,Rd}$ Abschertragfähigkeit der Ankerschraube, nach 3.6.1

$$\text{— } \boxed{\text{AC}} F_{2,vb,Rd} = \frac{\alpha_{bc} f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \boxed{\text{AC}} \quad (6.2)$$

Dabei ist

$$\alpha_{bc} = 0,44 - 0,0003 f_{yb}$$

f_{yb} die Streckgrenze der Ankerschraube, wobei $235 \text{ N/mm}^2 \leq f_{yb} \leq 640 \text{ N/mm}^2$.

(8) $\boxed{\text{AC}}$ Zwischen einer Fußplatte und einer Mörtelschicht ist der Gesamtschubwiderstand $F_{v,Rd}$ $\boxed{\text{AC}}$ in der Regel wie folgt zu bestimmen:

$$F_{v,Rd} = F_{f,Rd} + n F_{vb,Rd} \quad (6.3)$$

Dabei ist

n die Anzahl der Ankerschrauben in der Fußplatte.

(9) Beton und Bewehrung des Stützenfußfundaments sollten nach EN 1992 bestimmt werden.

6.2.3 Biegemomente

(1) Die Biegetragfähigkeit eines Anschlusses kann aus der Verteilung der Kräfte und Momente auf die Grundkomponenten des Anschlusses und den Tragfähigkeiten der Grundkomponenten abgeleitet werden, siehe Tabelle 6.1.

(2) Ist die einwirkende Längskraft N_{Ed} in dem angeschlossenen Bauteil nicht größer als 5 % der plastischen Beanspruchbarkeit $N_{pl,Rd}$ des Querschnittes, so kann die Biegetragfähigkeit eines Träger-Stützenanschlusses oder Trägerstoßes $M_{j,Rd}$ nach 6.2.7 ermittelt werden.

(3) Die Biegetragfähigkeit $M_{j,Rd}$ eines Stützenfußes kann nach 6.2.8 ermittelt werden.

(4) In allen Anschlüssen sollten die Schweißnahtdicken so gewählt werden, dass die Biegetragfähigkeit des Anschlusses $M_{j,Rd}$ nicht durch die Tragfähigkeit der Schweißnähte, sondern immer durch die Tragfähigkeiten der anderen Grundkomponenten begrenzt wird.

DIN EN 1993-1-8:2010-12 EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

(5) Ist in einem Lastfall in einem Träger-Stützenanschluss oder einem Trägerstoß ein plastisches Gelenk mit Rotationskapazität erforderlich, dann sollten die Schweißnähte mindestens für das Minimum der beiden folgenden Werte bemessen werden:

- die plastische Biegetragfähigkeit des angeschlossenen Bauteils $M_{pl,Rd}$
- die α -fache Biegetragfähigkeit des Anschlusses $M_{j,Rd}$

Dabei ist

$\alpha = 1,4$ für Rahmen, deren Aussteifungen das Kriterium (5.1) nach EN 1993-1-1, 5.2.1(3) erfüllen;

$\alpha = 1,7$ für alle anderen Fälle.

(6) Steht in einer geschraubten Verbindung mehr als eine Schraubenreihe unter Zugbeanspruchung, dann kann zur Vereinfachung der Berechnung der Beitrag der näher am Druckpunkt liegenden Schraubenreihen vernachlässigt werden.

6.2.4 Äquivalenter T-Stummel mit Zugbeanspruchung

6.2.4.1 Allgemeines

(1) Zur Berechnung der Tragfähigkeit der folgenden Grundkomponenten geschraubter Anschlüsse kann das Modell des äquivalenten T-Stummels mit Zugbeanspruchung verwendet werden:

- Stützenflansch mit Biegebeanspruchung;
- Stirnblech mit Biegebeanspruchung;
- Flanschwinkel mit Biegebeanspruchung;
- Fußplatte mit Biegebeanspruchung infolge Zugbeanspruchung.

(2) Verfahren zur Berechnung dieser Grundkomponenten als äquivalente T-Stummel einschließlich der notwendigen Werte für e_{min} , l_{eff} und m sind in 6.2.6 angegeben.

(3) Es kann davon ausgegangen werden, dass die Versagensarten des Flansches eines äquivalenten T-Stummels die gleichen sind wie die der verschiedenen Grundkomponenten, für welche der T-Stummel als Modell gilt.

(4) Die wirksame Länge Σl_{eff} eines äquivalenten T-Stummels, siehe Bild 6.2, ist so anzusetzen, dass die Tragfähigkeiten der Grundkomponente des Anschlusses und des äquivalenten T-Stummelflansches gleich groß sind.

ANMERKUNG Die wirksame Länge eines äquivalenten T-Stummels ist eine Ersatzlänge und stimmt nicht unbedingt mit der wirklichen Länge der Grundkomponente des Anschlusses überein.

(5) Der Bemessungswert der Zugtragfähigkeit eines T-Stummelflansches ist in der Regel nach Tabelle 6.2 zu bestimmen.

ANMERKUNG In den Werten der Zugtragfähigkeit in Tabelle 6.2 sind Abstützkräfte bereits enthalten.

(6) Wenn Abstützkräfte auftreten können, siehe Tabelle 6.2, ist die Zugtragfähigkeit $F_{T,Rd}$ eines T-Stummelflansches als der kleinste der Werte für die drei möglichen Versagensarten Modus 1, Modus 2 und Modus 3 anzusetzen.

(7) Treten keine Abstützkräfte auf, siehe Tabelle 6.2, ist die Zugtragfähigkeit $F_{T,Rd}$ eines T-Stummelflansches als der kleinste der Werte für die beiden möglichen Versagensarten nach Tabelle 6.2 festzulegen.

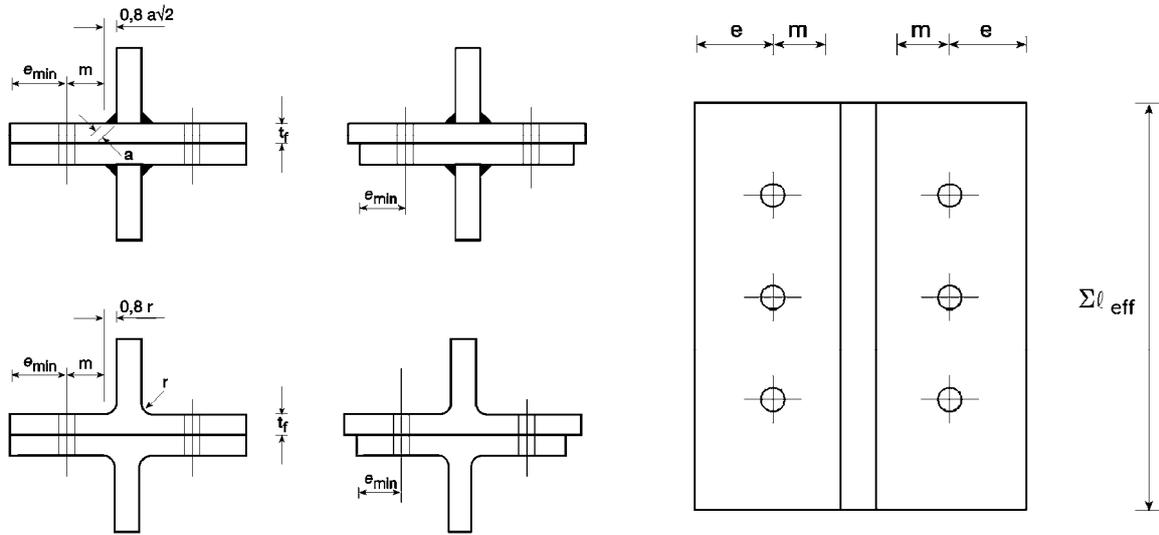


Bild 6.2 — Abmessungen eines äquivalenten T-Stummelflansches

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 6.2 — Tragfähigkeit $F_{T,Rd}$ eines T-Stummelflansches bei Zugbeanspruchung

	Abstützkräfte können auftreten, d. h. $L_b \leq L_b^*$		keine Abstützkräfte
Modus 1	Verfahren 1	Verfahren 2 (alternatives Verfahren)	$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$
ohne Futterplatten	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
mit Futterplatten	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd} + 4nM_{bp,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
Modus 2	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\Sigma F_{t,Rd}}{m+n}$		
Modus 3	$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd}$		

Modus 1: Vollständiges Fließen des Flansches

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des Flansches

Modus 3: Schraubenversagen

- L_b — Dehnlänge der Schraube, angesetzt mit der gesamten Klemmlänge (Gesamtdicke des Blechpakets und der Unterlegscheiben), plus der halben Kopfhöhe und der halben Mutternhöhe oder
- Dehnlänge der Ankerschraube, angesetzt mit der Summe aus dem 8fachen Schraubendurchmesser, den Dicken der Mörtelschicht, der Fußplatte, der Unterlegscheiben und der halben Mutternhöhe

$$\boxed{AC} \ L_b^* = \frac{8,8 m^3 A_s n_b}{\Sigma l_{eff,1} t_f^3} \quad \boxed{AC}$$

$F_{T,Rd}$ Bemessungswert der Zugtragfähigkeit eines T-Stummelflansches

Q Abstützkraft

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,1} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,2} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{bp,Rd} = 0,25 \Sigma l_{eff,1} t_{bp}^2 f_{y,bp} / \gamma_{M0}$$

$$n = e_{min} \text{ jedoch } n \leq 1,25m$$

$\boxed{AC} \ n_b$ Anzahl der Schraubenreihen (mit 2 Schrauben je Reihe) \boxed{AC}

$F_{t,Rd}$ Bemessungswert der Zugtragfähigkeit der Schraube, siehe Tabelle 3.4;

$\Sigma F_{t,Rd}$ Summe aller $F_{t,Rd}$ der Schrauben in dem T-Stummel;

$\Sigma l_{eff,1}$ Wert für Σl_{eff} für Modus 1;

$\Sigma l_{eff,2}$ Wert für Σl_{eff} für Modus 2;

e_{min} , m und t_f siehe Bild 6.2.

$f_{y,bp}$ Streckgrenze der Futterplatten;

t_{bp} Dicke der Futterplatten;

$$e_w = d_w / 4;$$

d_w Durchmesser der Unterlegscheibe oder Eckmaß des Schraubenkopfes oder der Mutter, je nach Maßgeblichkeit.

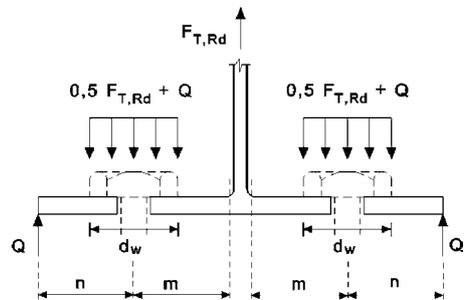


Tabelle 6.2 (fortgesetzt)

<p>ANMERKUNG 1 Bei geschraubten Träger-Stützenanschlüssen oder Trägerstößen kann damit gerechnet werden, dass Abstützkräfte auftreten.</p> <p>ANMERKUNG 2 Bei Verfahren 2 wird angenommen, dass die auf den T-Stummelflansch einwirkende Schraubenkraft gleichmäßig unter der Unterlegscheibe, dem Schraubenkopf oder der Mutter verteilt ist, siehe Skizze, und es nicht zu einer Kraftkonzentration an der Schraubenachse kommt. Diese Annahme führt zu einem höheren Wert der Tragfähigkeit für Modus 1, während die Werte für $F_{T,1-2,Rd}$ und für Modus 2 und Modus 3 unverändert bleiben.</p>
--

6.2.4.2 Einzelne Schraubenreihen, Schraubengruppen und Gruppen von Schraubenreihen

(1) Obwohl bei Verwendung eines äquivalenten T-Stummels zur Berechnung der Grundkomponente eines Anschlusses nach 6.2.4.1(1) die Kräfte in jeder Schraubenreihe des T-Stummelflansches allgemein gleich groß sind, ist zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Kräfte in den verschiedenen Schraubenreihen auftreten können.

(2) Bei der Berechnung einer Gruppe von Schraubenreihen mit äquivalenten T-Stummeln kann es notwendig sein, die Gruppe in einzelne Schraubenreihen aufzuteilen, und diese jeweils durch einen eigenen äquivalenten T-Stummel zu modellieren.

(3) Bei der Modellierung einer Gruppe von Schraubenreihen mit äquivalenten T-Stummeln, sollten die folgenden Bedingungen eingehalten werden:

- a) die Kraft auf jede Schraubenreihe, gerechnet mit Betrachtung nur dieser einzelnen Schraubenreihe, sollte die Tragfähigkeit dieser Reihe nicht überschreiten;
- b) die Gesamtkraft auf jede Gruppe von Schraubenreihen, die jeweils zwei oder mehrere benachbarte Schraubenreihen innerhalb derselben Schraubengruppe umfasst, sollte die Tragfähigkeit dieser Gruppe von Schraubenreihen nicht überschreiten.

(4) Bei der Ermittlung der Zugtragfähigkeit einer Grundkomponente mit dem Modell des äquivalenten T-Stummelflansches sollten die folgenden Parameter berechnet werden:

- a) die Tragfähigkeit einer einzelnen Schraubenreihe, indem nur diese Schraubenreihe betrachtet wird;
- b) der Beitrag jeder einzelnen Schraubenreihe zu der Tragfähigkeit von zwei oder mehr benachbarten Schraubenreihen innerhalb einer Schraubengruppe, wenn nur diese Schraubenreihen betrachtet werden.

(5) Im Falle einer einzelnen Schraubenreihe sollte Σl_{eff} gleich der wirksamen Länge l_{eff} gesetzt werden, die in 6.2.6 für diese einzelne Schraubenreihe tabelliert ist.

(6) Im Falle einer Gruppe von Schraubenreihen sollte Σl_{eff} als Summe der wirksamen Längen l_{eff} angesetzt werden, die in 6.2.6 für jede einzelne Schraubenreihe als Teil der Schraubengruppe tabelliert sind.

6.2.4.3 Verstärkungsbleche

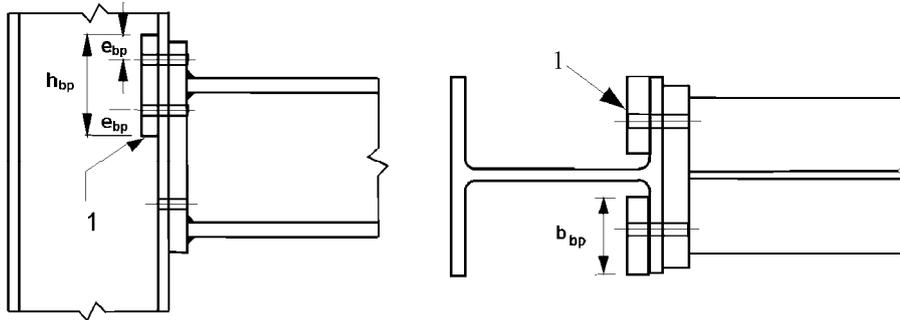
(1) Stützenflansche mit Biegung können mit Hilfe lastverteilender Bleche nach Bild 6.3 verstärkt werden.

(2) Die Breite von Verstärkungsblechen entspricht in der Regel mindestens dem Abstand zwischen dem Rand des Stützenflansches und dem Beginn der Eckausrundung oder der Naht abzüglich 3 mm.

(3) Die Länge des Verstärkungsblechs sollte über die äußerste Schraubenreihe hinausgehen, die an der Zugübertragung beteiligt ist, siehe Bild 6.3.

(4) Wenn Verstärkungsbleche verwendet werden, ist die Zugtragfähigkeit $F_{T,Rd}$ des T-Stummels in der Regel mit den Verfahren in Tabelle 6.2 zu ermitteln.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)



$$h_{bp} \geq \sum \ell_{eff,1}$$

$$e_{bp} \geq 2d$$

Legende

1 Verstärkungsblech

Bild 6.3 — Stützenflansch mit Verstärkungsblechen

6.2.5 Äquivalenter T-Stummel mit Druckbeanspruchung

(1) Bei Anschlüssen von Stahl mit Beton kann der äquivalente T-Stummelflansch mit Druckbeanspruchung verwendet werden, um die Tragfähigkeit für die Kombination folgender Grundkomponenten zu bestimmen:

- Fußplatte mit Biegung aufgrund der Lagerpressung;
- Beton und/oder Mörtelfüllung unter der Lagerpressung.

(2) Die gesamte wirksame Länge l_{eff} und die gesamte wirksame Breite b_{eff} des äquivalenten T-Stummels sind so anzusetzen, dass die Tragfähigkeiten der Grundkomponente des Anschlusses und des äquivalenten T-Stummels gleich groß sind.

ANMERKUNG [AC] Die Werte für die wirksame Länge und die wirksame Breite [AC] eines äquivalenten T-Stummels [AC] sind Ersatzwerte für diese Längen [AC] und können von den wirklichen Abmessungen der Grundkomponenten des Anschlusses abweichen.

(3) Die Tragfähigkeit eines T-Stummelflansches $F_{C,Rd}$ auf Druck wird wie folgt bestimmt:

$$F_{C,Rd} = f_{jd} b_{eff} l_{eff} \quad (6.4)$$

Dabei ist

b_{eff} die wirksame Breite des T-Stummelflansches, siehe 6.2.5(5) und 6.2.5(6);

l_{eff} die wirksame Länge des T-Stummelflansches, siehe 6.2.5(5) und 6.2.5(6);

f_{jd} der Bemessungswert der Beton- oder Mörtelfestigkeit unter Lagerpressung, siehe 6.2.5(7).

(4) Für die Spannungsverteilung unter dem T-Stummel darf eine gleichmäßige Verteilung nach Bild 6.4(a) und Bild 6.4(b) angenommen werden. Die Druckspannung auf der Auflagerfläche darf den Bemessungswert der Beton- oder Mörtelfestigkeit f_{jd} unter Lagerpressung nicht überschreiten, wenn die zusätzliche Ausbreitungsbreite c folgenden maximalen Wert annimmt:

$$c = t [f_y / (3 f_{jd} \gamma_{M0})]^{0,5} \quad (6.5)$$

Dabei ist

t die Dicke des T-Stummelflansches;

f_y die Streckgrenze des T-Stummelflansches.

(5) Ist die wirkliche Abmessung der Grundkomponente des Anschlusses (der Fußplatte), welche durch den T-Stummel abgebildet wird, kleiner als die Ausbreitungsbreite c , so ist die wirksame Fläche nach Bild 6.4(a) anzusetzen.

(6) Ist die wirkliche Abmessung der Grundkomponente des Anschlusses (der Fußplatte), welche durch den T-Stummel abgebildet wird, größer als Ausbreitungsbreite c , so ist der den Wert c übersteigende Anteil zu vernachlässigen, siehe Bild 6.4(b).

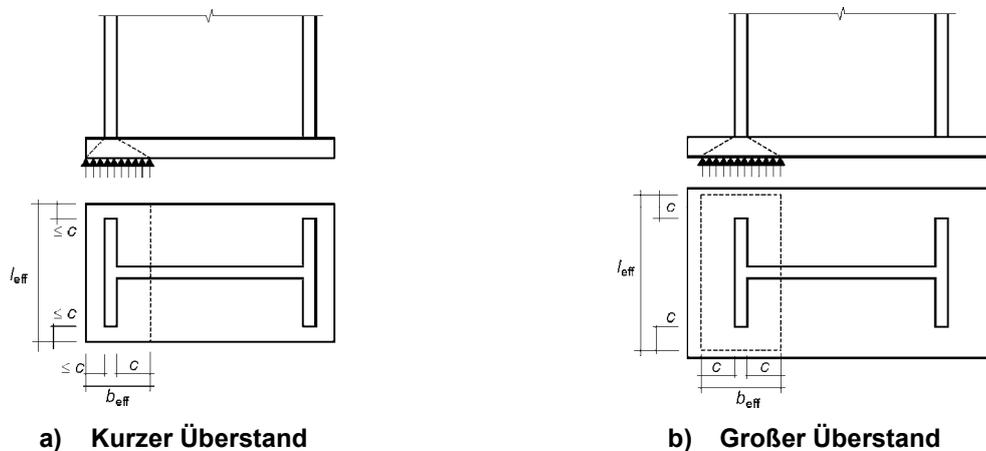


Bild 6.4 — Fläche des äquivalenten T-Stummels mit Druckbeanspruchung

(7) Der Bemessungswert der Beton- oder Mörtelfestigkeit f_{jd} unter Lagerpressung wird in der Regel wie folgt bestimmt:

$$f_{jd} = \beta_j F_{Rdu} / (b_{eff} l_{eff}) \quad (6.6)$$

Dabei ist

β_j der Anschlussbeiwert. Dieser kann mit 2/3 angesetzt werden, wenn die charakteristische Festigkeit des Mörtels nicht kleiner als das 0,2fache der charakteristischen Festigkeit des Fundamentbetons ist und die Dicke des Mörtels nicht größer als das 0,2fache der kleinsten Abmessung der Stahlfußplatte ist. Wenn die Dicke des Mörtels größer als 50 mm ist, sollte die charakteristische Festigkeit des Mörtels mindestens so hoch sein wie die des Fundamentbetons.

F_{Rdu} die Tragfähigkeit unter konzentrierten Lasten nach EN 1992, wobei $A_{c0} = b_{eff} l_{eff}$ angesetzt wird.

6.2.6 Tragfähigkeit der Grundkomponenten

6.2.6.1 Stützensteg mit Schubbeanspruchung

(1) Die Anwendbarkeit der Bemessungsverfahren in 6.2.6.1(2) bis 6.2.6.1(14) ist auf Schlankheiten des Stützenstegs $\sqrt{\frac{d}{t_w}} \leq 69 \sqrt{\frac{AC}{AC}}$ begrenzt.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

(2) Bei einem einseitigen Anschluss oder bei einem beidseitigen Anschluss mit ähnlich hohen Trägern ist die plastische Schubtragfähigkeit $V_{wp,Rd}$ des nicht ausgesteiften Stützenstegfeldes, das durch den Bemessungswert der einwirkenden Schubkraft $V_{wp,Ed}$ belastet wird, siehe 5.3(3), wie folgt zu ermitteln:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 f_{y,wc} A_{vc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \quad (6.7)$$

Dabei ist

A_{vc} die Schubfläche der Stütze, siehe EN 1993-1-1.

(3) Die Schubtragfähigkeit kann durch Stegsteifen oder zusätzliche Stegbleche erhöht werden.

(4) Werden zusätzliche Stegsteifen in der Druck- und Zugzone der Stütze eingesetzt, kann die plastische Schubtragfähigkeit des Stützenstegfeldes $V_{wp,Rd}$ um den Wert $V_{wp,add,Rd}$ vergrößert werden. Es gilt:

$$V_{wp,add,Rd} = \frac{4M_{pl,fc,Rd}}{d_s} \quad \text{jedoch} \quad V_{wp,add,Rd} \leq \frac{2M_{pl,fc,Rd} + 2M_{pl,st,Rd}}{d_s} \quad (6.8)$$

Dabei ist

d_s der Achsabstand zwischen den Stegsteifen;

$M_{pl,fc,Rd}$ die plastische Biegetragfähigkeit eines Stützenflansches;

$M_{pl,st,Rd}$ die plastische Biegetragfähigkeit einer Stegsteife.

ANMERKUNG Bei geschweißten Anschlüssen sollten die Stegsteifen der Stütze in den Achsen der Trägerflansche liegen.

(5) Werden diagonale Stegsteifen eingesetzt, sollte die plastische Schubtragfähigkeit des Stützenstegfeldes nach EN 1993-1-1 bestimmt werden.

ANMERKUNG Dabei wird bei zweiseitigen Träger-Stützenanschlüssen angenommen, dass beide Träger etwa die gleiche Trägerhöhe haben.

(6) Wird ein Stützensteg durch ein zusätzliches Stegblech verstärkt, siehe Bild 6.5, so kann die Schubfläche A_{vc} um $b_s t_{wc}$ vergrößert werden. Wird ein weiteres zusätzliches Stegblech auf der anderen Stegseite angebracht, sollte keine weitere Vergrößerung der Schubfläche angesetzt werden.

(7) Zusätzliche Stegbleche können auch zur Vergrößerung der Rotationssteifigkeit eines Anschlusses eingesetzt werden, die durch Vergrößerung der Steifigkeit des Stützenstegs für Schub-, Druck- oder Zugbeanspruchung bewirkt wird, siehe 6.3.2(1).

(8) Zusätzliche Stegbleche sollten die gleiche Stahlgüte haben wie die Stütze.

(9) Die Breite b_s sollte mindestens so groß sein, dass die Schweißnähte um das zusätzliche Stegblech an die Eckausrundung heranreichen.

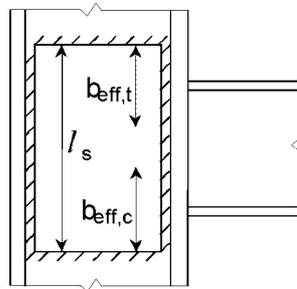
(10) Die Länge ℓ_s sollte so groß sein, dass sich das zusätzliche Stegblech über die effektive Breite des Steges unter der Querdrukbeanspruchung und der Querdrukbeanspruchung hinaus erstreckt, siehe Bild 6.5.

(11) Die Dicke t_s des zusätzlichen Stegbleches sollte mindestens der Stützenstegdicke t_{wc} entsprechen.

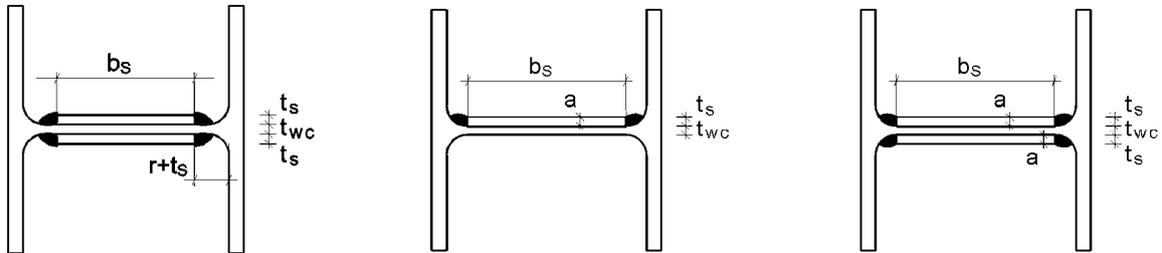
(12) Die Schweißnähte zwischen dem zusätzlichen Stegblech und dem Profil sind für die Bemessungswerte der Kräfte zu bemessen.

(13) Die Breite b_s eines zusätzlichen Stegbleches sollte kleiner als $40 \varepsilon t_s$ sein.

(14) In nicht-korrosiver Umgebung können auch unterbrochene Schweißnähte eingesetzt werden.



a) Anordnung



ANMERKUNG Auf die Schweißbarkeit in den Ecken ist zu achten.

b) Beispiele für Querschnitte mit Längsnähten

Bild 6.5 — Beispiele für Verstärkungen mit zusätzlichen Stegblechen

6.2.6.2 Stützensteg mit Beanspruchung durch Querdruck

(1) Für die Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs, der durch Querdruck beansprucht wird, gilt:

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \quad \text{jedoch} \quad F_{c,wc,Rd} \leq \frac{\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M1}} \quad (6.9)$$

Dabei ist

ω der Abminderungsbeiwert, der mögliche Interaktionseffekte mit der Schubbeanspruchung im Stützenstegfeld nach Tabelle 6.3 berücksichtigt;

$b_{eff,c,wc}$ die wirksame Breite des Stützenstegs für Querdruck:

— für einen geschweißten Anschluss:

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_b + 5(t_{fc} + s) \quad (6.10)$$

Dabei sind

a_c , r_c und a_b wie in Bild 6.6 angegeben.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

— für eine geschraubte Stirnblechverbindung:

$$b_{\text{eff,c,wc}} = t_{\text{fb}} + 2\sqrt{2} a_p + 5(t_{\text{fc}} + s) + s_p \quad (6.11)$$

Dabei ist

s_p die Länge, die mit der Annahme einer Ausbreitung von 45° durch das Stirnblech (mindestens t_p und bis zu $2t_p$, wenn der Überstand des Stirnblechs über den Flansch hinaus ausreichend groß ist) ermittelt wird.

— für eine geschraubte Verbindung mit Flanschwinkeln:

$$b_{\text{eff,c,wc}} = 2t_a + 0,6r_a + 5(t_{\text{fc}} + s) \quad (6.12)$$

Dabei ist

— bei einer Stütze mit gewalztem I- oder H-Querschnitt: $s = r_c$

— bei einer Stütze mit geschweißtem I- oder H-Querschnitt: $s = \sqrt{2} a_c$

ρ Abminderungsbeiwert für Plattenbeulen:

— für $\bar{\lambda}_p \leq 0,72$: $\rho = 1,0$ (6.13a)

— für $\bar{\lambda}_p > 0,72$: $\rho = (\bar{\lambda}_p - 0,2) / \bar{\lambda}_p^2$ (6.13b)

Dabei ist

$$\bar{\lambda}_p = 0,932 \sqrt{\frac{b_{\text{eff,c,wc}} d_{\text{wc}} f_{y,\text{wc}}}{Et_{\text{wc}}^2}} \quad (\text{Plattenschlankheitsgrad}) \quad (6.13c)$$

mit folgenden Werten für d_{wc}

— bei einer Stütze mit gewalztem I- oder H-Querschnitt: $d_{\text{wc}} = h_c - 2(t_{\text{fc}} + r_c)$

— bei einer Stütze mit geschweißtem I- oder H-Querschnitt: $d_{\text{wc}} = h_c - 2(t_{\text{fc}} + \sqrt{2} a_c)$

k_{wc} Abminderungsbeiwert nach 6.2.6.2(2).

Tabelle 6.3 — Abminderungsbeiwert ω für die Interaktion mit Schubbeanspruchung

Übertragungsparameter β	Abminderungsbeiwert ω
$0 \leq \beta \leq 0,5$	$\omega = 1$
$0,5 < \beta < 1$	$\omega = \omega_1 + 2(1 - \beta)(1 - \omega_1)$
$\beta = 1$	$\omega = \omega_1$
$1 < \beta < 2$	$\omega = \omega_1 + (\beta - 1)(\omega_2 - \omega_1)$
$\beta = 2$	$\omega = \omega_2$
$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{\text{eff,c,wc}} t_{\text{wc}} / A_{\text{vc}})^2}}$	$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2(b_{\text{eff,c,wc}} t_{\text{wc}} / A_{\text{vc}})^2}}$
A_{vc} Schubfläche der Stütze, siehe 6.2.6.1;	
β Übertragungsparameter, siehe 5.3 (7).	

(2) Überschreitet die maximale Längsdruckspannung $\sigma_{\text{com,Ed}}$ im Steg (am Ende des Abrundungsradius bei einem gewalzten Profil oder am Schweißnahtübergang bei einem geschweißten Profil) infolge Druckkraft und Biegemoment in der Stütze den Wert $0,7 f_{y,\text{wc}}$, so ist deren Auswirkung auf die Tragfähigkeit zu berücksichtigen, indem der Wert für $F_{c,\text{wc,Rd}}$ nach Gleichung (6.9) mit dem folgenden Beiwert k_{wc} abgemindert wird:

— falls $\sigma_{\text{com,Ed}} \leq 0,7 f_{y,\text{wc}}$: $k_{\text{wc}} = 1$

— falls $\sigma_{\text{com,Ed}} > 0,7 f_{y,\text{wc}}$: $k_{\text{wc}} = 1,7 - \sigma_{\text{com,Ed}} / f_{y,\text{wc}}$ (6.14)

ANMERKUNG Im Allgemeinen beträgt der Abminderungsbeiwert $k_{\text{wc}} = 1,0$ und keine Reduzierung ist notwendig. Daher kann die Abminderung in Vorberechnungen vernachlässigt werden, bei denen noch keine Längsspannungen bekannt sind.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

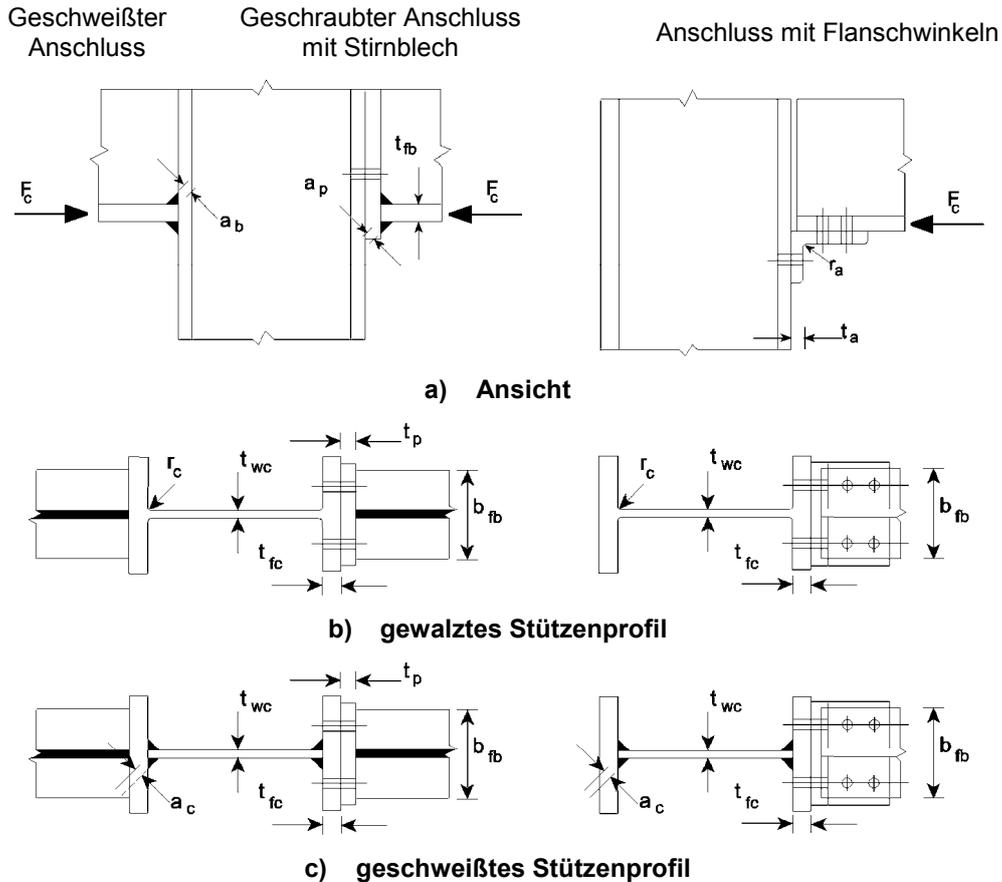


Bild 6.6 — Querdruck bei einer nichtausgesteiften Stütze

(3) Das knickstabähnliche Beulen eines nicht ausgesteiften Stützenstegs infolge Querdruck, siehe Bild 6.7, sollte konstruktiv verhindert werden.

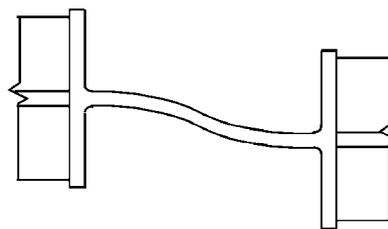


Bild 6.7 — Knickstabähnliches Beulen eines nichtausgesteiften Stützensteges

(4) Die Tragfähigkeit des Stützensteges für Querdruck kann durch Stegsteifen oder zusätzliche Stegbleche vergrößert werden.

(5) Quersteifen oder geeignet angeordnete Diagonalsteifen können einzeln oder zusammen im Stützenstegfeld verwendet werden, um die Tragfähigkeit des Stützensteges für Querdruck zu vergrößern.

ANMERKUNG Bei geschweißten Anschlüssen sollten die Quersteifen in der Achse der Trägerflansche liegen. Bei geschraubten Anschlüssen sollten die Steifen in der Achse der Druckkräfte (Druckpunkt) liegen. Der Druckpunkt ist in Bild 6.15 definiert.

(6) Wird ein nicht ausgesteifter Stützensteg durch ein zusätzliches Stegblech nach 6.2.6.1 verstärkt, so darf die effektive Dicke des Stegblechs mit $1,5 t_{wc}$ angesetzt werden. Wenn zusätzliche Stegbleche beidseitig am

Steg angebracht werden, darf die effektive Dicke mit $2,0 t_{wc}$ angesetzt werden. Bei der Berechnung des Abminderungsbeiwerts ω zur Berücksichtigung der Interaktion mit der Schubbeanspruchung darf die Schubfläche A_{vc} des Stegs nur auf den Wert angehoben werden, der auch bei der Erhöhung der Schubtragfähigkeit zulässig ist, siehe 6.2.6.1(6).

6.2.6.3 Stützensteg mit Beanspruchung durch Querzug

(1) Die Tragfähigkeit eines nicht ausgesteiften Stützenstegs für Beanspruchung durch Querzug wird in der Regel wie folgt bestimmt:

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \quad (6.15)$$

Dabei ist

ω der Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung der Interaktion mit der Schubbeanspruchung im Stützenstegfeld.

(2) Bei einer geschweißten Verbindung wird in der Regel die wirksame Breite $b_{\text{eff},t,wc}$ der Komponente Stützensteg mit Querzug wie folgt ermittelt:

$$b_{\text{eff},t,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_b + 5(t_{fc} + s) \quad (6.16)$$

Dabei ist

— bei einer Stütze mit gewaltem I- oder H- Querschnitt: $s = r_c$

— bei einer Stütze mit geschweißtem I- oder H- Querschnitt: $s = \sqrt{2} a_c$

a_c und r_c wie in Bild 6.8 und a_b wie in Bild 6.6 angegeben.

(3) Bei einer geschraubten Verbindung wird in der Regel die wirksame Breite $b_{\text{eff},t,wc}$ der Komponente Stützensteg mit Querzug mit der wirksamen Länge des äquivalenten T-Stummels für den Stützenflansch gleichgesetzt, siehe 6.2.6.4.

(4) Der Abminderungsbeiwert ω zur Berücksichtigung der Interaktion mit der Schubbeanspruchung im Stützenstegfeld ist in der Regel nach Tabelle 6.3 mit dem Wert $b_{\text{eff},t,wc}$ nach 6.2.6.3(2) oder 6.2.6.3(3) zu ermitteln.

(5) Die Tragfähigkeit des Stützensteges für Querzug kann durch Stegsteifen oder zusätzliche Stegbleche vergrößert werden.

(6) Die Stegsteifen können als Quersteifen und/oder entsprechend angeordnete Diagonalsteifen ausgebildet werden, um die Tragfähigkeit des Stützensteges für Querzug zu vergrößern.

ANMERKUNG Bei geschweißten Anschlüssen liegen üblicherweise die Quersteifen in der Achse der Trägerflansche.

(7) Schweißnähte zwischen Diagonalsteifen und Stützenflansch sollten als voll durchgeschweißte Nähte mit Kapplage ausgeführt werden, damit die Schweißnahtdicke gleich der Steifendicke ist.

(8) Wird ein nicht ausgesteifter Stützensteg durch zusätzliche Stegbleche entsprechend 6.2.6.1 verstärkt, so hängt die Tragfähigkeit für Querzug von der Dicke der Längsnähte entlang der zusätzlichen Stegbleche ab. Die wirksame Dicke des Stegs $t_{w,\text{eff}}$ wird in der Regel wie folgt bestimmt:

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

- sind die Längsnähte durchgeschweißte Stumpfnähte der Nahtdicke $a \geq t_s$ gilt:
 - bei einseitigem zusätzlichem Stegblech: $t_{w,eff} = 1,5 t_{wc}$ (6.17)
 - bei beidseitigen zusätzlichen Stegblechen: $t_{w,eff} = 2,0 t_{wc}$ (6.18)
- sind die Längsnähte Kehlnähte der Nahtdicke $a \geq t_s/\sqrt{2}$ gilt sowohl für einseitige als auch für beidseitige zusätzliche Stegbleche:
 - für die Stahlgüten S 235, S 275 oder S 355: $t_{w,eff} = 1,4 t_{wc}$ (6.19a)
 - für die Stahlgüten S 420 oder S 460: $t_{w,eff} = 1,3 t_{wc}$ (6.19b)

(9) Bei der Berechnung des Abminderungsbeiwerts ω zur Berücksichtigung der Interaktion mit der Schubbeanspruchung darf die Schubfläche A_{vc} des durch zusätzliche Stegbleche verstärkten Stegs nur auf den Wert angehoben werden, der auch bei der Erhöhung der Schubtragfähigkeit zulässig ist, siehe 6.2.6.1(6).

6.2.6.4 Stützenflansch mit Biegebeanspruchung

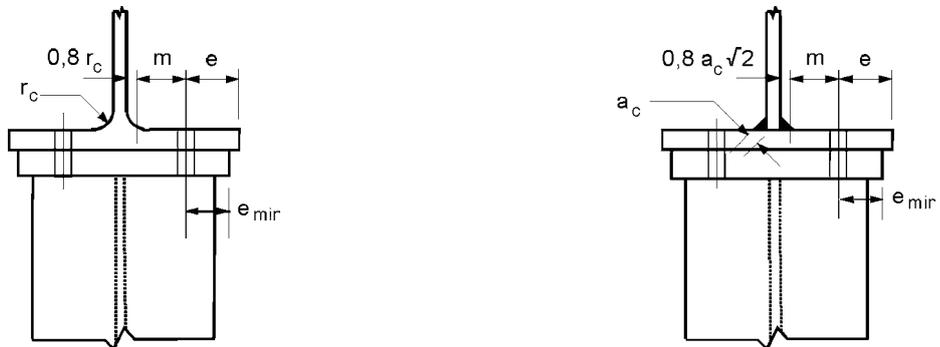
6.2.6.4.1 Nicht ausgesteifter Stützenflansch und geschraubte Verbindung

(1) Die Tragfähigkeit und die Versagensform eines nicht ausgesteiften Stützenflansches, der in Verbindung mit Schrauben mit Zugbeanspruchung auf Biegung beansprucht wird, sind in der Regel mit Hilfe des äquivalenten T-Stummelflansches für folgende Fälle zu ermitteln, siehe 6.2.4:

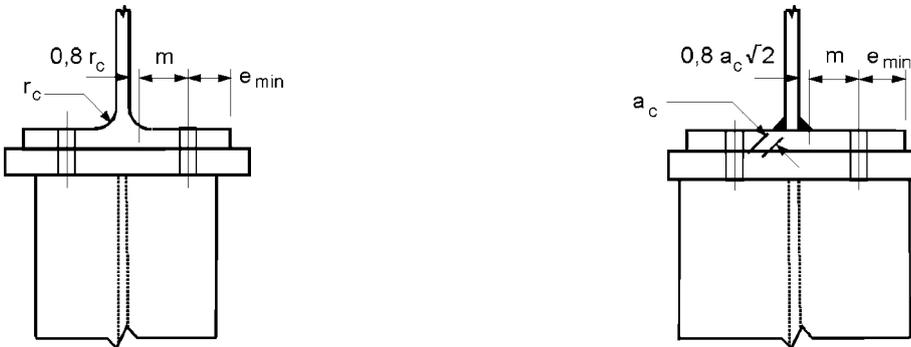
- jede einzelne Schraubenreihe ist für die Übertragung der Zugkräfte erforderlich;
- jede Gruppe von Schraubenreihen ist für die Übertragung der Zugkräfte erforderlich.

(2) Die Maße e_{min} und m für die Ermittlung nach 6.2.4 sind Bild 6.8 zu entnehmen.

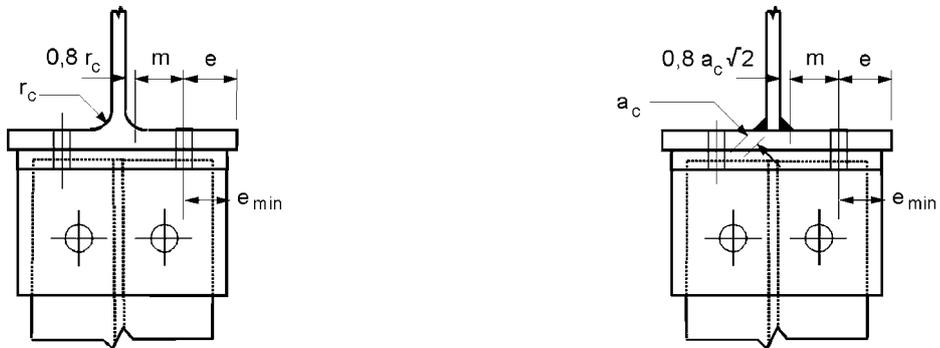
(3) Die wirksame Länge des äquivalenten T-Stummelflansches sollte für die einzelnen Schraubenreihen und die Schraubengruppe nach 6.2.4.2 mit den Werten ermittelt werden, die in Tabelle 6.4 für die einzelnen Schraubenreihen angegeben sind.



a) Geschweißtes Stirnblech schmaler als der Stützenflansch



b) Geschweißtes Stirnblech breiter als der Stützenflansch



c) Flanschwinkel

Bild 6.8 — Maße für e , e_{\min} , r_c und m

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 6.4 — Wirksame Längen für nicht ausgesteifte Stützenflansche

Lage der Schraubenreihe	Schraubenreihe einzeln betrachtet		Schraubenreihe als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen	
	Kreisförmiges Muster $l_{\text{eff,cp}}$	Nicht kreisförmiges Muster $l_{\text{eff,nc}}$	Kreisförmiges Muster $l_{\text{eff,cp}}$	Nicht kreisförmiges Muster $l_{\text{eff,nc}}$
Innere Schraubenreihe	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Äußere Schraubenreihe	der kleinere Wert von: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	der kleinere Wert von: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	der kleinere Wert von: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	der kleinere Wert von: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Modus 1:	$l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff,nc}}$ jedoch $l_{\text{eff},1} \leq l_{\text{eff,cp}}$		$\Sigma l_{\text{eff},1} = \Sigma l_{\text{eff,nc}}$ jedoch $\Sigma l_{\text{eff},1} \leq \Sigma l_{\text{eff,cp}}$	
Modus 2:	$l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,nc}}$		$\Sigma l_{\text{eff},2} = \Sigma l_{\text{eff,nc}}$	

AC) e_1 ist der Abstand von der Mitte der Verbindungsmittel in der Endreihe zum benachbarten freien Ende des Stützenflansches, gemessen in der Richtung der Achse des Stützenprofils (siehe Zeile 1 und Zeile 2 in Bild 6.9). AC)

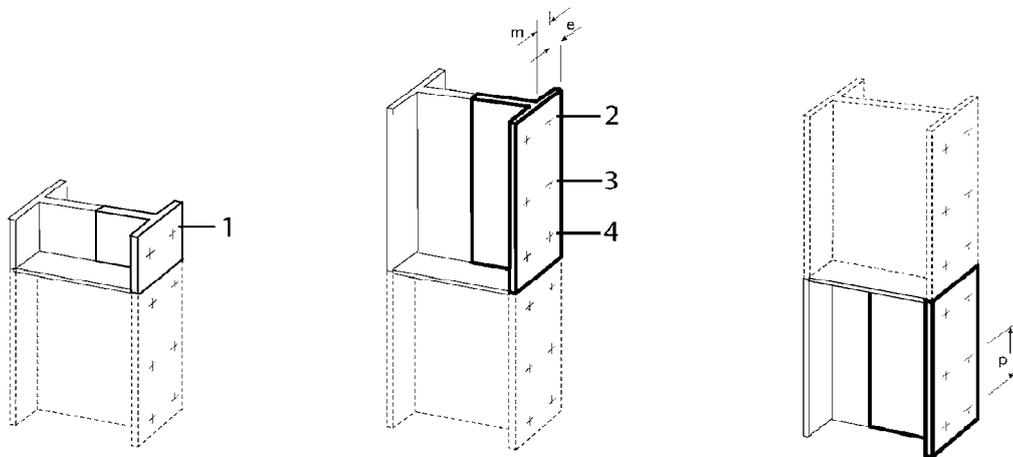
6.2.6.4.2 Ausgesteifter Stützenflansch und Anschluss mit geschraubtem Stirnblech oder Flanschwinkel

(1) Mit Quersteifen und/oder entsprechend angeordneten Diagonalsteifen kann die Biegetragfähigkeit des Stützenflansches vergrößert werden.

(2) Die Tragfähigkeit und die Versagensform eines ausgesteiften Stützenflansches, der in Verbindung mit Schrauben mit Zugbeanspruchung auf Biegung beansprucht wird, sind mit Hilfe des äquivalenten T-Stummelflansches für folgende Fälle zu ermitteln, siehe 6.2.4:

- jede einzelne Schraubenreihe ist für die Übertragung der Zugkräfte erforderlich;
- jede Gruppe von Schraubenreihen ist für die Übertragung der Zugkräfte erforderlich.

(3) Treten Gruppen von Schraubenreihen auf beiden Seiten einer Steife auf, sind diese getrennt mit T-Stummelflanschen zu untersuchen, siehe Bild 6.9. Die Tragfähigkeit und Versagensform sind dann für jeden äquivalenten T-Stummel zu bestimmen.



Legende

- 1 Äußere Schraubenreihe neben einer Steife
- 2 Andere äußere Schraubenreihe
- 3 Andere innere Schraubenreihe
- 4 Innere Schraubenreihe neben einer Steife

Bild 6.9 — Untersuchung eines ausgesteiften Stützenflansches mit verschiedenen T-Stummel-Modellen

- (4) Die Maße e_{\min} und m für die Ermittlung nach 6.2.4 sind Bild 6.8 zu entnehmen.
- (5) Die wirksamen Längen ℓ_{eff} der äquivalenten T-Stummelflansche sind in der Regel nach 6.2.4.2 mit den Werten zu ermitteln, die in Tabelle 6.5 für die einzelnen Schraubenreihen angegeben sind. Der α -Wert in Tabelle 6.5 ist nach Bild 6.11 zu ermitteln.
- (6) Für die Steifen gelten die Anforderungen nach 6.2.6.1.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 6.5 — Wirksame Längen für ausgesteifte Stützenflansche

Lage der Schraubenreihe	Schraubenreihe einzeln betrachtet		Schraubenreihe als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen	
	Kreisförmiges Muster $l_{\text{eff,cp}}$	Nicht kreisförmiges Muster $l_{\text{eff,nc}}$	Kreisförmiges Muster $l_{\text{eff,cp}}$	Nicht kreisförmiges Muster $l_{\text{eff,nc}}$
Innere Schraubenreihe neben einer Steife	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Andere innere Schraubenreihe	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Andere äußere Schraubenreihe	der kleinere Wert von: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	der kleinere Wert von: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	der kleinere Wert von: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	der kleinere Wert von: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Äußere Schraubenreihe neben einer Steife	der kleinere Wert von: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	$e_1 + \alpha m - (2m + 0,625e)$	nicht relevant	nicht relevant
Modus 1:	$l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff,nc}}$ jedoch $l_{\text{eff},1} \leq l_{\text{eff,cp}}$		$\Sigma l_{\text{eff},1} = \Sigma l_{\text{eff,nc}}$ jedoch $\Sigma l_{\text{eff},1} \leq \Sigma l_{\text{eff,cp}}$	
Modus 2:	$l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,nc}}$		$\Sigma l_{\text{eff},2} = \Sigma l_{\text{eff,nc}}$	

α ist Bild 6.11 zu entnehmen.

AC e_1 ist der Abstand von der Mitte der Verbindungsmittel in der Endreihe zum benachbarten freien Ende des Stützenflanschs, gemessen in der Richtung der Achse des Stützenprofils (siehe Zeile 1 und Zeile 2 in Bild 6.9). **AC**

6.2.6.4.3 Nicht ausgesteifter Stützenflansch und geschweißte Verbindung

(1) Bei einem geschweißten Anschluss ist in der Regel die Tragfähigkeit $F_{\text{fc,Rd}}$ eines nicht ausgesteiften Stützenflansches, der infolge Querkzug- oder Querkdruckbeanspruchung aus dem Trägerflansch auf Biegung belastet wird, wie folgt zu bestimmen:

$$F_{\text{fc,Rd}} = b_{\text{eff,b,fc}} t_{\text{fb}} f_{\gamma,\text{fb}} / \gamma_{\text{M0}} \quad (6.20)$$

Dabei ist

$b_{\text{eff,b,fc}}$ die wirksame Breite b_{eff} , die in 4.10 für die Betrachtung des Trägerflansches als Platte definiert ist.

ANMERKUNG Die Anforderungen in **AC** 4.10 **AC** sind ebenfalls zu beachten.

6.2.6.5 Stirnblech mit Biegebeanspruchung

(1) Die Tragfähigkeit und die Versagensform eines Stirnblechs, das in Verbindung mit Schrauben mit Zugbeanspruchung auf Biegung beansprucht wird, sind mit Hilfe des äquivalenten T-Stummelflansches für folgende Fälle zu ermitteln, siehe 6.2.4:

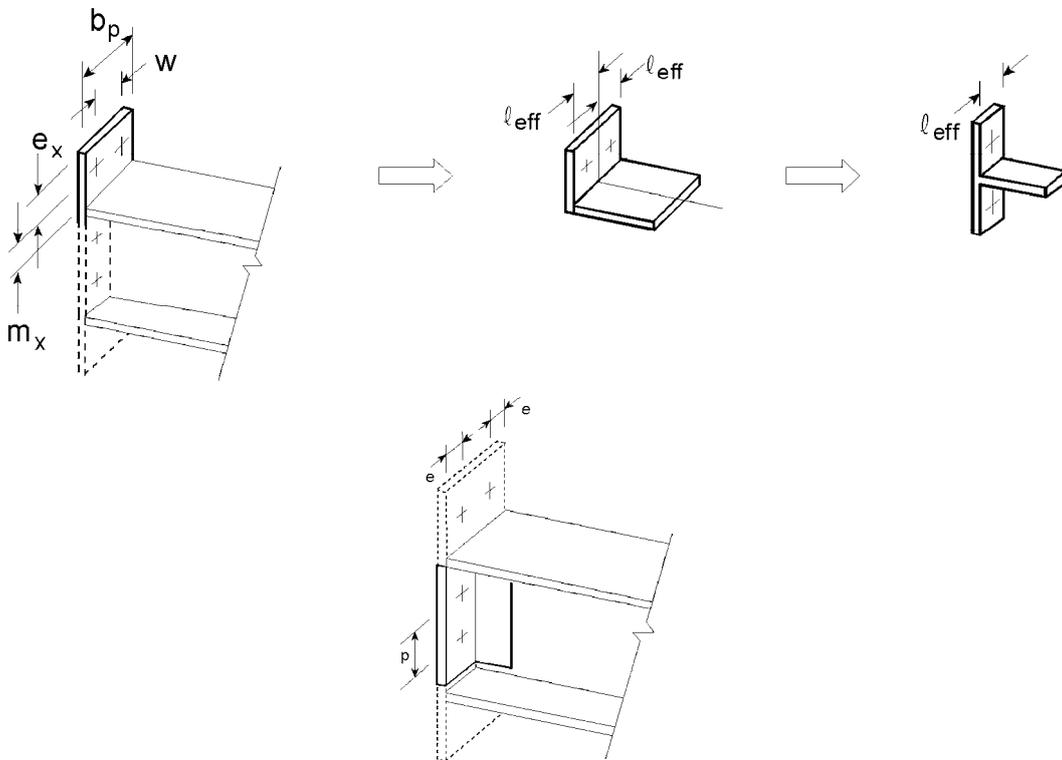
- jede einzelne Schraubenreihe ist für die Übertragung der Zugkräfte erforderlich;
- jede Gruppe von Schraubenreihen ist für die Übertragung der Zugkräfte erforderlich.

(2) Treten Gruppen von Schraubenreihen im Stirnblech auf beiden Seiten einer Steife auf, sind diese in der Regel getrennt mit äquivalenten T-Stummeln zu untersuchen. Dies gilt besonders bei Stirnblechen, bei denen die Schraubenreihe des überstehenden Teils gesondert als äquivalenter T-Stummel anzusetzen ist, siehe Bild 6.10. Die Tragfähigkeit und die Versagensform sind dann für jeden äquivalenten T-Stummel zu bestimmen.

(3) Das Maß e_{\min} für den Teil des Stirnblechs zwischen den Trägerflanschen, siehe 6.2.4, ist Bild 6.8 zu entnehmen. Für den überstehenden Teil des Stirnblechs ist e_{\min} identisch mit e_x , siehe Bild 6.10.

(4) Die wirksame Länge l_{eff} des äquivalenten T-Stummelflansches sollte nach 6.2.4.2 mit den Werten ermittelt werden, die in Tabelle 6.6 für die einzelnen Schraubenreihen angegeben sind.

(5) Die Werte für m und m_x in Tabelle 6.6 sind Bild 6.10 zu entnehmen.



Das überstehende Stirnblech und die Stirnbleche zwischen den Trägerflanschen werden mit zwei verschiedenen äquivalenten T-Stummelflanschen untersucht.

Bei der Berechnung der Tragfähigkeit des äquivalenten T-Stummelflansches für überstehende Stirnbleche sind e_x und m_x anstelle von e und m zu verwenden.

Bild 6.10 — Behandlung von überstehenden Stirnblechen als separate T-Stummelflansche

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 6.6 — Wirksame Längen für Stirnbleche

Lage der Schraubenreihe	Schraubenreihe einzeln betrachtet		Schraubenreihe als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen	
	Kreisförmiges Muster $l_{\text{eff,cp}}$	Nicht kreisförmiges Muster $l_{\text{eff,nc}}$	Kreisförmiges Muster $l_{\text{eff,cp}}$	Nicht kreisförmiges Muster $l_{\text{eff,nc}}$
Äußere Schraubenreihe neben Trägerzugflansch	der kleinste Wert von: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	der kleinste Wert von: $4m_x + 1,25e_x$ $e + 2m_x + 0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	—	—
Innere Schraubenreihe neben Trägerzugflansch	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Andere innere Schraubenreihe	$2\pi m$	$4m + 1,25 e$	$2p$	p
Andere äußere Schraubenreihe	$2\pi m$	$4m + 1,25 e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
Modus 1:	$l_{\text{eff,1}} = l_{\text{eff,nc}}$ jedoch $l_{\text{eff,1}} \leq l_{\text{eff,cp}}$		$\Sigma l_{\text{eff,1}} = \Sigma l_{\text{eff,nc}}$ jedoch $\Sigma l_{\text{eff,1}} \leq \Sigma l_{\text{eff,cp}}$	
Modus 2:	$l_{\text{eff,2}} = l_{\text{eff,nc}}$		$\Sigma l_{\text{eff,2}} = \Sigma l_{\text{eff,nc}}$	
α ist Bild 6.11 zu entnehmen.				

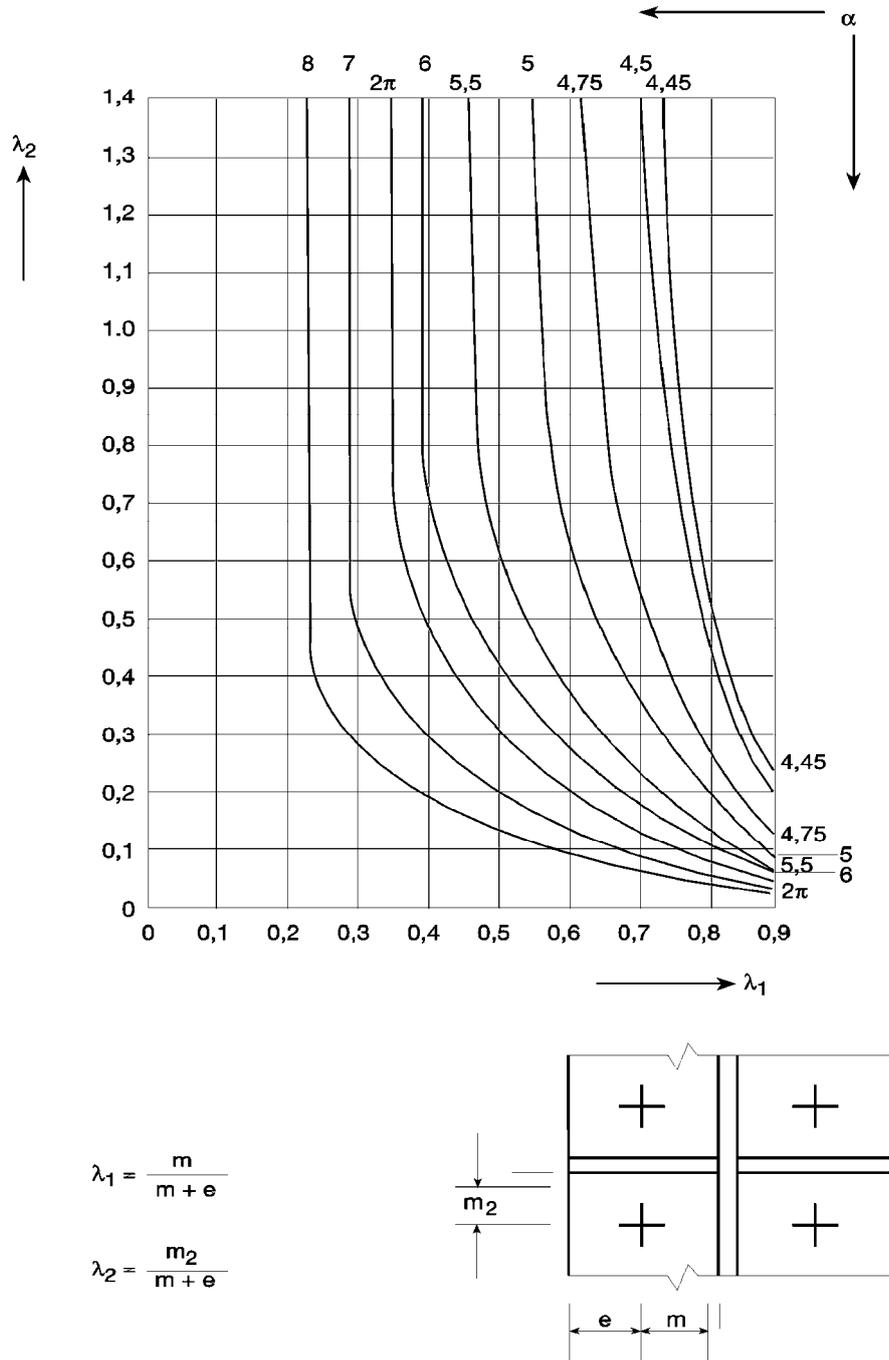


Bild 6.11 — α -Werte für ausgesteifte Stützenflansche und Stirnbleche

6.2.6.6 Flanschwinkel mit Biegebeanspruchung

(1) Die Tragfähigkeit und die Versagensform von Flanschwinkeln, die in Verbindung mit Schrauben mit Zugbeanspruchung auf Biegung beansprucht werden, sind mit Hilfe des äquivalenten T- Stummelflansches zu ermitteln, siehe 6.2.4.

(2) Die wirksame Länge ℓ_{eff} eines äquivalenten T-Stummelflansches ist mit $0,5b_a$ anzusetzen, wobei b_a die Länge des Winkels nach Bild 6.12 ist.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

(3) Die Maße e_{\min} und m , siehe 6.2.4, sind Bild 6.13 zu entnehmen.

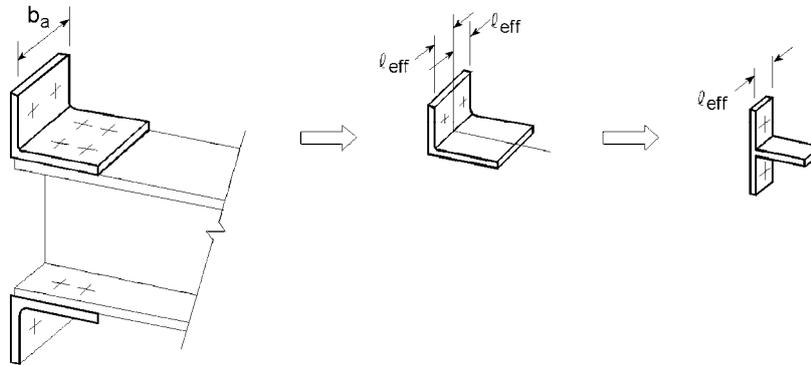
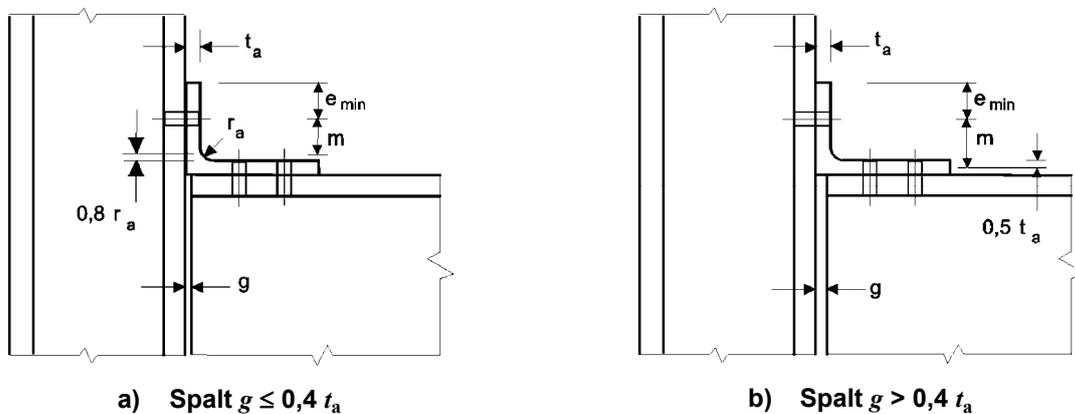


Bild 6.12 — Wirksame Länge l_{eff} von Flanschwindeln



a) Spalt $g \leq 0,4 t_a$

b) Spalt $g > 0,4 t_a$

ANMERKUNG

- Zwischen Winkel und Stützenflansch wird nur eine Schraubenreihe angenommen.
- Zwischen Winkel und Trägerflansch können mehrere Schraubenreihen auftreten.
- Die Länge b_a des Winkels braucht nicht identisch mit der Breite des Stützen- und Trägerflansches sein.

Bild 6.13 — Maße e_{\min} und m für geschraubte Flanschwinkel

6.2.6.7 Trägerflansch und -steg mit Druckbeanspruchung

(1) Die Resultierende des Druckwiderstandes des Trägerflansches und der angrenzenden Druckzone im Trägersteg kann im Druckpunkt nach 6.2.7 angenommen werden. Für die Tragfähigkeit von Trägerflansch und -steg bei Druckbeanspruchung gilt folgende Gleichung:

$$F_{c,fb,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_{fb}) \quad (6.21)$$

Dabei ist

- h die Höhe des angeschlossenen Trägers;
- $M_{c,Rd}$ die Biegetragfähigkeit des Trägerquerschnitts, soweit erforderlich unter Berücksichtigung der Abminderung aus Querkraftinteraktion, siehe EN 1993-1-1. Bei Vouten kann $M_{c,Rd}$ unter Vernachlässigung des zwischenliegenden Flansches berechnet werden;
- t_{fb} die Flanschdicke des angeschlossenen Trägers.

Beträgt die Höhe des Trägers einschließlich Voute mehr als 600 mm, so ist in der Regel der Beitrag des Trägersteges zu der Tragfähigkeit bei Druckbeanspruchung auf 20 % zu begrenzen.

(2) Wird ein Träger durch Vouten verstärkt, gelten die folgenden Voraussetzungen:

- die Stahlgüte der Voute sollte mindestens der Stahlgüte des Trägers entsprechen;
- die Flanschabmessungen und die Stegdicke der Voute sollten nicht kleiner sein als die des Trägers;
- der Winkel zwischen Voutenflansch und Trägerflansch sollte nicht größer sein als 45°;
- die Länge s_s der steifen Auflagerung darf mit der Schnittlänge des Voutenflansches parallel zum Trägerflansch angesetzt werden.

(3) Wird der Träger durch Vouten verstärkt, so ist die Tragfähigkeit des Trägerstegs mit Druck nach 6.2.6.2 zu ermitteln.

6.2.6.8 Trägersteg mit Zugbeanspruchung

(1) Bei einer geschraubten Stirnblechverbindung ist die Tragfähigkeit des Trägerstegs bei Zugbeanspruchung wie folgt zu ermitteln:

$$F_{t,wb,Rd} = b_{\text{eff},t,wb} t_{wb} f_{y,wb} / \gamma_{M0} \quad (6.22)$$

(2) Die effektive Breite $b_{\text{eff},t,wb}$ des Trägerstegs mit Zug ist mit der wirksamen Länge des äquivalenten T-Stummel-Modells für das Stirnblech mit Biegebelastung gleichzusetzen, die nach 6.2.6.5 für eine einzelne Schraubenreihe oder eine Schraubengruppe ermittelt wird.

6.2.6.9 Beton oder Mörtel mit Druckbeanspruchung

(1) Bei der Bestimmung des Bemessungswertes der Beton- oder Mörtelfestigkeit zwischen Fußplatte und Betonfundament sind die Kenngrößen und Abmessungen des Mörtels und des Betons zu berücksichtigen. Das Betonfundament ist nach EN 1992 nachzuweisen.

(2) Der Bemessungswert der Beton- oder Mörtelfestigkeit und der Bemessungswert der Tragfähigkeit $F_{c,pl,Rd}$ der Fußplatte sollte mit Hilfe des äquivalenten T-Stummels nach 6.2.5 ermittelt werden.

6.2.6.10 Fußplatte mit Biegebeanspruchung infolge Druck

(1) Die Tragfähigkeit $F_{c,pl,Rd}$ einer Fußplatte mit Biegebelastung infolge Druck sollte zusammen mit dem Betonfundament, auf dem die Fußplatte angeordnet ist, mit Hilfe des äquivalenten T-Stummels nach 6.2.5 ermittelt werden.

6.2.6.11 Fußplatte mit Biegebeanspruchung infolge Zug

(1) Die Tragfähigkeit $F_{t,pl,Rd}$ und die Versagensform einer Fußplatte mit Biegebelastung infolge Zug aus der Belastung durch Ankerschrauben kann nach den Regeln in 6.2.6.5 bestimmt werden.

(2) Bei Fußplatten brauchen möglicherweise auftretende Abstützkräfte $\boxed{\text{AC}}$ nicht berücksichtigt zu werden bei der Ermittlung der Dicke der Fußplatte. Hebelkräfte sollten bei der Ermittlung der Ankerschrauben berücksichtigt werden. $\boxed{\text{AC}}$

6.2.6.12 Ankerschrauben mit Zugbeanspruchung

(1) Ankerschrauben sind für die Schnittgrößen aus den Bemessungslasten auszulegen. Sie sollten Zugkräfte aus abhebenden Auflagerkräften und Biegemomenten übernehmen.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

(2) Bei der Berechnung der Zugkräfte in den Ankerschrauben infolge Biegung sind die Hebelarme nicht größer anzusetzen als der Abstand zwischen dem Schwerpunkt der Auflagerfläche auf der Druckseite und dem Schwerpunkt der Ankerschraubengruppe auf der Zugseite.

ANMERKUNG Toleranzen in der Lage der Ankerschrauben können Einfluss haben.

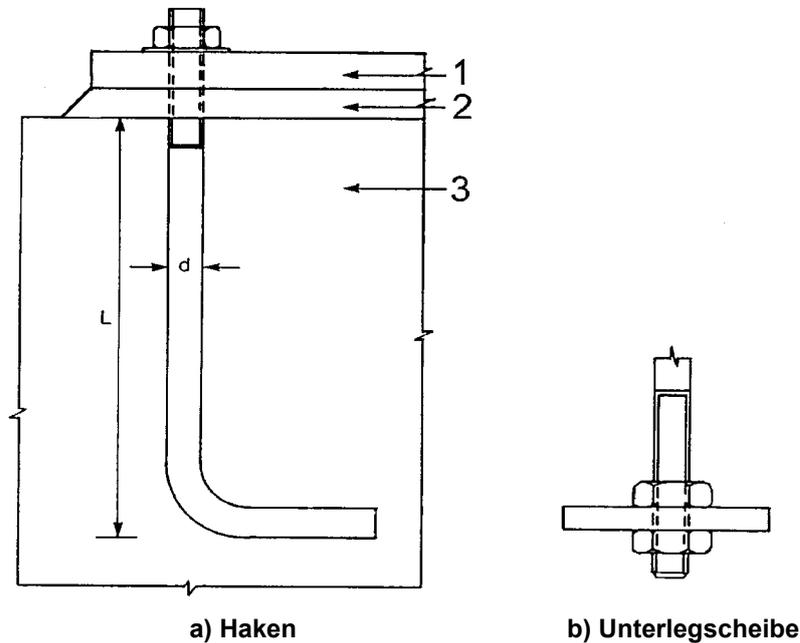
(3) Die Tragfähigkeit der Ankerschrauben ist als kleinster Wert aus der Tragfähigkeit der Ankerschraube nach 3.6 und der Verbundfestigkeit zwischen Beton und Ankerschraube nach EN 1992-1-1 zu bestimmen.

(4) Ankerschrauben können im Fundament wie folgt verankert werden:

- durch Haken, siehe Bild 6.14(a);
- durch Unterlegscheiben, siehe Bild 6.14(b);
- durch andere in den Beton eingelassene Lastverteilungselemente;
- durch andere Verbindungsmittel, die entsprechend getestet und zugelassen sind.

(5) Werden die Schrauben am Ende mit einem Haken versehen, ist die Verankerungslänge so zu wählen, dass Verbundversagen vor dem Fließen der Schraube verhindert wird. Die Verankerungslänge sollte nach EN 1992-1-1 festgelegt werden. Bei dieser Verankerungsform sind Schrauben mit Streckgrenzen f_{yb} größer als 300 N/mm^2 zu vermeiden.

(6) Werden die Ankerschrauben mit Unterlegscheiben oder anderen Lasteinleitungselementen verwendet, braucht die Verbundwirkung nicht berücksichtigt zu werden. Die gesamte Ankerkraft sollte dann von den Lasteinleitungselementen übertragen werden.

**Legende**

- 1 Fußplatte
- 2 Mörtelschicht
- 3 Betonfundament

Bild 6.14 — Befestigung von Ankerschrauben**6.2.7 Biegetragfähigkeit von Träger-Stützenanschlüssen und Stößen****6.2.7.1 Allgemeines**

(1) Für den Bemessungswert des einwirkenden Biegemomentes $M_{j,Ed}$ gilt:

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.23)$$

(2) Die Verfahren in 6.2.7 zur Berechnung der Biegetragfähigkeit $M_{j,Rd}$ eines Anschlusses berücksichtigen keine gleichzeitig wirkenden Normalkräfte N_{Ed} . Sie sollten daher nur verwendet werden, wenn die einwirkende Normalkraft im angeschlossenen Bauteil nicht größer als 5 % der plastischen Beanspruchbarkeit $N_{pl,Rd}$ seines Querschnittes ist.

(3) Überschreitet die einwirkende Normalkraft N_{Ed} in dem angeschlossenen Bauteil 5 % der plastischen Beanspruchbarkeit $N_{pl,Rd}$, kann die folgende konservative Näherung benutzt werden:

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} + \frac{N_{j,Ed}}{N_{j,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.24)$$

Dabei ist

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

$M_{j,Rd}$ die Biegetragfähigkeit des Anschlusses ohne gleichzeitig wirkende Normalkraft;

$N_{j,Rd}$ die Normalkrafttragfähigkeit des Anschlusses ohne gleichzeitig wirkendes Moment.

(4) Die Biegetragfähigkeit eines geschweißten Anschlusses sollte mit den Angaben in Bild 6.15(a) bestimmt werden.

(5) Die Biegetragfähigkeit eines geschraubten Anschlusses mit bündigem Stirnblech und mit nur einer Schraubenreihe mit Zugbeanspruchung (oder nur einer Schraubenreihe, die für Zug in Anspruch genommen wird, siehe 6.2.3(6), sollte nach Bild 6.15(c) bestimmt werden.

(6) Die Biegetragfähigkeit eines geschraubten Anschlusses mit Flanschwinkeln sollte nach Bild 6.15(b) bestimmt werden.

(7) Die Biegetragfähigkeit eines geschraubten Stirnblechanschlusses mit mehr als einer Schraubenreihe, die auf Zug beansprucht wird, wird in der Regel nach 6.2.7.2 bestimmt.

(8) Vereinfachend kann die Biegetragfähigkeit eines Anschlusses mit überstehendem Stirnblech mit nur zwei Schraubenreihen mit Zugbeanspruchung nach Bild 6.16 bestimmt werden, vorausgesetzt, die Beanspruchbarkeit F_{Rd} ist nicht größer als $3,8F_{t,Rd}$, wobei $F_{t,Rd}$ in Tabelle 6.2 angegeben ist. In diesem Fall kann die gesamte Zugzone des Stirnblechs als eine Grundkomponente betrachtet werden. Liegen die beiden Schraubenreihen etwa im gleichen Abstand zum Trägerflansch, kann dieser Teil des Stirnblechs als ein T-Stummel betrachtet werden, um die Kraft $F_{1,Rd}$ der Schraubenreihe zu bestimmen. Der Wert für $F_{2,Rd}$ kann dann mit $F_{1,Rd}$ gleichgesetzt werden, so dass F_{Rd} mit $2F_{1,Rd}$ angenommen werden kann.

(9) Der Druckpunkt sollte im Zentrum des Spannungsblocks infolge der Druckkräfte liegen. Vereinfachend kann der Druckpunkt wie in Bild 6.15 angenommen werden.

(10) Ein Bauteilstoß oder ein Teil davon, der auf Zug beansprucht wird, muss in der Regel für alle am Stoß einwirkenden Momente und Kräfte bemessen werden.

(11) Stöße sind in der Regel so zu konstruieren, dass die verbundenen Bauteile in ihrer Lage gesichert sind. In Kontaktstößen sind in der Regel Reibungskräfte zwischen den Kontaktflächen für die Lagesicherung der verbundenen Bauteile nicht ausreichend.

(12) Die Bauteile sind möglichst so anzuordnen, dass die Schwerpunktachsen der Stoßlaschen mit den Schwerpunktachsen der Bauteile übereinstimmen. Bei Exzentrizitäten sind die daraus resultierenden Kräfte zu berücksichtigen.

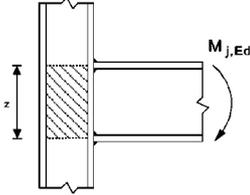
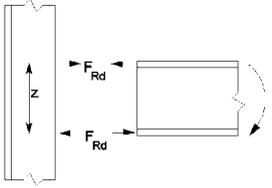
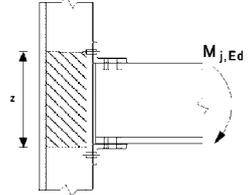
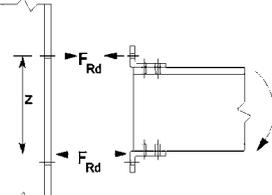
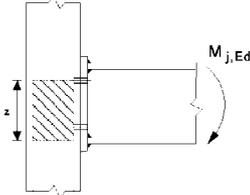
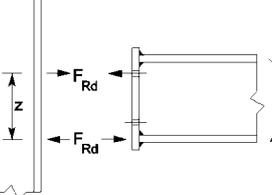
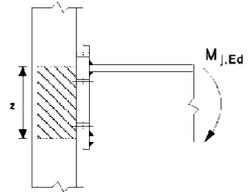
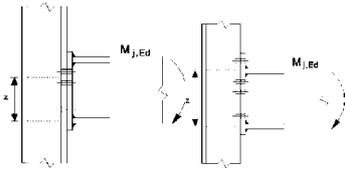
Verbindungsart	Druckpunkt	Hebelarm	Kräfteverteilung
<p>a) Geschweißter Anschluss</p> 	In der Achse der Mittelebene des Druckflansches	$z = h - t_{fb}$ h Höhe des angeschlossenen Trägers t_{fb} Dicke des Trägerflansches	
<p>b) Geschraubter Anschluss mit Flanschwinkeln</p> 	In der Achse der Mittelebene des anliegenden Winkel-Schenkels am Druckflansch	Abstand zwischen dem Druckpunkt und der Schraubenreihe unter Zug	
<p>c) Geschraubter Anschluss mit Stirnblech mit nur einer Schraubenreihe mit Zugbeanspruchung</p> 	In der Achse der Mittelebene des Druckflansches	Abstand zwischen dem Druckpunkt und der Schraubenreihe unter Zug	
<p>d) Geschraubter Anschluss mit überstehendem Stirnblech mit nur zwei Schraubenreihen mit Zugbeanspruchung</p> 	In der Achse der Mittelebene des Druckflansches	Auf der sicheren Seite liegend, Abstand zwischen dem Druckpunkt und dem Schwerpunkt der beiden Schraubenreihen	
<p>e) Andere geschraubte Stirnblechan schlüsse mit zwei oder mehr Schraubenreihen mit Zugbeanspruchung</p> 	In der Achse der Mittelebene des Druckflansches	Als Näherungswert, Abstand zwischen dem Druckpunkt und dem Schwerpunkt der beiden äußersten auf Zug belasteten Schraubenreihen	Ein genauere Wert für den Hebelarm z kann als z_{eq} nach 6.3.3.1 bestimmt werden.

Bild 6.15 — Druckpunkt, Hebelarm z und Kräfteverteilung zur Berechnung der Biegetragfähigkeit $M_{j,Rd}$

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

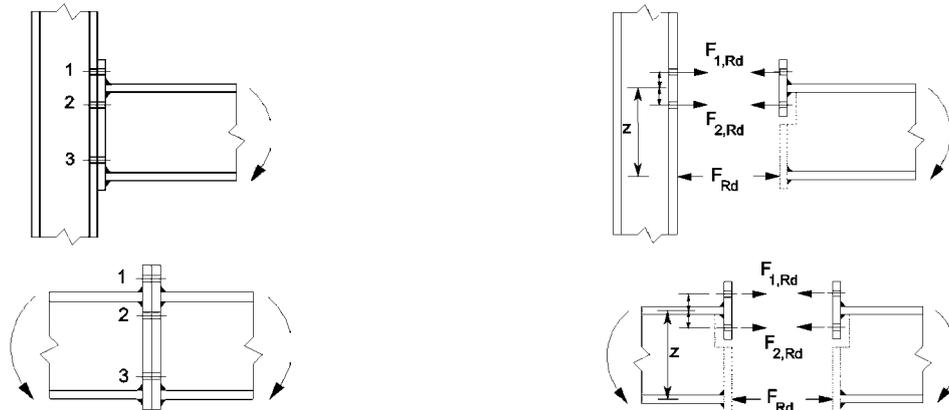


Bild 6.16 — Vereinfachte Berechnung von geschraubten Anschlüssen mit überstehenden Stirnblechen

(13) Wenn für die druckbeanspruchten Bauteile nicht vollständiger Kontakt vorgesehen ist, so sollten Stoßlaschen angeordnet werden, welche die Schnittgrößen am Stoß einschließlich der Momente infolge Exzentrizitäten, Anfangsimperfektionen und Verformungen aus Wirkungen nach Theorie zweiter Ordnung übertragen. Als Mindestmomente am Stoß sollten 25 % der Momenten Tragfähigkeit des schwächeren Querschnitts in beiden Achsen und als Mindestquerkräfte 2,5 % der plastischen Drucktragfähigkeit des schwächeren Querschnitts angesetzt werden.

(14) Wird vollständiger Kontakt der druckbeanspruchten Bauteile vorgesehen, so sind in der Regel die Stoßlaschen für mindestens 25 % der maximalen Druckkraft in der Stütze auszulegen.

(15) Die Ausrichtung druckbelasteter Bauteile sollte durch Decklaschen oder andere Maßnahmen sichergestellt werden. Die Stoßlaschen und deren Verbindungsmittel sollten für Kräfte, die senkrecht zur Bauteilachse nach allen Richtungen auftreten können, ausgelegt sein. Bei der Bemessung von Stößen sind auch die Effekte aus Theorie zweiter Ordnung zu berücksichtigen.

(16) Für Stöße von Biegeträgern gilt Folgendes:

- a) Druckflansche sind wie Druckglieder zu behandeln;
- b) Zugflansche sind wie Zugglieder zu behandeln;
- c) Schubbeanspruchte Teile sind für die gleichzeitige Übertragung folgender Einwirkungen auszulegen:
 - Schubkraft am Stoß,
 - Moment infolge der Exzentrizität der Schwerpunktlage der Gruppe von Verbindungsmitteln an beiden Seiten des Stoßes;
 - Anteil des Biegemoments, der Verformung oder der Rotation des Trägers, der auf die schubbeanspruchten Teile entfällt, unabhängig davon, ob bei der Bemessung des Trägers Spannungsumlagerungen in andere Teile des Trägers vorgenommen wurden oder nicht.

6.2.7.2 Träger-Stützenanschlüsse mit geschraubten Stirnblechverbindungen

(1) Die Biegetragfähigkeit $M_{j,Rd}$ eines Träger-Stützenanschlusses mit einer geschraubten Stirnblechverbindung darf wie folgt bestimmt werden:

$$M_{j,Rd} = \sum_r h_r F_{tr,Rd} \quad (6.25)$$

Dabei ist

- $F_{tr,Rd}$ die wirksame Tragfähigkeit der Schraubenreihe r auf Zug;
 h_r der Abstand der Schraubenreihe r vom Druckpunkt;
 r die Nummer der Schraubenreihe.

ANMERKUNG Bei einer geschraubten Anschluss mit mehr als einer Schraubenreihe mit Zugbeanspruchung erfolgt die Nummerierung der Schraubenreihen ausgehend von der Schraubenreihe, die am weitesten entfernt vom Druckpunkt liegt.

(2) Bei geschraubten Stirnblechverbindungen sollte der Druckpunkt in der Mittelachse des Druckflansches des angeschlossenen Bauteiles angenommen werden.

(3) Die Bestimmung der wirksamen Tragfähigkeit $F_{tr,Rd}$ der einzelnen Schraubenreihen sollte Schritt für Schritt erfolgen, angefangen mit Schraubenreihe 1 (der Schraubenreihe, die am weitesten vom Druckpunkt entfernt ist), dann Schraubenreihe 2 usw.

(4) Bei der Bestimmung von der wirksamen Tragfähigkeit $F_{tr,Rd}$ der Schraubenreihe r sollten alle anderen Schraubenreihen, die näher zum Druckpunkt liegen, unberücksichtigt bleiben.

(5) Die wirksame Tragfähigkeit $F_{tr,Rd}$ der Schraubenreihe r sollte aus der Tragfähigkeit $F_{t,Rd}$ einer einzelnen Schraubenreihe nach 6.2.7.2(6) bestimmt werden, wobei erforderlichenfalls noch Reduktionen nach 6.2.7.2(7), 6.2.7.2(8) und 6.2.7.2(9) vorzunehmen sind.

(6) Die wirksame Tragfähigkeit $F_{tr,Rd}$ der Schraubenreihe r , die als Tragfähigkeit einzelner Schraubenreihen bestimmt wird, ist als Minimum der Tragfähigkeiten einzelner Schraubenreihen für folgende Grundkomponenten zu berechnen:

- Stützensteg mit Zugbeanspruchung $F_{t,wc,Rd}$, siehe 6.2.6.3;
- Stützenflansch mit Biegebeanspruchung $F_{t,fc,Rd}$, siehe 6.2.6.4;
- Stirnblech mit Biegebeanspruchung $F_{t,ep,Rd}$, siehe 6.2.6.5;
- Trägersteg mit Zugbeanspruchung $F_{t,wb,Rd}$, siehe 6.2.6.8.

(7) Die AC gestrichener Text AC ermittelte wirksame Tragfähigkeit $F_{tr,Rd}$ der Schraubenreihe r ist gegebenenfalls weiterhin zu reduzieren, damit für die gesamte Tragfähigkeit $F_{t,Rd}$ bei Berücksichtigung aller Schraubenreihen einschließlich der Schraubenreihe r folgende Bedingungen erfüllt sind:

- $\Sigma F_{t,Rd} \leq V_{wp,Rd}/\beta$ mit β nach 5.3 (7), siehe 6.2.6.1;
- $\Sigma F_{t,Rd}$ ist nicht größer als der kleinste der folgenden Werte:
 - die Tragfähigkeit des Stützensteges für Druckbelastung $F_{c,wc,Rd}$, siehe 6.2.6.2;
 - die Tragfähigkeit des Trägerflansches und -steges für Druckbelastung $F_{c,fb,Rd}$, siehe 6.2.6.7.

(8) Die AC gestrichener Text AC ermittelte wirksame Tragfähigkeit $F_{tr,Rd}$ der Schraubenreihe r ist gegebenenfalls weiterhin zu reduzieren, damit die Summe der Tragfähigkeiten aller Schraubenreihen einschließlich der Schraubenreihe r , die Teil einer Gruppe von Schraubenreihen sind, nicht die Tragfähigkeit dieser Gruppe als Ganzes überschreitet. Dies ist für folgende Grundkomponenten zu überprüfen:

- Stützensteg mit Zugbeanspruchung $F_{t,wc,Rd}$, siehe 6.2.6.3;

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

- Stützenflansch mit Biegebeanspruchung $F_{t,fc,Rd}$, siehe 6.2.6.4;
- Stirnblech mit Biegebeanspruchung $F_{t,ep,Rd}$, siehe 6.2.6.5;
- Trägersteg mit Zugbeanspruchung $F_{t,wb,Rd}$, siehe 6.2.6.8.

(9) Wird die wirksame Tragfähigkeit $F_{t,x,Rd}$ einer der zuerst berechneten Schraubenreihen x größer als $1,9 F_{t,Rd}$, dann ist die wirksame Tragfähigkeit $F_{t,r,Rd}$ für die Schraubenreihe r zu reduzieren, um folgender Bedingung zu genügen:

$$F_{t,r,Rd} \leq F_{t,x,Rd} h_r/h_x \quad (6.26)$$

Dabei ist

h_x der Abstand der Schraubenreihe x zum Druckpunkt;

x die Schraubenreihe, die am weitesten vom Druckpunkt entfernt liegt und deren Beanspruchbarkeit größer als $1,9 F_{t,Rd}$ ist.

ANMERKUNG Im Nationalen Anhang können weitere Hinweise zur Anwendung der Gleichung (6.26) enthalten sein.

(10) Das Verfahren in 6.2.7.2(1) bis 6.2.7.2(9) kann auch für die Berechnung eines geschraubten Trägerstoßes mit angeschweißten Stirnblechen, siehe Bild 6.17, verwendet werden, wenn die Komponenten, welche die Stütze betreffen, außer Betracht gelassen werden.

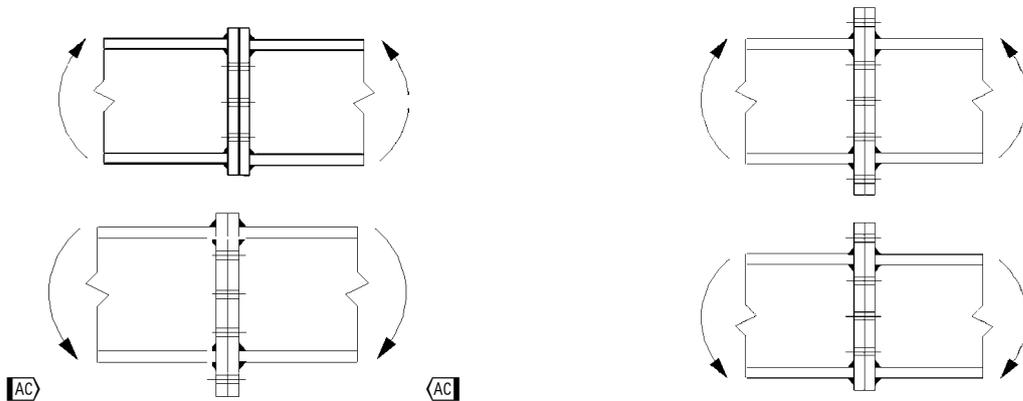


Bild 6.17 — Geschraubte Trägerstöße mit geschweißten Stirnblechen

6.2.8 Tragfähigkeit von Stützenfüßen mit Fußplatten

6.2.8.1 Allgemeines

(1) Stützenfüße sind in der Regel mit ausreichender Größe, Steifigkeit und Festigkeit auszuführen, um die Schnittkräfte aus den Stützen in die Fundamente oder andere Lager ohne Überschreitung der Beanspruchbarkeiten zu übertragen.

(2) Die Tragfähigkeit der Fußplatte auf dem Auflager kann mit der Annahme einer gleichmäßigen Druckverteilung über die Druckfläche ermittelt werden. Bei Betonfundamenten sollte die Lagerpressung nicht die Beton- oder Mörtelfestigkeit f_{jd} nach 6.2.5(7) überschreiten.

(3) Bei Stützenfüßen mit kombinierter Beanspruchung aus einwirkender Normalkraft und Biegemoment kann in Abhängigkeit von der relativen Größe von Normalkraft und Biegemoment die folgende Verteilung der Kräfte zwischen Fußplatte und dem Fundament angenommen werden:

- Bei vorherrschender Druckkraft kann unter beiden Stützenflanschen voller Anpressdruck auftreten, siehe Bild 6.18(a).
 - Bei vorherrschender Zugkraft kann an beiden Stützenflanschen volle Zugspannung auftreten, siehe Bild 6.18(b).
 - Bei vorherrschendem Biegemoment kann unter dem einen Stützenflansch Druck und an dem anderen Zug auftreten, siehe Bild 6.18(c) und Bild 6.18(d).
- (4) Die Bemessung von Fußplatten ist in der Regel nach 6.2.8.2 und 6.2.8.3 durchzuführen.
- (5) Für die Aufnahme der Schubkräfte zwischen Fußplatte und Fundament sollte eine der folgenden Möglichkeiten verwendet werden:
- AC Reibungswiderstand zwischen Fußplatte und Fundament zusammen mit der Schubtragfähigkeit der Ankerschrauben; AC
 - Schubtragfähigkeit der das Fundament umgebenden Teile.

Wenn zur Aufnahme der Schubkräfte zwischen Fußplatte und Fundament Ankerschrauben verwendet werden, sollte auch die lokale Lochleibungsfestigkeit des Betons nach EN 1992 untersucht werden.

Sind die vorgenannten Möglichkeiten nicht ausreichend, so sollten zur Kraftübertragung der Schubkräfte zwischen Fußplatte und Fundament spezielle Dübel verwendet werden, z. B. Blockanker oder Bolzendübel.

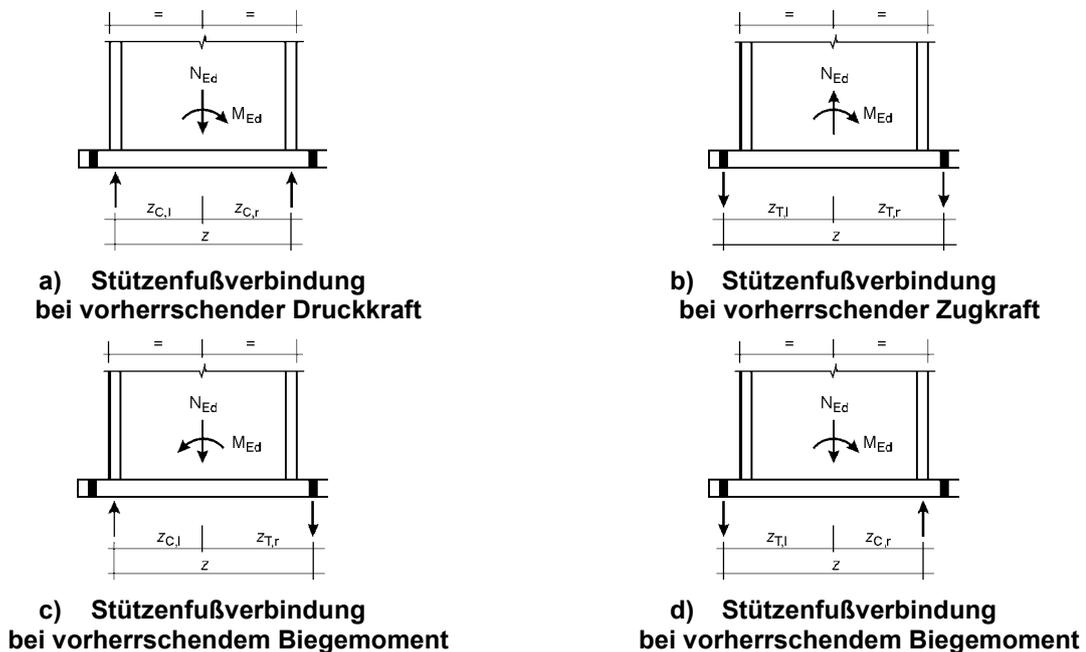
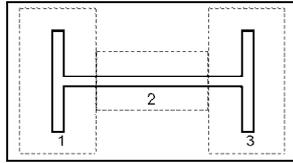


Bild 6.18 — Bestimmung des Hebelarms z bei Stützenfußverbindungen

6.2.8.2 Stützenfußverbindung unter reiner Normalkraftbeanspruchung

(1) Die Tragfähigkeit $N_{j,Rd}$ einer symmetrischen Stützenfußplatte unter zentrisch einwirkender Druckkraft kann durch Addition der Einzeltragfähigkeiten $F_{C,Rd}$ der drei T-Stummel nach Bild 6.19 bestimmt werden (zwei T-Stummel unter den Stützenflanschen und ein T-Stummel unter dem Stützensteg). Die drei T-Stummel dürfen nicht überlappen, siehe Bild 6.19. Die Einzeltragfähigkeiten der jeweiligen T-Stummel sind nach 6.2.5 zu berechnen.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)



Legende

- 1 T-Stummel 1
- 2 T-Stummel 2
- 3 T-Stummel 3

Bild 6.19 — Nicht überlappende T-Stummel

6.2.8.3 Stützenfußverbindung mit Normalkraft- und Biegebeanspruchung

(1) Die Biegetragfähigkeit $M_{j,Rd}$ eines Stützenfußes für eine kombinierte Beanspruchung aus Normalkraft und Biegemoment sollte nach Tabelle 6.7 ermittelt werden. Bei der Ermittlung der Tragfähigkeit wird der Anteil des Betondrucks unmittelbar unter dem Stützensteg (T-Stummel 2 in Bild 6.19) vernachlässigt. Bei dem Verfahren werden folgende Parameter benutzt:

- $F_{T,l,Rd}$ Tragfähigkeit auf Zug auf der linken Seite der Verbindung, siehe 6.2.8.3(2);
- $F_{T,r,Rd}$ Tragfähigkeit auf Zug auf der rechten Seite der Verbindung, siehe 6.2.8.3(3);
- $F_{C,l,Rd}$ Tragfähigkeit auf Druck auf der linken Seite der Verbindung, siehe 6.2.8.3(4);
- $F_{C,r,Rd}$ Tragfähigkeit auf Druck auf der rechten Seite der Verbindung, siehe 6.2.8.3(5);

(2) Als Tragfähigkeit $F_{T,l,Rd}$ auf Zug auf der linken Seite der Verbindung sollte der kleinste Wert folgender Tragfähigkeiten der Grundkomponenten angesetzt werden:

- Stützensteg mit Zugbeanspruchung unter dem linken Stützenflansch $F_{t,wc,Rd}$, siehe 6.2.6.3;
- Fußplatte mit Biegebeanspruchung unter dem linken Stützenflansch $F_{t,pl,Rd}$, siehe 6.2.6.11.

(3) Als Tragfähigkeit $F_{T,r,Rd}$ auf Zug auf der rechten Seite der Verbindung sollte der kleinste Wert folgender Tragfähigkeiten der Grundkomponenten angesetzt werden:

- Stützensteg mit Zugbeanspruchung unter dem rechten Stützenflansch $F_{t,wc,Rd}$, siehe 6.2.6.3;
- Fußplatte mit Biegebeanspruchung unter dem rechten Stützenflansch $F_{t,pl,Rd}$, siehe 6.2.6.11.

(4) Als Tragfähigkeit $F_{C,l,Rd}$ auf Druck auf der linken Seite der Verbindung sollte der kleinste Wert folgender Tragfähigkeiten der Grundkomponenten angesetzt werden:

- Beton mit Druckbeanspruchung unter dem linken Stützenflansch $F_{c,pl,Rd}$, siehe 6.2.6.9;
- Linker Stützenflansch und Stützensteg mit Druckbeanspruchung $F_{c,fc,Rd}$, siehe 6.2.6.7.

(5) Als Tragfähigkeit $F_{C,r,Rd}$ auf Druck auf der rechten Seite der Verbindung sollte der kleinste Wert folgender Tragfähigkeiten der Grundkomponenten angesetzt werden:

- Beton mit Druckbeanspruchung unter dem rechten Stützenflansch $F_{c,pl,Rd}$, siehe 6.2.6.9;

— Rechter Stützenflansch und Stützensteg mit Druckbeanspruchung $F_{c,fc,Rd}$, siehe 6.2.6.7.

(6) Zur Berechnung von $z_{T,l}$, $z_{C,l}$, $z_{T,r}$, $z_{C,r}$ siehe 6.2.8.1.

Tabelle 6.7 — Biegetragfähigkeit $M_{j,Rd}$ von Stützenfüßen

Belastung	Hebelarm z	Biegetragfähigkeit $M_{j,Rd}$	
Linke Seite mit Zugbeanspruchung Rechte Seite mit Druckbeanspruchung	$z = z_{T,l} + z_{C,r}$	$N_{Ed} > 0$ und $e > z_{T,l}$	$N_{Ed} \leq 0$ und $e \leq -z_{C,r}$
		kleinster Wert von $\frac{F_{T,l,Rd} z}{z_{C,r}/e+1}$ und $\frac{-F_{C,r,Rd} z}{z_{T,l}/e-1}$	
Linke Seite mit Zugbeanspruchung Rechte Seite mit Zugbeanspruchung	$z = z_{T,l} + z_{T,r}$	$N_{Ed} > 0$ und $0 < e < z_{T,l}$	$N_{Ed} > 0$ und $-z_{T,r} < e \leq 0$
		kleinster Wert von $\frac{F_{T,l,Rd} z}{z_{T,r}/e+1}$ und $\frac{F_{T,r,Rd} z}{z_{T,l}/e-1}$	kleinster Wert von $\frac{F_{T,l,Rd} z}{z_{T,r}/e+1}$ und $\frac{F_{T,l,Rd} z}{z_{T,l}/e-1}$
Linke Seite mit Druckbeanspruchung Rechte Seite mit Zugbeanspruchung	$z = z_{C,l} + z_{T,r}$	$N_{Ed} > 0$ und $e \leq -z_{T,r}$	$N_{Ed} \leq 0$ und $e > z_{C,l}$
		kleinster Wert von $\frac{-F_{C,l,Rd} z}{z_{T,r}/e+1}$ und $\frac{F_{T,r,Rd} z}{z_{C,l}/e-1}$	
Linke Seite mit Druckbeanspruchung Rechte Seite mit Druckbeanspruchung	$z = z_{C,l} + z_{C,r}$	$N_{Ed} \leq 0$ und $0 < e < z_{C,l}$	$N_{Ed} \leq 0$ und $-z_{C,r} < e \leq 0$
		kleinster Wert von $\frac{-F_{C,l,Rd} z}{z_{C,r}/e+1}$ und $\frac{-F_{C,r,Rd} z}{z_{C,l}/e-1}$	kleinster Wert von $\frac{-F_{C,l,Rd} z}{z_{C,r}/e+1}$ und $\frac{-F_{C,r,Rd} z}{z_{C,l}/e-1}$
Positive Momente $M_{Ed} > 0$ im Uhrzeigersinn, positive Kräfte $N_{Ed} > 0$: Zug			
$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{M_{Rd}}{N_{Rd}}$			

6.3 Rotationssteifigkeit

6.3.1 Grundmodell

(1) Die Rotationssteifigkeit eines Anschlusses ist in der Regel anhand der Verformbarkeiten der einzelnen Grundkomponenten, welche jeweils mit ihren elastischen Steifigkeitskoeffizienten k_i nach 6.3.2 gekennzeichnet werden, zu berechnen.

ANMERKUNG Die elastischen Steifigkeitskoeffizienten gelten allgemein.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

(2) Bei geschraubten Stirnblechanschlüssen mit zwei oder mehr auf Zug belasteten Schraubenreihen sollten die Steifigkeitskoeffizienten k_i der jeweiligen Grundkomponenten zusammengefasst werden. Für Träger-Stützenanschlüsse und Trägerstöße wird ein Verfahren in 6.3.3 und für Stützenfüße in 6.3.4 angegeben.

(3) Bei einer geschraubten Stirnblechanschlüssen mit zwei oder mehr auf Zug belasteten Schraubenreihen können vereinfachend Schraubenreihen vernachlässigt werden, wenn alle anderen Schraubenreihen, die näher zum Druckpunkt liegen, ebenfalls vernachlässigt werden. Die Anzahl der verbleibenden Schraubenreihen muss nicht gleich der Anzahl Schraubenreihen sein, die zur Berechnung der Biegetragfähigkeit verwendet wird.

(4) Wenn die Normalkraft N_{Ed} im angeschlossenen Träger nicht mehr als 5 % der plastischen Beanspruchbarkeit $N_{pl,Rd}$ des Querschnitts beträgt, kann die Rotationssteifigkeit S_j eines Träger-Stützenanschlusses oder Trägerstoßes ausreichend genau für ein Moment $M_{j,Ed}$, das kleiner als die Biegetragfähigkeit $M_{j,Rd}$ des Anschlusses ist, nach folgender Gleichung bestimmt werden:

$$S_j = \frac{Ez^2}{\mu \sum_i \frac{1}{k_i}} \quad (6.27)$$

Dabei ist

k_i der Steifigkeitskoeffizient für die Grundkomponente i ;

z der Hebelarm, siehe 6.2.7;

μ das Steifigkeitsverhältnis $S_{j,ini}/S_j$, siehe 6.3.1(6).

ANMERKUNG Die Gleichung (6.27) stellt für $\mu = 1,0$ die Anfangsrotationssteifigkeit $S_{j,ini}$ des Anschlusses dar.

(5) Die Rotationssteifigkeit S_j eines Stützenfußes kann ausreichend genau nach 6.3.4 für ein Moment $M_{j,Ed}$, das kleiner als die Biegetragfähigkeit $M_{j,Rd}$ des Anschlusses ist, bestimmt werden.

(6) Das Steifigkeitsverhältnis μ ist in der Regel wie folgt zu bestimmen:

— wenn $M_{j,Ed} \leq 2/3 M_{j,Rd}$:

$$\mu = 1 \quad (6.28a)$$

— wenn $2/3 M_{j,Rd} < M_{j,Ed} \leq M_{j,Rd}$:

$$\mu = (1,5M_{j,Ed} / M_{j,Rd})^\Psi \quad (6.28b)$$

Dabei kann der Beiwert ψ nach Tabelle 6.8 bestimmt werden.

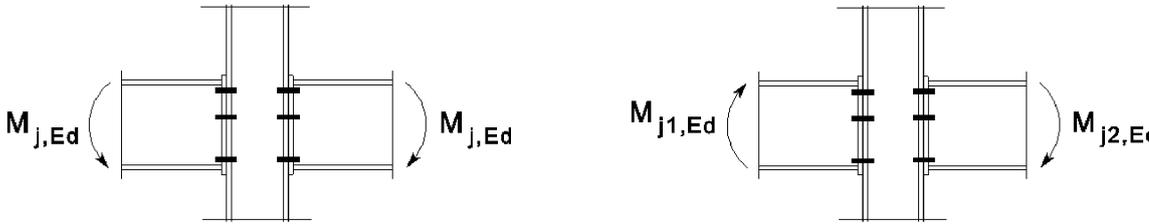
Tabelle 6.8 — Werte für den Beiwert ψ

Typ der Verbindung	ψ
Geschweißt	2,7
Geschraubtes Stirnblech	2,7
Geschraubte Flanschwinkel	3,1
Fußplattenverbindungen	2,7

(7) Die bei der Berechnung der Steifigkeiten von geschweißten Träger-Stützenanschlüssen und bei Anschlüssen mit geschraubten Flanschwinkeln zu berücksichtigenden Grundkomponenten sind in Tabelle 6.9 angegeben. Die Grundkomponenten von geschraubten Stirnblechverbindungen und von Fußplatten sind der Tabelle 6.10 zu entnehmen. Die in diesen beiden Tabellen genannten Steifigkeitskoeffizienten k_i der Grundkomponenten sind in Tabelle 6.11 angegeben.

(8) Bei Träger-Stützenanschlüssen mit Stirnblechen sollte die Anschlusssteifigkeit wie folgt bestimmt werden: Der äquivalente Steifigkeitskoeffizient k_{eq} und der äquivalente Hebelarm z_{eq} des Anschlusses ist nach 6.3.3 zu ermitteln. Die Steifigkeit des Anschlusses sollte dann mit den Steifigkeitskoeffizienten k_{eq} (für die Verbindung) und k_1 (für den Stützensteg mit Schubbeanspruchung) und mit dem Hebelarm $z = z_{eq}$ (gleich dem äquivalenten Hebelarm des Anschlusses) nach 6.3.1(4) berechnet werden.

Tabelle 6.9 — Anschlüsse mit geschweißten Verbindungen oder geschraubten Flanschwinkelverbindungen

Träger-Stützenanschluss mit geschweißten Verbindungen	Zu berücksichtigende Steifigkeitskoeffizienten k_i
Einseitig	$k_1; k_2; k_3$
Zweiseitig — Momente gleich und gegenläufig	$k_2; k_3$
Zweiseitig — Momente verschieden	$k_1; k_2; k_3$
Träger-Stützenanschluss mit geschraubten Flanschwinkelverbindungen	Zu berücksichtigende Steifigkeitskoeffizienten k_i
Einseitig	$k_1; k_2; k_3; k_4; k_6; k_{10}; k_{11}^a; k_{12}^b$
Zweiseitig — Momente gleich und gegenläufig	$k_2; k_3; k_4; k_6; k_{10}; k_{11}^a; k_{12}^b$
Zweiseitig — Momente verschieden	$k_1; k_2; k_3; k_4; k_6; k_{10}; k_{11}^a; k_{12}^b$
	
<p>^a Zwei Koeffizienten k_{11}, jeweils für jeden Flansch;</p> <p>^b Vier Koeffizienten k_{12}, jeweils für jeden Flansch und für jeden Winkel</p>	

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 6.10 — Anschlüsse mit geschraubten Stirnblechverbindungen und Fußplattenverbindungen

Träger-Stützenanschluss mit geschraubten Stirnblechverbindungen	Anzahl der Schraubenreihen mit Zugbeanspruchung	Zu berücksichtigende Steifigkeitskoeffizienten k_i
Einseitig	Eine	$k_1; k_2; k_3; k_4; k_5; k_{10}$
	Zwei oder mehr	$k_1; k_2; k_{eq}$
Zweiseitig — Momente gleich und gegenläufig	Eine	$k_2; k_3; k_4; k_5; k_{10}$
	Zwei oder mehr	$k_2; k_{eq}$
Zweiseitig — Momente verschieden	Eine	$k_1; k_2; k_3; k_4; k_5; k_{10}$
	Zwei oder mehr	$k_1; k_2; k_{eq}$
Träger-Stoß mit geschraubten Stirnblechverbindungen		
Zweiseitig — Momente gleich und gegenläufig	Eine	k_5 [links]; k_5 [rechts]; k_{10}
	Zwei oder mehr	k_{eq}
Fußplattenverbindungen		
Fußplattenverbindungen	Eine	$k_{13}; k_{15}; k_{16}$
	Zwei oder mehr	$k_{13}; k_{15}$ und k_{16} für jede Schraubenreihe

6.3.2 Steifigkeitskoeffizienten für die Grundkomponenten eines Anschlusses

(1) Die Steifigkeitskoeffizienten für die Grundkomponenten eines Anschlusses sind Tabelle 6.11 zu entnehmen.

Tabelle 6.11 — Steifigkeitskoeffizienten für Grundkomponenten

Komponente	Steifigkeitskoeffizient k_i	
Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung	Nicht ausgesteift, einseitiger Anschluss, oder zweiseitiger Anschluss mit etwa gleich hohen Trägern	Ausgesteift
	$k_1 = \frac{0,38 A_{vc}}{\beta z}$	$k_1 = \infty$
	z Hebelarm nach Bild 6.15; β Übertragungsparameter nach 5.3 (7).	
Stützensteg mit Querdruckbeanspruchung	Nicht ausgesteift	Ausgesteift
	$k_2 = \frac{0,7 b_{\text{eff,c,wc}} t_{\text{wc}}}{d_c}$	$k_2 = \infty$
	$b_{\text{eff,c,wc}}$ effektive Breite des Stützenstegs bei Druckbeanspruchung nach 6.2.6.2.	
Stützensteg mit Querzugbeanspruchung	Ausgesteifte oder nicht ausgesteifte geschraubte Verbindung mit einer Schraubenreihe mit Zug oder nicht ausgesteifte geschweißte Verbindung	Ausgesteifte geschweißte Verbindung
	$k_3 = \frac{0,7 b_{\text{eff,t,wc}} t_{\text{wc}}}{d_c}$	$k_3 = \infty$
	$b_{\text{eff,t,wc}}$ effektive Breite des Stützensteges mit Zugbeanspruchung nach 6.2.6.3. Für einen Anschluss mit einer Schraubenreihe mit Zug sollte $b_{\text{eff,t,wc}}$ der kleinsten der wirksamen Länge ℓ_{eff} (einzeln oder als Teil einer Schraubenreihengruppe) entsprechen, die sich für diese Schraubenreihe nach Tabelle 6.4 (für einen nicht ausgesteiften Stützenflansch) oder Tabelle 6.5 (für einen ausgesteiften Stützenflansch) ergeben.	
Stützenflansch mit Biegebeanspruchung (für eine Schraubenreihe mit Zug)	$k_4 = \frac{0,9 \ell_{\text{eff}} t_{\text{fc}}^3}{m^3}$	
	ℓ_{eff} kleinste der wirksamen Längen (einzeln oder als Teil einer Schraubenreihengruppe), die sich für diese Schraubenreihe nach Tabelle 6.4 (für einen nicht ausgesteiften Stützenflansch) oder Tabelle 6.5 (für einen ausgesteiften Stützenflansch) ergeben;	
	m wie in Bild 6.8 definiert.	
Stirnblech mit Biegebeanspruchung (für eine Schraubenreihe mit Zug)	$k_5 = \frac{0,9 \ell_{\text{eff}} t_p^3}{m^3}$	
	ℓ_{eff} kleinste der wirksamen Längen (einzeln oder als Teil einer Schraubenreihengruppe), die sich für diese Schraubenreihe nach Tabelle 6.6 ergeben;	
	m wie allgemein in Bild 6.11 definiert, jedoch gilt für eine Schraubenreihe im überstehenden Teil eines Stirnblechs $m = m_x$, wobei m_x in Bild 6.10 definiert ist.	

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 6.11 (fortgesetzt)

Komponente	Steifigkeitskoeffizient k_i	
Flanschwinkel mit Biegebeanspruchung	$k_6 = \frac{0,9 \ell_{\text{eff}} t_a^3}{m^3}$ ℓ_{eff} wirksame Länge des Flanschwinkels nach Bild 6.12; m wie in Bild 6.13 definiert.	
Schrauben mit Zugbeanspruchung (für eine Schraubenreihe)	$k_{10} = 1,6 A_s / L_b$ Vorgespannt oder nicht vorgespannt L_b Dehnlänge der Schraube, die sich aus der gesamten Klemmlänge (Gesamtdicke des Materials und der Unterlegscheiben) plus der halben Kopfhöhe und der halben Mutternhöhe ergibt.	
Schrauben mit Abscherbeanspruchung	Nicht vorgespannt	Vorgespannt ^a
	$k_{11} \text{ (oder } k_{17}) = \frac{16 n_b d^2 f_{ub}}{E d_{M16}}$	$k_{11} = \infty$
	d_{M16} Nenndurchmesser einer Schraube M16; n_b Anzahl der Schraubenreihen mit Schub.	
Schrauben mit Lochleibungsbeanspruchung (für jede Komponente j, an der die Schrauben mit Lochleibung wirken)	Nicht vorgespannt	Vorgespannt ^a
	$k_{12} \text{ (oder } k_{18}) = \frac{24 n_b k_b k_t d f_u}{E}$	$k_{12} = \infty$
	$k_b = k_{b1}$ jedoeh $k_b \leq k_{b2}$ $k_{b1} = 0,25 e_b / d + 0,5$ jedoeh $k_{b1} \leq 1,25$ $k_{b2} = 0,25 p_b / d + 0,375$ jedoeh $k_{b2} \leq 1,25$ $k_t = 1,5 t_j / d_{M16}$ jedoeh $k_t \leq 2,5$	
Beton mit Druckbeanspruchung (einschließlich Mörtel)	$k_{13} = \frac{E_c \sqrt{b_{\text{eff}} l_{\text{eff}}}}{1,275 E}$	
	b_{eff} wirksame Breite des T-Stummelflansches, siehe 6.2.5(3); l_{eff} wirksame Länge des T-Stummelflansches, siehe 6.2.5(3).	
Blech mit Biegebeanspruchung infolge Druck	$k_{14} = \infty$ Dieser Koeffizient wird bereits bei der Berechnung des Steifigkeitskoeffizienten k_{13} berücksichtigt.	
Fußplatte mit Biegebeanspruchung infolge Zug (für eine Schraubenreihe mit Zug)	Mit Abstützkräften ^b	Ohne Abstützkräfte ^b
	$k_{15} = \frac{0,85 \ell_{\text{eff}} t_p^3}{m^3}$	$k_{15} = \frac{0,425 \ell_{\text{eff}} t_p^3}{m^3}$
	ℓ_{eff} wirksame Länge des T-Stummelflansches, siehe 6.2.5(3); t_p Dicke der Fußplatte; m Abstand nach Bild 6.8.	

Tabelle 6.11 (fortgesetzt)

Komponente	Steifigkeitskoeffizient k_i	
	Mit Abstützkräften ^b	Ohne Abstützkräfte ^b
Ankerschrauben mit Zugbeanspruchung	$k_{16} = 1,6A_s/L_b$	$k_{16} = 2,0A_s/L_b$
	L_b Dehnlänge der Ankerschraube, die sich aus der Summe aus dem 8fachen Schraubendurchmesser, den Dicken der Mörtelschicht, der Fußplatte, der Unterlegscheiben und der halben Mutterhöhe ergibt.	
ANMERKUNG 1	Bei der Berechnung von b_{eff} und l_{eff} entspricht der Abstand c der 1,25fachen Fußplattendicke.	
ANMERKUNG 2	Verstärkungsbleche an den Stützenflanschen haben keinen Einfluss auf die Rotationssteifigkeit S_j des Anschlusses.	
ANMERKUNG 3	Für Schweißnähte (k_{19}) darf unendlich große Steifigkeit angenommen werden. Diese Komponente braucht daher bei der Berechnung der Rotationssteifigkeit S_j nicht berücksichtigt zu werden.	
ANMERKUNG 4	Für einen Trägerflansch und -steg mit Druck (k_7), einen Trägersteg mit Zug (k_8), Bleche mit Zug oder Druck (k_9) oder für Vouten (k_{20}) darf der Steifigkeitskoeffizient als unendlich groß angenommen werden. Diese Komponenten brauchen bei der Berechnung der Rotationssteifigkeit S_j nicht berücksichtigt zu werden.	
ANMERKUNG 5	Wenn mit zusätzlichen Stegblechen verstärkt wird, sollten die Steifigkeitskoeffizienten für die entsprechenden Grundkomponenten des Anschlusses k_1 bis k_3 wie folgt vergrößert werden:	
	— k_1 für das Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung sollte mit der vergrößerten Schubfläche A_{vc} nach 6.2.6.1(6) berechnet werden;	
	— k_2 für den Stützensteg mit Druckbeanspruchung sollte mit der wirksamen Stegdicke nach 6.2.6.2(6) berechnet werden;	
	— k_3 für den Stützensteg mit Zugbeanspruchung sollte mit der wirksamen Stegdicke nach 6.2.6.3(8) berechnet werden.	
^a	Vorausgesetzt, die Schrauben sind so bemessen, dass bei dem relevanten Lastniveau kein Gleiten auftritt und die Schrauben nicht auf Lochleibung wirken.	
^b	Abstützkräfte können auftreten, wenn $L_b \leq \frac{8,8m^3 A_s}{l_{\text{eff}} t^3}$	

6.3.3 Stirnblechanschlüsse mit zwei oder mehr Schraubenreihen mit Zugbeanspruchung

6.3.3.1 Allgemeines Verfahren

(1) Bei Stirnblechanschlüssen mit zwei oder mehr Schraubenreihen mit Zugbeanspruchung ist für alle Grundkomponenten für diese Schraubenreihen der äquivalente Steifigkeitskoeffizient k_{eq} in der Regel wie folgt zu ermitteln:

$$k_{\text{eq}} = \frac{\sum_r k_{\text{eff},r} h_r}{z_{\text{eq}}} \quad (6.29)$$

Dabei ist

h_r der Abstand der Schraubenreihe r vom Druckpunkt;

$k_{\text{eff},r}$ der effektive Steifigkeitskoeffizient für die Schraubenreihe r unter Berücksichtigung der Steifigkeitskoeffizienten k_i für die Grundkomponenten, die in 6.3.3.1(4) oder 6.3.3.1(5) angegeben sind;

z_{eq} der äquivalente Hebelarm, siehe 6.3.3.1(3).

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

(2) Der effektive Steifigkeitskoeffizient $k_{\text{eff},r}$ für die Schraubenreihe r wird in der Regel wie folgt bestimmt:

$$k_{\text{eff},r} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{k_{i,r}}} \quad (6.30)$$

Dabei ist

$k_{i,r}$ der Steifigkeitskoeffizient der Komponente i bezogen auf die Schraubenreihe r .

(3) Der äquivalente Hebelarm z_{eq} ist wie folgt zu bestimmen:

$$z_{\text{eq}} = \frac{\sum_r k_{\text{eff},r} h_r^2}{\sum_r k_{\text{eff},r} h_r} \quad (6.31)$$

(4) Bei einem Träger-Stützenanschluss mit Stirnblechverbindung wird in der Regel der äquivalente Steifigkeitskoeffizient k_{eq} aus den Steifigkeitskoeffizienten k_i folgender Komponenten bestimmt:

- Stützensteg mit Zugbeanspruchung (k_3);
- Stützenflansch mit Biegebeanspruchung (k_4);
- Stirnblech mit Biegebeanspruchung (k_5);
- Schrauben mit Zugbeanspruchung (k_{10}).

(5) Bei einem Trägerstoß mit geschraubten Stirnblechen wird in der Regel der äquivalente Steifigkeitskoeffizient k_{eq} aus den Steifigkeitskoeffizienten k_i folgender Komponenten bestimmt:

- Stirnblech mit Biegebeanspruchung (k_5);
- Schrauben mit Zugbeanspruchung (k_{10}).

6.3.3.2 Vereinfachtes Verfahren für überstehende Stirnbleche mit zwei Schraubenreihen mit Zugbeanspruchung

(1) Bei überstehenden Stirnblechverbindungen mit zwei Schraubenreihen mit Zugbeanspruchung (eine im überstehenden Teil des Stirnblechs und eine zwischen den Flanschen des Trägers, siehe Bild 6.20) dürfen Ersatzsteifigkeitskoeffizienten der entsprechenden Grundkomponenten verwendet werden, mit denen die kombinierte Wirkung der beiden Schraubenreihen berücksichtigt wird. Als Ersatzsteifigkeitskoeffizient darf der zweifache Wert des entsprechenden Wertes für eine Schraubenreihe im überstehenden Teil des Stirnblechs angenommen werden.

ANMERKUNG Diese Näherung führt zu einer etwas zu geringen Rotationssteifigkeit.

(2) Wenn dieses vereinfachte Verfahren angewandt wird, ist in der Regel als Hebelarm z der Abstand vom Druckpunkt zu dem Punkt anzunehmen, der genau zwischen den beiden Schraubenreihen mit Zugbeanspruchung liegt, siehe Bild 6.20.

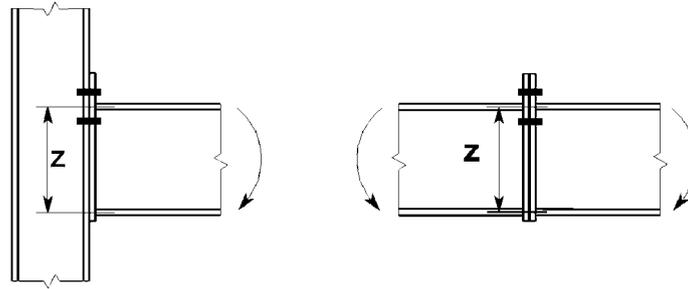


Bild 6.20 — Hebelarm z für das vereinfachte Verfahren

6.3.4 Stützenfüße

(1) Die Rotationssteifigkeit S_j eines Stützenfußes, der gleichzeitig durch Normalkraft und Biegung beansprucht wird, sollte nach Tabelle 6.12 berechnet werden. Bei dieser Methode werden die folgenden Steifigkeitskoeffizienten verwendet:

- $k_{T,l}$ Zugsteifigkeitskoeffizient der linken Seite des Anschlusses \overline{AC} und dessen Inverse und identisch mit der Summe der auf der linken Seite des Anschlusses wirkenden Inversen der Steifigkeitskoeffizienten \overline{AC} k_{15} und k_{16} , siehe Tabelle 6.11;
- $k_{T,r}$ Zugsteifigkeitskoeffizient der rechten Seite des Anschlusses \overline{AC} und dessen Inverse und identisch mit der Summe der auf der rechten Seite des Anschlusses wirkenden Inversen der Steifigkeitskoeffizienten \overline{AC} k_{15} und k_{16} , siehe Tabelle 6.11;
- $k_{C,l}$ Drucksteifigkeitskoeffizient der linken Seite des Anschlusses und identisch mit dem auf der linken Seite des Anschlusses wirkenden Steifigkeitskoeffizienten k_{13} , siehe Tabelle 6.11;
- $k_{C,r}$ Drucksteifigkeitskoeffizient der rechten Seite des Anschlusses und identisch mit dem auf der rechten Seite des Anschlusses wirkenden Steifigkeitskoeffizienten k_{13} , siehe Tabelle 6.11.

(2) Zur Berechnung von $z_{T,l}$, $z_{C,l}$, $z_{T,r}$, $z_{C,r}$ siehe 6.2.8.1.

Tabelle 6.12 — Rotationssteifigkeit S_j von Stützenfüßen

Belastung	Hebelarm z	Rotationssteifigkeit $S_{j,ini}$	
		$N_{Ed} > 0$ und $e > z_{T,l}$	$N_{Ed} \leq 0$ und $e \leq -z_{C,r}$
Linke Seite mit Zugbeanspruchung Rechte Seite mit Druckbeanspruchung	$z = z_{T,l} + z_{C,r}$	$\frac{Ez^2}{\mu(1/k_{T,l} + 1/k_{C,r})} \frac{e}{e + e_k}$ wobei $e_k = \frac{z_{C,r} k_{C,r} - z_{T,l} k_{T,l}}{k_{T,l} + k_{C,r}}$	
		$N_{Ed} > 0$ und $0 < e < z_{T,l}$	$N_{Ed} > 0$ und $-z_{T,r} < e \leq 0$
Linke Seite mit Zugbeanspruchung Rechte Seite mit Zugbeanspruchung	$z = z_{T,l} + z_{T,r}$	$\frac{Ez^2}{\mu(1/k_{T,l} + 1/k_{T,r})} \frac{e}{e + e_k}$ wobei $e_k = \frac{z_{T,r} k_{T,r} - z_{T,l} k_{T,l}}{k_{T,l} + k_{T,r}}$	
		$N_{Ed} > 0$ und $e \leq -z_{T,r}$	$N_{Ed} \leq 0$ und $e > z_{C,l}$
Linke Seite mit Druckbeanspruchung Rechte Seite mit Zugbeanspruchung	$z = z_{C,l} + z_{T,r}$	$\frac{Ez^2}{\mu(1/k_{C,l} + 1/k_{T,r})} \frac{e}{e + e_k}$ wobei $e_k = \frac{z_{T,r} k_{T,r} - z_{C,l} k_{C,l}}{k_{C,l} + k_{T,r}}$	
		$N_{Ed} \leq 0$ und $0 < e < z_{C,l}$	$N_{Ed} \leq 0$ und $-z_{C,r} < e \leq 0$
Linke Seite mit Druckbeanspruchung Rechte Seite mit Druckbeanspruchung	$z = z_{C,l} + z_{C,r}$	$\frac{Ez^2}{\mu(1/k_{C,l} + 1/k_{C,r})} \frac{e}{e + e_k}$ wobei $e_k = \frac{z_{C,r} k_{C,r} - z_{C,l} k_{C,l}}{k_{C,l} + k_{C,r}}$	

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 6.12 (fortgesetzt)

Positive Momente $M_{Ed} > 0$ im Uhrzeigersinn, Positive Kräfte $N_{Ed} > 0$: Zug, μ siehe 6.3.1(6).

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{M_{Rd}}{N_{Rd}}$$

6.4 Rotationskapazität

6.4.1 Allgemeines

(1) **AC** P **AC** Bei starr-plastischer Berechnung müssen die Anschlüsse an den Stellen, wo plastische Gelenke entstehen können, über ausreichende Rotationskapazität verfügen.

(2) Die Rotationskapazität eines geschraubten oder eines geschweißten Anschlusses kann mit den Regelungen in 6.4.2 oder 6.4.3 ermittelt werden. Die Regelungen dort gelten nur für Stahlgüten S235, S275 und S355 und für Anschlüsse, bei denen der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft N_{Ed} im angeschlossenen Bauteil 5 % der plastischen Tragfähigkeit $N_{pl,Rd}$ des Querschnitts nicht überschreitet.

(3) Alternativ zu 6.4.2 und 6.4.3 kann auf den Nachweis der Rotationskapazität des Anschlusses verzichtet werden, vorausgesetzt, dass die Biegetragfähigkeit $M_{j,Rd}$ des Anschlusses mindestens das 1,2fache der plastischen Biegetragfähigkeit $M_{pl,Rd}$ des Querschnitts des angeschlossenen Bauteils beträgt.

(4) In den Fällen, die nicht in 6.4.2 und 6.4.3 geregelt sind, kann die Rotationskapazität durch Versuche in Übereinstimmung mit EN 1990, Anhang D, bestimmt werden. Alternativ können geeignete numerische Berechnungsverfahren verwendet werden, sofern diese entsprechend EN 1990 auf den Ergebnissen von Versuchen basieren.

6.4.2 Geschraubte Anschlüsse

(1) Bei einem Träger-Stützenanschluss, dessen Biegetragfähigkeit $M_{j,Rd}$ durch die Schubtragfähigkeit des Stützenstegfeldes bestimmt wird, kann davon ausgegangen werden, dass genügend Rotationskapazität zur Anwendung des plastisch-plastischen Berechnungsverfahrens vorhanden ist, wenn **AC** $d_w/t_w \leq 69\varepsilon$ **AC** gilt.

(2) Bei einem Anschluss mit Stirnblech oder Flanschwindeln kann davon ausgegangen werden, dass genügend Rotationskapazität zur Anwendung des plastisch-plastischen Berechnungsverfahrens vorhanden ist, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- a) die Biegetragfähigkeit des Anschlusses wird bestimmt durch die Tragfähigkeit von entweder:
- dem Stützenflansch mit Biegebeanspruchung oder
 - dem Stirnblech oder dem Flanschwinkel auf der Trägerzugseite mit Biegebeanspruchung.
- b) die Dicke t des Stützenflansches oder des Stirnblechs oder des Flanschwindels auf der Trägerzugseite (nicht notwendigerweise die gleiche Grundkomponente wie in (a)) erfüllt folgende Bedingung:

$$t \leq 0,36d \sqrt{f_{ub}/f_y} \quad (6.32)$$

Dabei ist

AC d der Nenndurchmesser der Schraube;

f_{ub} die äußerste Bruchfestigkeit des Schraubenwerkstoffes; **AC**

f_y die Streckgrenze der maßgebenden Grundkomponente.

(3) Bei einem geschraubten Anschluss, dessen Biegetragfähigkeit $M_{j,Rd}$ durch die Abschertragfähigkeit der Schrauben bestimmt wird, darf nicht davon ausgegangen werden, dass genügend Rotationskapazität zur Anwendung des plastisch-plastischen Berechnungsverfahrens vorhanden ist.

6.4.3 Geschweißte Anschlüsse

(1) Bei einem geschweißten Träger-Stützenanschluss, bei dem nur der Stützensteg in der Druckzone ausgesteift ist, nicht jedoch in der Zugzone, kann die Rotationskapazität ϕ_{Cd} wie folgt bestimmt werden, wenn die Biegetragfähigkeit nicht durch die Schubtragfähigkeit des Stützenstegfeldes bestimmt wird, siehe 6.4.2(1):

$$\phi_{Cd} = 0,025 h_c/h_b \quad (6.33)$$

Dabei ist

h_b die Profilhöhe des Trägers;

h_c die Profilhöhe der Stütze.

(2) Bei einem nicht ausgesteiften, geschweißten Träger-Stützenanschluss, der nach den Regelungen dieses Abschnitts bemessen wird, kann eine Rotationskapazität ϕ_{Cd} von mindestens 0,015 rad angenommen werden.

7 Anschlüsse mit Hohlprofilen

7.1 Allgemeines

7.1.1 Geltungsbereich

(1) Dieser Abschnitt enthält detaillierte Anwendungsregeln zur Bestimmung der Tragfähigkeit von ebenen und räumlichen Anschlüssen in Fachwerken, die aus runden, quadratischen oder rechteckigen Hohlprofilen bestehen, sowie von ebenen Anschlüssen mit Kombinationen von Hohlprofilen und offenen Profilen. Dabei wird vorwiegend ruhende Belastung vorausgesetzt.

(2) Die Tragfähigkeit von Anschlüssen wird als maximale Tragfähigkeit der Streben des Fachwerks für Normalkräfte oder Biegemomente angegeben.

(3) Diese Anwendungsregeln gelten für warmgefertigte Hohlprofile nach EN 10210 und für kaltgeformte Hohlprofile nach EN 10219, sofern die Abmessungen der Hohlprofile den Anforderungen dieses Abschnitts genügen.

(4) Der Nennwert der Streckgrenze von warmgefertigten Hohlprofilen und von kaltgeformten Hohlprofilen sollte 460 N/mm² im Endprodukt nicht überschreiten. Für Endprodukte mit einem Nennwerte der Streckgrenze größer als 355 N/mm² sind in der Regel die in diesem Abschnitt angegebenen Tragfähigkeiten mit dem Abminderungsbeiwert 0,9 zu reduzieren.

(5) Der Nennwert der Wanddicke von Hohlprofilen sollte mindestens 2,5 mm betragen.

(6) Der Nennwert der Wanddicke von Gurtstäben aus Hohlprofilen sollte 25 mm nicht überschreiten, es sei denn, es werden entsprechende Maßnahmen zur Sicherstellung geeigneter Werkstoffeigenschaften in Dickenrichtung getroffen.

(7) Der Ermüdungsnachweis ist in EN 1993-1-9 geregelt.

(8) Die geregelten Anschlussstypen sind in Bild 7.1 dargestellt.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

7.1.2 Anwendungsbereich

(1) Die Anwendungsregeln für Anschlüsse mit Hohlprofilen gelten nur, wenn die Bedingungen 7.1.2(2) bis 7.1.2(8) eingehalten sind.

(2) Die druckbeanspruchten Querschnittselemente der Bauteile sollten den Anforderungen der Querschnittsklassen 1 oder 2, die in EN 1993-1-1 AC für axialen Druck AC angegeben sind, entsprechen.

(3) Für die Anschlusswinkel θ_i zwischen Gurtstäben und Streben bzw. zwischen benachbarten Streben sollte gelten:

$$\theta_i \geq 30^\circ$$

(4) Die Enden der Bauteile, die am Anschluss zusammentreffen, sollten derart vorbereitet werden, dass die äußere Profilform nicht verändert wird. Abgeflachte und angedrückte Endverbindungen werden in diesem Abschnitt nicht behandelt.

(5) Bei Anschlüssen mit Spalt sollte die Spaltweite zwischen den Streben nicht geringer als $(t_1 + t_2)$ sein, so dass genügend Platz für die erforderlichen Schweißnähte vorhanden ist.

(6) Bei Anschlüssen mit Überlappung sollte eine ausreichende Überlappung vorhanden sein, um die Querkraftübertragung von einer Strebe zur anderen zu ermöglichen. In jedem Fall sollte das Überlappungsverhältnis mindestens 25 % betragen. AC Wenn die Überlappung größer als $\lambda_{ov,lim} = 60\%$ ist, falls die verdeckte Naht der überlappten Strebe nicht geschweißt ist oder $\lambda_{ov,lim} = 80\%$ ist, falls die verdeckte Naht der überlappten Strebe geschweißt ist oder wenn die Streben rechteckige Profile mit $h_i < b_i$ und/oder $h_j < b_j$ sind, sollte die Verbindung zwischen den Streben und der Oberfläche des Gurtstabes auf Abscherung überprüft werden. AC

(7) Wenn überlappende Streben unterschiedliche Wanddicken und/oder unterschiedliche Werkstofffestigkeiten aufweisen, sollte die Strebe mit dem geringeren Wert $t_i f_{yi}$ die andere Strebe überlappen.

(8) Wenn überlappende Streben unterschiedliche Breiten aufweisen, sollte die Strebe mit der geringeren Breite die Strebe mit der größeren Breite überlappen.

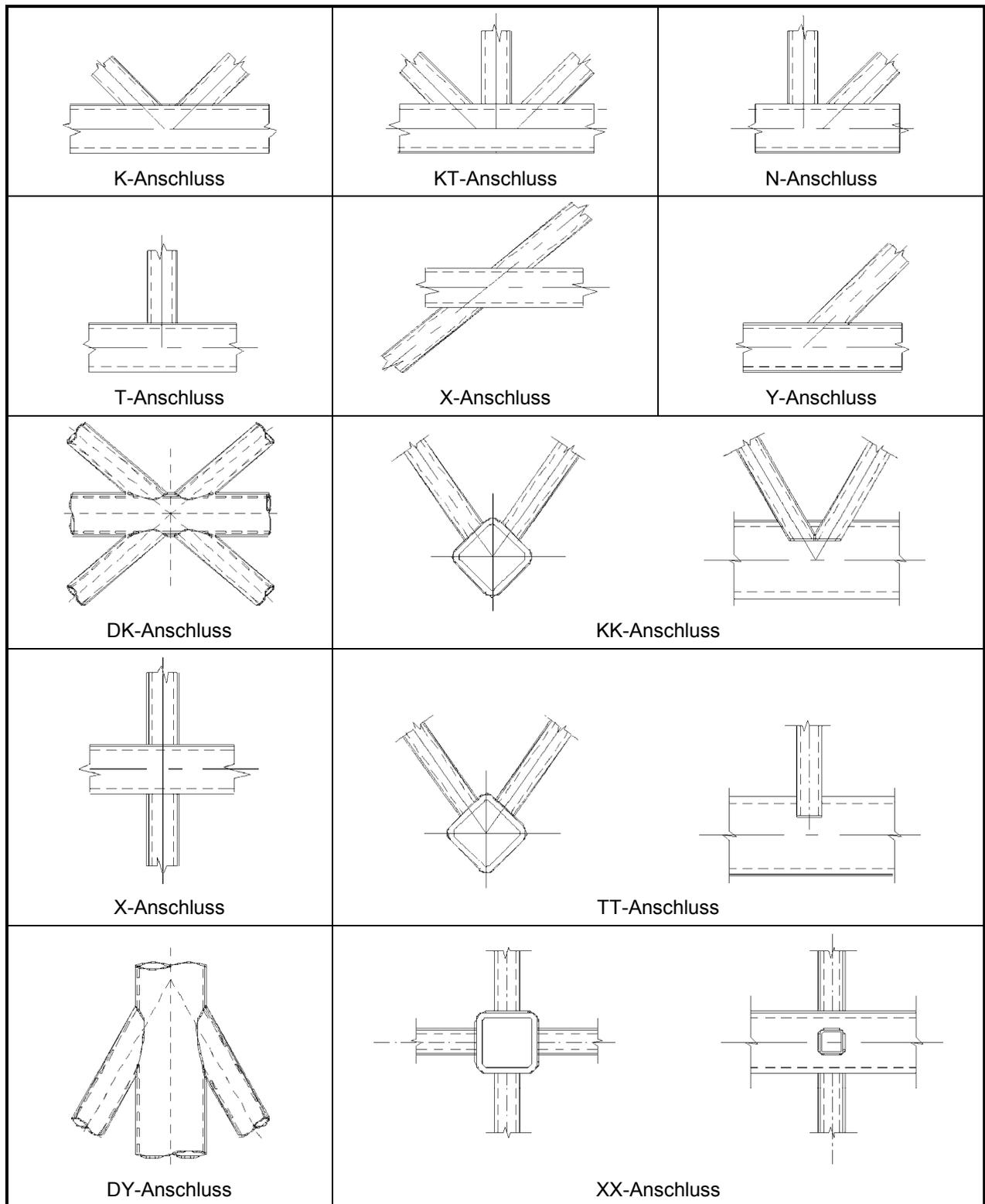


Bild 7.1 — Anschlussarten in Fachwerken mit Hohlprofilen

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

7.2 Berechnung und Bemessung

7.2.1 Allgemeines

(1) **AC** P **AC** Im Grenzzustand der Tragfähigkeit dürfen die Bemessungswerte der Schnittgrößen in den Streben und in den Gurten die Tragfähigkeiten der Bauteile nach EN 1993-1-1 nicht überschreiten.

(2) **AC** P **AC** Im Grenzzustand der Tragfähigkeit dürfen darüber hinaus die Bemessungswerte der Schnittgrößen in den Streben die Tragfähigkeiten der Anschlüsse nach 7.4, 7.5, 7.6 oder 7.7 nicht überschreiten.

(3) Die einwirkenden Spannungen $\sigma_{0,Ed}$ oder $\sigma_{p,Ed}$ im Gurt eines Anschlusses sind wie folgt zu berechnen:

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} \quad (7.1)$$

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} \quad (7.2)$$

Dabei ist

$$N_{p,Ed} = N_{0,Ed} - \sum_{i>0} N_{i,Ed} \cos \theta_i$$

7.2.2 Versagensformen von Anschlüssen mit Hohlprofilen

(1) Die Tragfähigkeiten von Anschlüssen mit Hohlprofilen und mit Kombinationen von Hohlprofilen und offenen Profilen sind für folgende Versagensformen zu ermitteln:

- a) **Flanschversagen des Gurtstabes** (plastisches Versagen des Flansches) oder Plastizierung des Gurtstabes (plastisches Versagen des Gurtquerschnitts);
- b) **Seitenwandversagen des Gurtstabes** (oder **Stegblechversagen**) durch Fließen, plastisches Stauchen oder Instabilität (Krüppeln oder Beulen der Seitenwand oder des Stegbleches) unterhalb der druckbeanspruchten Strebe;
- c) **Schubversagen des Gurtstabes**;
- d) **Durchstanzen** der Wandung eines Gurthohlprofils (Rissinitiierung führt zum Abriss der Strebe vom Gurtstab);
- e) **Versagen der Strebe** durch eine verminderte effektive Breite (Risse in den Schweißnähten oder in den Streben);
- f) **Lokales Beulversagen** der Streben oder der Hohlprofilgurtstäbe im Anschlusspunkt.

ANMERKUNG Die Begriffe, die fett gedruckt sind, werden bei der Beschreibung der einzelnen Versagensformen in den Tabellen für die Tragfähigkeiten von Anschlüssen in 7.4 bis 7.7 verwendet.

(2) Bild 7.2 zeigt die Versagensformen (a) bis (f) von Anschlüssen von KHP-Streben an KHP-Gurtstäbe.

(3) Bild 7.3 zeigt die Versagensformen (a) bis (f) von Anschlüssen von RHP-Streben an RHP-Gurtstäbe.

(4) Bild 7.4 zeigt die Versagensformen (a) bis (f) von Anschlüssen von KHP- und RHP-Streben an Gurtstäbe mit I- oder H-Querschnitten.

(5) Obwohl im Allgemeinen die Tragfähigkeit von Anschlüssen mit korrekt ausgeführten Schweißnähten bei Zugbeanspruchung größer ist als bei Druckbeanspruchung, wird die Tragfähigkeit eines Anschlusses auf der Grundlage der Strebenbeanspruchbarkeit auf Druck bestimmt, um möglicherweise auftretende größere örtliche Verformungen oder eine Abminderung der Rotations- oder Deformationskapazität zu vermeiden.

Versagensform	Längskraftbelastung	Biegebelastung
a		
b		
c		
d		
e		
f		

Bild 7.2 — Versagensformen von Anschlüssen mit KHP-Bauteilen

DIN EN 1993-1-8:2010-12
 EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

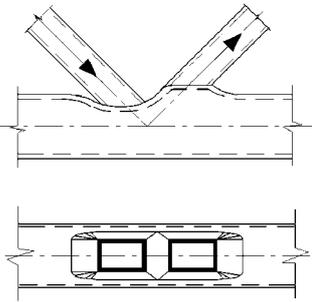
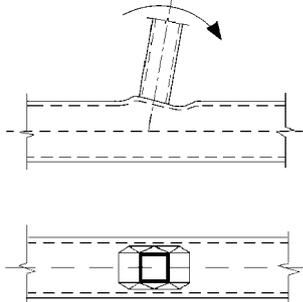
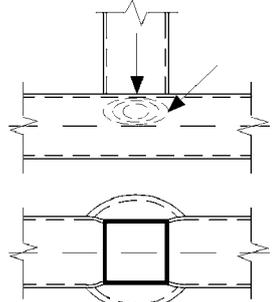
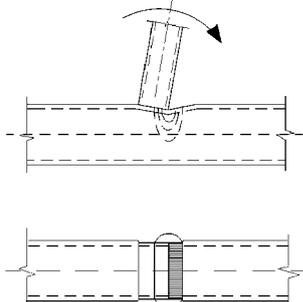
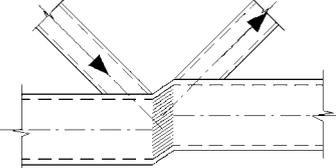
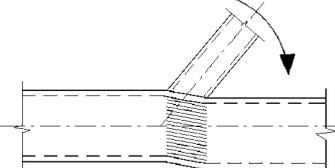
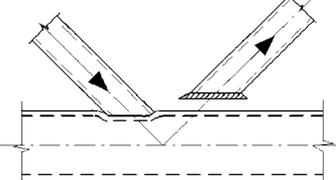
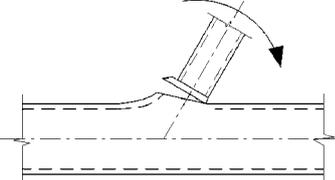
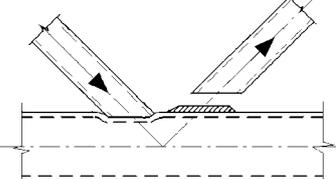
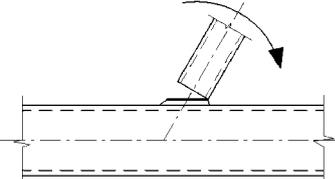
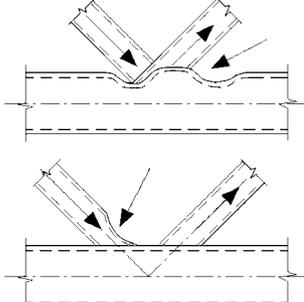
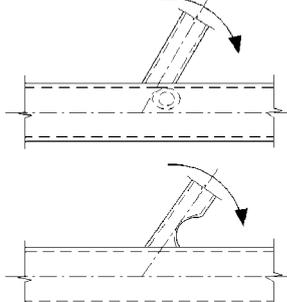
Versagensform	Längskraftbelastung	Biegebelastung
a		
b		
c		
d		
e		
f		

Bild 7.3 — Versagensformen von Anschlüssen mit RHP-Bauteilen

Versagensform	Längskraftbelastung	Biegebelastung
a	–	–
b		
c		
d	–	–
e		
f		

Bild 7.4 — Versagensformen von Anschlüssen von KHP- und RHP-Streben an Gurtstäbe mit I- oder H-Querschnitten

7.3 Schweißnähte

7.3.1 Tragfähigkeit

(1) \square_{AC} P \square_{AC} Die Schweißnähte, welche die Streben mit den Gurtstäben verbinden, \square_{AC} müssen so bemessen werden, \square_{AC} dass sie ausreichende Tragfähigkeit bei nichtlinearen Spannungsverteilungen und ausreichendes Deformationsvermögen für die Umlagerung von Biegemomenten aufweisen.

(2) In geschweißten Anschlüssen von Hohlprofilen sind die Schweißnähte in der Regel über den ganzen Umfang des Hohlprofilquerschnitts als durchgeschweißte Stumpfnähte, Kehlnähte oder als Kombinationen von beiden auszuführen. Jedoch braucht in Anschlüssen mit teilweiser Überlappung der nicht sichtbare Bereich der Verbindung nicht verschweißt zu werden, wenn die Längskräfte in den Streben derart ausgewogen sind, dass ihre Kraftkomponenten rechtwinklig zur Gurtstabachse um nicht mehr als 20 % differieren.

(3) Typische Schweißnahtdetails sind in der Bezugsgrouppe 7 in 1.2.7 dargestellt.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

- (4) Die Tragfähigkeit der Schweißnaht je Längeneinheit am Umfang einer Strebe sollte normalerweise nicht kleiner als die Zugtragfähigkeit des Bauteilquerschnitts je Längeneinheit am Umfang sein.
- (5) Die erforderliche Schweißnahtdicke ist in der Regel nach Abschnitt 4 zu bestimmen.
- (6) Das in 7.3.1(4) genannte Kriterium braucht nicht beachtet zu werden, wenn die Wirksamkeit einer kleineren Schweißnaht im Hinblick auf die Tragfähigkeit, Verformungs- und Rotationskapazität unter Berücksichtigung einer möglichen Begrenzung der wirksamen Schweißnahtlänge nachgewiesen werden kann.
- (7) Für Rechteckhohlprofile (RHP) ist die Definition der Schweißnahtdicke von Hohlkehlnähten in Bild 7.5 dargestellt.

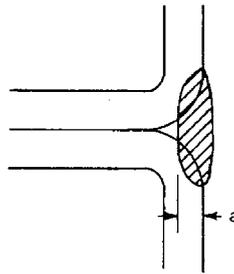


Bild 7.5 — Schweißnahtdicke von Hohlkehlnähten bei Rechteckhohlprofilen

- (8) Zum Schweißen in kaltgeformten Bereichen, siehe 4.14.

7.4 Geschweißte Anschlüsse von KHP-Bauteilen

7.4.1 Allgemeines

- (1) Liegen die geometrischen Abmessungen von Anschlüssen innerhalb des Gültigkeitsbereiches von Tabelle 7.1, dürfen die Tragfähigkeiten von geschweißten Anschlüssen von KHP-Bauteilen nach 7.4.2 und 7.4.3 bestimmt werden.
- (2) Liegen die geschweißten Anschlüsse innerhalb des Gültigkeitsbereiches nach Tabelle 7.1, braucht nur Flanschversagen des Gurtstabes und Durchstanzen betrachtet zu werden. Die Tragfähigkeit eines Anschlusses ist durch den kleinsten Wert definiert.
- (3) Bei Anschlüssen außerhalb des Gültigkeitsbereiches nach Tabelle 7.1 sollten \boxed{AC} alle Versagensformen untersucht werden, die in \boxed{AC} 7.2.2 aufgelistet sind. Zusätzlich sollten in diesem Fall bei der Bemessung der Anschlüsse die Sekundärmomente, die sich aus ihrer Rotationssteifigkeit ergeben, berücksichtigt werden.

Tabelle 7.1 — Gültigkeitsbereich für geschweißte Anschlüsse
von KHP-Streben an KHP-Gurtstäbe

AC

Durchmesserverhältnis	$0,2 \leq d_1/d_0 \leq 1,0$	
Gurtstäbe	Zug	$10 \leq d_0/t_0 \leq 50$ (allgemein), jedoch: $10 \leq d_0/t_0 \leq 40$ (für X-Anschlüsse)
	Druck	Klasse 1 oder 2 und $10 \leq d_0/t_0 \leq 50$ (allgemein), jedoch: $10 \leq d_0/t_0 \leq 40$ (für X-Anschlüsse)
Streben	Zug	$d_1/t_1 \leq 50$
	Druck	Klasse 1 oder 2
Überlappung	$25 \% \leq \lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim}$, siehe 7.1.2 (6)	
Spalt	$g \geq t_1 + t_2$	

AC

7.4.2 Ebene Anschlüsse

(1) AC P AC Werden die Streben an den Anschlüssen nur durch Längskräfte beansprucht, dürfen die Bemessungswerte der einwirkenden Schnittgrößen $N_{i,Ed}$ die Bemessungswerte der Tragfähigkeiten $N_{i,Rd}$, die in Tabelle 7.2, Tabelle 7.3 oder Tabelle 7.4 angegeben sind, nicht überschreiten.

(2) Werden die Streben an den Anschlüssen durch Biegemomente und Längskräfte beansprucht, ist in der Regel die folgende Interaktionsbedingung zu erfüllen:

$$AC \frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \left[\frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} \right]^2 + \frac{|M_{op,i,Ed}|}{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0 \quad AC \quad (7.3)$$

Dabei ist

$M_{ip,i,Rd}$ die Momententragfähigkeit des Anschlusses in der Ebene des Fachwerks;

$M_{ip,i,Ed}$ das einwirkende Biegemoment in der Ebene des Fachwerks;

$M_{op,i,Rd}$ die Momententragfähigkeit des Anschlusses rechtwinklig zur Ebene des Fachwerks;

$M_{op,i,Ed}$ das einwirkende Biegemoment rechtwinklig zur Ebene des Fachwerks.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
 EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 7.2 — Tragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen
 von KHP-Streben an KHP-Gurtstäbe

Flanschversagen des Gurtstabs — T- und Y-Anschlüsse	
	$N_{1,Rd} = \frac{\gamma^{0,2} k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} (2,8 + 14,2 \beta^2) / \gamma_{M5}$
Flanschversagen des Gurtstabs — X-Anschlüsse	
	$N_{1,Rd} = \frac{k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \frac{5,2}{(1 - 0,81 \beta)} / \gamma_{M5}$
Flanschversagen des Gurtstabs — K- und N-Anschlüsse mit Spalt oder Überlappung	
	$N_{1,Rd} = \frac{k_g k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \left(1,8 + 10,2 \frac{d_1}{d_0} \right) / \gamma_{M5}$ $N_{2,Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} N_{1,Rd}$
AC Durchstanzen bei K-, N- und KT-Anschlüssen mit Spalt und T-, Y- und X-Anschlüssen [i = 1, 2 oder 3] AC	
Falls $d_i \leq d_0 - 2t_0$: $N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_i \frac{1 + \sin \theta_i}{2 \sin^2 \theta_i} / \gamma_{M5}$	
Beiwerte k_g und k_p	
$k_g = \gamma^{0,2} \left(1 + \frac{0,024 \gamma^{1,2}}{1 + \exp(0,5g/t_0 - 1,33)} \right)$ (siehe Bild 7.6)	
Bei $n_p > 0$ (Druck): $k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p)$ jedoch $k_p \leq 1,0$ Bei $n_p \leq 0$ (Zug): $k_p = 1,0$	

Tabelle 7.3 — Tragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen von Blechen an KHP-Bauteile

AC	
Flanschversagen des Gurtstabes	
	$N_{1,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 (4 + 20\beta^2) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = 0$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = \frac{5k_p f_{y0} t_0^2}{1 - 0,81\beta} / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = 0$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = 5k_p f_{y0} t_0^2 (1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0$
	$N_{1,Rd} = 5k_p f_{y0} t_0^2 (1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0$
Durchstanzen	
$\sigma_{\max} t_1 = (N_{Ed}/A + M_{Ed}/W_{el}) t_1 \leq 2t_0 (f_{y0}/\sqrt{3}) / \gamma_{M5}$	
Gültigkeitsbereich	Beiwert k_p
Zusätzlich zu den Grenzen in Tabelle 7.1 gilt: $\beta \geq 0,4 \quad \text{und} \quad \eta \leq 4$ dabei ist $\beta = b_1/d_0 \quad \text{und} \quad \eta = h_1/d_0$	Für $n_p > 0$ (Druck): $k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p) \quad \text{jedoch} \quad k_p \leq 1,0$ Für $n_p \leq 0$ (Zug): $k_p = 1,0$

DIN EN 1993-1-8:2010-12
 EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 7.4 — Tragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen von I-, H- oder RHP-Streben an KHP-Gurtstäbe

Flanschversagen des Gurtstabs	
	$N_{1,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 (4 + 20\beta^2)(1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd} / (1 + 0,25\eta)$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = \frac{5k_p f_{y0} t_0^2}{1 - 0,81\beta} (1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd} / (1 + 0,25\eta)$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 (4 + 20\beta^2)(1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = \frac{5k_p f_{y0} t_0^2}{1 - 0,81\beta} (1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
Durchstanzen	
<p>AC I- oder H-Profile mit $\eta > 2$ (für axialen Druck und Biegung in versetzten Ebenen) und RHP-Profile:</p> $\sigma_{\max} t_1 = (N_{Ed,1} / A_1 + M_{Ed,1} / W_{el,1}) t_1 \leq t_0 (f_{y0} / \sqrt{3}) / \gamma_{M5}$ <p>Alle anderen Fälle: $\sigma_{\max} t_1 = (N_{Ed,1} / A_1 + M_{Ed,1} / W_{el,1}) t_1 \leq 2 t_0 (f_{y0} / \sqrt{3}) / \gamma_{M5}$</p> <p>Dabei ist t_1 die Flansch- oder Wanddicke der I-, H-, oder RHP-Querprofile AC</p>	
Gültigkeitsbereich	Beiwert k_p
Zusätzlich zu den Grenzen in Tabelle 7.1 gilt:	Für $n_p > 0$ (Druck):
$\beta \geq 0,4$ und $\eta \leq 4$	$k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p)$ jedoch $k_p \leq 1,0$
wobei $\beta = b_1/d_0$ und $\eta = h_1/d_0$	Für $n_p \leq 0$ (Zug): $k_p = 1,0$

- (3) Die einwirkende Schnittgröße $M_{i,Ed}$ darf am Anschnitt der Strebe am Gurtstabflansch bestimmt werden.
- (4) Die Biegetragfähigkeit $M_{i,Rd}$ der Anschlüsse in Fachwerkebene und rechtwinklig dazu ist Tabelle 7.3, Tabelle 7.4 oder Tabelle 7.5 zu entnehmen.
- (5) Bei speziellen geschweißten Anschlüssen, die in Tabelle 7.6 aufgeführt sind, sind in der Regel die dort angegebenen speziellen Bemessungskriterien zu erfüllen.
- (6) Die Zahlenwerte des Beiwerts k_g für K-, N- und KT-Anschlüsse, siehe Tabelle 7.2, sind in Bild 7.6 angegeben. Der Beiwert k_g gilt für Anschlüsse mit Spalt und Überlappung, wobei negative Werte von g die Überlappungslänge q repräsentieren, siehe Bild 1.3(b).

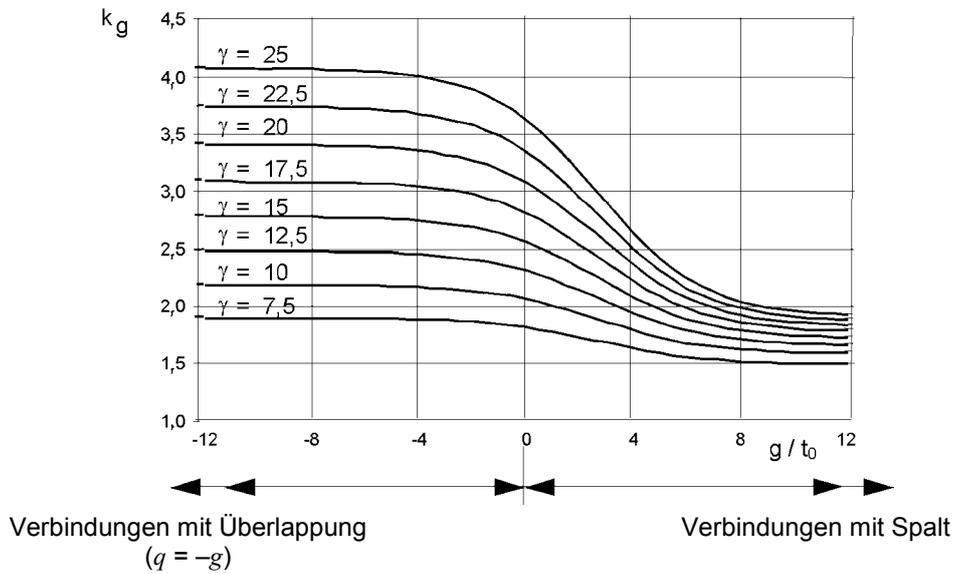


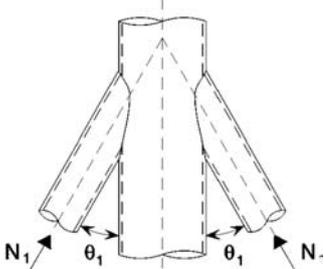
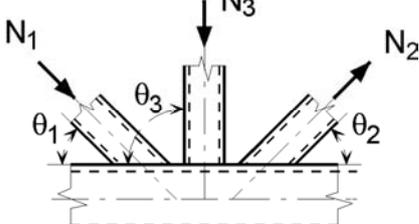
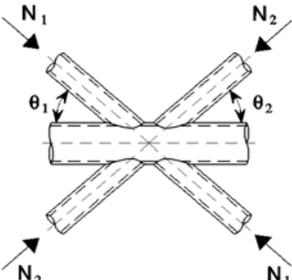
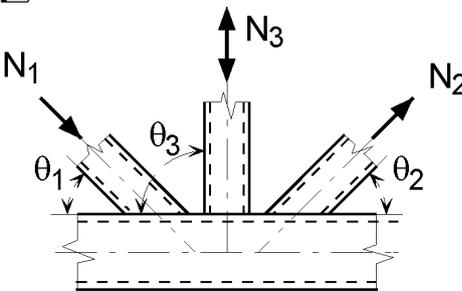
Bild 7.6 — Werte für den Beiwert k_g zur Verwendung in Tabelle 7.2

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 7.5 — Biegetragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen
von KHP-Streben an KHP-Gurtstäbe

Flanschversagen des Gurtstabs — T-, X- und Y-Anschlüsse	
	$M_{ip,1,Rd} = 4,85 \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\sin \theta_1} \sqrt{\gamma} \beta k_p / \gamma_{M5}$
Flanschversagen des Gurtstabs — K-, N-, T-, X- und Y-Anschlüsse	
	$M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\sin \theta_1} \frac{2,7}{1 - 0,81\beta} k_p / \gamma_{M5}$
Durchstanzen — K- und N-Anschlüsse mit Spalt und alle T-, X- und Y-Anschlüsse	
Falls $d_1 \leq d_0 - 2t_0$:	
$M_{ip,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0 d_1^2}{\sqrt{3}} \frac{1 + 3 \sin \theta_1}{4 \sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5}$	
$M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0 d_1^2}{\sqrt{3}} \frac{3 + \sin \theta_1}{4 \sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5}$	
Beiwert k_p	
Bei $n_p > 0$ (Druck): $k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p)$ jedoch $k_p \leq 1,0$	
Bei $n_p \leq 0$ (Zug): $k_p = 1,0$	

Tabelle 7.6 — Bemessungskriterien für spezielle geschweißte Anschlüsse von KHP-Streben an KHP-Gurtstäbe

Anschlussstyp	Bemessungskriterien
<p>Die Kräfte können sowohl Zug- als auch Druckkräfte sein, müssen jedoch in der Regel in beiden Streben in gleicher Richtung wirken.</p> 	$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$ <p>wobei $N_{1,Rd}$ dem Wert $N_{1,Rd}$ für einen X-Anschluss nach Tabelle 7.2 entspricht.</p>
<p>In Strebe 1 immer Druckkraft und in Strebe 2 immer Zugkraft.</p> 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ $N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ <p>wobei $N_{1,Rd}$ dem Wert $N_{1,Rd}$ für einen K-Anschluss nach Tabelle 7.2 entspricht. Dabei wird $\frac{d_1}{d_0}$ durch $\frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0}$ ersetzt.</p>
<p>In allen Streben entweder nur Druck oder nur Zug</p> 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{x,Rd} \sin \theta_x$ <p>wobei $N_{x,Rd}$ dem Wert $N_{x,Rd}$ für einen X-Anschluss nach Tabelle 7.2 entspricht, wobei $N_{x,Rd} \sin \theta_x$ der größere der beiden folgenden Werte ist: $N_{1,Rd} \sin \theta_1$ oder $N_{2,Rd} \sin \theta_2$</p>
<p>In AC Streben 1 und 3 hier AC Druckkraft und in AC Strebe 2 hier AC Zugkraft.</p> 	$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$ <p>wobei $N_{i,Rd}$ dem Wert $N_{i,Rd}$ für einen K-Anschluss nach Tabelle 7.2 entspricht, vorausgesetzt, dass für den Gurtstab im Schnitt 1-1 bei Anschlüssen mit Spalt gilt:</p> $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$

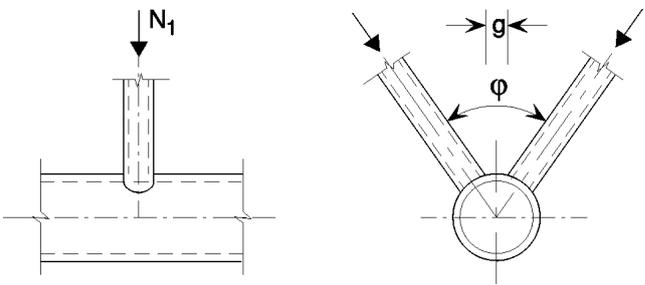
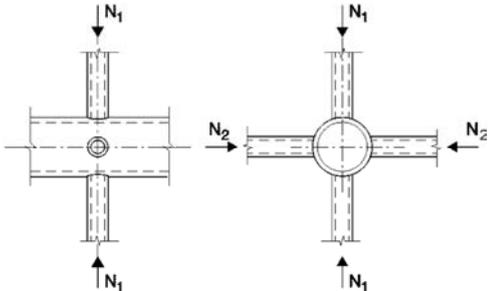
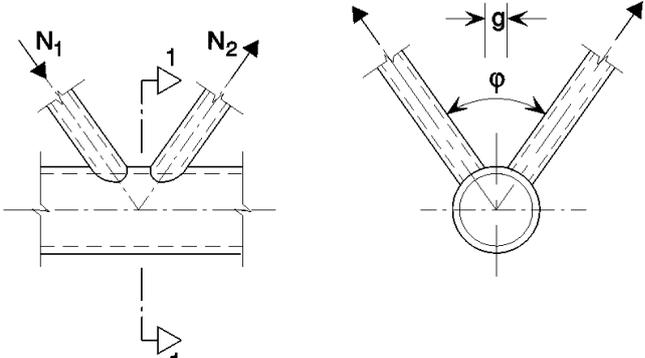
DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

7.4.3 Räumliche Anschlüsse

(1) In jeder maßgebenden Ebene eines räumlichen Anschlusses sind in der Regel die Bemessungskriterien in 7.4.2 unter Verwendung der verminderten Tragfähigkeiten nach 7.4.3(2) zu erfüllen.

(2) Die Tragfähigkeiten für jede maßgebende Ebene von räumlichen Anschlüssen sind mit Hilfe des maßgebenden Abminderungsbeiwerts μ aus Tabelle 7.7 zu bestimmen. Mit dem Abminderungsbeiwert μ wird die jeweilige Tragfähigkeit reduziert, die für den entsprechenden ebenen Anschluss nach 7.4.2, mit Hilfe des Beiwerts k_p für die zugehörige Gurtstabkraft berechnet worden ist.

Tabelle 7.7 — Abminderungsbeiwerte für räumliche Anschlüsse

Anschlussstyp	Abminderungsbeiwert μ
<p>TT-Anschluss</p> <p>In Strebe 1 entweder Zugkraft oder Druckkraft</p> <p></p>	<p>$60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$</p> <p>$\mu = 1,0$</p>
<p>XX-Anschluss</p> <p>In Strebe 1 und Strebe 2 entweder Zugkräfte oder Druckkräfte. Herrscht in einer Strebe Zug und in der anderen Druck, ist der Ausdruck für $N_{2,Ed}/N_{1,Ed}$ negativ.</p> <p></p>	<p>$\mu = 1 + 0,33 N_{2,Ed}/N_{1,Ed}$</p> <p>Die Vorzeichen von $N_{1,Ed}$ und $N_{2,Ed}$ sind zu berücksichtigen</p> <p>wobei $N_{2,Ed} \leq N_{1,Ed}$</p>
<p>KK-Anschluss</p> <p>In Strebe 1 immer Druckkraft und in Strebe 2 immer Zugkraft.</p> <p></p>	<p>$60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$</p> <p>$\mu = 0,9$</p> <p>vorausgesetzt, dass für den Gurtstab im Schnitt 1-1 bei Anschlüssen mit Spalt gilt:</p> $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$

7.5 Geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP-Streben an RHP-Gurtstäbe

7.5.1 Allgemeines

(1) Liegen die geometrischen Abmessungen von Anschlüssen innerhalb des Gültigkeitsbereichs nach Tabelle 7.8, dürfen die Tragfähigkeiten von geschweißten Anschlüssen von Hohlprofilstreben an RHP-Gurtstäbe nach 7.5.2 und 7.5.3 bestimmt werden.

(2) Liegen die geschweißten Anschlüsse innerhalb des Gültigkeitsbereichs nach Tabelle 7.8, brauchen nur die in den Tabellen angegebenen Bemessungskriterien beachtet zu werden. Die Tragfähigkeit eines Anschlusses ist durch den kleinsten Wert definiert.

(3) Bei geschweißten Anschlüssen außerhalb des Gültigkeitsbereichs nach Tabelle 7.8 sollten $\boxed{\text{AC}}$ alle Versagensformen untersucht werden, die in $\boxed{\text{AC}}$ 7.2.2 aufgelistet sind. Zusätzlich sollten in diesem Falle bei der Bemessung der Anschlüsse die Sekundärmomente, die sich aus ihrer Rotationssteifigkeit ergeben, berücksichtigt werden.

Tabelle 7.8 — Gültigkeitsbereich für geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP-Streben an RHP-Gurtstäbe

Anschluss typ	Anschlussparameter [$i = 1$ oder $2, j =$ überlappte Strebe]					
	b_i/b_0 oder d_i/b_0	b_i/t_i und h_i/t_i oder d_i/t_i		h_0/b_0 und h_i/b_i	b_0/t_0 und h_0/t_0	Spalt oder Überlappung b_i/b_j
		Druck	Zug			
T, Y oder X	$b_i/b_0 \geq 0,25$	$b_i/t_i \leq 35$ und $h_i/t_i \leq 35$	$b_i/t_i \leq 35$ und $h_i/t_i \leq 35$	$\geq 0,5$ jedoch $\leq 2,0$	≤ 35 und $\boxed{\text{AC}}$ Klasse 1 oder 2 $\boxed{\text{AC}}$	—
K-Spalt N-Spalt	$b_i/b_0 \geq 0,35$ und $\geq 0,1 + 0,01 b_0/t_0$	$\boxed{\text{AC}}$ Klasse 1 oder 2 $\boxed{\text{AC}}$	$b_i/t_i \leq 35$ und $h_i/t_i \leq 35$	$\geq 0,5$ jedoch $\leq 2,0$	≤ 35 und $\boxed{\text{AC}}$ Klasse 1 oder 2 $\boxed{\text{AC}}$	$g/b_0 \geq 0,5(1 - \beta)$ jedoch $\leq 1,5(1 - \beta)^a$ und mindestens $g \geq t_1 + t_2$
K-Überlappung N-Überlappung	$b_i/b_0 \geq 0,25$	Klasse 1			$\boxed{\text{AC}}$ Klasse 1 oder 2 $\boxed{\text{AC}}$	$\boxed{\text{AC}}$ $25\% \leq \lambda_{\text{ov}} \leq \lambda_{\text{ov,lim}}^b \boxed{\text{AC}}$ $\boxed{\text{AC}}$ gestrichener Text $\boxed{\text{AC}}$ $\boxed{\text{AC}}$ $b_i/b_j \leq 0,75 \boxed{\text{AC}}$
KHP-Strebe	$d_i/b_0 \geq 0,4$ jedoch $\leq 0,8$	Klasse 1	$d_i/t_i \leq 50$	Wie oben, jedoch mit d_i anstatt b_i und d_j anstatt b_j		

^a Falls $g/b_0 > 1,5(1 - \beta)$ und $\boxed{\text{AC}}$ $g > t_1 + t_2 \boxed{\text{AC}}$ ist der Anschluss wie zwei getrennte T- oder Y-Anschlüsse zu behandeln.

^b $\boxed{\text{AC}}$ $\lambda_{\text{ov,lim}} = 60\%$ falls die verdeckte Naht nicht geschweißt ist und 80% wenn die verdeckte Naht geschweißt ist. Falls die Überlappung $\lambda_{\text{ov,lim}}$ überschreitet oder wenn die Streben rechteckige Profile mit $h_i < b_i$ und/oder $h_j < b_j$ sind, muss die Verbindung zwischen den Streben und der Oberfläche des Gurtstabes auf Abscherung überprüft werden. $\boxed{\text{AC}}$

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

7.5.2 Ebene Anschlüsse

7.5.2.1 Unverstärkte Anschlüsse

(1) Werden die Streben an den Anschlüssen nur durch Längskräfte beansprucht, dürfen die Bemessungswerte der einwirkenden Schnittgrößen $N_{i,Ed}$ die Bemessungswerte der Tragfähigkeiten $N_{i,Rd}$, die aus 7.5.2.1(2) oder 7.5.2.1(4) ermittelt werden, nicht überschreiten.

(2) Liegen die geometrischen Abmessungen von geschweißten Anschlüssen von quadratischen Hohlprofilstreben oder KHP-Streben an quadratische Hohlprofil-Gurtstäbe innerhalb des Gültigkeitsbereichs nach Tabelle 7.8 und werden die zusätzlichen Bedingungen von Tabelle 7.9 erfüllt, können die Tragfähigkeiten mit den Gleichungen der Tabelle 7.10 bestimmt werden.

(3) Liegen die geschweißten Anschlüsse innerhalb des Gültigkeitsbereichs nach Tabelle 7.9, brauchen nur Flanschversagen des Gurtstabes und Versagen der Strebe mit reduzierter wirksamer Breite betrachtet zu werden. Als Tragfähigkeit ist in der Regel der kleinere von beiden Werte zu verwenden.

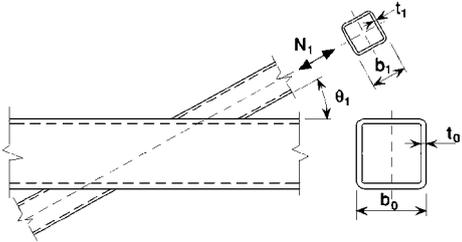
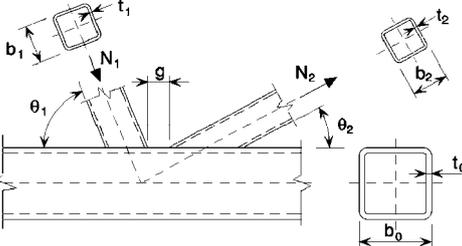
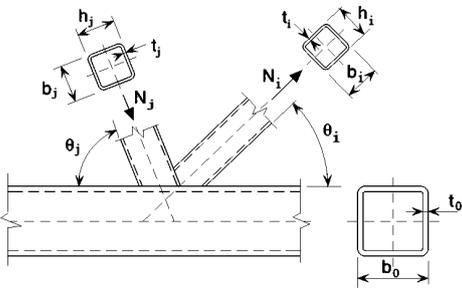
ANMERKUNG Bei der Bestimmung der Tragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen von Hohlprofilstreben an quadratische Hohlprofil-Gurtstäbe in Tabelle 7.10 werden alle Bemessungskriterien weggelassen, die innerhalb des Gültigkeitsbereichs nach Tabelle 7.9 nicht maßgebend sind.

(4) Liegen unverstärkte geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP-Streben an RHP-Gurtstäbe innerhalb des Gültigkeitsbereichs nach Tabelle 7.8, können die Tragfähigkeiten unter Verwendung der Gleichungen in ~~AC~~ gestrichener Text ~~AC~~ Tabelle 7.11, Tabelle 7.12 oder Tabelle 7.13 ermittelt werden. Zu verstärkten Anschlüssen siehe 7.5.2.2.

Tabelle 7.9 — Zusätzliche Bedingungen für die Verwendung von Tabelle 7.10

Querschnitt der Strebe	Anschlussstyp	Anschlussparameter	
Quadratisches Hohlprofil	T, Y oder X	$b_i/b_0 \leq 0,85$	$b_0/t_0 \geq 10$
	K-Spalt oder N-Spalt	$0,6 \leq \frac{b_1 + b_2}{2b_1} \leq 1,3$	$b_0/t_0 \geq 15$
KHP	T, Y oder X		$b_0/t_0 \geq 10$
	K-Spalt oder N-Spalt	$0,6 \leq \frac{d_1 + d_2}{2d_1} \leq 1,3$	$b_0/t_0 \geq 15$

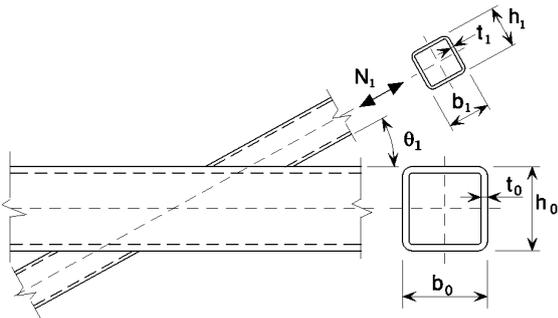
Tabelle 7.10 — Tragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen mit quadratischen Hohlprofilen oder KHP

Anschlussstyp	Tragfähigkeit [$i = 1$ oder $2, j =$ überlappte Strebe]
T-, Y- und X-Anschlüsse	Flanschversagen des Gurtstabs $\beta \leq 0,85$
	$N_{1,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1-\beta) \sin \theta_1} \left(\frac{2\beta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$
K- und N-Anschlüsse mit Spalt	Flanschversagen des Gurtstabs $\beta \leq 1,0$
	$N_{i,Rd} = \frac{8,9 \gamma^{0,5} k_n f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_i} \left(\frac{b_1 + b_2}{2b_0} \right) / \gamma_{M5}$
K- und N-Anschlüsse mit Überlappung ^a	Versagen der Strebe $25 \% \leq \lambda_{ov} < 50 \%$
In Strebe i Druckkraft und in Strebe j Zugkraft oder umgekehrt.	$\langle AC \rangle N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left(b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i \frac{\lambda_{ov}}{50} - 4t_i \right) / \gamma_{M5} \langle AC \rangle$
	Versagen der Strebe $50 \% \leq \lambda_{ov} < 80 \%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i [b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i] / \gamma_{M5}$
	Versagen der Strebe $\lambda_{ov} \geq 80 \%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i [b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i] / \gamma_{M5}$
Parameter b_{eff}, $b_{e,ov}$ und k_n	
$b_{eff} = \frac{10}{b_0 / t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} b_i \quad \text{jedoch } b_{eff} \leq b_i$	Für $n > 0$ (Druck): $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}$
$b_{e,ov} = \frac{10}{b_j / t_j} \frac{f_{yj} t_j}{f_{yi} t_i} b_i \quad \text{jedoch } b_{e,ov} \leq b_i$	jedoch $k_n \leq 1,0$
	Für $n \leq 0$ (Zug): $k_n = 1,0$
Bei KHP-Streben sind die obigen Grenzwerte mit $\pi/4$ zu multiplizieren und b_1 und h_1 durch d_1 und b_2 sowie h_2 durch d_2 zu ersetzen.	
^a Nur die überlappte Strebe i braucht nachgewiesen zu werden. Der Ausnutzungsgrad (d. h. die Tragfähigkeit des Anschlusses dividiert durch die plastische Beanspruchbarkeit der Strebe) der überlappenden Strebe j ist in der Regel mit dem Ausnutzungsgrad der überlappenden Strebe gleichzusetzen. $\langle AC \rangle$ Siehe auch Tabelle 7.8. $\langle AC \rangle$	

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 7.11 — Tragfähigkeit von geschweißten T-, X- und Y-Anschlüssen von RHP- oder KHP-Streben an RHP-Gurtstäbe

AC

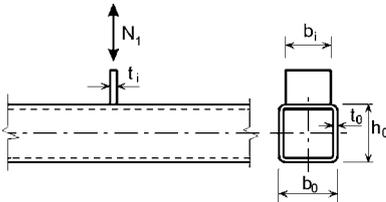
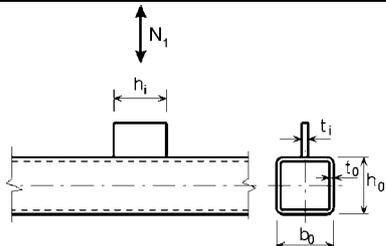
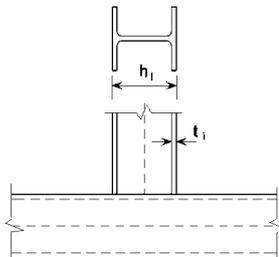
Anschlussstyp	Tragfähigkeit
	Flanschversagen des Gurtstabs $\beta \leq 0,85$
	$N_{1,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1-\beta) \sin \theta_1} \left(\frac{2\eta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$
	Seitenwandversagen des Gurtstabs ^a $\beta = 1,0$ ^b
	$N_{1,Rd} = \frac{k_n f_b t_0}{\sin \theta_1} \left(\frac{2h_1}{\sin \theta_1} + 10t_0 \right) / \gamma_{M5}$
	Versagen der Strebe $\beta \geq 0,85$
	$N_{1,Rd} = f_{yt1} (2h_1 - 4t_1 + 2b_{eff}) / \gamma_{M5}$
	Durchstanzen $0,85 \leq \beta \leq (1 - 1/\gamma)$
	$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_1} \left(\frac{2h_1}{\sin \theta_1} + 2b_{e,p} \right) / \gamma_{M5}$
<p>^a Bei X-Anschlüssen mit $\cos \theta_1 > h_1/h_0$ ist das Minimum von diesem Wert und der Schubtragfähigkeit der Gurtstabseitenwände für K- und N-Anschlüsse mit Spalt nach Tabelle 7.12 anzusetzen.</p> <p>^b Bei $0,85 \leq \beta \leq 1,0$ wird zwischen den Werten für Flanschversagen des Gurtstabes mit $\beta = 0,85$ und für Seitenwandversagen des Gurtstabes (Beulen der Seitenwand oder Schubversagen) mit $\beta = 1,0$ linear interpoliert.</p>	
<p>Bei KHP-Streben sind die obigen Grenzwerte mit $\pi/4$ zu multiplizieren und b_1 und h_1 ist durch d_1 und b_2 sowie h_2 durch d_2 zu ersetzen.</p>	
<p>Für Zug: $f_b = f_{y0}$</p> <p>Für Druck: $f_b = \chi f_{y0}$ (T- und Y-Anschlüsse) $f_b = 0,8 \chi f_{y0} \sin \theta_1$ (X-Anschlüsse)</p> <p>Dabei ist χ der Abminderungsbeiwert nach der maßgebenden Knickkurve für Biegeknicken nach EN 1993-1-1 und einem normalisierten Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}$, der wie folgt berechnet wird:</p> $\bar{\lambda} = 3,46 \frac{\left(\frac{h_0}{t_0} - 2 \right) \sqrt{\frac{1}{\sin \theta_1}}}{\pi \sqrt{\frac{E}{f_{y0}}}}$	$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yt1}} b_1 \quad \text{jedoch } b_{eff} \leq b_1$ $b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} b_1 \quad \text{jedoch } b_{e,p} \leq b_1$ <p>Für $n > 0$ (Druck):</p> $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}$ <p>jedoch $k_n \leq 1,0$</p> <p>Für $n \leq 0$ (Zug):</p> $k_n = 1,0$

AC

Tabelle 7.12 — Tragfähigkeit von geschweißten K- und N-Anschlüssen von RHP- oder KHP-Streben an RHP-Gurtstäbe

Anschlussstyp	Tragfähigkeit [$i = 1$ oder 2]
K- und N-Anschlüsse mit Spalt	Flanschversagen des Gurtstabs
	$N_{i,Rd} = \frac{8,9k_n f_{y0} t_0^2 \sqrt{\gamma}}{\sin \theta_i} \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0} \right) / \gamma_{M5}$
	Schubversagen des Gurtstabs
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i} / \gamma_{M5}$ $N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5}$
	Versagen der Strebe
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (2h_i - 4t_i + b_i + b_{eff}) / \gamma_{M5}$
	Durchstanzen $\beta \leq (1 - 1/\gamma)$
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_i} \left(\frac{2h_i}{\sin \theta_i} + b_i + b_{e,p} \right) / \gamma_{M5}$
K- und N-Anschlüsse mit Überlappung	Wie in Tabelle 7.10.
Bei KHP-Streben sind die obigen Grenzwerte mit $\pi/4$ zu multiplizieren und b_1 und h_1 ist durch d_1 und b_2 sowie $\text{AC} h_2$ durch d_2 , außer bei Schubversagen des Gurtstabes AC zu ersetzen.	
$A_v = (2h_0 + ab_0)t_0$ <p>Für eine RHP-Strebe: $\alpha = \sqrt{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}$</p> <p>wobei g die Spaltbreite ist, siehe Bild 1.3(a).</p> <p>AC Für KHP-Streben: $\alpha = 0$ AC</p>	$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} b_i \quad \text{jedoch } b_{eff} \leq b_i$ $\text{AC } b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} b_i \text{ AC} \quad \text{jedoch } b_{e,p} \leq b_i$ <p>Für $n > 0$ (Druck): $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}$ jedoch $k_n \leq 1,0$</p> <p>Für $n \leq 0$ (Zug): $k_n = 1,0$</p>

Tabelle 7.13 — Tragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen von Blechen oder von I- oder H-Profilstreben an RHP-Gurtstäbe

<p>Querblech</p> 	<p>AC Flanschversagen des Gurtstabs $\beta \leq 0,85$ AC</p> <p>AC $N_{1,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 \frac{2 + 2,8\beta}{\sqrt{1 - 0,9\beta}} / \gamma_{M5}$ AC^a</p> <p>Seitenwandversagen des Gurtstabs (plast. Stauchen) für $b_1 \geq b_0 - 2t_0$</p> <p>AC $N_{1,Rd} = k_n f_{y0} t_0 (2t_1 + 10t_0) / \gamma_{M5}$ AC</p> <p>Durchstanzen für $b_1 \leq b_0 - 2t_0$</p> <p>$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3}} (2t_1 + 2b_{e,p}) / \gamma_{M5}$</p>
<p>Längsblech</p>  <p>$t_1/b_0 \leq 0,2$</p>	<p>Flanschversagen des Gurtstabs</p> <p>AC $N_{1,Rd} = \frac{k_m f_{y0} t_0^2}{\gamma_{M5}} (2h_1 / b_0 + 4\sqrt{1 - t_1 / b_0})$ AC</p>
<p>I- oder H-Profil</p> 	<p>Falls $\eta \geq 2\sqrt{1 - \beta}$ kann bei I- oder H-Profilen $N_{1,Rd}$ auf der sicheren Seite liegend mit Hilfe der Formeln für zwei Querbleche (siehe oben) bestimmt werden, die die gleichen Abmessungen wie die Flansche der I- oder H-Profile haben.</p> <p>Falls $\eta < 2\sqrt{1 - \beta}$ sollte $N_{1,Rd}$ zwischen den Werten für ein Querblech und für zwei Querbleche interpoliert werden.</p> <p>$M_{ip,1,Rd} = N_{1,Rd} (h_1 - t_1)$</p> <p>AC $N_{1,Rd}$ die Leistung eines Flansches;</p> <p>β das Verhältnis der Breite des Flansches der I- oder H-Profilstreben und der Breite des RHP-Gurtstabes. AC</p>
<p>Gültigkeitsbereich</p>	
<p>Zusätzlich zu den Grenzen in Tabelle 7.8 gilt:</p> <p>$0,5 \leq \beta \leq 1,0$</p> <p>$b_0/t_0 \leq 30$</p>	
<p>Parameter b_{eff}, $b_{e,p}$ und k_m</p>	
<p>$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{y1} t_1} b_1$ jedoch $b_{eff} \leq b_i$</p>	<p>Für $n > 0$ (Druck): $k_m = 1,3(1 - n)$ jedoch $k_m \leq 1,0$</p>
<p>$b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} b_1$ jedoch $b_{e,p} \leq b_i$</p>	<p>Für $n \leq 0$ (Zug): $k_m = 1,0$</p>
<p>^a Kehlnahtverbindungen sollten nach 4.10 bemessen werden.</p>	

(5) Werden die Streben an den Anschlüssen durch Biegemomente und Längskräfte beansprucht, ist in der Regel folgende Bedingung zu erfüllen:

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} + \frac{M_{op,i,Ed}}{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0 \quad (7.4)$$

Dabei ist

- $M_{ip,i,Rd}$ die Momententragfähigkeit des Anschlusses in der Ebene des Fachwerks;
- $M_{ip,i,Ed}$ das einwirkende Biegemoment in der Ebene des Fachwerks;
- $M_{op,i,Rd}$ die Momententragfähigkeit des Anschlusses rechtwinklig zur Ebene des Fachwerks;
- $M_{op,i,Ed}$ das einwirkende Biegemoment rechtwinklig zur Ebene des Fachwerks.

(6) Die einwirkende Schnittgröße $M_{i,Ed}$ darf am Anschnitt der Strebe am Gurtstabflansch bestimmt werden.

(7) Bei unverstärkten Anschlüssen sind in der Regel die Momententragfähigkeiten $M_{i,Rd}$ in Fachwerkebene und rechtwinklig dazu nach Tabelle 7.13 oder Tabelle 7.14 zu ermitteln. Zu verstärkten Anschlüssen siehe 7.5.2.2.

(8) Bei speziellen geschweißten Anschlüssen, die in Tabelle 7.15 und Tabelle 7.16 aufgeführt sind, sind in der Regel die dort angegebenen Bemessungskriterien zu erfüllen.

7.5.2.2 Verstärkte Anschlüsse

(1) Geschweißte Anschlüsse können auf verschiedene Arten verstärkt werden. Die angemessene Verstärkungsart hängt von der maßgebenden Versagensform ohne Verstärkung ab.

(2) Durch Gurtlamellen auf den Gurtstabflanschen können die Tragfähigkeiten für Versagen des Gurtstabflansches, Durchstanzen oder Versagen der Strebe durch reduzierte wirksame Breite vergrößert werden.

(3) Paarweise angeordnete Seitenlamellen können die Tragfähigkeit für Versagen der Seitenwände des Gurtstabes oder Schubversagen des Gurtstabes vergrößern.

(4) Um Teilüberlappung der Streben in K- oder N-Anschlüssen zu vermeiden, können die Streben an eine Quersteife angeschweißt werden.

(5) Jedmögliche Kombination dieser Verstärkungsarten ist möglich.

(6) Die Stahlgüte der Verstärkungen sollte nicht geringer sein als die des Gurtstabes.

(7) Die Tragfähigkeiten von verstärkten Anschlüssen sind mit Hilfe der Tabelle 7.17 und Tabelle 7.18 zu bestimmen.

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 7.14 — Biegetragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen von RHP-Streben an RHP-Gurtstäbe

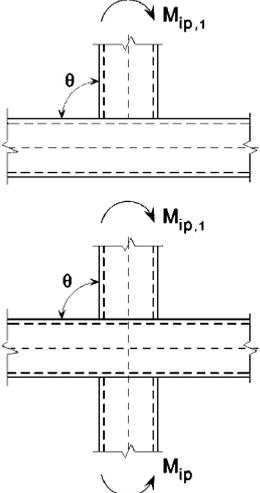
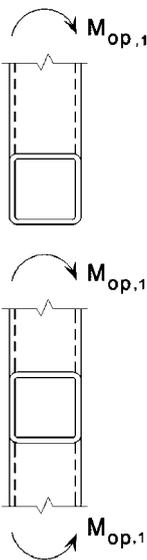
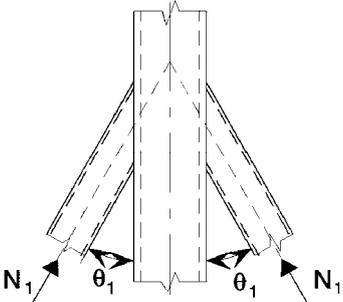
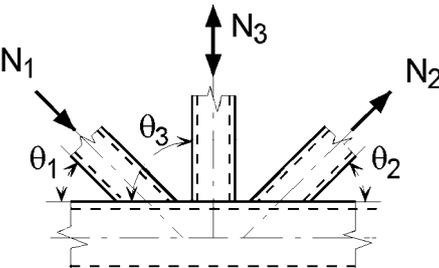
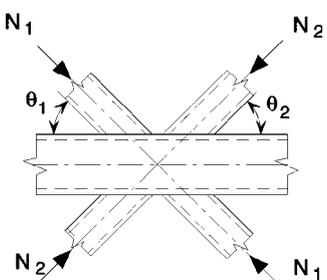
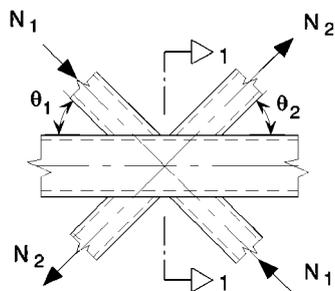
T- und X-Anschlüsse	Biegetragfähigkeit
Moment in der Ebene des Fachwerks ($\theta = 90^\circ$)	Flanschversagen des Gurtstabs $\beta \leq 0,85$
	$M_{ip,1,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 h_1 \left(\frac{1}{2\eta} + \frac{2}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{\eta}{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$
	Seitenwandversagen des Gurtstabs (plast. Stauchen) $\text{[AC]} 0,85 < \beta \leq 1,0 \text{ [AC]}$
	$M_{ip,1,Rd} = 0,5 f_{yk} t_0 (h_1 + 5t_0)^2 / \gamma_{M5}$ $f_{yk} = f_{y0} \quad \text{für T-Anschlüsse}$ $f_{yk} = 0,8 f_{y0} \quad \text{für X-Anschlüsse}$
	Versagen der Strebe $\text{[AC]} 0,85 < \beta \leq 1,0 \text{ [AC]}$ $\text{[AC]} M_{ip,1,Rd} = f_{y1} (W_{pl,1} - (1 - b_{eff} / b_1) b_1 (h_1 - t_1) t_1) / \gamma_{M5} \text{ [AC]}$
Moment rechtwinklig zur Ebene des Fachwerks ($\theta = 90^\circ$)	Flanschversagen des Gurtstabs $\beta \leq 0,85$
	$M_{op,1,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 \left(\frac{h_1(1+\beta)}{2(1-\beta)} + \sqrt{\frac{2b_0 b_1(1+\beta)}{1-\beta}} \right) / \gamma_{M5}$
	Seitenwandversagen des Gurtstabs (plast. Stauchen) $\text{[AC]} 0,85 < \beta \leq 1,0 \text{ [AC]}$
	$M_{op,1,Rd} = f_{yk} t_0 (b_0 - t_0) (h_1 + 5t_0) / \gamma_{M5}$ $f_{yk} = f_{y0} \quad \text{für T-Anschlüsse}$ $f_{yk} = 0,8 f_{y0} \quad \text{für X-Anschlüsse}$
	Versagen des Gurtstabs durch Querschnittsverformung (nur T-Anschlüsse) ^a
	$M_{op,1,Rd} = 2 f_{y0} t_0 (h_1 t_0 + \sqrt{b_0 h_0 t_0 (b_0 + h_0)}) / \gamma_{M5}$
	Versagen der Strebe $\text{[AC]} 0,85 < \beta \leq 1,0 \text{ [AC]}$ $M_{op,1,Rd} = f_{y1} (W_{pl,1} - 0,5 (1 - b_{eff} / b_1)^2 b_1^2 t_1) / \gamma_{M5}$
Parameter b_{eff} und k_n	
$b_{eff} = \frac{10 f_{y0} t_0}{b_0 / t_0 f_{y1} t_1} b_1$ jedoch $b_{eff} \leq b_1$	Für $n > 0$ (Druck): $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}$ jedoch $k_n \leq 1,0$ Für $n \leq 0$ (Zug): $k_n = 1,0$
^a Dieses Kriterium braucht nicht berücksichtigt zu werden, wenn die Querschnittsverformung des Gurtstabs durch geeignete Maßnahmen verhindert wird.	

Tabelle 7.15 — Bemessungskriterien für spezielle geschweißte Anschlüsse von RHP-Streben an RHP-Gurtstäben

Anschlussstyp	Bemessungskriterien
<p>Die Kräfte können sowohl Zug- als auch Druckkräfte sein, jedoch in beiden Streben gleich.</p> 	$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$ <p>wobei $N_{1,Rd}$ dem Wert $N_{1,Rd}$ für einen X-Anschluss nach Tabelle 7.11 entspricht.</p>
<p>In Strebe 1 immer Druckkraft und in Strebe 2 immer Zugkraft.</p> 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ $N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ <p>wobei $N_{1,Rd}$ dem Wert $N_{1,Rd}$ für einen K-Anschluss nach Tabelle 7.12 entspricht. Dabei wird</p> $\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0}$ <p>durch: $\frac{b_1 + b_2 + b_3 + h_1 + h_2 + h_3}{6b_0}$ ersetzt.</p>
<p>In allen Streben entweder nur Druck oder nur Zug.</p> 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{x,Rd} \sin \theta_x$ <p>wobei $N_{x,Rd}$ dem Wert $N_{x,Rd}$ für einen X-Anschluss nach Tabelle 7.11 entspricht. Dabei ist $N_{x,Rd} \sin \theta_x$ der größere der beiden folgenden Werte:</p> $ N_{1,Rd} \sin \theta_1 \text{ oder } N_{2,Rd} \sin \theta_2 $
<p>In Strebe 1 immer Druckkraft und in Strebe 2 immer Zugkraft.</p> 	$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$ <p>wobei $N_{i,Rd}$ dem Wert $N_{i,Rd}$ für einen K-Anschluss nach Tabelle 7.12 entspricht, vorausgesetzt, dass für den Gurtstab im Schnitt 1-1 bei Anschlüssen mit Spalt gilt:</p> $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 7.16 — Bemessungskriterien für geschweißte Rahmeneckanschlüsse und abgeknickte Anschlüsse mit RHP-Bauteilen

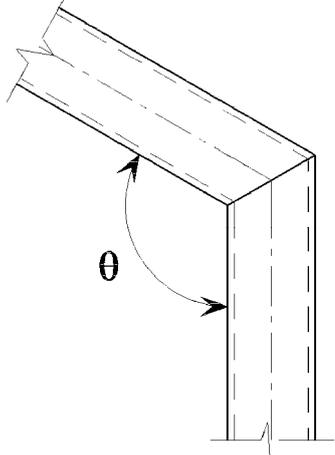
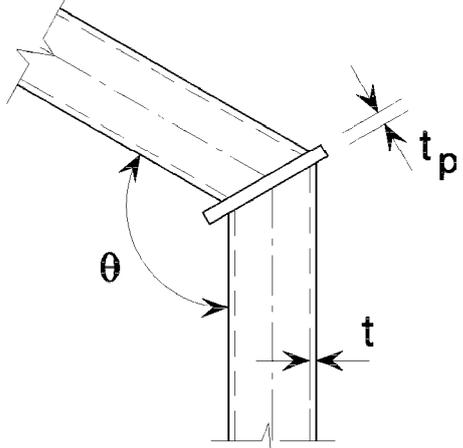
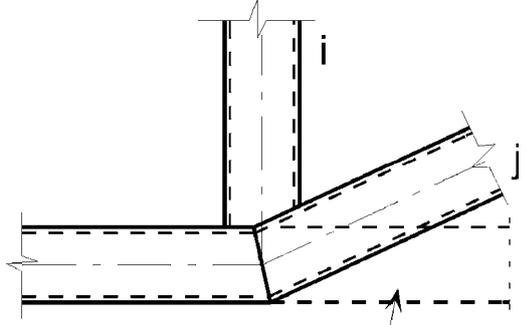
Anschlussstyp	Bemessungskriterien
Geschweißte Rahmeneckanschlüsse	
	<p>Der Querschnitt sollte für reine Biegung in Klasse 1 eingestuft sein, siehe EN 1993-1-1.</p> $N_{Ed} \leq 0,2N_{pl,Rd}$ <p>und $\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq \kappa$</p> <p>Für $\theta \leq 90^\circ$: $\kappa = \frac{3\sqrt{b_0/h_0}}{[b_0/t_0]^{0,8}} + \frac{1}{1+2b_0/h_0}$</p> <p>Für $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$: $\kappa = 1 - (\sqrt{2} \cos(\theta/2))(1 - \kappa_{90})$</p> <p>wobei κ_{90} der Wert κ für $\theta = 90^\circ$ ist.</p>
	$t_p \geq 1,5t \text{ und } \geq 10 \text{ mm}$ $\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,0$
Abgeknickter Gurtstabanschuss	
 <p style="text-align: center;">gedachte Gurtstabverlängerung</p>	$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$ <p>wobei $N_{i,Rd}$ dem Wert $N_{i,Rd}$ für einen K- oder N-Anschluss mit Überlappung nach Tabelle 7.12 entspricht.</p>

Tabelle 7.17 — Tragfähigkeit von geschweißten verstärkten T-, Y- und X-Anschlüssen von RHP- oder KHP-Streben an RHP-Gurtstäbe

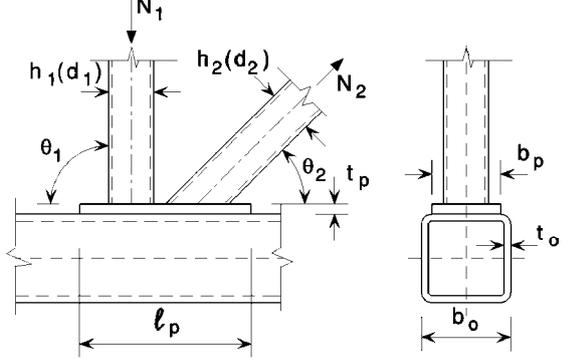
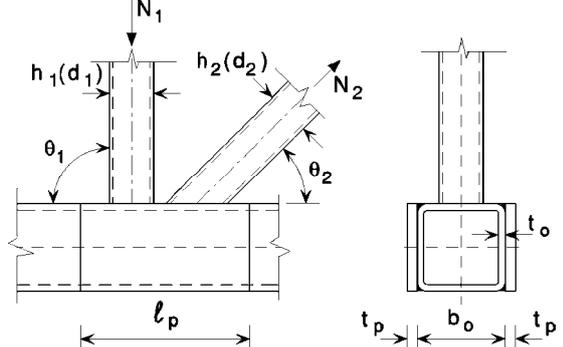
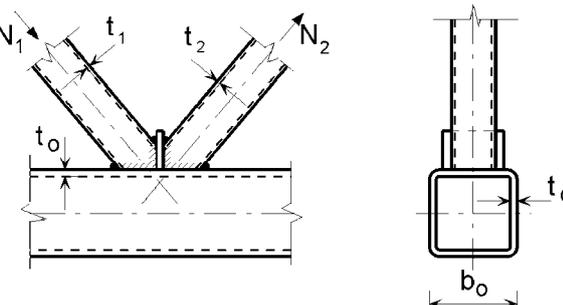


Anschlussstyp	Tragfähigkeit
Verstärkung durch Gurtlamellen auf Gurtstabflanschen zur Vermeidung des Flanschversagens der Gurtstäbe, des Versagens der Strebe oder des Durchstanzens.	
Zugbeanspruchung $\beta_p \leq 0,85$	
	$l_p \geq \frac{h_1}{\sin \theta_1} + \sqrt{b_p(b_p - b_1)}$ <p>und</p> $b_p \geq b_0 - 2t_0$ $t_p \geq 2t_1$ $N_{1,Rd} = \frac{f_{yp} t_p^2}{(1 - b_1/b_p) \sin \theta_1} \dots$ $\dots \left(\frac{2h_1/b_p}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1 - b_1/b_p} \right) / \gamma_{M5}$
Druckbeanspruchung $\beta_p \leq 0,85$	
	$l_p \geq \frac{h_1}{\sin \theta_1} + \sqrt{b_p(b_p - b_1)}$ <p>und</p> $b_p \geq b_0 - 2t_0$ $t_p \geq 2t_1$ <p>wobei $N_{1,Rd}$ dem Wert $N_{1,Rd}$ für einen T-, X- oder Y-Anschluss nach Tabelle 7.11 entspricht. Dabei ist $k_n = 1,0$ und es ist t_0 durch t_p für Flanschversagen des Gurtstabes, Versagen der Strebe und Durchstanzungen zu ersetzen.</p>
Verstärkung durch Seitenlamellen zur Vermeidung des Seitenwandversagens oder des Schubversagens des Gurtstabes.	
	$l_p \geq 1,5h_1 / \sin \theta_1$ $t_p \geq 2t_1$ <p>wobei $N_{1,Rd}$ dem Wert $N_{1,Rd}$ für einen T-, X- oder Y-Anschluss nach Tabelle 7.11 entspricht. Dabei ist t_0 durch $(t_0 + t_p)$ für Seitenwandversagen und Schubversagen des Gurtstabes zu ersetzen.</p>



DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

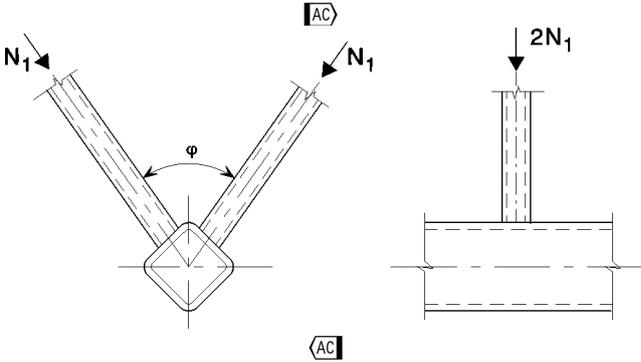
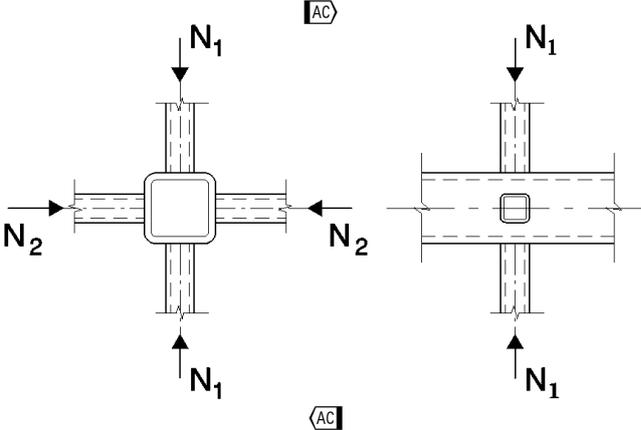
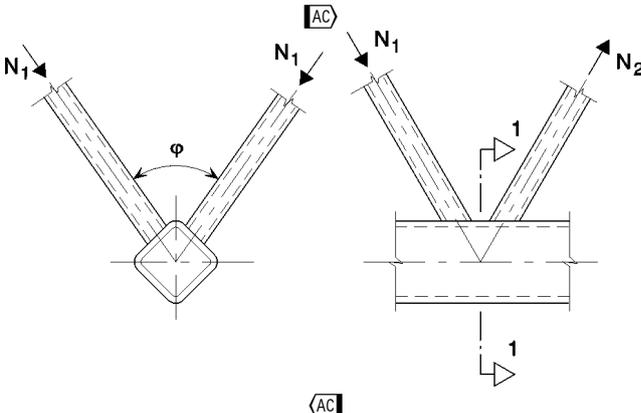
Tabelle 7.18 — Tragfähigkeit von geschweißten verstärkten K- und N-Anschlüssen von RHP- oder KHP-Streben an RHP-Gurtstäbe

Anschlussstyp	Tragfähigkeit [$i = 1$ oder 2]
<p>Verstärkung durch Gurtlamellen auf Gurtstabflanschen zur Vermeidung des Flanschversagens der Gurtstäbe, des Versagens der Strebe oder des Durchstanzens.</p>	
	$\ell_p \geq 1,5 \left(\frac{h_1}{\sin \theta_1} + g + \frac{h_2}{\sin \theta_2} \right)$ $b_p \geq b_0 - 2 t_0$ $t_p \geq 2 t_1 \text{ und } 2 t_2$ <p>wobei $N_{i,Rd}$ dem Wert $N_{i,Rd}$ für einen K- oder N-Anschluss nach Tabelle 7.12 entspricht. Dabei ist t_0 durch t_p für Flanschversagen des Gurtstabs, Versagen der Strebe und Durchstanzens zu ersetzen.</p>
<p>Verstärkung durch paarweise Seitenlamellen zur Vermeidung des Schubversagens des Gurtstabes.</p>	
	$\ell_p \geq 1,5 \left(\frac{h_1}{\sin \theta_1} + g + \frac{h_2}{\sin \theta_2} \right)$ <p>wobei $N_{i,Rd}$ dem Wert $N_{i,Rd}$ für einen K- oder N-Anschluss nach Tabelle 7.12 entspricht. Dabei ist t_0 durch $(t_0 + t_p)$ für Schubversagen des Gurtstabes zu ersetzen.</p>
<p>Verstärkung durch eine Quersteife zwischen den Streben bei ungenügender Überlappung.</p>	
	$t_p \geq 2 t_1 \text{ und } 2 t_2$ <p>wobei $N_{i,Rd}$ dem Wert $N_{i,Rd}$ für einen K- oder N-Anschluss mit Überlappung nach Tabelle 7.12 mit $\lambda_{ov} < 80 \%$ entspricht. Dabei sind b_j, t_j und f_{yj} durch b_p, t_p und f_{yp} im Ausdruck für $b_{e,ov}$ in Tabelle 7.10 zu ersetzen.</p>

7.5.3 Räumliche Anschlüsse

- (1) Bei räumlichen Anschlüssen sind in jeder maßgebenden Ebene die Bemessungskriterien in 7.5.2 mit den nach 7.5.3(2) abgeminderten Tragfähigkeiten zu erfüllen.
- (2) Die Abminderungsbeiwerte μ für die Tragfähigkeiten für jede maßgebende Ebene sind aus Tabelle 7.19 zu bestimmen. Die Tragfähigkeit des ebenen Anschlusses wird nach 7.5.2 unter Verwendung der Gurtstabkraft des räumlichen Anschlusses berechnet.

Tabelle 7.19 — Abminderungsbeiwerte für räumliche Anschlüsse

Anschlussstyp	Abminderungsbeiwert μ
<p>TT-Anschluss</p> <p>In Strebe 1 entweder Zugkraft oder Druckkraft</p> 	<p>$60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$</p> <p>$\mu = 0,9$</p>
<p>XX-Anschluss</p> <p>In Strebe 1 und Strebe 2 entweder Zugkräfte oder Druckkräfte. Herrscht in einer Strebe Zug und in der anderen Druck ist der Ausdruck für $N_{2,Ed}/N_{1,Ed}$ negativ.</p> 	<p>$\mu = 0,9(1 + 0,33N_{2,Ed}/N_{1,Ed})$</p> <p>Die Vorzeichen von $N_{1,Ed}$ und $N_{2,Ed}$ sind zu berücksichtigen, wobei $N_{2,Ed} \leq N_{1,Ed}$</p>
<p>KK-Anschluss</p> <p>In Strebe 1 immer Druckkraft und in Strebe 2 immer Zugkraft.</p> 	<p>$60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$</p> <p>$\mu = 0,9$</p> <p>vorausgesetzt, dass für den Gurtstab im Schnitt 1-1 bei Anschlüssen mit Spalt gilt:</p> $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

7.6 Geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP-Streben an I- oder H-Profil Gurtstäbe

(1) Liegen die geometrischen Abmessungen von Anschlüssen innerhalb des Gültigkeitsbereiches nach Tabelle 7.20, sind in der Regel die Tragfähigkeiten der Anschlüsse mit den Gleichungen in Tabelle 7.21 oder Tabelle 7.22 zu bestimmen.

Tabelle 7.20 — Gültigkeitsbereich für geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP-Streben an I- oder H-Profil Gurtstäbe

Anschluss- typ	Anschlussparameter [$i = 1$ oder $2, j =$ überlappte Strebe]					
	$d_w l_{tw}$	$b_i l_{t_i}$ und $h_i l_{t_i}$ oder $d_i l_{t_i}$		$h_i l_{b_i}$	$b_0 l_{t_f}$	$b_i l_{b_j}$
		Druck	Zug			
X	Klasse 1 und $d_w \leq 400$ mm	$\boxed{\text{AC}}$ Klasse 1 oder $2 \langle \text{AC} \rangle$ und $\frac{h_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{b_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$\frac{h_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{b_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$\geq 0,5$ jedoch $\leq 2,0$	$\boxed{\text{AC}}$ Klasse 1 oder $2 \langle \text{AC} \rangle$	—
T oder Y				1,0		—
K-Spalt N-Spalt K-Über- lappung N-Über- lappung $\boxed{\text{AC}}$ 25 % \leq $\lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim}^a$ $\langle \text{AC} \rangle$				$\geq 0,5$ jedoch $\leq 2,0$		$\geq 0,75$
$\boxed{\text{AC}}$ ^a $\lambda_{ov,lim} = 60$ % falls die verdeckte Naht nicht geschweißt ist und 80 % wenn die verdeckte Naht geschweißt ist. Falls die Überlappung $\lambda_{ov,lim}$ überschreitet oder wenn die Streben rechteckige Profile mit $h_i < b_i$ und/oder $h_j < b_j$ sind, muss die Verbindung zwischen den Streben und der Oberfläche des Gurtstabes auf Abscherung überprüft werden. $\langle \text{AC} \rangle$						

(2) Liegen die geschweißten Anschlüsse innerhalb des Gültigkeitsbereichs nach Tabelle 7.20, brauchen nur die in den Tabellen angegebenen $\boxed{\text{AC}}$ Versagensformen beachtet werden. $\langle \text{AC} \rangle$ Die Tragfähigkeit eines Anschlusses ist durch den kleinsten Wert definiert.

(3) Bei geschweißten Anschlüssen außerhalb des Gültigkeitsbereichs nach Tabelle 7.20 sollten $\boxed{\text{AC}}$ alle Versagensformen untersucht werden, die in $\langle \text{AC} \rangle$ 7.2.2 aufgelistet sind. Zusätzlich sollten in diesem Fall bei der Bemessung der Anschlüsse die Sekundärmomente, die sich aus ihrer Rotationssteifigkeit ergeben, berücksichtigt werden.

(4) Werden die Streben an den Anschlüssen nur durch Längskräfte beansprucht, dürfen die Bemessungswerte der einwirkenden Schnittgrößen $N_{i,Ed}$ die Bemessungswerte der Tragfähigkeiten $N_{i,Rd}$, die in Tabelle 7.21 angegeben sind, nicht überschreiten.

(5) Werden die Streben an den Anschlüssen durch Biegemomente und Längskräfte beansprucht, ist in der Regel folgende Interaktionsbedingung zu erfüllen:

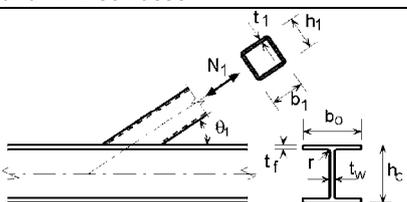
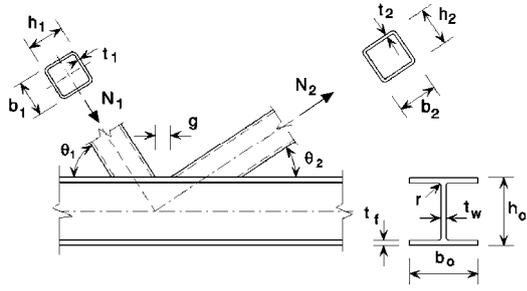
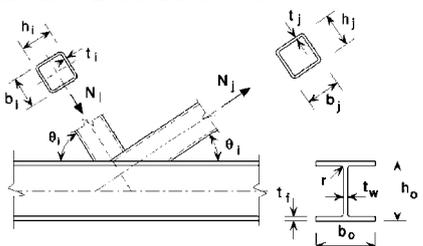
$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} \leq 1,0 \quad (7.5)$$

Dabei ist

$M_{ip,i,Rd}$ die Momentenragfähigkeit des Anschlusses in der Ebene des Fachwerks;

$M_{ip,i,Ed}$ das einwirkende Biegemoment in der Ebene des Fachwerks.

Tabelle 7.21 — Tragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen von RHP- oder KHP-Streben an I- oder H-Profil Gurtstäbe

Anschlussstyp	Tragfähigkeit [i = 1 oder 2, j = überlappte Strebe]	
T-, Y- und X-Anschlüsse	Fließen des Steges des Gurtstabes	
	$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_w b_w}{\sin \theta_1} / \gamma_{M5}$	
	Versagen der Strebe	
	$N_{1,Rd} = 2f_{y1} t_1 p_{eff} / \gamma_{M5}$	
K- und N-Anschlüsse mit Spalt [i = 1 oder 2]	$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_w b_w}{\sin \theta_1} / \gamma_{M5}$	Nachweis gegen Versagen der Strebe nicht erforderlich, wenn: $g/t_f \leq 20 - 28\beta; \beta \leq 1,0 - 0,03\gamma$ wobei $\gamma = b_0/2t_f$ und für KHP: $0,75 \leq d_1/d_2 \leq 1,33$ oder für RHP: $0,75 \leq b_1/b_2 \leq 1,33$
	Versagen der Strebe	
	$N_{i,Rd} = 2f_{yi} t_i p_{eff} / \gamma_{M5}$	
	Schubversagen des Gurtstabes	
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i} / \gamma_{M5}$	
	$N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5}$	
K- und N-Anschlüsse mit Überlappung ^a [i = 1 oder 2]	Versagen der Strebe $25\% \leq \lambda_{ov} < 50\%$	
<p>Die Kräfte in den Streben i und j können sowohl Zug- als auch Druckkräfte sein.</p> 	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (p_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i \frac{\lambda_{ov}}{50} - 4t_i) / \gamma_{M5}$	
	Versagen der Strebe $50\% \leq \lambda_{ov} < 80\%$	
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (p_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$	
	Versagen der Strebe $\lambda_{ov} \geq 80\%$	
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$	
$A_v = A_0 - (2 - \alpha) b_0 t_f + (t_w + 2r) t_f$ <p>Bei RHP-Strebe:</p> $\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + 4g^2 / (3t_f^2)}} / \gamma_{M5}$ <p>Bei KHP-Strebe: $\alpha = 0$</p>	$p_{eff} = t_w + 2r + 7t_f f_{y0} / f_{yi}$ <p>jedoch bei T-, Y-, X-Anschlüsse und K- und N-Anschlüssen mit Spalt:</p> $p_{eff} \leq b_i + h_i - 2t_i$ <p>jedoch bei K- und N-Anschlüssen mit Überlappung:</p> $p_{eff} \leq b_i$ <p>Bei KHP-Streben:</p> $b_{e,ov} = \frac{10}{b_j} \frac{f_{y j} t_j}{f_{y i} t_i} b_i$ <p>jedoch $b_{e,ov} \leq b_i$</p>	$b_w = \frac{h_i}{\sin \theta_i} + 5(t_f + r)$ <p>jedoch</p> $b_w \leq 2t_i + 10(t_f + r)$
Bei KHP-Streben sind die obigen Grenzwerte mit $\pi/4$ zu multiplizieren und b_1 und h_1 ist durch d_1 und b_2 sowie h_2 durch d_2 , außer bei Schubversagen des Gurtstabs zu ersetzen.		
^a Nur die überlappende Strebe i braucht nachgewiesen zu werden. Der Ausnutzungsgrad (d. h. die Tragfähigkeit des Anschlusses dividiert durch die plastische Beanspruchbarkeit der Strebe) der überlappten Strebe j ist in der Regel mit dem Ausnutzungsgrad der überlappenden Strebe gleichzusetzen. Siehe auch Tabelle 7.20.		

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

- (6) Die einwirkende Schnittgröße $M_{i,Ed}$ darf am Anschnitt der Strebe am Gurtstabflansch bestimmt werden.
- (7) Die Biegetragfähigkeit $M_{ip,1,Rd}$ der Anschlüsse in Fachwerkebene ist Tabelle 7.22 zu entnehmen.
- (8) Wird der Gurtstab durch Steifen ausgesteift, siehe Bild 7.7, so wird die Tragfähigkeit $N_{i,Rd}$ für Versagen der Strebe bei T-, X-, Y-, K-Anschlüssen mit Spalt und N-Anschlüssen mit Spalt, siehe Tabelle 7.22, wie folgt berechnet:

$$N_{i,Rd} = 2 f_{yi} t_i (b_{eff} + b_{eff,s}) / \gamma_{M5} \tag{7.6}$$

Dabei ist

$$b_{eff} = t_w + 2r + 7 t_f f_{y0} / f_{yi} \quad \text{jedoch} \leq b_i + h_i - 2t_i$$

$$b_{eff,s} = t_s + 2a + 7 t_f f_{y0} / f_{yi} \quad \text{jedoch} \leq b_i + h_i - 2t_i$$

$$b_{eff} + b_{eff,s} \leq b_i + h_i - 2t_i$$

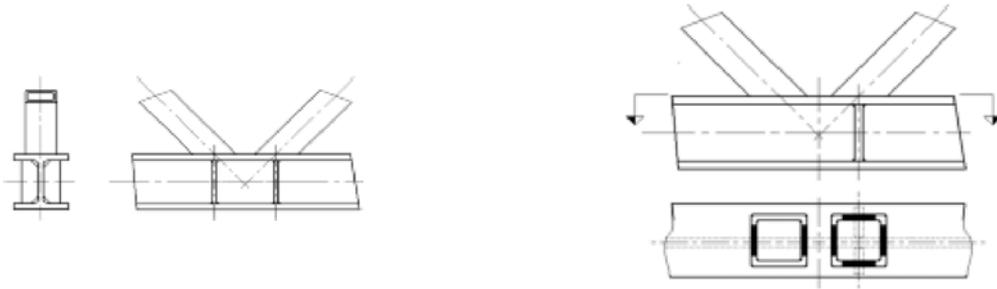
a die Schweißnahtdicke an der Steife. Die Nahtdicke '2*a*' wird durch '*a*' ersetzt, wenn einseitige Kehlnähte verwendet werden;

s der Index für Steife.

- (9) Die Wanddicke der Steifen sollte mindestens der Stegdicke des I-Profiles entsprechen.

Tabelle 7.22 — Biegetragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen von RHP-Streben an I- oder H-Profil Gurtstäbe

Anschlussstyp	Biegetragfähigkeit [<i>i</i> = 1 oder 2, <i>j</i> = überlappte Strebe]
T- und Y-Anschlüsse	Fließen des Steges des Gurtstabes
	$\text{AC} \rangle M_{ip,1,Rd} = 0,5 f_{y0} t_w b_w (h_1 - t_1) / \gamma_{M5} \text{ AC} \langle$
	Versagen der Strebe
Parameter $\text{AC} \rangle p_{eff} \text{ AC} \langle$ und b_w	
$\text{AC} \rangle p_{eff} = t_w + 2r + 7 t_f f_{y0} / f_{y1}$ <p>jedoch $p_{eff} \leq b_1 + h_1 - 2t_1 \text{ AC} \langle$</p>	$b_w = \frac{h_1}{\sin \theta_1} + 5(t_f + r) \quad \text{jedoch} \quad b_w \leq 2t_1 + 10(t_f + r)$



Wirksamer Strebenquerschnitt, ohne (links) und mit (rechts) Steife

Bild 7.7 — Steifen an I-Profil Gurtstäben

7.7 Geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP-Streben an U-Profil Gurtstäbe

- (1) Liegen die geometrischen Abmessungen von Anschlüssen innerhalb des Gültigkeitsbereiches nach Tabelle 7.23, können die Tragfähigkeiten der Anschlüsse von Hohlprofilstreben an U-Profil Gurtstäbe nach Tabelle 7.24 bestimmt werden.
- (2) Bei der Bemessung der Anschlüsse sollten die Momente aus Sekundärwirkung, die sich aus ihrer Rotationssteifigkeit ergeben, berücksichtigt werden.
- (3) Für Anschlüsse mit Spalt ist in der Regel die Tragfähigkeit $N_{0,Rd}$ des Gurtstabquerschnitts zu bestimmen. Dabei wird die Schubkraftübertragung zwischen den Streben durch den Gurtstab berücksichtigt, jedoch werden die Sekundärmomente vernachlässigt. Der Nachweis ist nach EN 1993-1-1 zu führen.

Tabelle 7.23 — Gültigkeitsbereich für geschweißte Anschlüsse von KHP- oder RHP-Streben an U-Profil-Gurtstäbe

Anschluss- typ	Anschlussparameter [$i = 1$ oder $2, j =$ überlappte Strebe]					
	b_i/b_0	$b_i t_i$ und $h_i t_i$ oder $d_i t_i$		h_i/b_i	$b_0 t_0$	Spalt oder Überlappung b_i/b_j
		Druck	Zug			
K-Spalt N-Spalt	$\geq 0,4$ und $b_0 \leq 400$ mm	$\langle AC \rangle$ Klasse 1 oder 2 $\langle AC \rangle$ und $\frac{h_i}{t_i} \leq 35$	$\frac{h_i}{t_i} \leq 35$	$\geq 0,5$ jedoch $\leq 2,0$	$\langle AC \rangle$ Klasse 1 oder 2 $\langle AC \rangle$	$0,5(1-\beta^*) \leq g/b_0^* \leq 1,5(1-\beta^*)^a$ und $g \geq t_1 + t_2$
K-Über- lappung N-Über- lappung	$\geq 0,25$ und $b_0 \leq 400$ mm	$\frac{h_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{b_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$\frac{b_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$\geq 0,5$ jedoch $\leq 2,0$	$\langle AC \rangle$ Klasse 1 oder 2 $\langle AC \rangle$	$\langle AC \rangle 25\% \leq \lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim}^b \langle AC \rangle$ $b_i/b_j \geq 0,75$

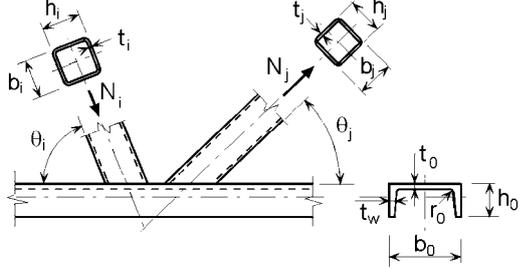
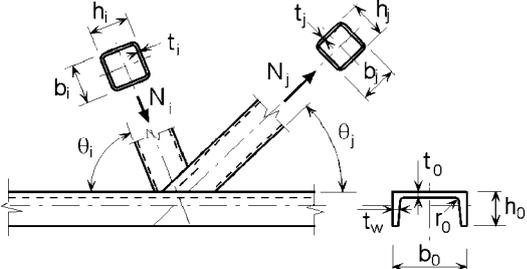
$\beta^* = b_1/b_0^*$
 $b_0^* = b_0 - 2(t_w + r_0)$

^a Diese Bedingung gilt nur, wenn $\beta \leq 0,85$.

^b $\lambda_{ov,lim} = 60\%$ falls die verdeckte Naht nicht geschweißt ist und 80% wenn die verdeckte Naht geschweißt ist. Falls die Überlappung $\lambda_{ov,lim}$ überschreitet oder wenn die Streben rechteckige Profile mit $h_i < b_i$ und/oder $h_j < b_j$ sind, muss die Verbindung zwischen den Streben und der Oberfläche des Gurtstabes auf Abscherung überprüft werden. $\langle AC \rangle$

DIN EN 1993-1-8:2010-12
EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 7.24 — Tragfähigkeit von geschweißten Anschlüssen von RHP- oder KHP-Streben an U-Profil-Gurtstäbe

Anschlussstyp	Tragfähigkeit [$i = 1$ oder $2, j =$ überlappte Strebe]
K- und N-Anschlüsse mit Spalt	Versagen der Strebe
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (b_i + b_{eff} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$
	Versagen des Gurtstabs
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i} / \gamma_{M5}$ $N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5}$
K- und N-Anschlüsse mit Überlappung ^a	Versagen der Strebe $25 \% \leq \lambda_{ov} < 50 \%$
	$\langle AC \rangle N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5} \langle AC \rangle$
	Versagen der Strebe $50 \% \leq \lambda_{ov} < 80 \%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$
	Versagen der Strebe $\lambda_{ov} \geq 80 \%$
$A_v = A_0 - (1 - \alpha) b_0^* t_0$ $b_0^* = b_0 - 2(t_w + r_0)$ Bei RHP: $\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + 4g^2 / 3t_f^2}}$ Bei KHP: $\alpha = 0$ $V_{pl,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3}} / \gamma_{M5}$ $V_{Ed} = (N_{i,Ed} \sin \theta_i)_{max}$	$b_{eff} = \frac{10}{b_0^* / t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} b_i$ jedoch $b_{eff} \leq b_i$ $b_{e,ov} = \frac{10}{b_j / t_j} \frac{f_{yj} t_j}{f_{yi} t_i} b_i$ jedoch $b_{e,ov} \leq b_i$
Bei KHP-Streben sind die oben genannten Grenzwerte $\langle AC \rangle$ außer bei Schubversagen des Gurtstabs $\langle AC \rangle$ mit $\pi/4$ zu multiplizieren und b_1 und h_1 ist durch d_1 und b_2 sowie h_2 durch d_2 zu ersetzen.	
^a Nur die überlappende Strebe i braucht nachgewiesen zu werden. Der Ausnutzungsgrad (d. h. die Tragfähigkeit des Anschlusses dividiert durch die plastische Beanspruchbarkeit der Strebe) der überlappten Strebe j ist in der Regel mit dem Ausnutzungsgrad der überlappenden Strebe gleichzusetzen.	

DIN EN 1993-1-8/NA

ICS 91.010.30; 91.080.10

Ersatzvermerk
siehe unten

**Nationaler Anhang –
National festgelegte Parameter –
Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen**

National Annex –
Nationally determined parameters –
Eurocode 3: Design of steel structures –
Part 1-8: Design of joints

Annexe Nationale –
Paramètres déterminés au plan national –
Eurocode 3: Calcul des structures en acier –
Partie 1-8: Calcul des assemblages

Ersatzvermerk

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 1993-1-5:2010-12, DIN EN 1993-1-5/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-8:2010-12, 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 1993-1-8:2010-12, DIN EN 1993-1-9:2010-12, DIN EN 1993-1-9/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-10:2010-12 und DIN EN 1993-1-10/NA:2010-12 Ersatz für DIN V ENV 1993-1-1:1993-04, DIN V ENV 1993-1-1/A1:2002-05 und DIN V ENV 1993-1-1/A2:2002-05;
mit DIN EN 1993-1-1:2010-12, DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-8:2010-12, DIN EN 1993-1-11:2010-12 und DIN EN 1993-1-11/NA:2010-12 Ersatz für DIN 18801:1983-09;
mit DIN EN 1993-1-1:2010-12, DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12 und DIN EN 1993-1-8:2010-12 Ersatz für DIN 18808:1984-10;
mit DIN EN 1993-1-8:2010-12, DIN EN 1993-4-1:2010-12 und DIN EN 1993-4-1/NA:2010-12 Ersatz für DIN 18914:1985-09

Gesamtumfang 20 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12**Inhalt**

	Seite
Vorwort	3
NA 1 Anwendungsbereich	4
NA 2 Nationale Festlegungen zur Anwendung von DIN EN 1993-1-8:2010-12	4
NA 2.1 Allgemeines	4
NA 2.2 Nationale Festlegungen	5
NCI zu 1.2 Normative Verweisungen	5
NDP zu 1.2.6 (Bezugsnormengruppe 6: Niete) Anmerkung	5
NDP zu 2.2(2) Anmerkung	5
NCI zu Abschnitt 3.1.1 Verzinkte Schrauben	5
NDP zu 3.1.1(3) Anmerkung	6
NDP zu 3.4.2(1) Anmerkung	6
NCI zu 3.5 Schraubverbindungen mit Sackloch	6
NCI zu 3.13.1 Schraubverbindungen	7
NCI zu 4.5.2 Grenzwert für Kehlnahtdicken	7
NCI zu 4.5.3.2(6)	7
NDP zu 5.2.1(2) Anmerkung	7
NCI zu 6.2.7.1(13) und 6.2.7.1 (14) Kontaktstoß und Druckübertragung durch Kontakt	7
NDP zu 6.2.7.2(9) Anmerkung	8
NCI Kontaktstoß und Druckübertrag durch Kontakt	9
NCI Stumpfstoß von Querschnittsteilen verschiedener Dicken	9
NCI Geschweißte Endanschlüsse zusätzlicher Gurtplatten	10
NCI Gurtplattenstöße	10
NCI Anhang NA.A (<i>normativ</i>) Ergänzende Vorspannverfahren zu DIN EN 1090-2	12
NCI NA.A.1 Allgemeines	12
NCI NA.A.2 Drehimpuls-Vorspannverfahren	12
NCI NA.A.3 Modifiziertes Drehmoment-Vorspannverfahren	12
NCI NA.A.4 Modifiziertes kombiniertes Vorspannverfahren	12
NCI NA.A.5 Tabellen	13
NCI NA.B.1 Werkstoffe	15
NCI NA.B.2 Anforderungen	15
NCI NA.B.3 Charakteristische Werte	16
NCI NA.B.4 Schweißnähte	18
NCI NA.B.5 Schraubverbindungen	18
NCI Literaturhinweise	20

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom NA 005-08-16 AA „Tragwerksbemessung“ erstellt.

Dieses Dokument bildet den Nationalen Anhang zu DIN EN 1993-1-8:2010-12, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8 NA: Bemessung von Anschlüssen*.

Die Europäische Norm EN 1992-1-8 räumt die Möglichkeit ein, eine Reihe von sicherheitsrelevanten Parametern national festzulegen. Diese national festzulegenden Parameter (en: *Nationally determined parameters*, NDP) umfassen alternative Nachweisverfahren und Angaben einzelner Werte, sowie die Wahl von Klassen aus gegebenen Klassifizierungssystemen. Die entsprechenden Textstellen sind in der Europäischen Norm durch Hinweise auf die Möglichkeit nationaler Festlegungen gekennzeichnet. Eine Liste dieser Textstellen befindet sich im Unterabschnitt NA 2.1. Darüber hinaus enthält dieser Nationale Anhang ergänzende nicht widersprechende Angaben zur Anwendung von DIN EN 1993-1-8:2010-12 (en: *non-contradictory complementary information*, NCI).

Dieser Nationale Anhang ist Bestandteil von DIN EN 1993-1-8:2010-12.

DIN EN 1993-1-8:2010-12 und dieser Nationale Anhang DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12 ersetzen teilweise DIN 18800-1:2008-11, DIN 18801:1993-09, DIN 18808:1984-10 und DIN 18914:1985-09, sowie DIN V ENV 1993-1-1:1993-04, DIN V ENV 1993-1-1/A1:2002-05 und DIN V ENV 1993-1-1/A2:2002-05.

Änderungen

Gegenüber DIN 18800-1:2008-11, DIN 18801:1983-09, DIN 18808:1984-10 und DIN 18914:1985-09, sowie DIN V ENV 1993-1-1:1993-04, DIN V ENV 1993-1-1/A1:2002-05 und DIN V ENV 1993-1-1/A2:2002-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) nationale Festlegungen zu DIN EN 1993-1-8:2010-12 aufgenommen.

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 4115: 1950-08

DIN 18800-1: 1981-03, 1990-11, 2008-11

DIN 18800-1/A1: 1996-02

DIN 18801: 1983-09

DIN 18808: 1984-10

DIN 18914: 1985-09

DIN V ENV 1993-1-1: 1993-04

DIN V ENV 1993-1-1/A1: 2002-05

DIN V ENV 1993-1-1/A2: 2002-05

DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12

NA 1 Anwendungsbereich

Dieser Nationale Anhang enthält nationale Festlegungen für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Anschlüssen aus Stahl mit Stahlsorten S235, S275, S355 und S460 unter vorwiegend ruhender Belastung, die bei der Anwendung von DIN EN 1993-1-8:2010-12 in Deutschland zu berücksichtigen sind.

Dieser Nationale Anhang gilt nur in Verbindung mit DIN EN 1993-1-8:2010-12.

NA 2 Nationale Festlegungen zur Anwendung von DIN EN 1993-1-8:2010-12

NA 2.1 Allgemeines

DIN EN 1993-1-8:2010-12 weist an den folgenden Textstellen die Möglichkeit nationaler Festlegungen aus (NDP).

- 1.2.6 (Bezugsnormengruppe 6: Niete);
- 2.2(2);
- 3.1.1(3);
- 3.4.2(1);
- 5.2.1(2);
- 6.2.7.2(9).

Darüber hinaus enthält NA 2.2 ergänzende nicht widersprechende Angaben zur Anwendung von DIN EN 1993-1-8:2010-12. Diese sind durch ein vorangestelltes „NCI“ gekennzeichnet.

- 1.2 Normative Verweisungen;
- 3.1.1 Verzinkte Schrauben;
- 3.5 Schraubverbindungen mit Sackloch;
- 3.13.1 Schraubverbindungen;
- 4.5.2 Grenzwert für Kehlnahtdicken;
- 4.5.3.2(6);
- 6.2.7.1 (13) und 6.2.7.1(14) Kontaktstoß und Druckübertragung durch Kontakt;
- Kontaktstoß und Druckübertragung durch Kontakt;
- Stumpfstoß von Querschnittsteilen verschiedener Dicken;
- Geschweißte Endanschlüsse zusätzlicher Gurtplatten;
- Gurtplattenstöße;

- Anhang NA.A Ergänzende Vorspannverfahren zu DIN EN 1090-2;
- Anhang NA.B Gussteile, Schmiedeteile und Bauteile aus Vergütungsstählen;
- Literaturhinweise.

Die nachfolgende Nummerierung entspricht der Nummerierung von DIN EN 1993-1-8:2010-12.

NA 2.2 Nationale Festlegungen

NCI zu 1.2 Normative Verweisungen

NA DIN 124, *Halbrundniete; Nenndurchmesser 10 bis 36 mm*

NA DIN 302, *Senkniete; Nenndurchmesser 10 bis 36 mm*

NA DIN EN 1090-2:2008-12, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 2: Technische Anforderungen an die Ausführung von Tragwerken aus Stahl*

NDP zu 1.2.6 (Bezugsnormengruppe 6: Niete) Anmerkung

Bis zum Erscheinen einer entsprechenden EN-Norm gelten für die geometrischen Abmessungen DIN 124 und DIN 302. Der Werkstoff für Niete ist im Einzelfall festzulegen.

NDP zu 2.2(2) Anmerkung

Es gelten die Empfehlungen unter Beachtung der folgenden Ergänzungen.

$\gamma_{M2,S420} = 1,25$, unter Verwendung von $\beta_w = 0,88$ statt $\beta_w = 1,0$ aus DIN EN 1993-1-8:2010-12, Tabelle 4.1.

$\gamma_{M2,S460} = 1,25$, unter Verwendung von $\beta_w = 0,85$ statt $\beta_w = 1,0$ aus DIN EN 1993-1-8:2010-12, Tabelle 4.1.

Für Injektionsschrauben ist ein bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis erforderlich.

ANMERKUNG Als bauaufsichtliche Verwendbarkeitsnachweise gelten:

- europäische technische Zulassungen,
- allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen,
- die Zustimmung im Einzelfall.

NCI zu Abschnitt 3.1.1 Verzinkte Schrauben

Es sind nur komplette Garnituren (Schrauben, Muttern und Scheiben) eines Herstellers zu verwenden.

Feuerverzinkte Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 und 10.9 sowie zugehörige Muttern und Scheiben dürfen nur verwendet werden, wenn sie vom Schraubenhersteller im Eigenbetrieb oder unter seiner Verantwortung im Fremdbetrieb verzinkt wurden.

Andere metallische Korrosionsschutzüberzüge dürfen verwendet werden, wenn

- die Verträglichkeit mit dem Stahl gesichert ist und
- eine wasserstoffinduzierte Versprödung vermieden wird und
- ein adäquates Anziehverhalten nachgewiesen wird.

DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12

Galvanisch verzinkte Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 und 10.9 dürfen nicht verwendet werden.

ANMERKUNG 1 Ein anderer metallischer Korrosionsschutzüberzug ist z.B. die galvanische Verzinkung. Die galvanische Verzinkung bei Schrauben reicht als Korrosionsschutz alleine nur in trockenen Innenräumen (Korrosionskategorie C1 nach DIN EN ISO 12944-2) aus.

ANMERKUNG 2 Zur Vermeidung wasserstoffinduzierter Versprödung siehe auch DIN 267-9.

NDP zu 3.1.1(3) Anmerkung

Die Verwendung von Schrauben der Festigkeitsklassen 4.8, 5.8 und 6.8 sind für die Anwendung im Stahlbau nicht zulässig.

NDP zu 3.4.2(1) Anmerkung

Für die Vorspannanforderung für die Kategorien B und C mit der Vorspannkraft $F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s$ und für die Kategorie E mit der vollen Vorspannkraft ist das kombinierte Vorspannverfahren nach DIN EN 1090-2 anzuwenden.

Für die Vorspannung als Qualitätssicherungsmaßnahme und für nicht voll vorgespannte Verbindungen der Kategorie E darf eine Vorspannkraft von bis zu

$$F_{p,C}^* = 0,7 f_{yb} A_s$$

angesetzt werden. Diese kann mit den Vorspannverfahren nach Anhang A aufgebracht werden.

Für die Sicherung der Garnitur gegenüber Lockern reicht in der Regel eine Vorspannung von 50 % von $F_{p,C}^*$ aus.

NCI zu 3.5 Schraubverbindungen mit Sackloch

Die folgenden Regelungen gelten für Gewindeteile $\leq M100$.

Bei Schraubverbindungen — z. B. Gewindestangen und Sacklochverbindungen — reicht die Einschraubtiefe aus, wenn das Verhältnis ζ der Einschraubtiefe zum Durchmesser des Außengewindes mindestens folgenden Wert erreicht

$$\zeta = (600/f_{u,k}) \cdot (0,3 + 0,4 f_{u,b,k}/500) \text{ und wenn } f_{u,k} \leq f_{u,b,k} \text{ erfüllt ist.}$$

Dabei ist

$f_{u,k}$ der charakteristische Wert der Zugfestigkeit des Bauteils mit Innengewinde in N/mm²;

$f_{u,b,k}$ der charakteristische Wert der Zugfestigkeit des Bauteils mit Außengewinde in N/mm².

ANMERKUNG 1 Eine genauere Ermittlung der Einschraubtiefe bei Sacklochverbindungen (z. B. Einschraubtiefe für Rundstäbe mit Gewinde) erfolgt nach der VDI-Richtlinie 2230.

ANMERKUNG 2 Sacklochverbindungen dürfen nur mit speziellem Nachweis (Verfahrensprüfung) planmäßig vorgespannt werden.

Bei Schraubverbindungen gelten die Regeln für Schraubenverbindungen im Übrigen sinngemäß.

NCI zu 3.13.1 Schraubverbindungen

Es sind Kopf- und Gewindebolzen nach Tabelle NA.1 zu verwenden. Für Kopf- und Gewindebolzen, die nicht in Tabelle NA.1 aufgeführt sind, sind die Nachweise nach DIN EN 1090-2:2008-12, 5.6.12 zu erbringen.

Bei der Ermittlung der Beanspruchbarkeiten von Verbindungen mit Kopf- und Gewindebolzen sind für die Bolzenwerkstoffe die in Tabelle NA.1 angegebenen charakteristischen Werte zu verwenden.

Tabelle NA.1 — Als charakteristische Werte für Werkstoffe von Kopf- und Gewindebolzen festgelegte Werte

	1	2	3	4
	Bolzen	nach	Streckgrenze $f_{y,b,k}$ N/mm ²	Zugfestigkeit $f_{u,b,k}$ N/mm ²
1	Festigkeitsklasse 4.8	DIN EN ISO 13918	340	420
2	S235J2+C450	DIN EN ISO 13918	350	450
3	S235JR, S235J0, S235J2, S355J0, S355J2	DIN EN ISO 10025-2	Werte nach DIN EN 1993-1-1:2010-12, Tabelle 3.1	

NCI zu 4.5.2 Grenzwert für Kehlnahtdicken

Bei Flacherzeugnissen und offenen Profilen mit Querschnittsteilen $t \geq 3$ mm muss folgender Grenzwert für die Schweißnahtdicke a von Kehlnähten zusätzlich eingehalten werden:

$$a \geq \sqrt{\max t} - 0,5 \quad (\text{NA.1})$$

mit a und t in mm.

In Abhängigkeit von den gewählten Schweißbedingungen darf auf die Einhaltung von Bedingung (NA.1) verzichtet werden, jedoch sollte für Blechdicken $t \geq 30$ mm die Schweißnahtdicke mit $a \geq 5$ mm gewählt werden.

ANMERKUNG Der Richtwert nach Bedingung (NA.1) vermeidet ein Missverhältnis von Nahtquerschnitt und verbundenen Querschnittsteilen, siehe auch [1] und [4].

NCI zu 4.5.3.2(6)

Für Schweißnähte an Bauteilen mit Erzeugnisdicken über 40 mm gilt für die Zugfestigkeit f_u jeweils der Wert für Erzeugnisdicken bis 40 mm.

NDP zu 5.2.1(2) Anmerkung

Keine weitere nationale Festlegung.

NCI zu 6.2.7.1(13) und 6.2.7.1 (14) Kontaktstoß und Druckübertragung durch Kontakt

(1) Druckkräfte normal zur Kontaktfuge dürfen in den Fällen der Ausführung nach Bild NA.1 b) oder c) vollständig durch Kontakt übertragen werden, wenn

DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12

- die Stoßflächen eben sind (Sägeschnitt),
- der Querschnittsversatz und der Winkel am Stoß den Toleranzen nach DIN EN 1090-2 entsprechen, siehe Bild NA.2,
- die Lage der Stoßflächen durch Verbindungsmittel gesichert ist,
- der Stoss zwischen zwei gleichen Profilen erfolgt.

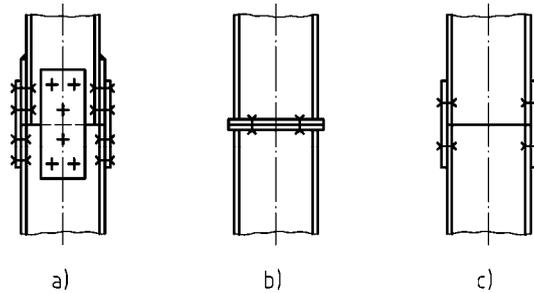


Bild NA.1 — mögliche Ausführungen von Kontaktstößen (a) Teilkontakt, b) und c) vollständiger Kontakt)

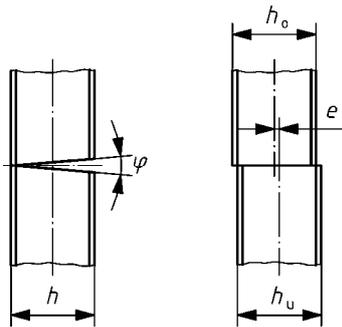


Bild NA.2 — erlaubte Toleranzen, $\varphi \leq 1/500$, $e \leq 2$ mm

(2) Die Grenzdruckspannungen in der Kontaktfuge dürfen wie die des Werkstoffs der gestoßenen Bauteile angenommen werden.

(3) Beim Nachweis der zu stoßenden Bauteile müssen die Schnittgrößen an der Stoßstelle und ein eventuelles Bilden einer klaffenden Fuge berücksichtigt werden. Bei gleichen Profilen am Stoß darf auf die Berücksichtigung unterschiedlicher Querschnittsabmessungen der Stoßfläche der Profile infolge Toleranzen verzichtet werden. Beim Stoß nach Bild NA.1 c) gilt dies nur dann, wenn die beiden Bauteile aus der gleichen Lieferlänge stammen. Andernfalls sind die Grenzdruckspannungen auf 90 % zu reduzieren.

(4) Zugbeanspruchungen sind durch schlupffreie Verbindungen oder Schweißverbindungen aufzunehmen.

(5) Für die Übertragung der Querkräfte am Stoß sind Verbindungsmittel vorzusehen, eine Mitwirkung der Reibung darf nicht angenommen werden.

ANMERKUNG Literatur zum Kontaktstoß, siehe [5]

NDP zu 6.2.7.2(9) Anmerkung

DIN EN 1993-1-8:2010-12, Gleichung (6.26) dient dazu, ein mögliches Schraubenversagen auszuschließen.

NCI Kontaktstoß und Druckübertrag durch Kontakt

Druckkräfte normal zur Kontaktfuge dürfen vollständig durch Kontakt übertragen werden, wenn seitliches Ausweichen der Bauteile am Kontaktstoß ausgeschlossen ist.

Wenn Kräfte aus druckbeanspruchten Querschnitten oder Querschnittsteilen durch Kontakt übertragen werden, müssen

- die Stoßflächen der in den Kontaktfugen aufeinandertreffenden Teile eben und zueinander parallel und
- lokale Instabilitäten infolge herstellungsbedingter Imperfektionen ausgeschlossen oder unschädlich sein und
- die gegenseitige Lage der miteinander zu stoßenden Teile gesichert sein.

Die Grenzdruckspannungen in der Kontaktfuge sind gleich denen des Werkstoffes der gestoßenen Bauteile.

Beim Nachweis der zu stoßenden Bauteile müssen Verformungen, Toleranzen und eventuelles Bilden einer klaffenden Fuge berücksichtigt werden.

Die ausreichende Sicherung der gegenseitigen Lage der Bauteile ist nachzuweisen. Dabei dürfen Reibungskräfte nicht berücksichtigt werden.

In Querschnittsteilen mit Dicken t von 10 mm bis 30 mm aus den Stahlsorten S235, S275 oder S355, die durch Doppelkehlnähte an Stirnplatten angeschlossen sind, genügt für die Druckübertragung die rechnerische Schweißnahtdicke $a = 0,15 t$, wenn die als Stegabstand bezeichnete Spaltbreite h zwischen Querschnittsteil und Stirnplatte nicht größer als 2,0 mm ist.

Sofern in diesem Anschluss des Profils gleichzeitig auch Querkräfte zu übertragen sind, muss die Übertragung der Druckspannungen und der Schubspannungen unterschiedlichen Querschnittsteilen zugewiesen werden. Die Schweißnahtbemessung für die Querkraftübertragung ist nach DIN EN 1993-1-8:2010-12, Abschnitt 4 vorzunehmen. Für die zur Übertragung der Druckspannungen und die zur Übertragung der Schubspannungen aus der Querkraft herangezogenen Kehlnähte ist einheitlich der größere Wert der aus den beiden Nachweisen ermittelten Schweißnahtdicke anzusetzen. Sofern in dem Anschluss des Profils auch Zugspannungen übertragen werden, ist dafür die Schweißnahtbemessung DIN EN 1993-1-8:2010-12, Abschnitt 4 vorzunehmen.

ANMERKUNG 1 Verformungen können hierbei Vorverformungen, elastische Verformungen und lokale plastische Verformungen sein.

ANMERKUNG 2 Toleranzen können einen Versatz in der Schwerlinie von Querschnittsteilen bewirken.

ANMERKUNG 3 Herstellungsbedingte Imperfektionen können z. B. Versatz oder Unebenheiten sein. Lokale Instabilitäten können insbesondere bei dünnwandigen Bauteilen auftreten, siehe z. B. [2], [3].

ANMERKUNG 4 Die Anforderung für die Begrenzung des Luftspaltes gilt z. B. für den Anschluss druckbeanspruchter Flansche an Stirnplatten.

NCI Stumpfstoß von Querschnittsteilen verschiedener Dicken

Wechselt an Stumpfstoßen von Querschnittsteilen die Dicke, so sind bei Dickenunterschieden von mehr als 10 mm die vorstehenden Kanten im Verhältnis 1 : 1 oder flacher zu brechen (siehe Bild NA.3).

DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12

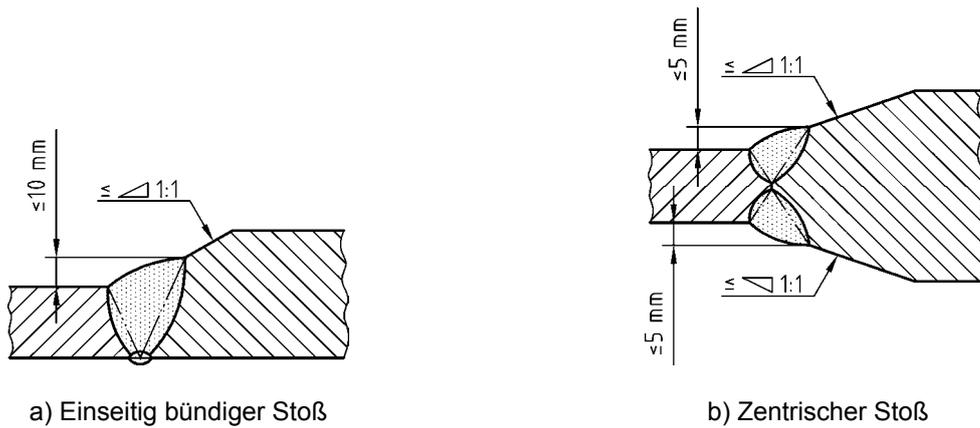
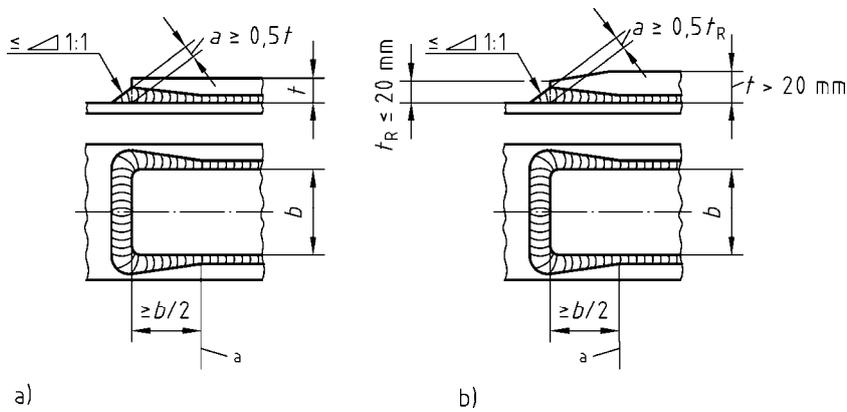


Bild NA.3 — Beispiele für das Brechen von Kanten bei Stumpfstoßen von Querschnittsteilen mit verschiedenen Dicken

NCI Geschweißte Endanschlüsse zusätzlicher Gurtplatten

Sofern kein Nachweis für den Gurtplattenanschluss geführt wird, ist die zusätzliche Gurtplatte nach Bild NA.4 a) vorzubinden.

Bei Gurtplatten mit $t > 20$ mm darf der Endanschluss nach Bild NA.4 b) ausgeführt werden. Bei Bauteilen mit vorwiegend ruhender Beanspruchung darf auf die Ausführung nach Bild NA.4 verzichtet werden. Die Stirnkehlnähte können wie die Flankenkehlnähte ausgeführt werden. Deren Dicke ergibt sich nach den statischen Erfordernissen.

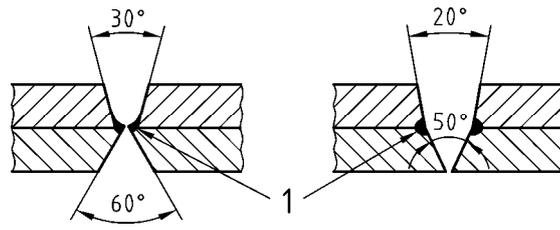


a rechnerischer Endpunkt der zusätzlichen Gurtplatte

Bild NA.4 — Vorbinden zusätzlicher Gurtplatten

NCI Gurtplattenstöße

Wenn aufeinanderliegende Gurtplatten an derselben Stelle gestoßen werden, ist der Stoß mit Stirnfugen-
nähten vorzubereiten (siehe Bild NA.5).



Legende

1 Stirrfugennähte

Bild NA.5 — Beispiele für die Nahtvorbereitung eines Stumpfstoßes aufeinanderliegender Gurtplatten

DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12**NCI****Anhang NA.A***(normativ)***Ergänzende Vorspannverfahren zu DIN EN 1090-2****NCI NA.A.1 Allgemeines**

Alle Regeln aus DIN EN 1090-2:2008-12, 8.5.1 gelten sinngemäß. Die wesentliche Besonderheit der ergänzenden Vorspannverfahren besteht im Aufbringen der – im Vergleich zur Mindestvorspannkraft $F_{p,C}$ – kleineren Regelvorspannkraft $F_{p,C}^*$. Dadurch kann die Ermittlung eines Referenz-Drehmomentes nach DIN EN 1090-2:2008-12, 8.5.2 entfallen. Stattdessen können, eine Schmierung nach k-Klasse K1 vorausgesetzt, feste Werte für die Anziehmomente angegeben werden. Daraus folgt ein modifiziertes Drehmoment-Vorspannverfahren (siehe NA.A.3) und ein modifiziertes kombiniertes Vorspannverfahren (siehe NA.A.4). Ferner ist es dadurch möglich, das traditionelle Drehimpuls-Vorspannverfahren beizubehalten (siehe NA.A.2).

NCI NA.A.2 Drehimpuls-Vorspannverfahren

Die Garnituren müssen mit Hilfe eines vorher auf geeignete Weise eingestellten Impuls- oder Schlagschraubers mit einer Unsicherheit von weniger als 4 % angezogen werden. Jedes hierfür benutzte Einstellgerät ist hinsichtlich seiner Messgenauigkeit regelmäßig nach Angaben des Geräteherstellers zu überprüfen. Soll auf die Regel-Vorspannkraft $F_{p,C}^*$ nach Spalte 2 von Tabelle NA.A.1 bzw. Tabelle NA.A.2 vorgespannt werden, so muss der Schrauber auf den um etwa 10 % höheren Vorspannkraftwert $F_{V,DI}$ nach Spalte 3 von Tabelle NA.A.1 bzw. Spalte 4 von Tabelle NA.A.2 eingestellt werden. Bei kleinerer planmäßiger Vorspannkraft als der Regel-Vorspannkraft $F_{p,C}^*$ sind die Einstell-Vorspannkraftwerte proportional zu reduzieren.

NCI NA.A.3 Modifiziertes Drehmoment-Vorspannverfahren

Das Vorspannen der Garnituren erfolgt nach DIN EN 1090-2:2008-12, 8.5.3, mit folgenden Modifizierungen:

Der erste Anziehschritt kann beliebig gewählt werden. Soll auf die Regelvorspannkraft $F_{p,C}^*$ nach Spalte 2 von Tabelle NA.A.1 bzw. Tabelle NA.A.2 vorgespannt werden, so muss im zweiten Anziehschritt das in Spalte 4 von Tabelle NA.A.1 bzw. Tabelle NA.A.2 angegebene Anziehmoment M_A aufgebracht werden. Bei kleinerer planmäßiger Vorspannkraft als der Regelvorspannkraft $F_{p,C}^*$ ist das Anziehmoment proportional zu reduzieren.

ANMERKUNG Dieses Verfahren ermöglicht ein beliebiges stufenweises Vorspannen in Anschlüssen mit vielen Schrauben sowie ein Nachziehen als Kontrolle oder zum Ausgleich von Vorspannkraftverlusten nach wenigen Tagen.

NCI NA.A.4 Modifiziertes kombiniertes Vorspannverfahren

Das Vorspannen der Garnituren erfolgt nach DIN EN 1090-2:2008-12, 8.5.4, mit folgenden Modifizierungen:

Das im ersten Anziehschritt aufzubringende Anziehmoment $M_{A,MKV}$ (Voranziehmoment) ist Spalte 5 von Tabelle NA.A.2 zu entnehmen. Das Anziehen kann mit Hilfe eines der in NA.A.2 und NA.A.3 beschriebenen Verfahren erfolgen. Ein Mitdrehen der Schraube relativ zum Bauteil ist zu verhindern.

Der im zweiten Anziehschritt zum Erreichen der Regelvorspannkraft $F_{p,C}^*$ nach Spalte 2 von Tabelle NA.A.2 aufzubringende Weiterdrehwinkel ϑ_{MKV} ist Tabelle NA.A.3 zu entnehmen.

ANMERKUNG1 Kleinere planmäßige Vorspannkraften als die Regelvorspannkraft $F_{p,C}^*$ sind bei Anwendung des modifizierten kombinierten Vorspannverfahrens nicht zulässig.

ANMERKUNG 2 Ist mit Hilfe des Voranziehmomentes $M_{A,MKV}$ eine ausreichend flächige Anlage der zu verbindenden Bauteile nicht erreichbar und das Erreichen der planmäßigen Vorspannkraft somit zweifelhaft, so ist der erforderliche Weiterdrehwinkel ϑ_{MKV} durch eine Verfahrensprüfung an der jeweiligen Originalverschraubung zu ermitteln (z. B. mittels Messung der Schraubenverlängerung).

NCI NA.A.5 Tabellen

Tabelle NA.A.1 — Vorspannkraft und Anziehmomente für Drehimpuls- und modifiziertes Drehmoment-Vorspannverfahren für Garnituren der Festigkeitsklasse 8.8 nach DIN EN ISO 4014, DIN EN ISO 4017, DIN EN ISO 4032 und DIN 34820 — k-Klasse K1 nach DIN EN 14399-1

1	2	3	4	
Maße	Regel-Vorspannkraft F_{p,c^*} kN	Drehimpulsverfahren	Modifiziertes Drehmomentverfahren	
		Einzustellende Vorspannkraft $F_{V,DI}$ zum Erreichen der Regelvorspannkraft F_{p,c^*} kN	Aufzubringendes Anziehmoment M_A zum Erreichen der Regel-Vorspannkraft F_{p,c^*} Nm	
		Oberflächenzustand: feuerverzinkt und geschmiert ^a oder wie hergestellt und geschmiert ^a		
1	M12	35	40	70
2	M16	70	80	170
3	M20	110	120	300
4	M22	130	145	450
5	M24	150	165	600
6	M27	200	220	900
7	M30	245	270	1 200
8	M36	355	390	2 100

^a Muttern mit Molybdänsulfid oder gleichwertigem Schmierstoff behandelt.

DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12

Tabelle NA.A.2 — Vorspannkraft und Anziehungsmomente für Drehimpuls-, modifiziertes Drehmoment-, und modifiziertes kombiniertes Vorspannverfahren für Garnituren der Festigkeitsklasse 10.9 nach DIN EN 14399-4, DIN EN 14399-6 und DIN EN 14399-8 — k-Klasse K1 nach DIN EN 14399-1

1	2	3	4	5	
Maße	Regel-Vorspannkraft $F_{p,C}^*$ kN	Drehimpuls- verfahren	Modifiziertes Drehmoment- verfahren	Modifiziertes kombiniertes Verfahren	
		Einzustellende Vorspannkraft $F_{V,DI}$ zum Erreichen der Regel- Vorspannkraft $F_{p,C}^*$	Aufzubringendes Anziehungsmoment M_A zum Erreichen der Regelvorspannkraft $F_{p,C}^*$	Voranziehungsmoment $M_{A,MKV}$	
		kN	Nm	Nm	
Oberflächenzustand: feuerverzinkt und geschmiert ^a oder wie hergestellt und geschmiert ^a					
1	M12	50	60	100	75
2	M16	100	110	250	190
3	M20	160	175	450	340
4	M22	190	210	650	490
5	M24	220	240	800	600
6	M27	290	320	1 250	940
7	M30	350	390	1 650	1 240
8	M36	510	560	2 800	2 100

^a Muttern mit Molybdänsulfid oder gleichwertigem Schmierstoff behandelt.

Tabelle NA.A.3 — Erforderliche Weiterdrehwinkel ϑ_{MKV} für das modifizierte kombinierte Vorspannverfahren an Garnituren der Festigkeitsklasse 10.9

1	2	3	
Gesamtstärken $\sum t$ der zu verbindenden Teile (einschließlich aller Futterbleche und Unterlegscheiben) d = Schraubendurchmesser	Während des zweiten Anziehschrittes aufzubringender Weiterdrehwinkel ϑ_{MKV}		
	Drehung		
1	$\sum t < 2 d$	45°	1/8
2	$2 d \leq \sum t < 6 d$	60°	1/6
3	$6 d \leq \sum t < 10 d$	90°	1/4
4	$10 d < \sum t$	keine Empfehlung	keine Empfehlung

NCI

Anhang NA.B

(*normativ*)

Gussteile, Schmiedeteile und Bauteile aus Vergütungsstählen

NCI NA.B.1 Werkstoffe

(1) Die Vergütungsstähle C35+N und C45+N nach DIN EN 10083-2 sind nur für stählerne Lager, Gelenke und spezielle Verbindungselemente (z. B. Raumfachwerkknoten, Bolzen) zu verwenden.

(2) Die Stahlgussorten GS200, GS240, G17Mn5+QT, G20Mn5+QT und G20Mn5+N nach DIN EN 10340 (Stahlguss für das Bauwesen), die Stahlgussorten GE200 und GE240 nach DIN EN 10293 (Stahlguss für allgemeine Anwendungen) sowie die Gusseisensorten EN-GJS-400-15, EN-GJS-400-18, EN-GJS-400-18-LT, EN-GJS-400-18-RT nach DIN EN 1563 (Gießereiwesen — Gusseisen mit Kugelgraphit) sind nur für spezielle Formstücke, wie z. B. Verankerungsbauteile für Rundstäbe mit Gewinde, anzuwenden.

NCI NA.B.2 Anforderungen

(1) Bauteile aus den oben genannten Werkstoffen dürfen nur elastisch berechnet und bemessen werden.

(2) Für Bauteile aus Stahlguss und Gusseisen sind die Anforderungen an die innere und äußere Beschaffenheit entsprechend dem Verwendungszweck festzulegen. In Tabelle NA.B.2 sind für vorwiegend ruhend beanspruchte Bauteile in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Beanspruchungszonen H (hoch), M (mittel) und N (niedrig) die erforderlichen Gütestufen angegeben. Bezüglich der Kriterien für die verschiedenen Beanspruchungszonen gilt, dass jeweils jedes einzelne Kriterium maßgebend wird. Die Beanspruchungszonen eines Gussstückes oder die entsprechende einheitliche Klassifizierung bei kleinen Gussstücken sind in den Bauteilzeichnungen zu definieren. Wegen des Korrosionsschutzes können bezüglich der Oberflächenbeschaffenheit höhere Anforderungen erforderlich sein, als in Tabelle NA.B.2 angegeben. Der Nachweis der Gütestufen gilt als erbracht, wenn die Prüfung einer Stichprobe von 10 % der Gussstücke einer Produktionseinheit keine unzulässigen Befunde ergab. Bei Bauteilen, deren Versagen die Standsicherheit wesentliche Teile einer baulichen Anlage gefährdet, ist eine umfassendere Prüfung erforderlich, deren Umfang projektspezifisch festzulegen ist.

(3) Fertigungsschweißungen an Gussstücken nach DIN EN 1559-1 und DIN EN 1559-2 sind zulässig, wenn die dafür erforderliche Qualifizierung des Schweißverfahrens und des Schweißpersonals nach DIN EN 1090-2 vorliegt. Zur Qualifizierung des Schweißverfahrens siehe Tabelle NA.B.1.

DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12**Tabelle NA.B.1 — Methoden der Qualifizierung von Schweißverfahren**

Schweißprozesse nach DIN EN ISO 4063		Methode der Qualifizierung		
Ordnungsnummer	Bezeichnung	Werkstoff	Mechanisierungsgrad	Methode der Qualifizierung
111	Lichtbogenhandschweißen	Walzstähle, Schmiedestähle und Stahlgusswerkstoffe	Manuell und teilmechanisch	DIN EN ISO 15610, DIN EN ISO 15611, DIN EN ISO 15612, DIN EN ISO 15613, oder DIN EN ISO 15614-1,
114	Metalllichtbogenschweißen mit Fülldrahtelektrode ohne Schutzgas			
12	Unterpulverschweißen	$R_e \leq 355$ N/mm ²	Vollmechanisch und automatisch	DIN EN ISO 15613 oder DIN EN ISO 15614-1 unter Beachtung der zusätzlichen Festlegungen der Richtlinie DVS 1702
135	Metall-Aktivgas-Schweißen			
136	Metall-Aktivgas-Schweißen mit Fülldrahtelektrode	Walzstähle, Schmiedestähle und Stahlgusswerkstoffe	Alle	
141	Wolfram-Schutzgasschweißen			
15	Plasmaschweißen	$R_e \leq 355$ N/mm ²		
311	Gasschweißen mit Sauerstoff-Acetylen-Flamme			

(4) Für den Nachweis ausreichender Zähigkeit gilt DIN EN 1993-1-10 entsprechend. Dabei ist für Stahlguss zusätzlich eine Temperaturverschiebung $\Delta T_G = -10$ K zu berücksichtigen und für die Bauteildicke ist der Maximalwert in einem 50 mm breiten Bereich beiderseits der Schweißnaht anzusetzen. Die Zuordnung zu den Walzstahlarten ist hinsichtlich der Festigkeit und der Kerbschlagarbeit vorzunehmen. Für Stahlguss ist die DIN EN 1993-1-10:2010-12, Abschnitt 3 nicht anzuwenden.

(5) Zur Ermittlung der mechanisch-technologischen Kennwerte von Gussstücken ist in Abhängigkeit von der für den Verwendungsfall erforderlichen Zuverlässigkeit eine Probe zu gießen, deren Abmessungen Abkühlbedingungen sicherstellt, die den Verhältnissen an den höchstbeanspruchten Stellen des Gussstückes entsprechen.

(6) Für alle Schmiede- und Gusserzeugnisse müssen Prüfbescheinigungen nach DIN EN 10204, z. B. Prüfbescheinigung 3.1, vorliegen.

NCI NA.B.3 Charakteristische Werte

(1) Für Stähle im geschmiedeten Zustand gelten als charakteristische Werte für die entsprechenden Wanddickenbereiche die unteren Grenzwerte der Streckgrenze und der Zugfestigkeit in den jeweiligen Technischen Lieferbedingungen.

(2) Bei der Ermittlung von Beanspruchungen und Beanspruchbarkeiten sind für die Gusswerkstoffe die in Tabelle NA.B.3 angegebenen charakteristischen Werte zu verwenden.

(3) Bei Erzeugnisdicken, die größer sind als die in Tabelle NA.B.3, Spalte 2 angegebenen, jedoch kleiner oder gleich den in den jeweiligen Technischen Lieferbedingungen angegebenen, dürfen als charakteristische

Werte für die entsprechenden Wanddickenbereiche die unteren Grenzwerte der Streckgrenze und der Zugfestigkeit nach den jeweiligen Technischen Lieferbedingungen verwendet werden.

(4) Bauteile, deren Wanddicken größer als 160 mm sind, gehören nicht zum Anwendungsbereich der Norm.

ANMERKUNG Die Erzeugnisdicken sind auch durch die Güteanforderungen an Gusserzeugnissen begrenzt.

(5) Die temperaturabhängige Veränderung der charakteristischen Werte ist bei Temperaturen über 100 °C zu berücksichtigen.

Tabelle NA.B.2 — Anforderungen an die innere und äußere Beschaffenheit von vorwiegend ruhend beanspruchten Bauteilen aus Stahlguss und Gusseisen mit Kugelgraphit

Beanspruchungszonen		Gütestufen	
	Kriterien ^a	Der inneren Beschaffenheit (Volumen) Ultraschallprüfung nach DIN EN 12680-1 ^b oder DIN EN 12680-3 ^c	Der äußeren Beschaffenheit (Oberfläche) ^d Eindringprüfung nach DIN EN 1371-1 oder Magnetpulverprüfung nach DIN EN 1369
H	$1,00 \geq \eta_{\text{Zug}} > 0,75$ Wanddicke $t \leq 30$ mm ^b Wanddicke $t \leq 20$ mm ^c Schweißflanken Bereiche von Krafteinleitungen (z.B. Sachlochgewinde) Druckkegel von vorgespannten Schrauben	1 ^e	SP2 oder SM2 (Einzelanzeigen) LP2b oder LM2b (lineare Anzeigen) AP2b oder AM2b (Anzeigen in Reihe)
M	$0,75 \geq \eta_{\text{Zug}} > 0,30$ $1,00 \geq \eta_{\text{Druck}} > 0,75$ Wanddicke $30 \text{ mm} < t \leq 50$ mm ^b Wanddicke $20 \text{ mm} < t \leq 30$ mm ^c	2 ^f	
N	$0,30 \geq \eta_{\text{Zug}}$ $0,75 \geq \eta_{\text{Druck}}$ Wanddicke $t > 50$ mm ^b Wanddicke $t > 30$ mm ^c	3 ^f	
^a Für den Ausnutzungsgrad gilt $\eta = S_d/R_d$. ^b Für Stahlguss. ^c Für Gusseisen mit Kugelgraphit. ^d Zur visuellen Bestimmung der Oberfläche kann auch DIN EN 12454 vereinbart werden. ^e Oberflächenrisse mit Tiefen über 3 mm sind unzulässig. ^f Innerhalb einer Bezugsfläche dürfen nicht gleichzeitig Reflektoren am Rand und Kern auftreten.			

DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12

Tabelle NA.B.3 — Als charakteristische Eigenschaften für Gusswerkstoffe festgelegte Werte

Lfd. Nr.	1 Gusswerkstoffe	2 Erzeugnisdicke t mm	3 Streckgrenze $f_{y,k}$ N/mm ²	4 Zugfestigkeit $f_{u,k}$ N/mm ²	5 E-Modul E N/mm ²	6 Schubmodul G N/mm ²	7 Temperaturdehnzahl α_T K ⁻¹	8 Technische Lieferbedingungen
1	GS200	$t \leq 100$	200	380	210 000	81 000	12×10^{-6}	DIN EN 10340
2	GS240		240	450				DIN EN 10340
3	GE200	$t \leq 160$	200	380				DIN EN 10293
4	GE240		240	450				DIN EN 10293
5	G17Mn5+QT	$t \leq 50$	240	450				DIN EN 10340
6	G20Mn5+N	$t \leq 30$	300	480				DIN EN 10340
7	G20Mn5+Qt	$t \leq 100$	300	500				DIN EN 10340
8	EN-GJS-400-15	$t \leq 60$	250	390	169 000	46 000	$12,5 \times 10^{-6}$	DIN EN 1563
9	EN-GJS-400-18		250	390				DIN EN 1563
10	EN-GJS-400-18-LT		230	380				DIN EN 1563
11	EN-GJS-400-18-RT		250	390				DIN EN 1563

NCI NA.B.4 Schweißnähte

(1) Bei Bauteilen aus Stahlguss sind in den Beanspruchungszonen H und M nach Tabelle NA.B.2 Schweißverbindungen mit nicht durchgeschweißten Nähten nicht zulässig. Schweißverbindungen in den Beanspruchungszonen H und M sind mit voll durchgeschweißten Nähten (Stumpf-, HV- und DHV-Nähte) auszuführen.

(2) In der Beanspruchungszone N sind nicht durchgeschweißte Nähte (HY-, DHY- und Kehlnähte) zulässig. Zur Berechnung der Tragfähigkeit sind die Korrelationsbeiwerte β_w nach Tabelle NA.B.4 zu verwenden. Der Nachweis der Schweißnähte wird auf das vereinfachte Bemessungsverfahren nach DIN EN 1993-1-8:2010-12, Abschnitt 4.5.3.3 beschränkt.

NCI NA.B.5 Schraubenverbindungen

(1) Bei Sacklochverschraubungen in Bauteilen aus Gusswerkstoffen ist für den Bereich des eingeschnittenen Gewindes durch zerstörungsfreie Prüfung nachzuweisen, dass die für die Übertragung der jeweiligen Beanspruchung erforderliche Werkstoffhomogenität vorhanden ist.

Tabelle NA.B.4 — Korrelationsbeiwerte β_w für Kehlnähte

Stahl	β_w
GS200	1,0
GS240	1,0
G17Mn5+QT	1,0
G20Mn5+N	1,0
G20Mn5+QT	1,1

DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12

NCI

Literaturhinweise

- [1] Fischer, M. und Wenk, P.: Vergleich vorhandener Konzepte zur erforderlichen Kehlnahtdicke. Stahlbau 57 (1988), S. 2-8.
- [2] Scheer, J., Peil, U. und Scheibe, H.-J.: Zur Übertragung von Kräften durch Kontakt im Stahlbau. Bauingenieur 62 (1987), S. 419–424.
- [3] Lindner, J. und Gietzelt, R.: Kontaktstöße in Druckstäben. Stahlbau 57 (1988), S. 39–50, S. 384.
- [4] DIN EN 1011 (alle Teile), *Schweißen — Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe*
- [5] JRC — Scientific and Technical Reports: Effects of imperfections of steel columns with contact splices on the design, JRC, September 2010

DIN EN 1993-4-1

ICS 65.040.20; 91.010.30; 91.080.10

Ersatzvermerk
siehe unten**Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 4-1: Silos;
Deutsche Fassung EN 1993-4-1:2007 + AC:2009**

Eurocode 3: Design of steel structures –
Part 4-1: Silos;
German version EN 1993-4-1:2007 + AC:2009

Eurocode 3: Calcul des structures en acier –
Partie 4-1: Silos;
Version allemande EN 1993-4-1:2007 + AC:2009

Ersatzvermerk

Ersatz für DIN EN 1993-4-1:2007-07;
mit DIN EN 1993-1-8:2010-12, DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12 und DIN EN 1993-4-1/NA:2010-12 Ersatz für
DIN 18914:1985-09;
mit DIN EN 1993-4-1/NA:2010-12 Ersatz für DIN 18914 Beiblatt 1:1985-09;
Ersatz für DIN EN 1993-4-1 Berichtigung 1:2009-09

Gesamtumfang 118 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

DIN EN 1993-4-1:2010-12

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 1993-4-1:2007 + 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 12. Juni 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   angezeigt.

Änderungen

Gegenüber DIN V ENV 1993-4-1:2002-05 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 1993-4-1:2007-07, DIN EN 1993-4-1 Berichtigung 1:2009-09, DIN 18914:1985-09 und DIN 18914 Beiblatt 1:1985-09 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 18914: 1985-09
DIN 18914 Beiblatt 1: 1985-09
DIN V ENV 1993-4-1: 2002-05
DIN EN 1993-4-1: 2007-07
DIN EN 1993-4-1 Berichtigung 1: 2009-09

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN 1993-4-1

Februar 2007

+AC

April 2009

ICS 65.040.20; 91.010.30; 91.080.10

Ersatz für ENV 1993-4-1:1999

Deutsche Fassung

Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4-1: Silos

Eurocode 3: Design of steel structures —
Part 4-1: Silos

Eurocode 3: Calcul des structures en acier —
Partie 4-1: Silos

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 12. Juni 2006 angenommen.

Die Berichtigung tritt am 22. April 2009 in Kraft und wurde in EN 1993-4-1:2007 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 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

Inhalt

	Seite
Vorwort	6
1 Allgemeines	10
1.1 Anwendungsbereich	10
1.2 Normative Verweisungen	10
1.3 Annahmen	12
1.4 Unterscheidung zwischen Grundsätzen und Anwendungsregeln	12
1.5 Begriffe	12
1.6 In Teil 4-1 von Eurocode 3 verwendete Symbole	15
1.6.1 Lateinische Großbuchstaben	15
1.6.2 Lateinische Kleinbuchstaben	15
1.6.3 Griechische Buchstaben	16
1.6.4 Indizes	17
1.7 Vorzeichenvereinbarungen	18
1.7.1 Vereinbarungen für das globale Koordinatensystem für kreisrunde Silos	18
1.7.2 Vereinbarungen für das globale Koordinatensystem für rechteckige Silos	19
1.7.3 Vereinbarungen für die Koordinaten von Bauteilen in kreisrunden und rechteckigen Silos	20
1.7.4 Vereinbarungen für Schnittgrößen in kreisrunden und rechteckigen Silos	22
1.8 Einheiten	24
2 Grundlagen der Bemessung	24
2.1 Anforderungen	24
2.2 Differenzierung der Zuverlässigkeit	25
2.3 Grenzzustände	26
2.4 Einwirkungen und Umwelteinflüsse	26
2.4.1 Allgemeines	26
2.4.2 Windlast	26
2.4.3 Kombination von Schüttgutlasten mit anderen Einwirkungen	26
2.5 Werkstoffeigenschaften	27
2.6 Abmessungen	27
2.7 Modellierung des Silos zur Berechnung der Beanspruchungen	27
2.8 Versuchsgestützte Bemessung	27
2.9 Beanspruchungen für den Nachweis der Grenzzustände	27
2.9.1 Allgemeines	27
2.9.2 Teilsicherheitsbeiwerte für Grenzzustände der Tragfähigkeit	27
2.9.3 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	28
2.10 Dauerhaftigkeit	28
2.11 Feuerwiderstand	28
3 Werkstoffeigenschaften	29
3.1 Allgemeines	29
3.2 Baustähle	29
3.3 Nichtrostende Stähle	29
3.4 Spezielle legierte Stähle	29
3.5 Anforderungen an die Zähigkeit	30
4 Grundlagen für die statische Berechnung	30
4.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit	30
4.1.1 Basis	30
4.1.2 Zu führende Nachweise	30
4.1.3 Ermüdung und zyklisches Plastizieren — Kurzzeitermüdung	30
4.1.4 Berücksichtigung von Korrosion und Abrasion	30
4.1.5 Berücksichtigung von Temperatureinflüssen	31
4.2 Berechnung des Schalentragswerks eines kreisrunden Silos	31
4.2.1 Modellierung der Tragwerksschale	31

	Seite
4.2.2	Berechnungsmethoden 31
4.2.3	Geometrische Imperfektionen..... 34
4.3	Berechnung des Kastentragwerks eines rechteckigen Silos 34
4.3.1	Modellierung des Tragwerkskastens 34
4.3.2	Geometrische Imperfektionen..... 35
4.3.3	Berechnungsmethoden 35
4.4	Orthotrope Ersatzsteifigkeiten von profilierten Wandblechen 35
5	Bemessung von zylindrischen Wänden..... 37
5.1	Grundlagen 37
5.1.1	Allgemeines 37
5.1.2	Bemessung der Silowand..... 37
5.2	Unterscheidung zwischen verschiedenen Formen zylindrischer Schalen 38
5.3	Tragsicherheitsnachweise für zylindrische Silowände..... 39
5.3.1	Allgemeines 39
5.3.2	Isotrope, geschweißte oder geschraubte Wände 39
5.3.3	Isotrope Wände mit Vertikalsteifen 50
5.3.4	Horizontal profilierte Wände 51
5.3.5	Vertikal profilierte Wände mit Ringsteifen 60
5.4	Besondere Lagerungsbedingungen für zylindrische Silowände 61
5.4.1	Zylinderschalen mit voller Auflagerung am unteren Rand oder Lagerung auf einem Trägerrost..... 61
5.4.2	Zylinderschalen mit Zargenlagerung 61
5.4.3	Zylinderschalen mit eingebundenen Stützen 61
5.4.4	Zylinderschalen mit diskreter Auflagerung 62
5.4.5	Silos mit diskreter Auflagerung am Trichter 63
5.4.6	Zylindrische Silowände: Details für örtliche Auflager und Krafteinleitungsrippen 63
5.4.7	Verankerung an der Basis eines Silos 65
5.5	Detailausbildung von Öffnungen in zylindrischen Wänden 66
5.5.1	Allgemeines 66
5.5.2	Rechteckige Öffnungen 66
5.6	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit 67
5.6.1	Grundlagen 67
5.6.2	Durchbiegungen 67
6	Bemessung von konischen Trichtern 68
6.1	Grundlagen 68
6.1.1	Allgemeines 68
6.1.2	Bemessung der Trichterwand..... 68
6.2	Unterscheidung zwischen verschiedenen Formen von Trichterschalen 69
6.3	Tragsicherheitsnachweis für konische Trichterwände 69
6.3.1	Allgemeines 69
6.3.2	Isotrope, unverteifte, geschweißte oder geschraubte Trichter 70
6.4	Angaben zu speziellen Trichterkonstruktionen 75
6.4.1	Unterstützungskonstruktion 75
6.4.2	Stützengelagerte Trichter 75
6.4.3	Unsymmetrische Trichter 75
6.4.4	Verteifte Kegelschalen 75
6.4.5	Mehrfach-Kegelschalen 76
6.5	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit 76
6.5.1	Grundlagen 76
6.5.2	Erschütterungen 76
7	Bemessung von kreisrunden konischen Dächern..... 76
7.1	Grundlagen 76
7.2	Unterscheidung zwischen verschiedenen Formen von Dachtragwerken..... 77
7.2.1	Begriffe 77
7.3	Tragsicherheitsnachweise für kreisrunde konische Silodächer 77
7.3.1	Schalendächer bzw. ungestützte Dächer..... 77

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

Seite

7.3.2	Gespärredächer bzw. gestützte Dächer	78
7.3.3	Traufkante (Knotenlinie zwischen Silodach und Siloschaft)	78
8	Bemessung von Abzweigungsringen und Auflagerringträgern	78
8.1	Grundlagen	78
8.1.1	Allgemeines	78
8.1.2	Bemessung des Ringes	78
8.1.3	Begriffe	78
8.1.4	Modellierung des Abzweigungsbereiches	79
8.1.5	Grenzen für die Ringanordnung	80
8.2	Berechnung des Abzweigungsbereiches	80
8.2.1	Allgemeines	80
8.2.2	Gleichmäßig unterstützte Abzweigungsbereiche	81
8.2.3	Ringträger an der Abzweigung	84
8.3	Tragwiderstände	87
8.3.1	Allgemeines	87
8.3.2	Widerstand gegen plastisches Versagen	87
8.3.3	Widerstand gegen Knicken innerhalb der Ringebene	88
8.3.4	Widerstand gegen Knicken aus der Ringebene heraus und gegen örtliches Beulen	89
8.4	Tragsicherheitsnachweise	91
8.4.1	Gleichmäßig unterstützte Abzweigungsbereiche	91
8.4.2	Ringträger an der Abzweigung	93
8.5	Angaben zur Auflageranordnung am Abzweigungsbereich	94
8.5.1	Zargengelagerte Abzweigungsbereiche	94
8.5.2	Stützelgelagerte Abzweigungsbereiche und Ringträger	94
8.5.3	Basisring	94
9	Bemessung von rechteckigen und ebenwandigen Silos	95
9.1	Grundlagen	95
9.2	Klassifizierung der Tragwerksformen	95
9.2.1	Unversteifte Silos	95
9.2.2	Versteifte Silos	95
9.2.3	Silos mit Zugankern	95
9.3	Tragwiderstände von unversteiften vertikalen Wänden	96
9.4	Tragwiderstand von Silowänden aus versteiften und profilierten Platten	96
9.4.1	Allgemeines	96
9.4.2	Gesamtbiegung aus direkter Einwirkung des Schüttgutes	97
9.4.3	Membranbeanspruchung aus Querscheibenfunktion	99
9.4.4	Örtliche Biegung aus Schüttgut und/oder Ausrüstung	99
9.5	Silos mit innen liegenden Zugankern	100
9.5.1	Durch Schüttgutdruck verursachte Kräfte in innen liegenden Zugankern	100
9.5.2	Modellierung der Zuganker	101
9.5.3	Lastfälle für Zugankeranschlüsse	102
9.6	Tragsicherheit von pyramidischen Trichtern	103
9.7	Vertikale Steifen an Kastenwänden	104
9.8	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	104
9.8.1	Grundlagen	104
9.8.2	Durchbiegungen	105
Anhang A (informativ) Vereinfachte Regeln für kreisrunde Silos der Schadensfolgeklasse 1		106
A.1	Einwirkungskombinationen für Schadensfolgeklasse 1	106
A.2	Ermittlung der Beanspruchungen	106
A.3	Tragsicherheitsnachweise	106
A.3.1	Allgemeines	106
A.3.2	Isotrope, geschweißte oder geschraubte, zylindrische Wände	107
A.3.3	Konische geschweißte Trichter	110
A.3.4	Abzweigung	111

	Seite
Anhang B (informativ) Gleichungen für Membranspannungen in konischen Trichtern	113
B.1 Konstanter Druck p_0 mit Wandreibung μp_0	113
B.2 Linear veränderlicher Druck (von p_1 an der Kegelspitze auf p_2 an der Abzweigung) mit Wandreibung μp	113
B.3 „Radiales Druckfeld“ mit dreieckiger Druckspitze (“Switch”) an der Abzweigung	114
B.4 Wobei p_1 der Druck in Höhe h_1 oberhalb der Spitze und p_2 der Druck an der Abzweigung ist. Drücke nach verallgemeinerter Trichtertheorie	114
Anhang C (informativ) Winddruckverteilung über den Umfang kreisrunder Silos	115

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

Vorwort

Dieses Dokument (EN 1993-4-1:2007 + AC:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig.

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

Dieses Dokument ersetzt ENV 1993-4-1:1999.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, 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.

Hintergrund des Eurocode-Programms

Im Jahre 1975 beschloss die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, für das Bauwesen ein Aktionsprogramm auf der Grundlage des Artikels 95 der Römischen Verträge durchzuführen. Die Ziele dieses Programms waren die Beseitigung technischer Handelshemmnisse und die Harmonisierung technischer Spezifikationen.

Im Rahmen dieses Aktionsprogramms leitete die Kommission die Bearbeitung von harmonisierten technischen Regelwerken für die Tragwerksplanung von Bauwerken ein, die im ersten Schritt als Alternative zu den in den Mitgliedsländern geltenden Regeln dienen und diese schließlich ersetzen sollten.

15 Jahre lang leitete die Kommission mit Hilfe eines Lenkungsausschusses mit Vertretern der Mitgliedsländer die Entwicklung des Eurocode-Programms, das in den 80er Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts zu der ersten Eurocode-Generation führte.

Im Jahre 1989 entschieden sich die Kommission und die Mitgliedsländer der Europäischen Union und der EFTA, die Entwicklung und Veröffentlichung der Eurocodes über eine Reihe von Mandaten an CEN zu übertragen, damit diese den Status von Europäischen Normen (EN) erhielten. Grundlage war eine Vereinbarung¹⁾ zwischen der Kommission und CEN. Dieser Schritt verknüpft die Eurocodes de facto mit den Regelungen der Richtlinien des Rates und mit den Kommissionsentscheidungen, die die Europäischen Normen behandeln (z. B. die Richtlinie des Rates 89/106/EWG zu Bauprodukten (Bauproduktenrichtlinie), die Richtlinien des Rates 93/37/EWG, 92/50/EWG und 89/440/EWG zur Vergabe öffentlicher Aufträge und Dienstleistungen und die entsprechenden EFTA-Richtlinien, die zur Einrichtung des Binnenmarktes eingeführt wurden).

Das Programm der Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau umfasst die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke*

EN 1992, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*

1) Vereinbarung zwischen der Kommission der Europäischen Gemeinschaften und dem Europäischen Komitee für Normung (CEN) zur Bearbeitung der EUROCODES für die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauwerken (BC/CEN/03/89).

- EN 1993, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*
- EN 1994, *Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton*
- EN 1995, *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten*
- EN 1996, *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten*
- EN 1997, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik*
- EN 1998, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*
- EN 1999, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumbauten*

Die EN-Eurocodes berücksichtigen die Verantwortlichkeit der Bauaufsichtsorgane in den Mitgliedsländern und haben deren Recht zur nationalen Festlegung sicherheitsbezogener Werte berücksichtigt, so dass diese Werte von Land zu Land unterschiedlich bleiben können.

Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes

Die Mitgliedsländer der EU und EFTA betrachten die Eurocodes als Bezugsdokumente für folgende Zwecke:

- als Mittel zum Nachweis der Übereinstimmung der Hoch- und Ingenieurbauten mit den wesentlichen Anforderungen der Richtlinie 89/106/EWG, besonders mit der wesentlichen Anforderung Nr 1: Mechanische Festigkeit und Standsicherheit und der wesentlichen Anforderung Nr 2: Brandschutz;
- als Grundlage für die Spezifizierung von Verträgen für die Ausführung von Bauwerken und dazu erforderlichen Ingenieurleistungen;
- als Rahmenbedingung für die Erstellung harmonisierter Technischer Spezifikationen für Bauprodukte (ENs und ETAs).

Die Eurocodes haben, soweit sie sich auf die Bauwerke selbst beziehen, eine direkte Verbindung zu den Grundlagendokumenten²⁾, auf die in Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hingewiesen wird, wenn sie auch anderer Art sind als die harmonisierten Produktnormen³⁾. Daher sind technische Gesichtspunkte, die sich aus den Eurocodes ergeben, von den Technischen Komitees des CEN und/oder den Arbeitsgruppen von EOTA, die an Produktnormen arbeiten, zu beachten, damit diese Technischen Spezifikationen mit den Eurocodes vollständig kompatibel sind.

Die Eurocodes liefern Regelungen für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von kompletten Tragwerken und Bauteilen, die sich für die tägliche Anwendung eignen. Sie gehen auf traditionelle Bauweisen und Aspekte innovativer Anwendungen ein, liefern aber keine vollständigen Regelungen für ungewöhnliche Baulösungen und Entwurfsbedingungen. Für diese Fälle können zusätzliche Spezialkenntnisse für den Bauplaner erforderlich sein.

2) Nach Artikel 3.3 der Bauproduktenrichtlinie sind die wesentlichen Anforderungen in Grundlagendokumenten zu konkretisieren, um damit die notwendigen Verbindungen zwischen den wesentlichen Anforderungen und den Mandaten für die Erstellung harmonisierter Europäischer Normen und ETAGs/ETAs zu schaffen.

3) Nach Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie muss das Grundlagendokument:

- a) die wesentlichen Anforderungen konkretisieren, indem die Begriffe und die technischen Grundlagen harmonisiert und, falls erforderlich, für jede Anforderung Klassen oder Stufen angegeben werden;
- b) Verfahren zur Verbindung dieser Klassen oder Stufen mit den Technischen Spezifikationen angeben, z. B. Berechnungs- oder Prüfverfahren, Entwurfsregeln usw.;
- c) als Bezugsdokument für die Erstellung harmonisierter Normen und Richtlinien für Europäische Technische Zulassungen dienen.

Die Eurocodes spielen de facto eine ähnliche Rolle für die wesentliche Anforderung Nr 1 und einen Teil der wesentlichen Anforderung Nr 2.

DIN EN 1993-4-1:2010-12 EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

Nationale Fassungen der Eurocodes

Die Nationale Fassung eines Eurocodes enthält den vollständigen Text des Eurocodes (einschließlich aller Anhänge), so wie von CEN veröffentlicht, möglicherweise mit einer nationalen Titelseite und einem nationalen Vorwort sowie einem Nationalen Anhang.

Der Nationale Anhang darf nur Angaben zu den Parametern enthalten, die im Eurocode für nationale Entscheidungen offen gelassen wurden; diese national festzulegenden Parameter (en: Nationally Determined Parameters; NDP) gelten für die Tragwerksplanung von Hoch- und Ingenieurbauten in dem Land, in dem sie erstellt werden. Dazu gehören:

- Zahlenwerte und/oder Klassen, wo die Eurocodes Alternativen eröffnen;
- zu verwendende Zahlenwerte, wo die Eurocodes nur Symbole angeben;
- landesspezifische Daten (geographische, klimatische usw.), z. B. Schneekarten;
- die Vorgehensweise, wenn die Eurocodes mehrere Verfahren zur Wahl anbieten.

Darüber hinaus kann er Folgendes enthalten:

- Vorschriften zur Verwendung der informativen Anhänge,
- Hinweise zur Anwendung der Eurocodes, soweit diese die Eurocodes ergänzen und ihnen nicht widersprechen.

Verbindungen zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (ENs und ETAs)

Es besteht die Notwendigkeit, dass die harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte und die technischen Regelungen für die Tragwerksplanung⁴⁾ konsistent sind. Insbesondere sollten alle Hinweise, die mit der CE-Kennzeichnung von Bauprodukten verbunden sind und die die Eurocodes in Bezug nehmen, klar erkennen lassen, welche national festzulegenden Parameter (NDP) zu Grunde liegen.

Zusätzliche Informationen zu EN 1993-4-1

EN 1993-4-1 enthält Hinweise für die Tragwerksplanung von Silos.

EN 1993-4-1 enthält Bemessungs- und Konstruktionsregeln, die die allgemeinen Regeln in den verschiedenen Teilen von EN 1993-1 ergänzen.

EN 1993-4-1 ist für die Anwendung durch Bauherren, Tragwerksplaner, Auftragnehmer und zuständige Behörden vorgesehen.

EN 1993-4-1 ist dazu vorgesehen, zusammen mit EN 1990, EN 1991-4 und den anderen Teilen von EN 1991, mit EN 1993-1-6 und EN 1993-4-2 und den anderen Teilen von EN 1993 sowie mit EN 1992 und den anderen Teilen von EN 1994 bis EN 1999 angewendet zu werden, so weit für die Bemessung und Konstruktion von Silos maßgeblich. Die in diesen Dokumenten bereits behandelten Aspekte werden nicht wiederholt.

Zahlenwerte für Teilsicherheitsbeiwerte und andere Zuverlässigkeitsparameter werden als Grundwerte empfohlen, die eine annehmbare Zuverlässigkeit sicherstellen. Sie gelten unter der Annahme angemessener handwerklicher Ausführung der Arbeiten und eines geeigneten Qualitätsmanagements.

4) Siehe Artikel 3.3 und Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie ebenso wie die Abschnitte 4.2, 4.3.1, 4.3.2 und 5.2 des Grundlagendokuments Nr 1.

Sicherheitsbeiwerte für Silos, die ‚Bauprodukte‘ sind (Werksfertigung), dürfen von den zuständigen Behörden festgelegt werden. Bei Anwendung auf Silos, die ‚Bauprodukte‘ sind, sind die in **AC** 2.9 **AC** angegebenen Beiwerte nur Richtwerte. Ihre Angabe dient der Darstellung des geeigneten Niveaus, das für eine mit anderen Bemessungen verträgliche Zuverlässigkeit benötigt wird.

Nationaler Anhang zu EN 1993-4-1

Diese Norm enthält alternative Verfahren, Werte und Empfehlungen zusammen mit Hinweisen, an welchen Stellen möglicherweise nationale Festlegungen getroffen werden müssen. Daher sollte die jeweilige nationale Ausgabe von EN 1993-4-1 einen Nationalen Anhang mit allen national festzulegenden Parametern enthalten, die für die Bemessung und Konstruktion von Hoch- und Ingenieurbauten, die in dem Ausgabeland gebaut werden sollen, erforderlich sind.

Nationale Festlegungen sind in den folgenden Abschnitten von EN 1993-4-1 vorgesehen:

- | | |
|---|---------------------------|
| — 2.2 (1); | — 5.5.2 (3); |
| — 2.2 (3); | — 5.6.2 (1) und (2); |
| — 2.9.2.2 (3); | — 6.1.2 (4); |
| — 3.4 (1); | — 6.3.2.3 (2) und (4); |
| — 4.1.4 (2) und (4); | — 6.3.2.7 (3); |
| — 4.2.2.3 (6); | — 7.3.1 (4); |
| — 4.3.1 (6) und (8); | — 8.3.3 (4); |
| — 5.3.2.3 (3); | — 8.4.1 (6); |
| — 5.3.2.4 (10), (12) und (15); | — 8.4.2 (5); |
| — 5.3.2.5 (10) und (14); | — 8.5.3 (3); |
| — 5.3.2.6 (3) und (6); | — 9.5.1 (3) und (4); |
| — 5.3.2.8 (2); | — 9.5.2 (5); |
| — 5.3.3.5 (1) und (2); | — 9.8.2 (1) und (2); |
| — 5.3.4.3.2 (2); | — A.2 (1) und (2); |
| — 5.3.4.3.3 (2) und (5); | — A.3.2.1 (6); |
| — 5.3.4.3.4 (5); | — A.3.2.2 (6); |
| — 5.3.4.5 (3); | — A.3.2.3 (2); |
| — AC 5.4.4(2), (3)b und (3)c AC ; | — A.3.3 (1), (2) und (3); |
| — 5.4.7 (3); | — A.3.4 (4). |

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

- (1) Der vorliegende Teil 4-1 des Eurocodes 3 enthält Grundsätze und Anwendungsregeln für die Tragwerksplanung von freistehenden oder unterstützten Stahlsilos mit kreisrundem oder rechteckigem Grundriss.
- (2) Die in diesem Teil enthaltenen Bestimmungen ergänzen, ändern oder ersetzen die entsprechenden der in EN 1993-1 enthaltenen Bestimmungen.
- (3) Dieser Teil behandelt nur die Anforderungen an Tragwiderstand und Stabilität von Stahlsilos. Zu sonstigen Anforderungen (z. B. an die Betriebssicherheit, Funktionstüchtigkeit, Herstellung und Montage, Qualitätskontrolle, Details wie Mannlöcher, Stutzen, Fülleinrichtungen, Austragsöffnungen, Feeder usw.) siehe die einschlägigen Normen.
- (4) Bestimmungen für die speziellen Anforderungen der Bemessung gegen Erdbeben sind in EN 1998-4 enthalten, wo die Bestimmungen von Eurocode 3 spezifisch für diesen Zweck ergänzt oder angepasst werden.
- (5) Die Bemessung von Unterstützungskonstruktionen für Silos wird in EN 1993-1-1 behandelt. Zur Unterstützungskonstruktion gehören alle Bauteile unterhalb des Unterflansches des untersten Siloringes, siehe Bild 1.1.
- (6) Stahlbetonfundamente für Stahlsilos werden in EN 1992 und EN 1997 behandelt.
- (7) Zahlenwerte der spezifischen Einwirkungen, die bei der Bemessung von Stahlsilos zu berücksichtigen sind, werden in EN 1991-4, *Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter* angegeben.
- (8) Der vorliegende Teil 4-1 gilt nicht für:
- Feuerwiderstand (Brandschutz);
 - Silos mit inneren Unterteilungen und Innenkonstruktionen;
 - Silos mit weniger als $\boxed{\text{AC}}$ 100 kN (10 Tonnen) $\boxed{\text{AC}}$ Speicherkapazität;
 - Fälle, in denen spezielle Maßnahmen zur Begrenzung von Schadensfolgen erforderlich sind.
- (9) In den Abschnitten dieser Norm, die für kreisrunde Silos gelten, ist die geometrische Form zwar auf rotationssymmetrische Tragwerke beschränkt, diese können jedoch unsymmetrischen Einwirkungen ausgesetzt und unsymmetrisch aufgelagert sein.

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 1090, *Ausführung von Tragwerken aus Stahl*

EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke*

EN 1991-1, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke — Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau*

EN 1991-1-2, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen — Brandeinwirkungen auf Tragwerke*

EN 1991-1-3, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen —*

Schneelasten

EN 1991-1-4, Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen — Windlasten

EN 1991-1-5, Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen — Temperatureinwirkungen

EN 1991-1-6, Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-6: Allgemeine Einwirkungen — Einwirkungen während der Bauausführung

EN 1991-1-7, Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen — Außergewöhnliche Einwirkungen

EN 1991-4, Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 4: Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter

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

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

EN 1993-1-4, Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln — Ergänzende Regeln zur Anwendung von nicht rostenden Stählen

EN 1993-1-6, Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-6: Tragfähigkeit und Stabilität von Schalen

EN 1993-1-7, Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-7: Allgemeine Bemessungsregeln — Ergänzende Regeln zu ebenen Blechfeldern mit Querbelastung

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

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

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

EN 1993-4-2, Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4-2: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen

EN 1997, Eurocode 7 — Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik

EN 1998, Eurocode 8 — Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben

EN 1998-4, Eurocode 8 — Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 4: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen

EN 10025, Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Technische Lieferbedingungen

EN 10149 AC1, Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen

ISO 1000, SI units

ISO 3898, Bases for design of structures — Notation — General symbols

ISO 4997, Cold reduced steel sheet of structural quality

ISO 8930, General principles on reliability for structures — List of equivalent terms

DIN EN 1993-4-1:2010-12 EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

1.3 Annahmen

(1) Zusätzlich zu den allgemeinen Annahmen von EN 1990 gilt die folgende Annahme:

- Herstellung und Montage erfolgen nach EN 1090-2.

1.4 Unterscheidung zwischen Grundsätzen und Anwendungsregeln

Siehe EN 1990, 1.4.

1.5 Begriffe

(1) Falls nichts anderes angegeben ist, gelten die in EN 1990, 1.5 für den allgemeinen Gebrauch in den Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau definierten Begriffe und die Begriffe von ISO 8930 auch für diesen Teil 4-1 von EN 1993; ergänzend werden für diesen Teil 4-1 jedoch folgende Begriffe festgelegt:

1.5.1 Schale. Ein Tragwerk, das aus einer gekrümmten dünnen Wandung besteht.

1.5.2 Rotationsschale. Eine Schale, deren Geometrie durch die Rotation eines Meridians um eine zentrale Achse definiert ist.

1.5.3 Kasten. Ein durch den Zusammenbau ebener Bleche zu einer dreidimensionalen geschlossenen Form gebildetes Tragwerk. Ein Kasten im Sinne dieser Norm hat im Allgemeinen in allen Richtungen Abmessungen von gleicher Größenordnung.

1.5.4 Meridianrichtung. Die Tangente an die Silowand in jedem Punkt einer vertikalen Ebene. Sie ändert sich mit dem jeweils betrachteten Tragwerksteil. Alternativ ist es die vertikale oder geneigte Richtung auf der Oberfläche des Tragwerkes, der ein Regentropfen auf dieser Oberfläche folgen würde.

1.5.5 Umfangsrichtung. Die horizontale Tangente an die Silowand in jedem Punkt. Sie ändert sich längs des Siloumfangs, liegt in einer horizontalen Ebene und ist tangential zur Silowand, unabhängig davon, ob der Silo im Grundriss kreisrund oder rechteckig ist.

1.5.6 Mittelfläche. Dieser Ausdruck bezeichnet sowohl die spannungsfreie Mittelfläche einer Schale unter reiner Biegung als auch die Mittelfläche eines ebenen Bleches, das Teil eines Kastens ist.

1.5.7 Steifenabstand. Der Achsabstand zweier benachbarter paralleler Steifen.

Ergänzend zu Teil 1 von EN 1993 (und Teil 4 von EN 1991) gelten für die Anwendung dieses Teils 4-1 die folgenden Begriffe, siehe Bild 1.1:

1.5.8 Silo: Ein Silo ist ein Behälter zur Speicherung körniger Feststoffpartikel. In dieser Norm wird davon ausgegangen, dass er eine vertikale Form hat, in die das Schüttgut mittels Schwerkraft am oberen Ende eingefüllt wird. Die Bezeichnung ‚Silo‘ schließt alle Tragwerksformen zur Speicherung von Schüttgut ein, auch wenn sie zum Teil eigenständige Bezeichnungen haben, z. B. Behälter, Trichter, Getreidetank oder Bunker.

1.5.9 Schaft: Der Siloschaft ist der mit vertikalen Wänden versehene Teil eines Silos.

1.5.10 Trichter: Ein Trichter ist ein zum Siloboden zusammenlaufender Siloabschnitt. Er wird angeordnet, um das Schüttgut zu einem Schwerkraftauslass zu leiten.

1.5.11 Knotenlinie: An einer Knotenlinie treffen zwei oder mehr Schalenabschnitte oder ebene Kastenwände zusammen. Sie kann auch eine Steife einschließen: Die Anschlusslinie einer Ringsteife an eine Schale oder einen Kasten kann als eine Knotenlinie betrachtet werden.

1.5.12 Abzweigung: Die spezielle Knotenlinie zwischen Siloschaft und Trichter wird Abzweigung genannt. Die Abzweigung kann sich im unteren Bereich des Schaftes oder an seinem unteren Rand befinden.

1.5.13 Zarge (Standzarge): Die Zarge ist der Teil des Siloschaftes, der unterhalb der Abzweigung liegt: Er unterscheidet sich vom oberen Teil dadurch, dass er keinen Kontakt zum Schüttgut hat.

1.5.14 Schuss: Ein Schuss ist eine horizontale Reihe von Stahlblechsegmenten, aus denen ein Höhenabschnitt des Siloschaftes gebildet wird.

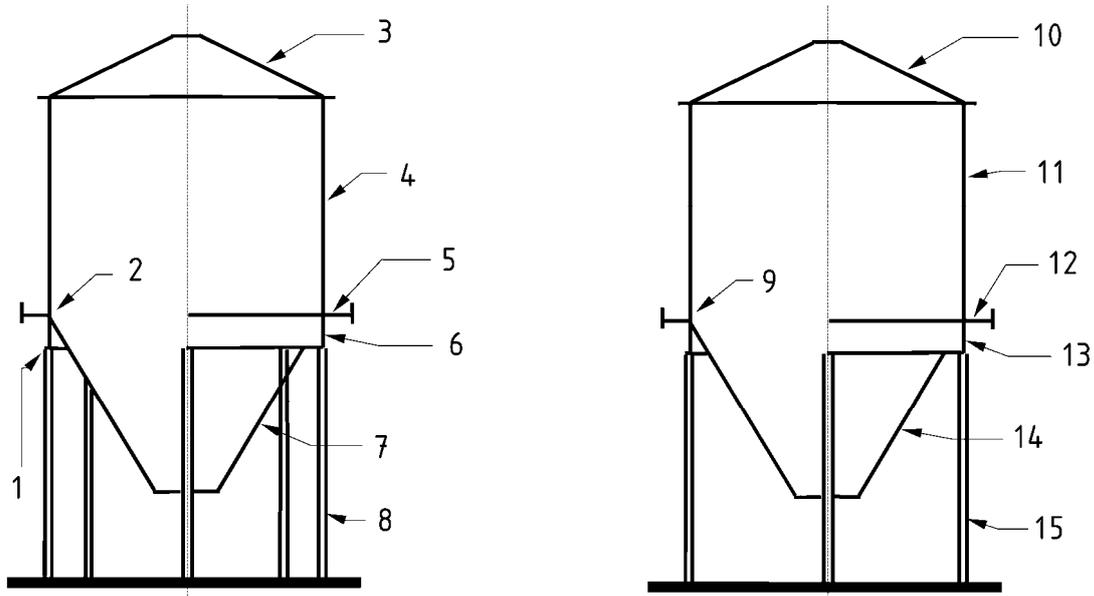
1.5.15 Längssteife: Eine Längssteife ist ein örtliches Versteifungsbauteil, das einem Schalenmeridian folgt, welcher eine Erzeugende der Rotationsschale darstellt. Eine Längssteife soll entweder die Stabilität verbessern oder bei der Einleitung örtlicher Lasten mitwirken oder Axiallasten tragen. Sie dient nicht primär dazu, die Biegetragfähigkeit für Querlasten zu erhöhen.

1.5.16 Rippe: Eine Rippe ist ein örtliches Bauteil, das eine primäre Biegelastabtragung längs eines Schalen- oder Plattenmeridians ermöglicht, welcher eine Erzeugende der Rotationsschale oder eine vertikale Steife an einem Kasten darstellt. Eine Rippe wird vorgesehen, um Querlasten mittels Biegung auf das Tragwerk zu verteilen.

1.5.17 Ringsteife: Eine Ringsteife ist ein örtliches Versteifungsbauteil, das an einem Punkt des Meridians längs des Tragwerkumfangs verläuft. Ihre Steifigkeit in der Meridianebene wird als vernachlässigbar angenommen. Eine Ringsteife soll entweder die Stabilität verbessern oder örtliche Lasten einleiten, sie ist kein Haupttragglied. Bei einer Rotationsschale ist sie kreisförmig, bei einem Kastentragwerk hat sie die rechteckige Form des Grundrisses.

1.5.18 Verschmierte Steifen: Steifen werden als verschmiert bezeichnet, wenn ihre Eigenschaften zusammen mit denen der Schalenwand als ein zusammenhängender Querschnitt behandelt werden, dessen Breite einem ganzen Vielfachen des Steifenabstandes entspricht. Die Schaleneigenschaften einer Wandung mit verschmierten Steifen sind orthotrop. Sie enthalten Exzentrizitätsterme, die eine Kopplung des Biege- und Membranverhaltens zur Folge haben.

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)



Legende

- | | | | |
|---|------------------------------------|----|------------------------------------|
| 1 | Silo endet hier | 9 | Abzweigung |
| 2 | Abzweigung | 10 | pyramidisches Dach |
| 3 | konisches Dach | 11 | rechteckiger Kasten |
| 4 | Zylinderschale oder Siloschaft | 12 | Ringsteife |
| 5 | Ringsteife | 13 | Zarge |
| 6 | Zarge | 14 | pyramidischer Trichter |
| 7 | konischer Trichter | 15 | Stütze: Unterstützungskonstruktion |
| 8 | Stütze: Unterstützungskonstruktion | | |

a) Silo mit kreisrundem Grundriss

b) Silo mit rechteckigem Grundriss

Bild 1.1 — Bezeichnungen für Silotragwerke

1.5.19 Basisring: Ein Basisring ist ein Bauteil, das der Umfangslinie an der Basis des Tragwerkes folgt und die Möglichkeit bietet, das Tragwerk an das Fundament oder ein anderes Tragwerkselement anzuschließen. Er wird auch benötigt, um die angenommenen Randbedingungen praktisch sicherzustellen.

1.5.20 Ringträger oder Ringbalken: Ein Ringträger oder ein Ringbalken ist ein Versteifungsbauteil in Umfangsrichtung, das sowohl in der Ebene des kreisrunden oder rechteckigen Tragwerksquerschnittes als auch rechtwinklig dazu biegesteif und biegefest ist. Er ist ein Haupttragglied zur Verteilung örtlicher Lasten in die Schale oder den Kasten.

1.5.21 kontinuierlich aufgelagert: Bei einem kontinuierlich aufgelagerten Silo sind alle Stellen längs des Umfangs in gleicher Weise unterstützt. Kleine Abweichungen von dieser Bedingung (z. B. eine kleine Öffnung) beeinflussen die Anwendbarkeit dieser Definition nicht.

1.5.22 Diskretes Auflager: An einem diskreten Auflager ist der Silo durch eine örtliche Konsole oder Stütze unterstützt, mit einer begrenzten Anzahl schmaler Lagerungen längs des Siloumfangs. Üblicherweise werden vier oder sechs diskrete Auflager verwendet, jedoch kommen auch drei oder mehr als sechs vor.

1.5.23 Pyramidischer Trichter: Ein pyramidischer Trichter wird für einen kastenförmigen Silo mit rechteckigem Grundriss benötigt; er hat die Form einer umgedrehten Pyramide. Seine Geometrie wird in dieser Norm als einfach aus vier ebenen trapezförmigen Wänden gebildet angenommen.

1.6 In Teil 4-1 von Eurocode 3 verwendete Symbole

Grundlage der verwendeten Symbole ist ISO 3898:1987.

1.6.1 Lateinische Großbuchstaben

- A* Querschnittsfläche;
- C* Membrandehnsteifigkeit;
- C* Beulkoeffizient;
- D* Biegesteifigkeit;
- E* Elastizitätsmodul;
- F* Kraft;
- G* Schubmodul;
- H* Höhe des Tragwerks;
- I* Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment);
- I_t* Torsionsträgheitsmoment (Saint Venant'sche Torsion);
- K* Federsteifigkeit eines Wandbleches für Knicken von Längssteifen;
- L* Höhe eines Schalensegmentes oder einer Steife;
- M* Biegemoment;
- N* Axialkraft;
- Q* Parameter für die Herstelltoleranz-Qualitätsklasse einer beulgefährdeten Schale;
- R_φ* örtlicher Radius an den Kuppen (Wellenberg bzw. -tal) eines Profilbleches (Wellbleches).

1.6.2 Lateinische Kleinbuchstaben

- a* Koeffizient;
- b* Breite einer Platte oder einer Steife;
- d* Bruttoprofilhöhe eines Profilbleches (Wellbleches);
- e* Exzentrizität einer Kraft oder einer Steife;
- f_y* Streckgrenze des Stahls;
- f_u* Zugfestigkeit des Stahls;
- h* Flanschabstand eines Ringträgers;
- j* Faktor für die Verbindungswirksamkeit von geschweißten Überlappstößen, die mit Hilfe der Membranspannung beurteilt werden;
- j* Ersatz-Harmonische eines veränderlichen Spannungsverlaufs;
- ℓ* mittragende Länge einer Schale bei der linearen Spannungsberechnung;
- ℓ* Wellenlänge der Profilierung in Profilblechen;
- ℓ* Halbwellenlänge einer potenziellen Beule (bei der Berechnung zu berücksichtigende Höhe);
- m* Biegemoment je Längeneinheit;
- m_x* Meridianbiegemoment je Umfangslängeneinheit;
- m_y* Umfangsbiegemoment je Meridianlängeneinheit eines Kastens;

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

m_{θ}	Umfangsbiegemoment je Meridianlängeneinheit einer Schale;
m_{xy}	Drillmoment je Längeneinheit eines Kastens;
$m_{x\theta}$	Drillmoment je Längeneinheit einer Schale;
n	Membrankraft;
n	Anzahl von diskreten Auflagerungen am Siloumfang;
n_x	Membrannormalkraft in Meridianrichtung je Umfangslängeneinheit;
n_y	Membrannormalkraft in Umfangsrichtung je Meridianlängeneinheit eines Kastens;
n_{θ}	Membrannormalkraft in Umfangsrichtung je Meridianlängeneinheit einer Schale;
n_{xy}	Membranschubkraft je Längeneinheit eines Kastens;
$n_{x\theta}$	Membranschubkraft je Längeneinheit einer Schale;
p	flächenhaft verteilte Belastung (Druck);
p_n	Druck rechtwinklig zur Schalenmittelfläche (nach außen gerichtet);
p_x	Flächenlast tangential zur Schalenmittelfläche in Meridianrichtung (abwärts gerichtet);
p_{θ}	Flächenlast tangential zur Schalenmittelfläche in Umfangsrichtung (im Gegenuhrzeigersinn);
q	Querbelastung auf einem Zuganker in einem Kastensilo (Linienlast je Längeneinheit);
r	Radialkoordinate in einem Silo mit kreisrundem Grundriss;
r	Radius der Schalenmittelfläche;
s	Steifenabstand in Umfangsrichtung;
t	Wanddicke;
t_x, t_y	Ersatzwanddicke eines Profilbleches für die Dehnung in x - bzw. y -Richtung;
w	Imperfektionsamplitude;
w	radiale Durchbiegung;
x	örtliche Meridiankoordinate;
y	örtliche Umfangskoordinate;
z	globale Axialkoordinate;
z	Koordinate längs der vertikalen Achse einer Rotationsschale.

1.6.3 Griechische Buchstaben

α	Faktor für elastische Imperfektionsabminderung beim Beulsicherheitsnachweis (elastischer Imperfektions-Abminderungsfaktor);
α	Wärmedehnungskoeffizient;
β	halber Kegelöffnungswinkel eines konischen Trichters;
γ_F	Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungen;
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand;
δ	Grenzwert für die Durchbiegung;
Δ	Inkrement;
χ	Abminderungsfaktor für Biegeknicken;

χ	Abminderungsfaktor für Schalenbeulen;
λ	Halbwellenlänge für Schalenbiegung;
$\bar{\lambda}$	bezogener Schlankheitsgrad einer Schale;
μ	Wandreibungskoeffizient;
ν	Querkontraktionszahl (Poissonzahl);
θ	Umfangskoordinate einer Schale;
σ	Normalspannung;
σ_{bx}	Meridianbiegespannung;
σ_{by}	Umfangsbiegespannung in einem Kasten;
$\sigma_{b\theta}$	Umfangsbiegespannung in einer Schale;
τ_{bxy}	Drillschubspannung in einem Kasten;
$\tau_{bx\theta}$	Drillschubspannung in einer Schale;
σ_{mx}	Meridianmembranspannung;
σ_{my}	Umfangsmembranspannung in einem Kasten;
$\sigma_{m\theta}$	Umfangsmembranspannung in einer Schale;
τ_{mxy}	Schubmembranspannung in einem Kasten;
$\tau_{mx\theta}$	Schubmembranspannung in einer Schale;
σ_{sox}	Oberflächenspannung in Meridianrichtung (außen);
σ_{soy}	Oberflächenspannung in Umfangsrichtung (außen) in einem Kasten;
$\sigma_{so\theta}$	Oberflächenspannung in Umfangsrichtung (außen) in einer Schale;
τ_{soxy}	Oberflächenschubspannung in einem Kasten;
$\tau_{sox\theta}$	Oberflächenschubspannung in einer Schale;
τ	Schubspannung;
ω	dimensionsloser Parameter beim Beulsicherheitsnachweis;
ω	Neigung eines konischen Trichters mit nichtvertikaler Achse;
ψ	Parameter für die Ungleichmäßigkeit eines Spannungsverlaufes.

1.6.4 Indizes

E	Spannung oder Verschiebung (als Folge von Bemessungseinwirkungen);
F	Einwirkungen;
M	Werkstoff/Material;
R	Widerstand;
S	Schnittgröße (als Folge von Bemessungseinwirkungen);
b	Biegung;
c	Zylinder;
cr	idealer Beulwert;

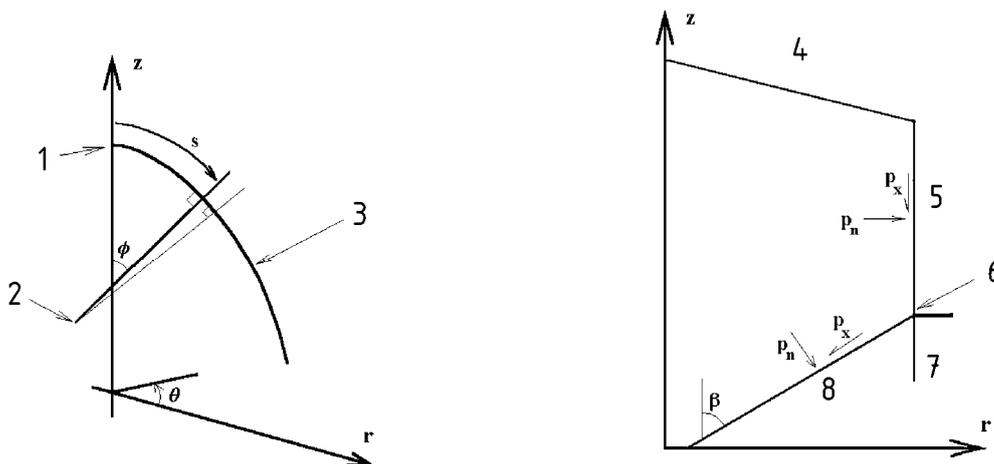
DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

- d Bemessungswert;
- eff effektiv;
- h Trichter;
- m Membran, Feldmitte;
- min kleinster zulässiger Wert;
- n rechtwinklig zur Wandung;
- p Druck;
- r radial;
- s Zarge, Auflagerung;
- s Oberflächenspannung (o – Außenseite, i – Innenseite);
- u Traglastwert;
- w parallel zur Wandung in Meridianrichtung (Wandreibung);
- x in Meridianrichtung;
- y in Umfangsrichtung (Kastentragwerk), Fließwert;
- z in Axialrichtung;
- θ in Umfangsrichtung (Rotationsschale).

1.7 Vorzeichenvereinbarungen

1.7.1 Vereinbarungen für das globale Koordinatensystem für kreisrunde Silos

(1) Die folgende Vorzeichenvereinbarung gilt für das gesamte Silotragwerk; sie berücksichtigt, dass der Silo kein ‚Bauteil‘ ist.



Legende

- | | |
|------------------------------------|--------------|
| 1 Pol | 5 Schaft |
| 2 Mittelpunkt der Meridiankrümmung | 6 Abzweigung |
| 3 Schalenmeridian | 7 Zarge |
| 4 Dach | 8 Trichter |

a) **AC** Globales Koordinatensystem **AC**

b) Silo-Schalenkoordinaten und Belastung: Schnitt

Bild 1.2 — Koordinatensysteme für ein kreisrundes Silo

(2) In der Regel werden für das globale Koordinatensystem des Silotragwerkes Zylinderkoordinaten wie folgt vereinbart (siehe Bild 1.2):

Koordinatensystem

Koordinate längs der Achse einer Rotationsschale	z
Radialkoordinate	r
Umfangskoordinate	θ

(3) Die Vereinbarung für positive Vorzeichen lautet wie folgt:

Nach außen gerichtet positiv (Innendruck positiv, Verschiebungen nach außen positiv)
 Zugspannungen positiv (ausgenommen Beulformeln, in denen Druck positiv ist)

(4) Die Vereinbarung für flächenhaft verteilte Einwirkungen auf die Silowand lautet wie folgt:

Druck rechtwinklig zur Schalenwand (nach außen gerichtet positiv)	p_n
Oberflächenlast in Meridianrichtung parallel zur Schalenwand (nach unten gerichtet positiv)	p_x
Oberflächenlast in Umfangsrichtung parallel zur Schalenwand (im Gegenuhrzeigersinn positiv)	p_θ

1.7.2 Vereinbarungen für das globale Koordinatensystem für rechteckige Silos

(1) Die folgende Vorzeichenvereinbarung gilt für das gesamte Silotragwerk; sie berücksichtigt, dass der Silo kein Bauteil ist.

(2) In der Regel werden für das globale Koordinatensystem des Silotragwerkes kartesische Koordinaten x , y , z vereinbart, wobei z die vertikale Richtung beschreibt, siehe Bild 1.3.

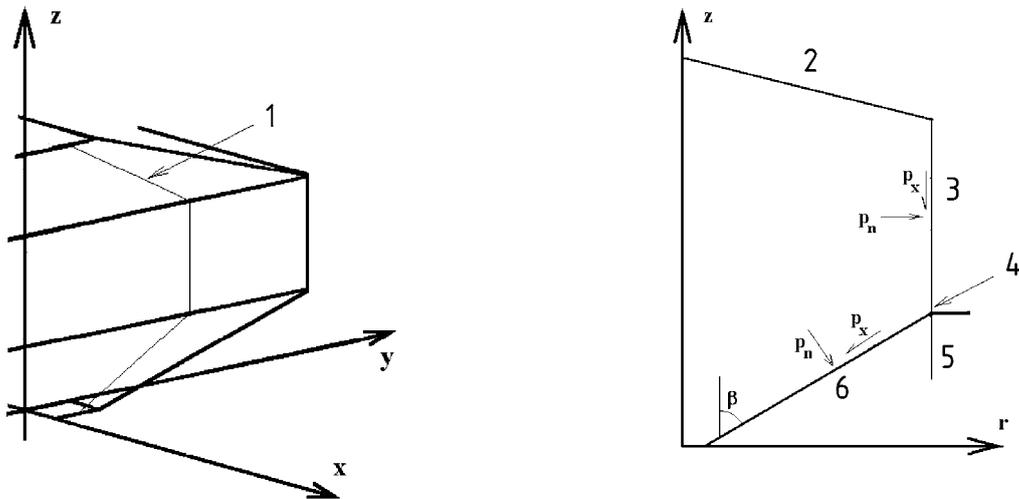
(3) Die Vereinbarung für positive Vorzeichen lautet wie folgt:

Nach außen gerichtet positiv (Innendruck positiv, Verschiebungen nach außen positiv)
 Zugspannungen positiv (ausgenommen Beulformeln, in denen Druck positiv ist)

(4) Die Vereinbarung für flächenhaft verteilte Einwirkungen auf die Silowand lautet wie folgt:

Druck rechtwinklig zur Schalenwand (nach außen gerichtet positiv)	p_n
Oberflächenlast in Meridianrichtung parallel zur Kastenwand (nach unten gerichtet positiv)	p_x
Oberflächenlast in Umfangsrichtung in der Ebene des Kastenquerschnittes (im Gegenuhrzeigersinn positiv)	p_y

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)



Legende

- | | |
|------------------|--------------|
| 1 Kastenmeridian | 4 Abzweigung |
| 2 Dach | 5 Zarge |
| 3 Schaft | 6 Trichter |

a) \square Globales Koordinatensystem \square

b) Silo-Kastenkoordinaten und Belastung: Schnitt

Bild 1.3 — Koordinatensysteme für ein rechteckiges Silo

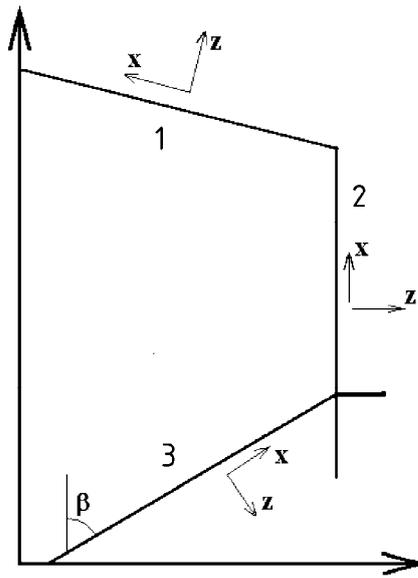
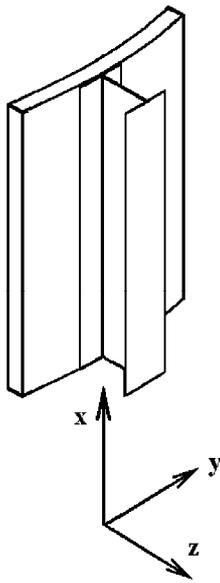
1.7.3 Vereinbarungen für die Koordinaten von Bauteilen in kreisrunden und rechteckigen Silos

(1) Die Vereinbarung für Bauteile, die an die Silowand angeschlossen sind (siehe Bilder 1.4 und 1.5), ist unterschiedlich, je nachdem, ob das Bauteil in Meridianrichtung oder in Umfangsrichtung verläuft.

(2) Für gerade Bauteile in Meridianrichtung an Schalen- oder Kastensilowänden (siehe Bild 1.4a) lautet die Vereinbarung:

Meridiankoordinate für Bauteile am Siloschaft, am Trichter und am Dach	x
Starke Querschnittsachse (parallel zu den Flanschen: Achse für Meridianbiegung)	y
Schwache Querschnittsachse (rechtwinklig zu den Flanschen)	z

ANMERKUNG Eine Längssteife, die in Übereinstimmung mit der Meridianbiegung des Zylinders biegebeansprucht wird (m_x), verbiegt sich um die y -Querschnittsachse der Steife.



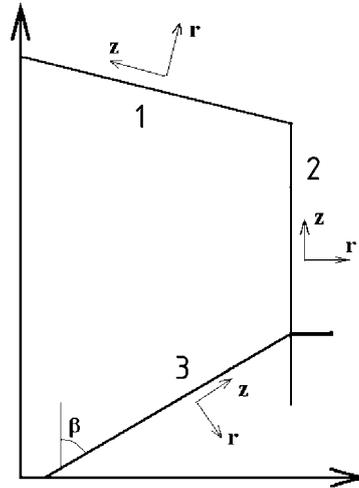
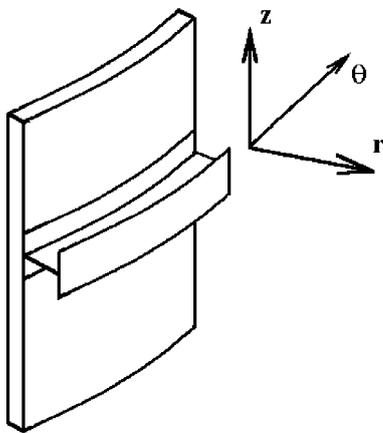
- Legende**
- 1 Dach
 - 2 Schaft
 - 3 Trichter

a) Steife und Biegeachsen

b) örtliche Achsen in verschiedenen Teilen

Bild 1.4 — Lokale Koordinatensysteme für Längssteifen an einer Schale oder an einem Kasten

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)



- Legende**
- 1 Dach
 - 2 Schaft
 - 3 Trichter

a) Steife und Biegeachsen

b) örtliche Achsen in verschiedenen Teilen

Bild 1.5 — Lokale Koordinatensysteme für Ringsteifen an einer Schale oder an einem Kasten

(3) Für gekrümmte Bauteile in Umfangsrichtung an einer Schalenwand (siehe Bild 1.5a) lautet die Vereinbarung:

Achse in Umfangsrichtung (gekrümmt)	θ
Radiale Querschnittsachse (für Biegung in der Vertikalebene)	r
Vertikale Querschnittsachse (für Umfangsbiegung)	z

ANMERKUNG Eine gekrümmte Ringsteife, die in Übereinstimmung mit der Umfangsbiegung des Zylinders biegebeansprucht wird (m_θ), verbiegt sich um ihre vertikale z -Querschnittsachse. Fungiert sie als Ringträger oder Ringbalken, oder ist sie radialen Kräften ausgesetzt, die exzentrisch zur Ringachse angreifen, so verbiegt sie sich um ihre radiale r -Querschnittsachse.

(4) Für gerade Bauteile in Umfangsrichtung an einer Kastenwand lautet die Vereinbarung:

Achse in Umfangsrichtung	x
Horizontale Querschnittsachse	y
Vertikale Querschnittsachse	z

ANMERKUNG Eine gerade Ringsteife, die aus der Ebene der Kastenwand heraus biegebeansprucht wird (was der Normalfall ist), verbiegt sich um ihre vertikale z -Querschnittsachse.

1.7.4 Vereinbarungen für Schnittgrößen in kreisrunden und rechteckigen Silos

(1) Die Vereinbarung für die Indizierung von Membrankräften lautet wie folgt:

Der Index beschreibt die Richtung, in der die Kraft Normalspannungen erzeugt.

Membrankräfte:

n_x	Membrankraft in Meridianrichtung
n_θ	Membrankraft in Umfangsrichtung bei Schalen
n_y	Membrankraft in Umfangsrichtung bei Kästen
n_{xy} oder $n_{x\theta}$	Membranschubkräfte

Membranspannungen:

σ_{mx}	Membranspannung in Meridianrichtung
$\sigma_{m\theta}$	Membranspannung in Umfangsrichtung bei Schalen
σ_{my}	Membranspannung in Umfangsrichtung bei Kästen
τ_{mxy} oder $\tau_{mx\theta}$	Membranschubspannungen

(2) Die Vereinbarung für die Indizierung von Momenten lautet wie folgt:

Der Index beschreibt die Richtung, in der das Moment Normalspannungen erzeugt.

ANMERKUNG Diese Vereinbarung für Platten und Schalen unterscheidet sich von derjenigen für Träger und Stäbe, wie sie in den Eurocode 3-Teilen 1-1 und 1-3 verwendet wird. Darauf ist bei Verwendung der Teile 1-1 und 1-3 in Verbindung mit diesen Regeln sorgfältig zu achten.

Biegemomente:

m_x	Biegemoment in Meridianrichtung je Längeneinheit
m_θ	Biegemoment in Umfangsrichtung je Längeneinheit bei Schalen
m_y	Biegemoment in Umfangsrichtung bei Kästen
m_{xy} oder $m_{x\theta}$	Drillmoment je Längeneinheit

Biegespannungen:

σ_{bx}	Biegespannung in Meridianrichtung
$\sigma_{b\theta}$	Biegespannung in Umfangsrichtung bei Schalen
σ_{by}	Biegespannung in Umfangsrichtung bei Kästen
τ_{bxy} oder $\tau_{bx\theta}$	Drillschubspannung

Innere und äußere Oberflächenspannungen:

$\sigma_{six}, \sigma_{sox}$	innere bzw. äußere Oberflächenspannung in Meridianrichtung bei Kästen und Schalen
$\sigma_{si\theta}, \sigma_{so\theta}$	innere bzw. äußere Oberflächenspannung in Umfangsrichtung bei Schalen
$\tau_{six\theta}, \tau_{sox\theta}$	innere bzw. äußere Oberflächenschubspannung bei Schalen
$\sigma_{siy}, \sigma_{soy}$	innere bzw. äußere Oberflächenspannung in Umfangsrichtung bei Kästen
τ_{sixy}, τ_{soxy}	innere bzw. äußere Oberflächenschubspannung bei Kästen

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

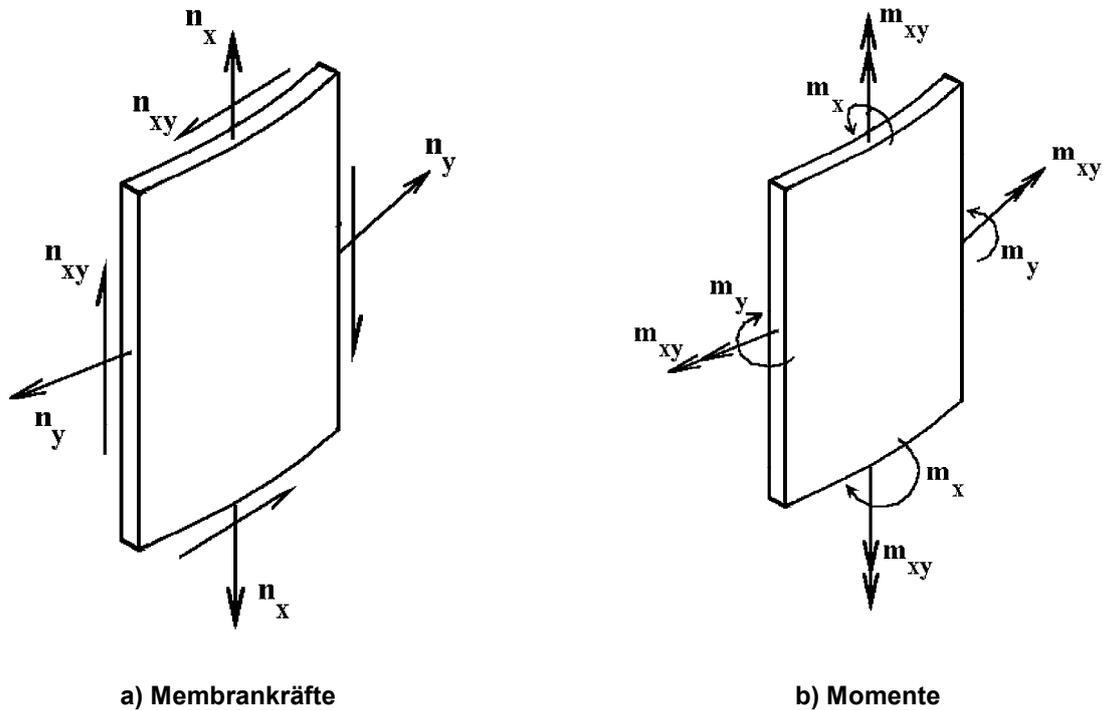


Bild 1.6 — Schnittgrößen in Schalen- und Kastensilowänden

1.8 Einheiten

(1)P SI-Einheiten sind in Übereinstimmung mit ISO 1000 zu verwenden.

(2) Für die Berechnungen werden folgende konsistente Einheiten empfohlen:

— Abmessungen und Dicken	: m	mm
— spezifisches Gewicht (Wichte)	: kN/m ³	N/mm ³
— Kräfte und Lasten	: kN	N
— Linienkräfte und Linienlasten	: kN/m	N/mm
— Drücke und Flächenlasten	: kPa	MPa
— spezifische Masse (Dichte)	: kg/m ³	kg/mm ³
— Beschleunigung	: km/s ²	m/s ²
— Membrankräfte	: kN/m	N/mm
— Biegemomente	: kNm/m	Nmm/mm
— Spannungen und Elastizitätsmoduli	: kPa	MPa (= N/mm ²)

2 Grundlagen der Bemessung

2.1 Anforderungen

(1)P Ein Silo ist so zu entwerfen, zu bemessen, zu konstruieren und zu unterhalten, dass die Anforderungen von EN 1990, Abschnitt 2 und die nachfolgend aufgeführten ergänzenden Anforderungen erfüllt werden.

(2) Das Silotragwerk sollte alle schalen- und plattenförmigen Tragwerksteile sowie Steifen, Rippen, Ringe und Anschlusssteile einschließen.

(3) Die Unterstützungskonstruktion sollte nicht als Teil des Silotragwerks angesehen werden. Die Grenze zwischen dem Silo und seiner Unterstützung ist in Anlehnung an Bild 1.1 festzulegen. Analog dazu gelten andere Komponenten, die ihrerseits vom Silo unterstützt werden, als dort beginnend, wo die Silowand oder das Anschlusssteil endet.

(4) Silos sollten so entworfen und bemessen werden, dass sie erforderlichenfalls im Hinblick auf ihre vorge-sehene Verwendung schadenstolerant sind.

(5) Besondere Anforderungen für spezielle Anwendungen dürfen zwischen dem Tragwerksplaner, dem Bauherrn und der zuständigen Behörde vereinbart werden.

2.2 Differenzierung der Zuverlässigkeit

(1) Zur Differenzierung der Zuverlässigkeit siehe EN 1990.

ANMERKUNG In den Nationalen Anhängen dürfen Schadensfolgeklassen für Silos in Abhängigkeit vom Standort, von der Art der Füllung und Belastung, der Art und Größe des Tragwerks und der Art des Betriebs festgelegt werden.

(2) In Abhängigkeit von der gewählten Schadensfolgeklasse, des Tragwerkssystems und der Anfälligkeit für verschiedene Versagensarten sollte bei der Bemessung von Silotragwerken nach unterschiedlichen Schärfe-niveaus differenziert werden.

(3) In dieser Norm kommen drei Schadensfolgeklassen zur Anwendung. Mit den Anforderungen dieser Klassen wird ein prinzipiell gleiches Risikoniveau der Tragwerke angestrebt, und es werden Kosten und Aufwand berücksichtigt, die bei den verschiedenen Tragwerken für eine Reduzierung der Versagenswahrscheinlichkeit erforderlich sind: Schadensfolgeklassen 1, 2 und 3.

ANMERKUNG 1 Der nationale Anhang kann Angaben über die Schadensfolgeklassen enthalten. Tabelle 2.1 enthält ein Beispiel für die Einteilung von zwei Parametern – Größenordnung und Art des Betriebs – in Schadensfolgeklassen, wenn alle anderen Parameter mittlere Folgen haben, siehe EN 1990, B.3.1.

Tabelle 2.1 — Schadensfolgeklassen in Abhängigkeit von Größenordnung und Betrieb

Schadensfolgeklasse	Bemessungssituationen
Schadensfolgeklasse 3	<p>Bodengelagerte Silos oder Silos mit bis zum Boden reichender Standzarge, mit einer Speicherkapazität von mehr als W_{3a} Tonnen</p> <p>Diskret gelagerte Silos mit einer Speicherkapazität von mehr als W_{3b} Tonnen</p> <p>Silos mit einer Speicherkapazität von mehr als W_{3c} Tonnen, bei denen eine der folgenden Bemessungssituationen vorliegt:</p> <p>a) exzentrisches Entleeren</p> <p>b) örtliche Teilflächenbelastung</p> <p>c) unsymmetrisches Befüllen</p>
Schadensfolgeklasse 2	Alle Silos, für die diese Norm gilt und die nicht in eine andere Klasse eingeordnet sind
Schadensfolgeklasse 1	Silos mit einer Speicherkapazität zwischen W_{1a} Tonnen ^a und W_{1b} Tonnen
<p>^a Silos mit weniger als W_{1a} Tonnen Speicherkapazität sind nicht Gegenstand dieser Norm.</p>	

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

Es werden folgende Grenzwerte für die Klassen empfohlen:

Grenzwert der Klasse	Empfohlener Wert (Tonnen)
W_{3a}	5 000
W_{3b}	1 000
W_{3c}	200
W_{1b}	100
W_{1a}	10

ANMERKUNG 2 Zur Einteilung in die Anforderungsklassen für Einwirkungen, siehe EN 1991-4.

(4) Es darf stets eine höhere Schadensfolgeklasse gewählt werden, als gefordert ist.

(5)P Die Wahl der niedrigsten Schadensfolgeklasse muss einvernehmlich zwischen Tragwerksplaner, Bauherrn und zuständiger Behörde erfolgen.

(6) Die Einordnung in Schadensfolgeklasse 3 aufgrund des Kriteriums ‚örtliche Teilflächenbelastung‘ bezieht sich auf Silolastfälle, die nach EN 1991-4 eine Teilflächenbelastung über weniger als den halben Siloumfang verursachen.

(7) Für Schadensfolgeklasse 1 dürfen vereinfachte Regeln angewendet werden.

ANMERKUNG Geeignete Regeln für Schadensfolgeklasse 1 sind in Anhang A angegeben.

2.3 Grenzzustände

(1) Für diesen Teil 4-1 gelten die in EN 1993-1-6 definierten Grenzzustände.

2.4 Einwirkungen und Umwelteinflüsse

2.4.1 Allgemeines

(1)PEs gelten die allgemeinen Anforderungen nach EN 1990, Abschnitt 4.

2.4.2 Windlast

(1) Windlasten, die für Silos in Einzel- und Gruppenaufstellung in EN 1991-1-4 nicht festgelegt sind, sollten in Form zusätzlicher Informationen vereinbart werden.

(2) Da diese großen leichten Konstruktionen empfindlich gegenüber der genauen Verteilung des Winddrucks auf der Wand sind, müssen die Basis-Winddaten in EN 1991-1-4 für die speziellen Bedürfnisse einzelner Konstruktionen durch zusätzliche Informationen vervollständigt werden. Das bezieht sich sowohl auf den Beulsicherheitsnachweis für den leeren Silo als auch auf den Nachweis der Verankerung auf dem Fundament.

ANMERKUNG Geeignete zusätzliche Informationen über Winddruckverteilungen werden in Anhang C gegeben.

2.4.3 Kombination von Schüttgutlasten mit anderen Einwirkungen

(1)P Es gelten die Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen auf Silos nach 2.9.2.

2.5 Werkstoffeigenschaften

- (1) Es gelten die allgemeinen Anforderungen an Werkstoffeigenschaften nach EN 1993-1-1.
- (2) Darüber hinaus gelten die speziellen Eigenschaften der Werkstoffe für Silos, die in Abschnitt 3 dieses Teils 4-1 angegeben werden.

2.6 Abmessungen

- (1)P Es gelten die in EN 1990, Abschnitt 6 enthaltenen Angaben zu den Abmessungen.
- (2) Es gelten außerdem die zusätzlichen speziellen Angaben für Schalentragerwerke in EN 1993-1-6.
- (3) Als Schalenwanddicke ist in der Regel die Nennblechdicke einzusetzen. Bei feuerverzinktem Stahlblech nach \overline{AC} EN 10149 \overline{AC} ist das der Nennwert der Kerndicke, der sich als Differenz aus Nenn-Gesamtdicke und Zinkschichtdicke auf beiden Oberflächen ergibt.
- (4) Der Einfluss von Korrosion und Abrasion auf die Silowanddicke ist in der Regel nach 4.1.4 bei der Bemessung zu berücksichtigen.

2.7 Modellierung des Silos zur Berechnung der Beanspruchungen

- (1)P Es gelten die allgemeinen Anforderungen nach EN 1990, Abschnitt 7.
- (2) Außerdem gelten die speziellen Angaben für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis, die in den Abschnitten 4 bis 9 dieses Teils 4-1 für jeden Tragwerksteil gemacht werden.
- (3) Darüber hinaus gelten für den Tragsicherheitsnachweis die in den Abschnitten 4 bis 9 dieses Teils 4-1 und ausführlicher in EN 1993-1-6 und EN 1993-1-7 angegebenen speziellen Anforderungen.

2.8 Versuchsgestützte Bemessung

- (1) Es gelten die allgemeinen Anforderungen nach EN 1990, Anhang D.
- (2) Für Silos, die ‚Bauprodukte‘ sind (Werksfertigung) und die großmaßstäblichen Versuchen unterworfen werden, dürfen vereinfachte Kriterien für Bemessungszwecke verwendet werden.

2.9 Beanspruchungen für den Nachweis der Grenzzustände

2.9.1 Allgemeines

- (1)P Es gelten die allgemeinen Anforderungen nach EN 1990, Abschnitt 9.

2.9.2 Teilsicherheitsbeiwerte für Grenzzustände der Tragfähigkeit

2.9.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen auf Silos

- (1)P Für quasi-ständige, häufige und außergewöhnliche Bemessungssituationen gelten die Teilsicherheitsbeiwerte γ_F nach EN 1990 und EN 1991-4.
- (2) Teilsicherheitsbeiwerte für Silos, die ‚Bauprodukte‘ sind (Werksfertigung), dürfen von den zuständigen Behörden festgelegt werden.

ANMERKUNG Bei Anwendung auf Silos, die ‚Bauprodukte‘ sind, sind die Beiwerte in Absatz (1) nur Richtwerte. Ihre Angabe dient der Darstellung des geeigneten Niveaus, das für eine mit anderen Bemessungen verträgliche Zuverlässigkeit benötigt wird.

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

2.9.2.2 Teilsicherheitsbeiwerte für den Widerstand

- (1) Für die versuchsmäßige Ermittlung von Trageigenschaften gelten die Anforderungen und Verfahrensweisen nach EN 1990.
- (2) Der Ermüdungssicherheitsnachweis ist nach EN 1993-1-6, Abschnitt 9 zu führen.
- (3) Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} für verschiedene Grenzzustände sind Tabelle 2.2 zu entnehmen.

Tabelle 2.2 — Teilsicherheitsbeiwerte für den Widerstand

Widerstand gegen Versagensart	Relevantes γ
Widerstand einer geschweißten oder geschraubten Silowand gegen plastisches Versagen	γ_{M0}
Widerstand einer Silowand gegen Beulen	γ_{M1}
Widerstand einer geschweißten oder geschraubten Silowand gegen Zugbruch	γ_{M2}
Widerstand einer Silowand gegen zyklisches Plastizieren	γ_{M4}
Widerstand von Verbindungen	γ_{M5}
Widerstand einer Silowand gegen Ermüdung	γ_{M6}

ANMERKUNG Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} für Silos dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden. Zu den Werten für γ_{M5} enthält EN 1993-1-8 weitere Angaben. Zu den Werten für γ_{M6} enthält EN 1993-1-9 weitere Angaben. Für Silos werden die folgenden Zahlenwerte empfohlen:

$\gamma_{M0} = 1,00$	$\gamma_{M1} = 1,10$	$\gamma_{M2} = 1,25$
$\gamma_{M4} = 1,00$	$\gamma_{M5} = 1,25$	$\gamma_{M6} = 1,10$

Für die weitere Differenzierung siehe 2.2 (1) und 2.2 (3).

2.9.3 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

- (1) Wenn in den entsprechenden Abschnitten vereinfachte Regeln zum Erreichen ausreichender Gebrauchstauglichkeit gegeben werden, brauchen keine detaillierten Berechnungen mit Einwirkungskombinationen durchgeführt werden.

2.10 Dauerhaftigkeit

- (1) Es gelten die allgemeinen Anforderungen nach EN 1990, Abschnitt 2.6.

2.11 Feuerwiderstand

- (1) Es gelten die Bestimmungen für Feuerwiderstand in EN 1993-1-2.

3 Werkstoffeigenschaften

3.1 Allgemeines

- (1) Für Silos sollten nur schweißgeeignete Stähle eingesetzt werden, um bei Bedarf nachträgliche Änderungen zu ermöglichen.
- (2) Für kreisrunde Silos sollten nur Stähle eingesetzt werden, die für das Kaltumformen zu gekrümmten Wandsegmenten oder zu gekrümmten Bauteilen geeignet sind.
- (3) Die in diesem Abschnitt angegebenen Werkstoffeigenschaften (siehe EN 1993-1-1, Tabelle 3.1 und EN 1993-1-3, Tabelle 3.1b) sollten als Nennwerte betrachtet werden, die bei der Bemessung als charakteristische Werte in die Berechnung einzuführen sind.
- (4) Weitere Werkstoffeigenschaften sind in den in EN 1993-1-1 angegebenen einschlägigen Bezugsnormen zu finden.
- (5) Falls der Silo mit heißen Schüttgütern gefüllt werden kann, sollten die Werte der Werkstoffeigenschaften entsprechend den zu erwartenden Höchsttemperaturen reduziert werden.
- (6) Falls höhere Temperaturen als 100 °C zu erwarten sind, sollten die Werkstoffeigenschaften EN 13084-7 entnommen werden.

3.2 Baustähle

- (1) Die in diesem Teil 4-1 von EN 1993 angegebenen rechnerischen Bemessungsmethoden gelten für Baustähle nach EN 1993-1-1, die mit den in Tabelle 3.1 aufgelisteten Europäischen und Internationalen Normen übereinstimmen.
- (2) Die mechanischen Eigenschaften von Baustählen nach EN 10025 oder EN 10149 sollten EN 1993-1-1, EN 1993-1-3 und EN 1993-1-4 entnommen werden.
- (3) Korrosions- und Abrasionszuschläge sind in Abschnitt 4 dieses Teils 4-1 angegeben.
- (4) In der Regel darf angenommen werden, dass die Stahleigenschaften für Zugbeanspruchung dieselben sind wie für Druckbeanspruchung.
- (5) Für die durch diesen Teil 4-1 von EN 1993 abgedeckten Stähle sollten die Bemessungswerte des Elastizitätsmoduls mit $E = 210\,000$ MPa und der Querkontraktionszahl (Poissonzahl) mit $\nu = 0,30$ angesetzt werden.

3.3 Nichtrostende Stähle

- (1) Die mechanischen Eigenschaften von nichtrostenden Stählen sollten EN 1993-1-4 entnommen werden.
- (2) Hinweise zur Auswahl von im Hinblick auf die Korrosions- und Abrasionseinflüsse des Schüttgutes geeigneten nichtrostenden Stählen dürfen den einschlägigen Quellen entnommen werden.
- (3) Falls die Bemessung Beulberechnungen umfasst, sollten entsprechend reduzierte Werte der mechanischen Eigenschaften angesetzt werden (siehe EN 1993-1-6).

3.4 Spezielle legierte Stähle

- (1) Für nicht genormte legierte Stähle sollten geeignete Werte für die maßgebenden mechanischen Eigenschaften festgelegt werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Angaben zu den geeigneten Werten enthalten.

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

(2) Hinweise zur Auswahl von im Hinblick auf die Korrosions- und Abrasionseinflüsse des Schüttgutes geeigneten speziellen legierten Stählen sollten einschlägigen Quellen entnommen werden.

(3) Falls die Bemessung Beulberechnungen umfasst, sollten entsprechend reduzierte Werte der mechanischen Eigenschaften angesetzt werden (siehe EN 1993-1-6).

3.5 Anforderungen an die Zähigkeit

(1) Die Anforderungen an die Zähigkeit der Stähle sollten nach EN 1993-1-10 ermittelt werden.

4 Grundlagen für die statische Berechnung

4.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit

4.1.1 Basis

(1) Stählerne Tragwerke und Tragwerksteile sollten so dimensioniert werden, dass die grundlegenden Anforderungen an die Bemessung nach Abschnitt 2 erfüllt sind.

4.1.2 Zu führende Nachweise

(1)P Die Bemessung muss für jeden in Frage kommenden Grenzzustand die folgende Bedingung erfüllen:

$$S_d < R_d \quad (4.1)$$

Dabei sind S und R die jeweils relevanten Parameter.

4.1.3 Ermüdung und zyklisches Plastizieren — Kurzzeitermüdung

(1) Teile des Tragwerks, die größeren örtlichen Biegebeanspruchungen unterworfen sind, sollten bei Bedarf gegen auf die Grenzzustände ‚Ermüdung‘ und ‚Zyklisches Plastizieren‘ nach EN 1993-1-6 bzw. EN 1993-1-7 nachgewiesen werden.

(2) Für Silos der Schadensfolgeklasse 1 entfallen die Nachweise nach (1).

4.1.4 Berücksichtigung von Korrosion und Abrasion

(1) Bei der Festlegung der effektiven Wanddicke für die Berechnung sollten die Abrasionseffekte des Schüttgutes an der Silowandung über die Lebensdauer des Tragwerks berücksichtigt werden.

(2) Sind keine spezifischen Informationen vorhanden, sollte für alle Bereiche, die Kontakt mit rutschendem Schüttgut haben, ein Wanddickenverlust von Δt_a infolge Abrasion angenommen werden.

ANMERKUNG Der Wert von Δt_a darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $\Delta t_a = 2$ mm empfohlen.

(3) Bei der Festlegung der effektiven Wanddicke für die Berechnungen sollten die Korrosionseffekte des Schüttgutes im Kontakt mit der Silowandung berücksichtigt werden.

(4) Dem vorgesehenen Verwendungszweck entsprechende spezielle Werte für die Korrosions- und Abrasionsverluste sollten zwischen dem Tragwerksplaner, dem Bauherrn und der zuständigen Behörde vereinbart werden; dabei sind der Verwendungszweck und die Beschaffenheit des zu speichernden Schüttgutes zu beachten.

ANMERKUNG 1 Im Nationalen Anhang dürfen angemessene Werte für die Korrosions- und Abrasionsverluste für bestimmte Schüttgüter im Reibungskontakt mit bestimmten Silowandungswerkstoffen, angegeben werden, die die in EN 1991-4 definierte Schüttgutfließart berücksichtigen.

ANMERKUNG 2 Um sicherzustellen, dass die Bemessungsannahmen beim Betrieb eingehalten werden, sind geeignete Inspektionsmaßnahmen festzulegen.

4.1.5 Berücksichtigung von Temperatureinflüssen

(1) Bei heißem Schüttgut sollten die Einflüsse von Temperaturdifferenzen zwischen Tragwerksteilen, die Kontakt mit dem heißen Material haben, und solchen, die bereits abgekühlt sind, bei der Berechnung der Spannungsverteilung in der Silowandung berücksichtigt werden.

4.2 Berechnung des Schalentragswerks eines kreisrunden Silos

4.2.1 Modellierung der Tragwerksschale

(1) Die Tragwerksschale sollte nach den Anforderungen von EN 1993-1-6 modelliert werden. Diese gelten bei Befolgung nachstehender Regeln als erfüllt.

(2) Das Tragwerksmodell sollte alle Steifen, großen Öffnungen und Anschlusssteile enthalten.

(3) Die Bemessung sollte sicherstellen, dass die angenommenen Randbedingungen eingehalten werden.

4.2.2 Berechnungsmethoden

4.2.2.1 Allgemeines

(1) Die Schalenberechnung sollte nach den Anforderungen von EN 1993-1-6 durchgeführt werden.

(2) Es darf stets ein höherwertiges Berechnungskonzept als das für die jeweilige Schadensfolgeklasse geforderte angewendet werden.

4.2.2.2 Schadensfolgeklasse 3

(1) Für Silos der Schadensfolgeklasse 3 (siehe 2.3) sollten die Beanspruchungen mit Hilfe einer validierten numerischen Berechnung (z. B. einer Finite-Elemente(FE)-Schalenberechnung) (wie in EN 1993-1-6 festgelegt) ermittelt werden. Der Nachweis gegen den Grenzzustand ‚Plastische Grenze‘ nach EN 1993-1-6 darf mit Hilfe plastischer Kollapsmechanismen unter Primärspannungszuständen geführt werden.

4.2.2.3 Schadensfolgeklasse 2

(1) Für Silos der Schadensfolgeklasse 2 unter axialsymmetrischen Belastungs- und Lagerungsbedingungen darf alternativ eines der beiden folgenden Berechnungskonzepte eingesetzt werden:

- a) Die Primärspannungen können mit Hilfe der Membrantheorie ermittelt werden. Örtliche Biegeeffekte können mit Hilfe von Formeln auf der Grundlage der elastischen Biegetheorie erfasst werden.
- b) Es kann eine validierte numerische Berechnung (z. B. eine FE-Schalenberechnung) (wie in EN 1993-1-6 festgelegt) durchgeführt werden.

(2) Lässt sich die Belastung aus dem Schüttgut nicht als axialsymmetrisch betrachten, so sollte eine validierte numerische Berechnung durchgeführt werden.

(3) Ungeachtet Absatz (2) dürfen die Primärspannungen mit Hilfe der Membrantheorie ermittelt werden, wenn die Belastung über den Umfang stetig veränderlich ist (z. B. in Form der 1. Harmonischen) und nur globale Biegung erzeugt.

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

(4) Für Berechnungen unter Windlast und/oder Fundamentsetzungen und/oder stetig veränderlichen Teilflächenlasten (siehe EN 1991-4 bezüglich dünnwandiger Silos) darf die Semi-Membrantheorie oder die Membrantheorie angewendet werden.

(5) Bei membrantheoretischer Berechnung der primären Schalenspannungen gilt:

a) Für diskrete Ringe, die mit einer isotropen kreiszylindrischen Schale unter Innendruck verbunden sind, darf in den effektiven Querschnitt eine mitttragende Schalenlänge oberhalb und unterhalb des Ringes von $0,78 \sqrt{rt}$ eingerechnet werden, es sei denn, der Ring befindet sich an der Abzweigung.

b) Örtliche Biegeeinflüsse an Diskontinuitäten der Schalenfläche und an Auflagerungen sollten getrennt erfasst werden.

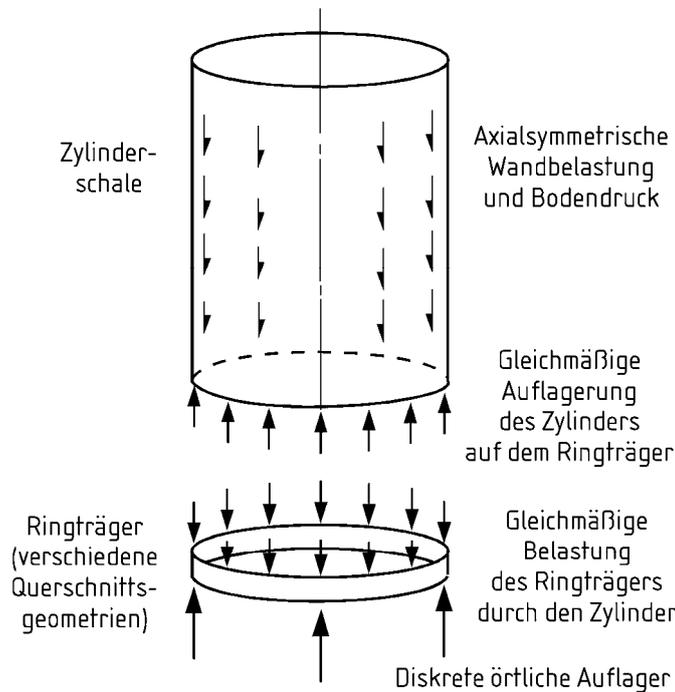
(6) Isotrope Schalenwände mit diskreten Längssteifen, deren Abstand nicht größer als $n_{vs} \sqrt{rt}$ ist, dürfen als verschmiert-längsversteift berechnet werden.

ANMERKUNG Der Wert von n_{vs} darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $n_{vs} = 5$ empfohlen.

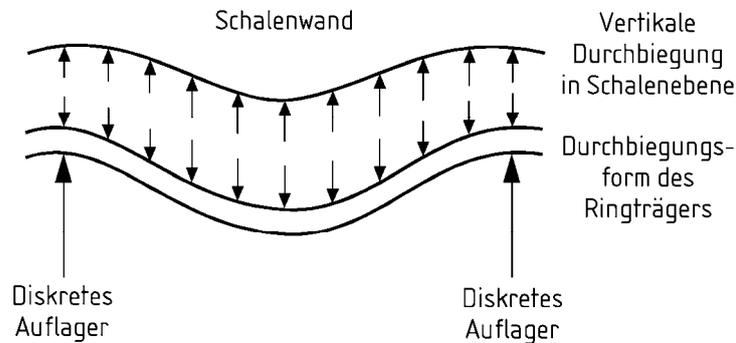
(7) Bei der Ermittlung der Steifenspannungen in einer verschmiert-längsversteift modellierten Schalenwand sollte auf eine zutreffende Erfassung der Kompatibilität zwischen Steife und Wand, einschließlich des Einflusses der Wandmembranspannungen rechtwinklig zur Steifenrichtung, geachtet werden.

(8) Bei Anordnung eines Ringträgers über diskreten Auflagern dürfen zwar die Primärspannungen mit Hilfe der Membrantheorie ermittelt werden, jedoch sollten dabei die Anforderungen in 5.4 und 8.1.4 bezüglich zusätzlicher nicht-axialsymmetrischer Primärspannungen sorgfältig beachtet werden.

(9) Bei Anordnung eines Ringträgers über diskreten Auflagern sollte die Verformungskompatibilität zwischen Ring und anschließenden Schalensegmenten beachtet werden, siehe Bild 4.1. Das betrifft besonders die Kompatibilität der axialen Verformungen, da die eingetragenen Spannungen weit hinauf in die Schale wirken. Bei Verwendung eines solchen Ringträgers sollte darüber hinaus die Exzentrizität des Ringträgerschwer- und -schubmittelpunktes zur Schalenwand beachtet werden, siehe 8.1.4 und 8.2.3.



a) Traditionelles Berechnungsmodell für stützengelagerte Silos



b) Verformungsbedingung für den Zylinder aus Kompatibilität mit der Trägerverformung

Bild 4.1 — Axiale Verformungskompatibilität zwischen Ringträger und Schale

(10) Bei Silos mit unsymmetrischer Belastung aus dem Schüttgut (Teilflächenlast, exzentrisches Entleeren, unsymmetrisches Befüllen usw.) sollte das Tragwerk so modelliert werden, dass die Übertragung von Schubmembrankräften innerhalb der Silowand sowie zwischen Silowand und Ringen erfasst wird.

ANMERKUNG Die Schubübertragung zwischen Teilen der Wand und den Ringen ist besonders wichtig in Konstruktionen mit Schrauben oder anderen diskreten Verbindungsmitteln (z. B. zwischen Siloschaft und Trichter oder zwischen verschiedenen Schüssen des Schaftes).

(11) In einer geschraubten oder mit anderen diskreten Verbindungsmitteln ausgeführten Silokonstruktion sollten bei Anordnung eines Ringträgers über diskreten Auflagern die Schubkräfte zwischen den Ringträger-Einzelteilen infolge Schalen- und Ringträgerbiegung ermittelt werden.

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

(12) Die Steifigkeit des Schüttgutes darf nicht rechnerisch zur Verringerung der Wandverformungen oder zur Erhöhung des Beulwiderstandes des Tragwerks in Anspruch genommen werden, es sei denn, es wird eine rationale Analyse durchgeführt und es liegen eindeutige Beweise dafür vor, dass das Schüttgut an der Wand während der Entleerung nicht rutscht.

4.2.2.4 Schadensfolgeklasse 1

(1) Für Silos der Schadensfolgeklasse 1 dürfen die Primärspannungen mit Hilfe der Membrantheorie ermittelt werden; Einflüsse aus örtlicher Biegung und aus unsymmetrischen Einwirkungen dürfen mit Hilfe von Faktoren und Näherungsformeln berücksichtigt werden.

4.2.3 Geometrische Imperfektionen

(1) Die geometrischen Imperfektionen der Schalenwand sollten die in EN 1993-1-6 festgelegten Grenzwerte für geometrische Toleranzen einhalten.

(2) Bei Silos der Schadensfolgeklassen 2 und 3 sind nach Fertigstellung die geometrischen Imperfektionen zu messen, um sicherzustellen, dass die bei der Bemessung angenommene Herstellqualität erreicht wurde.

(3) Bei der Berechnung brauchen die geometrischen Imperfektionen der Schalenwand nicht explizit berücksichtigt zu werden, außer wenn eine GNIA- oder GMNIA-Berechnung nach EN 1993-1-6 durchgeführt wird.

4.3 Berechnung des Kastentragwerks eines rechteckigen Silos

4.3.1 Modellierung des Tragwerkskastens

(1) Der Tragwerkskasten sollte nach den Anforderungen von EN 1993-1-7 modelliert werden, wobei diese bei Befolgung der nachstehenden Regeln als erfüllt gelten.

(2) Das Tragwerksmodell sollte alle Steifen, großen Öffnungen und Anschlussteile enthalten.

(3) Die Bemessung sollte sicherstellen, dass die angenommenen Randbedingungen eingehalten werden.

(4) Die Verbindungen zwischen den Kastensegmenten sollten hinsichtlich Festigkeit und Steifigkeit den Modellierungsannahmen entsprechen.

(5) Jedes Wandfeld des Kastens darf als einzelnes Plattenelement behandelt werden, sofern die beiden folgenden Bedingungen eingehalten sind:

a) Die von den benachbarten Elementen eingeleiteten Kräfte und Momente werden erfasst.

b) Die Biegesteifigkeit der benachbarten Elemente wird erfasst.

(6) Isotrope Kastenwände mit diskreten Horizontalsteifen dürfen zur Berechnung der Spannungen in den Steifen und der Wand als orthotrope Platte mit verschmierten Steifen behandelt werden, wenn der Steifenabstand nicht größer als $n_s t$ ist.

ANMERKUNG Der Wert von n_s darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $n_s = 40$ empfohlen.

(7) Bei der Ermittlung der Steifenspannungen in einer verschmiert-längsversteift modellierten Schalenwand sollte auf eine zutreffende Erfassung der Exzentrizität zwischen Steife und Wand und des Einflusses der Wandmembranspannungen rechtwinklig zur Steifenrichtung geachtet werden.

(8) Die mittragende Breite der Wand zu beiden Seiten der Steife sollte nicht größer als $n_{cw} t$ angesetzt werden, wobei t die örtliche Plattendicke ist.

ANMERKUNG Der Wert von n_{ew} darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $\overline{AC} n_{ew} = 15\varepsilon \overline{AC}$ empfohlen.

4.3.2 Geometrische Imperfektionen

- (1) Die geometrischen Imperfektionen der Kastenwände sollten die in EN 1993-1-7 festgelegten Grenzwerte einhalten.
- (2) Bei der Berechnung der inneren Kräfte und Momente brauchen die geometrischen Imperfektionen der Kastenwände nicht explizit berücksichtigt zu werden.

4.3.3 Berechnungsmethoden

- (1) Die Beanspruchungsgrößen in den Plattensegmenten der Kastenwände dürfen nach einer der folgenden Methoden berechnet werden:
 - a) Gleichgewichtsbetrachtung für Membrankräfte, Balkentheorie für Biegeschnittgrößen;
 - b) Berechnung auf der Grundlage der linearen Scheiben- und Plattentheorie;
 - c) Berechnung auf der Grundlage der nichtlinearen Scheiben- und Plattentheorie.
- (2) Silos der Schadensfolgeklasse 1 dürfen nach Methode (a) in Absatz (1) berechnet werden.
- (3) Silos der Schadensfolgeklasse 2 mit symmetrischer Belastung jedes Plattensegmentes dürfen ebenfalls nach Methode (a) in Absatz (1) berechnet werden.
- (4) Silos der Schadensfolgeklasse 2 mit unsymmetrischer Belastung sollten entweder nach Methode (b) oder nach Methode (c) in Absatz (1) berechnet werden.
- (5) Bei Silos der Schadensfolgeklasse 3 \overline{AC} (siehe 2.2) \overline{AC} sollten die Beanspruchungsgrößen entweder nach Methode (b) oder Methode (c) in Absatz (1) (wie in EN 1993-1-7 festgelegt) berechnet werden.

4.4 Orthotrope Ersatzsteifigkeiten von profilierten Wandblechen

- (1) Profilbleche als Teile eines Silotragwerkes dürfen bei der Berechnung durch gleichmäßig orthotrope Platten bzw. Schalen ersetzt werden.
- (2) Für Profilbleche mit Bogen-Tangenten-Profil oder mit Sinusprofil (Wellbleche) dürfen bei Spannungs- und Beulberechnungen des Tragwerkes die nachfolgenden Ersatzsteifigkeiten verwendet werden. Für andere Profilierungen sollten die entsprechenden Ersatzsteifigkeiten nach den mechanischen Grundsätzen berechnet werden.

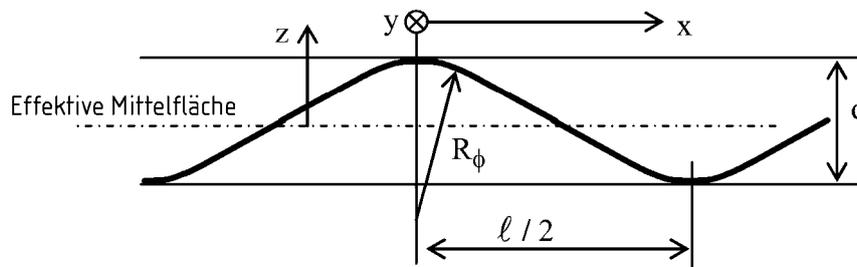


Bild 4.2 — Wellblechprofil und geometrische Parameter

- (3) Die Ersatzsteifigkeiten eines Wellbleches sollten in einem x,y -Koordinatensystem definiert werden, wobei die y -Achse parallel zur Profilierung verläuft (Geraden auf der Oberfläche) und die x -Achse rechtwinklig dazu

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

(Wellentäler und -berge). Die Profilgeometrie sollte, unabhängig von der genauen Wellenprofilierung, durch folgende Parameter beschrieben werden, siehe Bild 4.2.

Dabei ist

d die Bruttoprofilhöhe von Kuppe zu Kuppe (Wellental zu Wellenberg);

ℓ die Wellenlänge der Profilierung;

R_ϕ der örtliche Radius an den Kuppen (Wellenberg bzw. -tal).

(4) Alle Ersatzsteifigkeiten dürfen als eindimensional behandelt werden; es gibt also keine Poisson-Effekte zwischen den beiden Richtungen.

(5) Die Ersatz-Dehnsteifigkeiten betragen:

$$C_x = E t_x = E \frac{2t^3}{3d^2} \quad (4.2)$$

$$C_y = E t_y = E t \left(1 + \frac{\pi^2 d^2}{4l^2} \right) \quad (4.3)$$

$$C_{xy} = G t_{xy} = \frac{G t}{\left(1 + \frac{\pi^2 d^2}{4l^2} \right)} \quad (4.4)$$

Dabei ist

t_x die Ersatzdicke für verschmierte Membrankräfte rechtwinklig zur Profilierung;

t_y die Ersatzdicke für verschmierte Membrankräfte parallel zur Profilierung;

t_{xy} die Ersatzdicke für verschmierte Membranschubkräfte.

(6) Die Ersatz-Biegesteifigkeiten werden nach der Richtung indiziert, in der das Moment Biegung erzeugt, und können wie folgt angesetzt werden:

$$D_x = E I_x \text{ je Längeneinheit} = \frac{E t^3}{12(1-\nu^2)} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{\pi^2 d^2}{4l^2} \right)} \quad (4.5)$$

$$D_y = E I_y \text{ je Längeneinheit} = 0,13 E t d^2 \quad (4.6)$$

$$D_{xy} = G I_{xy} \text{ je Längeneinheit} = \frac{G t^3}{12} \left(1 + \frac{\pi^2 d^2}{4l^2} \right) \quad (4.7)$$

Dabei ist

I_x das Ersatzflächenmoment 2. Grades (Ersatzträgheitsmoment) je Längeneinheit für verschmierte Biegung rechtwinklig zur Profilierung;

I_y das Ersatzflächenmoment 2. Grades (Ersatzträgheitsmoment) je Längeneinheit für verschmierte Biegung parallel zur Profilierung;

I_{xy} das Ersatzflächenmoment 2. Grades (Ersatzträgheitsmoment) je Längeneinheit für Drillung.

ANMERKUNG AC gestrichener Text AC Die Vereinbarung für Biegemomente in Flächentragwerken bezieht sich auf die Richtung, in der das Flächentragwerk gekrümmt wird, und ist damit der für Träger geltenden Vereinbarung entgegengesetzt. Biegung parallel zur Profilierung aktiviert die Biegesteifigkeit des Profils und ist der Hauptgrund für die Verwendung von Profilblechen.

AC gestrichener Text AC

(7) In kreisrunden Silos mit in Umfangsrichtung verlaufender Profilierung entsprechen die Richtungen x und y in den oben stehenden Formelausdrücken der Meridiankoordinate ϕ bzw. der Umfangskoordinate θ , siehe Bild 1.2 (a). Verläuft die Profilierung in Meridianrichtung, so entsprechen die Richtungen x und y in den oben stehenden Formelausdrücken der Umfangskoordinate θ bzw. der Meridiankoordinate ϕ .

(8) Die Schubsteifigkeiten sollten als unabhängig von der Profilierungsrichtung angenommen werden. Der Wert von G kann mit $E/[2(1 + \nu)] = 80\,800$ MPa angesetzt werden.

(9) In rechteckigen Silos mit horizontal (in Umfangsrichtung) verlaufender Profilierung entsprechen die Richtungen x und y in den oben stehenden Formelausdrücken der örtlichen Axialkoordinate x und der örtlichen Horizontalkoordinate y , siehe Bild 1.3 (a). Verläuft die Profilierung in Vertikal- oder in Meridianrichtung, so sollten die Richtungen x und y im realen Tragwerk vertauscht werden und entsprechen nun der horizontalen y -Koordinate bzw. der axialen x -Koordinate.

5 Bemessung von zylindrischen Wänden

5.1 Grundlagen

5.1.1 Allgemeines

(1) Zylindrische Stahlsilowände sollten so dimensioniert werden, dass die grundlegenden Bemessungsanforderungen für die Grenzzustände der Tragfähigkeit nach Abschnitt 2 erfüllt sind.

(2) Die Tragsicherheitsnachweise der Zylinderschale sollten nach den Regeln von EN 1993-1-6 geführt werden.

5.1.2 Bemessung der Silowand

(1) Die zylindrische Silowand sollte im Rahmen der in EN 1993-1-6 festgelegten Grenzzustände der Tragfähigkeit für folgende Phänomene nachgewiesen werden:

- globale Stabilität und statisches Gleichgewicht.

LS1: Grenzzustand ‚Plastische Grenze‘ (einschließlich ‚Zugbruch‘)

- Widerstand gegen Bersten oder Zugbruch oder plastisches Versagen (Kollaps durch Bildung eines plastischen Mechanismus, exzessives Fließen) unter Innendruck oder sonstigen Einwirkungen;
- Widerstand von Stößen, Anschlüssen und Verbindungen.

LS2: Grenzzustand ‚Zyklisches Plastizieren‘

- Widerstand gegen örtliches Biegefließen;
- Lokale Effekte.

LS3: Grenzzustand ‚Beulen‘

- Widerstand gegen Beulen unter Axialdruckbeanspruchung;
- Widerstand gegen Beulen unter Außendruck (Wind und/oder Teilvakuum);
- Widerstand gegen Beulen unter Schubbeanspruchung infolge unsymmetrischer Einwirkungen;

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

- Widerstand gegen Beulen unter Schubbeanspruchung im Bereich eingebundener Stützen;
- Widerstand gegen örtliches Versagen über Auflagern;
- Widerstand gegen örtliches Krüppeln im Bereich von Öffnungen;
- Widerstand gegen örtliches Beulen unter unsymmetrischer Belastung.

LS4: Grenzzustand ‚Ermüdung‘

- Widerstand gegen Ermüdungsbruch.

(2) Die Schalenwand sollte den Anforderungen von EN 1993-1-6 entsprechen; bei Anwendung der in den nachstehenden Abschnitten 5.3 bis 5.6 angegebenen Regeln gelten jene Anforderungen als erfüllt.

(3) Für Silos der Schadensfolgeklasse 1 dürfen die Grenzzustände ‚Zyklisches Plastizieren‘ und ‚Ermüdung‘ außer Acht gelassen werden.

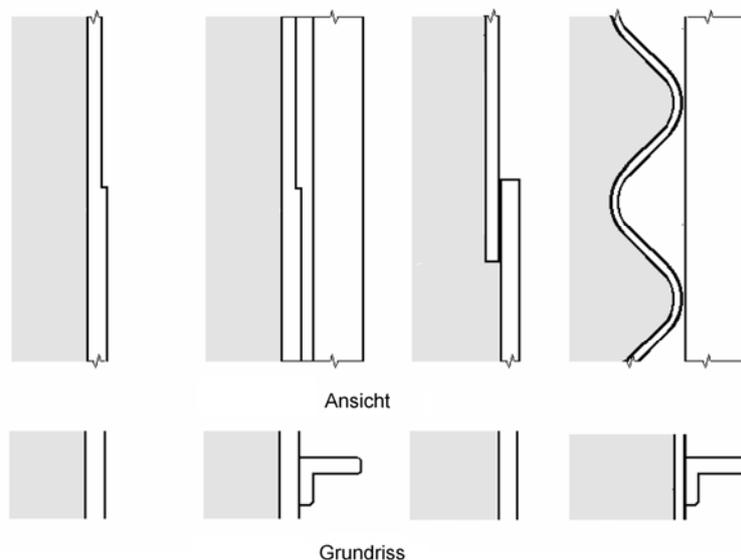
5.2 Unterscheidung zwischen verschiedenen Formen zylindrischer Schalen

(1) Für eine aus ebenen gewalzten Stahlblechen gefertigte Schalenwand – als ‚isotrop‘ bezeichnet (siehe Bild 5.1) – sollten die Nachweise nach 5.3.2 geführt werden.

(2) Für eine aus profiliertem Stahlblech (Wellblech) gefertigte Schalenwand, bei der die Profilierung in Umfangsrichtung verläuft – als ‚horizontal profiliert‘ bezeichnet (siehe Bild 5.1) –, sollten die Nachweise nach 5.3.4 geführt werden. Verläuft die Profilierung in Meridianrichtung – als ‚vertikal profiliert‘ bezeichnet –, so sollten die Nachweise nach 5.3.5 geführt werden.

(3) Für eine mit Außensteifen versehene Schalenwand – als ‚außenversteift‘ bezeichnet (siehe Bild 5.1) – sollten die Nachweise unabhängig vom Steifenabstand nach 5.3.3 geführt werden.

(4) Für eine Schalenwand, in der zusammentreffende Blechsegmente überlappend miteinander verbunden werden – als ‚überlappt gestoßen‘ (auch ‚Überlappstoß‘) bezeichnet (siehe Bild 5.1) –, sollten die Nachweise nach 5.3.2 geführt werden.



Isotrope, außenversteifte, überlappt gestoßene und horizontal profilierte Wände

Bild 5.1 — Darstellung der Formen zylindrischer Schalen

5.3 Tragsicherheitsnachweise für zylindrische Silowände

5.3.1 Allgemeines

(1) Die Zylinderschale sollte den Bestimmungen von EN 1993-1-6 entsprechen. Diese gelten als erfüllt, wenn die Nachweise nach den folgenden Regeln geführt werden.

5.3.2 Isotrope, geschweißte oder geschraubte Wände

5.3.2.1 Allgemeines

(1) Der Wandquerschnitt sollte so dimensioniert werden, dass er einem Versagen durch Zugbruch oder plastischen Kollaps widersteht.

(2) Die Stöße sollten so ausgebildet werden, dass sie einem Zugbruch im Nettoquerschnitt widerstehen.

(3) Gegebenenfalls sollte die Exzentrizität an Überlappstößen beim Nachweis gegen Zugbruch berücksichtigt werden.

(4) Die Schalenwand sollte so dimensioniert werden, dass sie einem Stabilitätsversagen (Beulen) widersteht.

5.3.2.2 Vorhandene Schnittgrößen (Bemessungsschnittgrößen)

(1) Unter Innendruck, Wandreibungslast und allen weiteren relevanten Bemessungslasten sollten die Bemessungsschnittgrößen an jeder Stelle der Schale, gegebenenfalls unter Berücksichtigung der Veränderlichkeit des Innendrucks und der Wandreibungslast, berechnet werden.

ANMERKUNG 1 Jede Gruppe von Bemessungsschnittgrößen für die Belastung eines Silos durch ein gespeichertes Schüttgut sollte auf jeweils einem einheitlichen Satz von Schüttguteigenschaften beruhen.

ANMERKUNG 2 Werden die Bemessungsschnittgrößen berechnet, um damit den Nachweis gegen den Grenzzustand ‚Plastische Grenze‘ zu führen, so sollten die Schüttguteigenschaften in der Regel so gewählt werden, dass der Innendruck maximal ist, und es sollte die in EN 1991-4 festgelegte Entleerung mit Teilflächenbelastung gewählt werden.

ANMERKUNG 3 Werden die Bemessungsschnittgrößen berechnet, um damit den Nachweis gegen den Grenzzustand ‚Beulen‘ unter Schüttgutbelastung zu führen, so sollten die Schüttguteigenschaften in der Regel so gewählt werden, dass der Axialdruck maximal ist, und es sollte die in EN 1991-4 festgelegte Entleerung mit Teilflächenbelastung gewählt werden. Trägt jedoch der Innendruck zur Erhöhung des Beulwiderstandes bei, so sollten nur die Fülldrücke (für einen konsistenten Satz von Füllguteigenschaften) in Verbindung mit den Entleerungsaxialkräften angesetzt werden, da die günstig wirkenden Drücke örtlich auf die Füllwerte abfallen können, obgleich sich der Axialdruck aus dem Entleerungszustand ergibt.

(2) Wird bei der Berechnung der Bemessungsspannungen in der Schale die Membrantheorie angewendet, so sollte die Schale an jeder Stelle dem höchsten Druck widerstehen können.

(3) Da bei hochgradig lokalen Drücken die tatsächlichen Membrankräfte kleiner sein können als membrantheoretisch berechnet, dürfen die in EN 1993-1-6 angegebenen Bestimmungen für spannungsbasierte, direkte oder numerisch gestützte Tragsicherheitsnachweise angewendet werden, um zu einer wirtschaftlicheren Bemessung zu gelangen.

(4) Bei membrantheoretischer Berechnung darf das resultierende zweidimensionale Feld der Membrankräfte $n_{x,Ed}$, $n_{\theta,Ed}$ und $n_{x\theta,Ed}$ wie folgt in eine Bemessungs-Vergleichsspannung umgerechnet werden:

$$\sigma_{e,Ed} = \frac{1}{t} \sqrt{n_{x,Ed}^2 + n_{\theta,Ed}^2 - n_{x,Ed} n_{\theta,Ed} + 3 n_{x\theta,Ed}^2} \quad (5.1)$$

(5) Bei biegetheoretischer Berechnung (LA-Berechnung) darf das resultierende zweidimensionale Feld der Primärschnittgrößen $n_{x,Ed}$, $n_{\theta,Ed}$, $n_{x\theta,Ed}$, $m_{x,Ed}$, $m_{\theta,Ed}$, $m_{x\theta,Ed}$ wie folgt in fiktive Spannungskomponenten

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{n_{x,Ed}}{t} \pm \frac{m_{x,Ed}}{t^2/4}, \quad \sigma_{\theta,Ed} = \frac{n_{\theta,Ed}}{t} \pm \frac{m_{\theta,Ed}}{t^2/4} \quad (5.2)$$

$$\tau_{x\theta,Ed} = \frac{n_{x\theta,Ed}}{t} \pm \frac{m_{x\theta,Ed}}{t^2/4} \quad (5.3)$$

und anschließend in eine Bemessungs-Vergleichsspannung umgerechnet werden:

$$\sigma_{e,Ed} = \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{\theta,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \sigma_{\theta,Ed} + 3 \tau_{x\theta,Ed}^2} \quad (5.4)$$

ANMERKUNG Die vorstehenden Ausdrücke (Fließbedingung nach Ilyushin) liefern eine für Bemessungszwecke vereinfachte konservative Vergleichsspannung.

5.3.2.3 LS1: Plastische Grenze oder Zugbruch

(1) Der Bemessungswiderstand gegen Membrankräfte sollte sowohl für geschweißte als auch geschraubte Schalenwände in Form des Vergleichsspannungswiderstandes $f_{e,Rd}$ angegeben werden; diese beträgt:

$$f_{e,Rd} = f_y / \gamma_{M0} \quad (5.5)$$

(2) Der Bemessungswiderstand an Überlappstößen in geschweißten Schalenwänden $f_{e,Rd}$ sollte durch ein fiktives Festigkeitskriterium wie folgt beurteilt werden:

$$f_{e,Rd} = j f_y / \gamma_{M0} \quad (5.6)$$

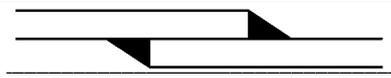
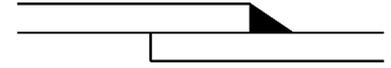
Dabei ist

j der Verbindungswirksamkeitsfaktor.

(3) Die Verbindungswirksamkeit von überlappt geschweißten Stößen mit durchgehenden Kehlnähten sollte mit $j = j_i$ angesetzt werden. AC Einfach geschweißte Überlappstöße sollten nicht verwendet werden, wenn mehr als 20 % des Wertes von $\sigma_{e,Ed}$ in Gleichung (5.4) aus Biegemomenten resultieren. AC

ANMERKUNG Der Wert von j_i darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Die für j_i empfohlenen Werte AC sind in der nachstehenden Tabelle AC für verschiedene Ausführungen von Stößen angegeben. AC gestrichelter Text AC

Verbindungswirksamkeit j_i von geschweißten Überlappstößen

Verbindungsart	Skizze	Wert von j_i
Doppelt geschweißter Überlappstoß		$j_1 = 1,0$
Einfach geschweißter Überlappstoß		$j_2 = 0,35$

(4) Der Bemessungswiderstand gegen Membrankräfte im Nettoquerschnitt einer geschraubten Schalenwand sollte in Form von Membrankraftwiderständen angesetzt werden; diese betragen:

— in Meridianrichtung $n_{x,Rd} = f_u t / \gamma_{M2} \quad (5.7)$

— in Umfangsrichtung $n_{\theta,Rd} = f_u t / \gamma_{M2} \quad (5.8)$

— für den Schubwiderstand $n_{x\theta,Rd} = 0,57 f_y t / \gamma_{M0} \quad (5.9)$

(5) Geschraubte Verbindungen sollten nach EN 1993-1-8 oder EN 1993-1-3 bemessen werden. Der Einfluss der Schraub- bzw. Nietlöcher sollte ebenfalls nach EN 1993-1-1 unter Anwendung der entsprechenden Anforderungen für Zug-, Druck- oder Schubbeanspruchung berücksichtigt werden.

(6) Der Widerstand gegen lokale Belastungen aus Anschlussbauteilen sollte nach 5.4.6 behandelt werden.

(7) An jeder Stelle des Tragwerks sollte folgender Spannungsnachweis geführt werden:

$$\sigma_{e,Ed} \leq f_{e,Rd} \quad (5.10)$$

(8) An jedem Stoß innerhalb des Tragwerks sollte der zutreffende unter den folgenden Schnittgrößennachweisen geführt werden:

$$n_{x,Ed} \leq n_{x,Rd} \quad (5.11)$$

$$n_{\theta,Ed} \leq n_{\theta,Rd} \quad (5.12)$$

$$n_{x\theta,Ed} \leq n_{x\theta,Rd} \quad (5.13)$$

5.3.2.4 LS3: Beulen unter Axialdruckbeanspruchung

(1) Der Bemessungswiderstand gegen Axialdruckbeulen sollte an jeder Stelle des Tragwerks ermittelt werden, und zwar unter Berücksichtigung der spezifischen Herstelltoleranz-Qualitätsklasse, der Größe des garantiert gleichzeitig wirkenden Innendrucks p und der Ungleichmäßigkeit der Axialdruckbeanspruchung in Umfangsrichtung. Bei der Bemessung sollten alle Bereiche der Schale berücksichtigt werden. Druckmembrankräfte sollten in Beulberechnungen positiv eingeführt werden, um ständige negative Zahlenwerte zu vermeiden.

(2) Die Herstelltoleranz-Qualitätsklasse sollte nach Tabelle 5.1 spezifiziert werden.

Tabelle 5.1 — Herstelltoleranz-Qualitätsklassen

Herstelltoleranz-Qualitätsklasse der Konstruktion	Qualitätsparameter Q	Beschränkungen bezüglich der Schadensfolgeklasse
Normal	16	Obligatorisch für Schadensfolgeklasse 1
Hoch	25	
Exzellent	40	Nur für Schadensfolgeklasse 3 zulässig

ANMERKUNG Die Toleranzanforderungen für die Herstelltoleranz-Qualitätsklassen sind in EN 1993-1-6 und EN 1090 angegeben.

(3) Die charakteristische Imperfektionsamplitude w_{ok} sollte wie folgt angesetzt werden:

$$w_{ok} = \frac{t}{Q} \sqrt{\frac{r}{t}} \quad (5.14)$$

(4) Der elastische Imperfektions-Abminderungsfaktor α_0 für Axialdruckbeulen ohne Innendruck sollte wie folgt berechnet werden:

$$\alpha_0 = \frac{0,62}{1 + 1,91 \psi \left(\frac{w_{ok}}{t} \right)^{1,44}} \quad (5.15)$$

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

Dabei ist ν der Parameter für die Ungleichmäßigkeit der Axialdruckbeanspruchung in Umfangsrichtung; er ist im Falle konstanten Axialdruckes gleich 1 und wird für ungleichmäßigen Axialdruck in Absatz (8) angegeben.

(5) Bei gleichzeitig wirkendem Innendruck ist der elastische Imperfektions-Abminderungsfaktor α durch den kleineren der beiden folgenden innendruckbeeinflussten Imperfektions-Abminderungsfaktoren α_{pe} und α_{pp} zu ersetzen. Diese sind für den jeweils lokalen Wert des Innendruckes p zu ermitteln. Für Silos, die nach den Regeln für die Schadensfolgeklasse 1 bemessen werden, sollte der elastische Imperfektions-Abminderungsfaktor nicht größer als α angesetzt werden.

(6) Der Imperfektions-Abminderungsfaktor α_{pe} , der die innendruckinduzierte elastische Stabilisierung erfasst, ist mit dem kleinstmöglichen lokalen Innendruck, der an der betrachteten Stelle gleichzeitig mit dem Axialdruck auftritt (d. h. garantiert gleichzeitig vorhanden ist), wie folgt zu ermitteln:

$$\alpha_{pe} = \alpha_0 + (1 - \alpha_0) \left(\frac{\overline{p_s}}{\overline{p_s} + \frac{0,3}{\sqrt{\alpha_0}}} \right) \quad (5.16)$$

mit:

$$\overline{p_s} = \frac{p_s r}{t \sigma_{x,Rcr}} \quad (5.17)$$

Dabei ist

- p_s der kleinste zuverlässige Bemessungswert des lokalen Innendruckes (siehe EN 1991-4);
 $\sigma_{x,Rcr}$ die ideale Axialbeulspannung (siehe Gleichung(5.28)).

(7) Der Imperfektions-Abminderungsfaktor α_{pp} , der die innendruckinduzierte plastische Destabilisierung erfasst, sollte mit dem größtmöglichen lokalen Innendruck, der an der betrachteten Stelle gleichzeitig mit dem Axialdruck auftreten kann, wie folgt ermittelt werden:

$$\alpha_{pp} = \left\{ 1 - \left(\frac{\overline{p_s}}{\lambda_x^2} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s^{3/2}} \right] \left[\frac{s^2 + 1,21 \overline{\lambda_x^2}}{s(s+1)} \right] \quad (5.18)$$

mit:

$$\overline{p_s} = \frac{p_g r}{\sigma_{x,Rcr} t} \quad (5.19)$$

$$s = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{r}{t} \right) \quad (5.20)$$

$$\overline{\lambda_x^2} = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr}} \quad (5.21)$$

Dabei ist

- p_g der größte Bemessungswert des lokalen Innendruckes (siehe EN 1991-4).

(8) Bei ungleichmäßiger Verteilung der Axialdruckbeanspruchung in Umfangsrichtung sollte der positive Einfluss auf den elastischen Imperfektions-Abminderungsfaktor durch den Parameter ψ für die Spannungsungleichförmigkeit erfasst werden. Er sollte aus der linear elastisch berechneten axialen Membrandruckspannungsverteilung in Umfangsrichtung für die betrachtete Höhenkote nach Bild 5.2 ermittelt werden. Der Bemessungswert der axialen Membrandruckspannung $\sigma_{x,Ed}$ an dem am stärksten beanspruchten Punkt auf dieser Höhenkote wird mit $\sigma_{x0,Ed}$ bezeichnet.

Der Bemessungswert der axialen Membrandruckspannung an einem zweiten Punkt auf derselben Höhenkote, der vom ersten Punkt entlang des Umfangs

$$y = r \Delta\theta = 4 \sqrt{rt} \quad (5.22)$$

entfernt ist, wird mit $\sigma_{x1,Ed}$ bezeichnet.

(9) Liegt der Wert des Spannungsverhältnisses

$$s = \left(\frac{\sigma_{x1,Ed}}{\sigma_{x0,Ed}} \right) \quad (5.23)$$

im Bereich von $0,3 < s < 1,0$, so ist die obige Anordnung des zweiten Punktes zufrieden stellend. Falls der Wert von s außerhalb dieses Bereichs liegt, sollte ein anderer Wert für $r \Delta\theta$ gewählt werden, und zwar so, dass der Wert von $s = 0,5$ ist. Die folgende Berechnung sollte dann mit einem entsprechend angepassten Wertepaar für s und $\Delta\theta$ durchgeführt werden.

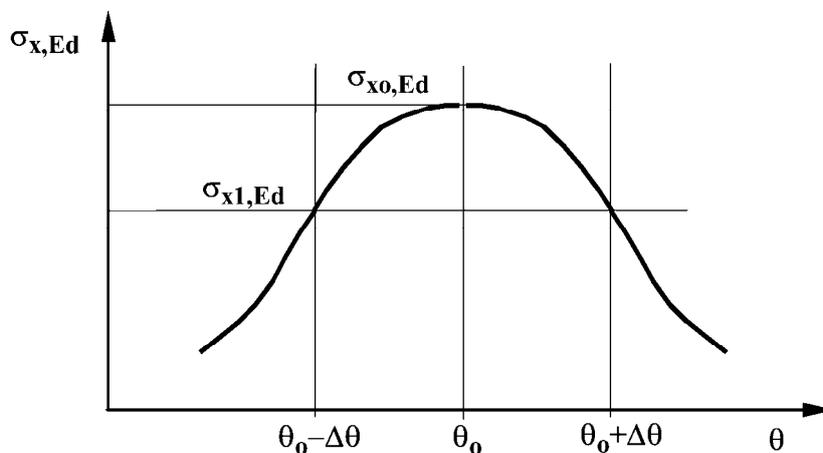


Bild 5.2 — Darstellung der örtlichen Verteilung der axialen Membrandruckspannungen in Umfangsrichtung

(10) Die Ersatzharmonische j der Spannungsverteilung sollte wie folgt berechnet werden:

$$j = 0,25 \sqrt{\frac{r}{t}} \cdot \arccos \left(\frac{\sigma_{x1,Ed}}{\sigma_{x0,Ed}} \right) \quad (5.24)$$

Damit erhält man den Parameter ψ für die Spannungsungleichförmigkeit wie folgt:

$$\psi = \frac{1 - b_1 j}{1 + b_2 j} \quad (5.25)$$

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

mit:

$$b_1 = 0,5 \sqrt{\frac{t}{r}} \quad (5.26)$$

$$b_2 = \frac{(1-b_1)}{\psi_b} - 1 \quad (5.27)$$

Dabei ist

ψ_b der Wert des Parameters für die Spannungsungleichförmigkeit bei globaler Biegung.

ANMERKUNG Der Wert von ψ_b darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $\psi_b = 0,40$ empfohlen.

(11) Die Grenzharmonische j , ab der keine imperfektionsbedingte Reduktion unter den idealen Beulwiderstand bei gleichförmiger Druckverteilung mehr auftritt, darf mit $j_\infty = 1/b_1$ angenommen werden. Falls sich zeigt, dass $j > j_\infty$ ist, sollte der Wert von j mit $j = j_\infty$ angesetzt werden.

(12) An horizontalen Überlappstößen, die für die rechtwinklig durchlaufende axiale Membrandruckkraft eine Exzentrizität darstellen, sollte der in den Absätzen (4) bis (7) angegebene Imperfektions-Abminderungsfaktor α auf α_L reduziert werden, sofern die Exzentrizität zwischen den Mittelflächen der beiden Bleche größer ist als $k_1 t$ und der Dickensprung nicht größer ist als $k_2 t$; dabei ist t die Dicke des dünneren Bleches am Stoß. Ist die Exzentrizität kleiner als der genannte Wert, oder ist der Dickensprung größer als der genannte Wert, so braucht der Imperfektions-Abminderungsfaktor α nicht reduziert zu werden.

ANMERKUNG 1 Die Werte von α_L , k_1 und k_2 dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es werden folgende Werte empfohlen: $\alpha_L = 0,7$, α , $k_1 = 0,5$ und $k_2 = 0,25$, wobei α der jeweiligen Situation entsprechend durch α_o , α_{pe} oder α_{pp} gegeben ist.

ANMERKUNG 2 Die Beultragfähigkeit fällt nur dann unter den sonst geltenden Wert, wenn der untere Schuss nicht dick genug ist, um bei Auftreten einer Imperfektion unmittelbar über dem Überlappstoß die Ausbildung einer weicheeren Beule zu verhindern.

(13) Die ideale Axialbeulspannung der isotropen Schalenwand sollte wie folgt berechnet werden:

$$\sigma_{x,Rcr} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \cdot \frac{t}{r} = 0,605 E \frac{t}{r} \quad (5.28)$$

(14) Die charakteristische Axialbeulspannung erhält man bei Verwendung des entsprechenden Imperfektions-Abminderungsfaktors α aus den Absätzen (4), (5), (6), (7) und (8) zu:

$$\sigma_{x,Rk} = \chi_x f_y \quad (5.29)$$

ANMERKUNG Die spezielle Vorgehensweise mit σ_{Rk} und σ_{Rd} als charakteristischem und Bemessungsbeulwiderstand folgt der Vereinbarung in EN 1993-1-6 für Schalentragerwerke und unterscheidet sich von derjenigen in EN 1993-1-1.

(15) Der Abminderungsbeiwert für Schalenbeulen χ_x sollte als Funktion des bezogenen Schalenschlankheitsgrades $\overline{\lambda}_x$ wie folgt ermittelt werden:

$$\chi_x = 1 \quad \text{wenn } \overline{\lambda}_x \leq \overline{\lambda}_0 \quad (5.30)$$

$$\chi_x = 1 - \beta \left(\frac{\bar{\lambda}_x - \bar{\lambda}_0}{\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_0} \right)^\eta \quad \text{wenn } \bar{\lambda}_0 < \bar{\lambda}_x < \bar{\lambda}_p \quad (5.31)$$

$$\chi_x = \frac{\alpha}{\bar{\lambda}_x} \quad \text{wenn } \bar{\lambda}_p \leq \bar{\lambda}_x \quad (5.32)$$

mit:

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr}}} \quad (5.33)$$

$$\bar{\lambda}_0 = 0,2 \quad (5.34)$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha}{1 - \beta}} \quad (5.35)$$

Dabei ist α als der entsprechende Wert von α_o , α_{pe} , α_{pp} oder α_L zu wählen.

ANMERKUNG Die Werte von β und η dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es werden folgende Werte empfohlen: $\beta = 0,60$ und $\eta = 1,0$.

(16) Die Bemessungs-Axialbeulspannung sollte wie folgt ermittelt werden:

$$\sigma_{x,Rd} = \sigma_{x,Rk} / \gamma_{M1} \quad (5.36)$$

mit γ_{M1} nach 2.9.2.

(17) Die Bemessungsmembrankräfte sollten an jeder Stelle des Tragwerks folgende Bedingung erfüllen:

$$n_{x,Ed} \leq t \sigma_{x,Rd} \quad (5.37)$$

(18) An Überlappstößen, die die in (12) festgelegten Bedingungen erfüllen, braucht die Messung der größten zulässigen messbaren Vorbeul-Imperfektion nicht über den Stoß hinweg durchgeführt zu werden.

(19) Der Nachweis der Schalenwand gegen Axialbeulen über einem diskreten Auflager oder im Bereich einer Konsole (z. B. zur Lagerung einer Förderbrücke) oder im Bereich einer Öffnung sollte nach den Regeln in 5.6 erfolgen.

5.3.2.5 LS3: Beulen unter Außendruck — Teilvakuum und/oder Windlast

(1) Der Beulsicherheitsnachweis sollte nach EN 1993-1-6 geführt werden; die dortigen Anforderungen gelten jedoch als erfüllt, wenn die Nachweise nach den folgenden Regeln geführt werden.

(2) Der untere Rand der Zylinderschale sollte wirksam verankert werden, um vertikalen Verschiebungen zu widerstehen; siehe 5.4.7.

(3) Unter Windlast oder Teilvakuum sollte die Silowand in Abschnitte zwischen Versteifungsringen, Blechdickensprüngen oder gehaltenen Rändern unterteilt werden.

(4) Für jeden Wandabschnitt bzw. für jede Gruppe von Wandabschnitten, in denen sich eine Beule ausbilden könnte, sollte eine Beulberechnung durchgeführt werden, wobei mit dem dünnsten Abschnitt zu beginnen ist und dann sukzessive weitere hinzugefügt werden. Aus diesen alternativen Berechnungen sollte der niedrigste Bemessungsbeuldruck abgeleitet werden.

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

(5) Der ideale Außenbeuldruck für eine isotrope Zylinderwand sollte wie folgt berechnet werden:

$$p_{n,Rcru} = 0,92 C_b C_w E \left(\frac{r}{l} \right) \left(\frac{t}{r} \right)^{2,5} \quad (5.38)$$

Dabei ist

- t die Dicke des dünnsten Abschnittes der Wand;
- l die Höhe zwischen Versteifungsringen oder gehaltenen Rändern;
- C_b der Beiwert für Außendruckbeulen;
- C_w der Beiwert für die Winddruckverteilung.

(6) Der Parameter C_b ergibt sich in Abhängigkeit von der konstruktiven Ausbildung am oberen Rand aus Tabelle 5.2.

Tabelle 5.2 — Werte für den Parameter C_b für Außendruckbeulen

Konstruktive Ausbildung des oberen Randes	Dach ist verformungsschlüssig (kontinuierlich) mit der Wand verbunden	Oberer Versteifungsring erfüllt 5.3.2.5 (12)–(14)	Oberer Versteifungsring erfüllt nicht 5.3.2.5 (12)–(14)
C_b	1,0	1,0	0,6

(7) Gehört der Silo zu einer eng stehenden Silogruppe, so sollte der auf den windzugewandten Meridian (Staumeridian) bezogene Beiwert für die Winddruckverteilung mit $C_w = 1,0$ angesetzt werden.

(8) Für einen einzeln stehenden Silo unter Windlast allein sollte der auf den windzugewandten Meridian (Staumeridian) bezogene Beiwert für die Winddruckverteilung C_w als der größere der folgenden beiden Werte angesetzt werden:

$$C_w = \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \sqrt{C_b \frac{r}{l} \sqrt{\frac{r}{t}}} \right)} \quad (5.39)$$

$$C_w = 1,0 \quad (5.40)$$

(9) Für einen einzeln stehenden Silo unter einer Kombination aus Windlast und Teilvakuum sollte der Wert von C_w als linear gewichtetes Mittel zwischen 1,0 und dem in Absatz (8) ermittelten Wert berechnet werden.

(10) Der auf den windzugewandten Meridian (Staumeridian) bezogene Bemessungsbeuldruck unter Windlast und/oder Teilvakuum sollte wie folgt ermittelt werden:

$$p_{n,Rd} = \alpha_n p_{n,Rcru} / \gamma_{M1} \quad (5.41)$$

Dabei ist α_n der elastische Imperfektions-Abminderungsfaktor, und γ_{M1} ist 2.9.2 zu entnehmen.

ANMERKUNG Der Wert von α_n darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $\alpha_n = 0,5$ empfohlen.

(11) Der Beulsicherheitsnachweis ist wie folgt zu führen:

$$p_{n,Ed} \leq p_{n,Rd} \quad (5.42)$$

Dabei ist

$p_{n,Ed}$ der Bemessungswert des größten vorhandenen Außendruckes aus Windlast und/oder Teilvakuum.

(12) Um den oberen Zylinderrand als durch eine Ringsteife ausreichend gehalten behandeln zu dürfen, sollte diese Steife sowohl eine Festigkeitsbedingung als auch eine Steifigkeitsbedingung erfüllen. Falls keine gründlichere Untersuchung mit Hilfe einer numerischen Analyse durchgeführt wird, sollten die Bemessungswerte der Normalkraft und des Biegemoments in Umfangsrichtung, letzteres um die vertikale Achse des Ringquerschnittes wie folgt angesetzt werden:

$$N_{\theta,Ed} = 0,5 r L p_{n,Ed} \quad (5.43)$$

$$M_{\theta,Ed} = M_{\theta,Edo} + M_{\theta,Edw} \quad (5.44)$$

mit:

$$M_{\theta,Edo} = 0,0033 p_{nS1} r^2 L \left(\frac{p_{nS1}}{p_{nS1} - p_{n,Edu}} \right) \quad (5.45)$$

$$M_{\theta,Edw} = 0,17 p_{n,Edw} r^2 L \left(\frac{p_{n,Edu}}{p_{nS1} - p_{n,Edu}} \right) \quad (5.46)$$

$$p_{nS1} = \frac{6 EI_z}{r^3 L} \quad (5.47)$$

Dabei ist

$p_{n,Edu}$ der Bemessungswert des konstanten Anteils des Außendruckes unter Windlast und/oder Teilvakuum;

$p_{n,Edw}$ der Bemessungswert des Drucks am Staumeridian unter Windlast;

p_{nS1} der Bezugsdruck für die Berechnung des Umfangsbiegemoments;

$M_{\theta,Edo}$ der Bemessungswert des aus Unrundheiten resultierenden Biegemoments;

$M_{\theta,Edw}$ der Bemessungswert des durch Wind verursachten Biegemoments;

I_z das Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment) der Ringsteife für Umfangsbiegung;

L die Gesamthöhe der Schalenwand;

t die Dicke des dünnsten Schusses.

(13) Wird die Ringsteife am oberen Zylinderrand durch Kaltformen ausgeführt, so sollte der nach Gleichung (5.45) berechnete Wert von $M_{\theta,Edo}$ um 15 % erhöht werden.

(14) Die Biegesteifigkeit EI_z einer Ringsteife am oberen Zylinderrand um ihre vertikale Querschnittsachse (Umfangsbiegung) sollte größer als der größere der folgenden beiden Werte sein:

$$EI_{z,\min} = k_1 E L t^3 \quad (5.48)$$

und

$$EI_{z,\min} = 0,08 C_w E r t^3 \sqrt{\frac{r}{t}} \quad (5.49)$$

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

Dabei ist

C_w der in den Absätzen (7) oder (8) angegebene Beiwert für die Winddruckverteilung.

ANMERKUNG Der Wert von k_1 darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $k_1 = 0,1$ empfohlen.

5.3.2.6 LS3: Beulen unter Membranschubbeanspruchung

(1) Wenn größere Teile einer Silowand unter Membranschubbeanspruchung stehen (z. B. aus exzentrischem Befüllen, aus Erdbebenbelastung usw.), sollte als zugehöriger Beulwiderstand derjenige einer torsionsbeanspruchten Zylinderschale verwendet werden. Die axiale Veränderlichkeit des Schubs darf berücksichtigt werden.

(2) Die ideale Schubbeulspannung einer isotropen Silowand sollte wie folgt berechnet werden:

$$\tau_{x\theta, Rcr} = 0,75 E \left(\frac{r}{l} \right)^{0,5} \left(\frac{t}{r} \right)^{1,25} \quad (5.50)$$

Dabei ist

t die Dicke des dünnsten Schusses der Schale;

l die Höhe zwischen Versteifungsringen oder gehaltenen Rändern.

(3) Ein Versteifungsring, der für einen schubbeulgefährdeten Abschnitt einen gehaltenen Rand darstellen soll, sollte um seine Achse für Umfangsbiegung eine Biegesteifigkeit EI_z von mindestens

$$EI_{z, \min} = k_s E t^3 \sqrt{r l} \quad (5.51)$$

haben, wobei die Größen l und t zur kritischsten Beulform nach Absatz (2) gehören.

ANMERKUNG Der Wert von k_s darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $k_s = 0,10$ empfohlen.

(4) Wenn die Schubbeanspruchung τ innerhalb des Tragwerkes linear mit der Höhe variiert, darf die ideale Schubbeulspannung am Punkt des größten Schubs wie folgt erhöht werden:

$$\tau_{x\theta, Rcr} = 1,4 E \left(\frac{r}{l_0} \right)^{0,5} \left(\frac{t}{r} \right)^{1,25} \quad (5.52)$$

wobei l_0 wie folgt zu bestimmen ist:

$$l_0 = \frac{\tau_{x\theta, Ed, \max}}{\left(\frac{d\tau_{x\theta, Ed}}{dx} \right)} \quad (5.53)$$

Dabei ist $\left(\frac{d\tau_{x\theta, Ed}}{dx} \right)$ der axiale Gradient der Schubveränderlichkeit mit der Höhe, gemittelt über den entsprechenden Abschnitt, und $\tau_{x\theta, Ed, \max}$ ist der Spitzenwert der Schubspannung. Für Tragwerke, bei denen die Länge l_0 größer als ihre Höhe ist, sollte diese Regel nicht angewendet werden; stattdessen sollte die Schale, wie in (2) beschrieben, als durch konstanten Membranschub beansprucht behandelt werden.

(5) Für lokale Schubspannungen, die aus der Schubkrafteinleitung von lokalen Auflagern und Last tragenden axialen Steifen in die Schale entstehen, darf die zum Größtwert der Schubspannung korrespondierende ideale Schubbeulspannung wie folgt angesetzt werden:

$$\tau_{x\theta, Rcr} = 1,4 E \left(\frac{r}{l_0} \right)^{0,5} \left(\frac{t}{r} \right)^{1,25} \quad (5.54)$$

Hierfür ist l_0 wie folgt zu bestimmen:

$$\boxed{\text{AC}} \quad l_0 = \frac{\tau_{x\theta, Ed, \max}}{d\tau_{x\theta, Ed} / dy} \quad \boxed{\text{AC}} \quad (5.55)$$

Dabei ist $\left(\frac{d\tau_{x\theta, Ed}}{dy} \right)$ der Umfangsgradient der Schubveränderlichkeit mit der Entfernung von der Steife, gemittelt über den entsprechenden Abschnitt, und $t_{x\theta, Ed, \max}$ ist der Spitzenwert der Schubspannung.

(6) Die Bemessungs-Schubbeulspannung sollte als der kleinere der beiden folgenden Werte bestimmt werden:

$$\tau_{x\theta, Rd} = \alpha_\tau \tau_{x\theta, Rcr} / \gamma_{M1} \quad (5.56)$$

und

$$\tau_{x\theta, Rd} = 0,57 f_y / \gamma_{M1} \quad (5.57)$$

Dabei ist

α_τ der elastische Imperfektions-Abminderungsfaktor für Schubbeulen;

γ_{M1} der in 2.9.2 angegebene Teilsicherheitsbeiwert.

ANMERKUNG Der Wert von α_τ darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $\alpha_\tau = 0,80$ empfohlen.

(7) Die Bemessungsmembrankräfte sollten an jeder Stelle des Tragwerks folgende Bedingung erfüllen:

$$n_{x\theta, Ed} \leq t \tau_{x\theta, Rd} \quad (5.58)$$

5.3.2.7 Interaktionen zwischen Meridiandruck-, Umfangsdruck- und Membranschubbeanspruchung

(1) Wenn der Spannungszustand in der Silowand signifikante Anteile von mehr als einer Membrandruck- oder -schubspannung enthält, sollte ein Interaktionsnachweis nach EN 1993-1-6 geführt werden.

(2) Auf den Interaktionsnachweis darf verzichtet werden, wenn alle bis auf eine der drei beulrelevanten Membranspannungskomponenten kleiner als 20 % der zugehörigen Bemessungsbeulspannung ist.

5.3.2.8 LS4: Ermüdung

(1) Bei Silos der Schadensfolgeklasse 3 sollte die Ermüdungssicherheit nach EN 1993-1-6 nachgewiesen werden.

(2) Bei Silos der Schadensfolgeklasse 2 braucht die Ermüdungssicherheit nur dann nachgewiesen zu werden, wenn innerhalb der Bemessungslebensdauer mehr als N_f Befüllungs- und Entleerungszyklen zu erwarten sind.

DIN EN 1993-4-1:2010-12

EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

ANMERKUNG Der Wert von N_f darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $N_f = 10\,000$ empfohlen.

5.3.2.9 LS2: Zyklisches Plastizieren

(1) Bei Silos der Schadensfolgeklasse 3 sollte der Nachweis gegen zyklisches Plastizieren nach EN 1993-1-6 geführt werden. In Frage kommende Nachweisstellen sind Diskontinuitäten, örtliche Ringsteifen und Anschlusssteile.

(2) Bei Silos der anderen Schadensfolgeklassen darf auf diesen Nachweis verzichtet werden.

5.3.3 Isotrope Wände mit Vertikalsteifen

5.3.3.1 Allgemeines

(1) Bei isotropen Wänden, die mit Vertikalsteifen (Längssteifen) versehen sind, sollte der Zwängungseinfluss der Wandverkürzung infolge von Innendruck bei der Ermittlung der vertikalen Druckbeanspruchung der Wand und der Steifen berücksichtigt werden.

(2) Für die Bemessungswerte der vorhandenen Spannungen und der Widerstände und für die Nachweise gilt 5.3.2, aber mit den nachfolgend wiedergegebenen zusätzlichen Regeln.

5.3.3.2 LS1: Plastische Grenze oder Zugbruch

(1) Der Nachweis gegen Zugbruch in einer vertikalen Schweißnaht sollte wie für eine unversteifte isotrope Schale geführt werden (5.3.2).

(2) Wenn ein vertikaler Stoß so ausgebildet ist, dass die Steife zur Übertragung von Umfangszugkräften mit herangezogen wird, sollte dies bei der Ermittlung der in dieser Steife wirkenden Beanspruchung und bei der Beurteilung ihrer Anfälligkeit für Zugbruch in Umfangsrichtung berücksichtigt werden.

5.3.3.3 LS3: Beulen unter Axialdruckbeanspruchung

(1) Der Beulsicherheitsnachweis sollte wie für eine unversteifte Wand geführt werden, wenn der Steifenabstand nicht kleiner ist als $2\sqrt{rt}$, wobei t die örtliche Wanddicke ist.

(2) Bei Vertikalsteifen in kleinerem Abstand als $2\sqrt{rt}$ sollte der Beulsicherheitsnachweis für die gesamte Wand entweder konservativ nach Absatz (1) oder numerisch gestützt durch globale Berechnung nach EN 1993-1-6 geführt werden.

(3) Die axiale Drucktragfähigkeit der Steifen selbst sollte nach den Regeln von EN 1993-1-1 oder EN 1993-1-3 (kaltprofilierter stählerne Bauteile) oder EN 1993-1-5 nachgewiesen werden.

(4) Die Exzentrizität zwischen Steife und Schalenwand sollte gegebenenfalls berücksichtigt werden.

5.3.3.4 LS3: Beulen unter Außendruck – Teilvakuum und/oder Windlast

(1) Sofern keine genauere Berechnung erforderlich ist, sollte der Beulsicherheitsnachweis wie für eine unversteifte Wand geführt werden.

(2) Bei einer genaueren Berechnung dürfen die vertikalen Steifen verschmiert werden, so dass der Beulsicherheitsnachweis für eine orthotrope Schale nach 5.3.4.5 mit $C_\phi = C_\theta = Et$ und $C_{\phi\theta} = 0,38 Et$ geführt werden kann.

5.3.3.5 LS3: Beulen unter Membranschubbeanspruchung

(1) Wenn größere Teile einer Silowand unter Membranschubbeanspruchung stehen (z. B. aus exzentrischem Befüllen, aus Erdbebenbelastung usw.), sollte der Beulsicherheitsnachweis wie für eine isotrope unversteifte Schale geführt werden (siehe 5.3.2.6), jedoch mit gegebenenfalls durch die Steifen erhöhtem rechnerischem Beulwiderstand. Zu diesem Zweck darf als effektive Schalenlänge ℓ der kleinere Wert aus der Höhe zwischen Versteifungsringen oder gehaltenen Rändern und dem Zweifachen des horizontalen Abstandes der Vertikalsteifen angesetzt werden, vorausgesetzt, die Steifen haben um ihre Querschnittsachse für Meridianbiegung (d. h. um ihre Querschnittsachse in Umfangsrichtung) eine Biegesteifigkeit EI_y von mindestens

$$EI_{y,\min} = k_s E t^3 \sqrt{r\ell} \quad (5.59)$$

wobei die Größen ℓ und t dieselben sind wie bei der kritischsten Beulform.

ANMERKUNG Der Wert von k_s darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $k_s = 0,10$ empfohlen.

(2) Endet eine diskrete Vertikalsteife abrupt innerhalb der Schalenwand, so sollte die Steifenkraft rechnerisch gleichmäßig über eine Höhe von nicht mehr als $k_t \sqrt{rt}$ in die Schale eingeleitet werden.

ANMERKUNG Der Wert von k_t darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $k_t = 4,0$ empfohlen.

(3) Der Schubbeulwiderstand für die lokale Schubübertragung aus einer Steife in die Schale nach Absatz (2) sollte nicht größer angesetzt werden, als in 5.3.2.6 für linear veränderlichen Schub angegeben.

5.3.4 Horizontal profilierte Wände

5.3.4.1 Allgemeines

(1) Bei allen Berechnungen sollte die Blechdicke ohne Überzüge und Beschichtungen (Stahlkerndicke) und ohne Toleranzen angesetzt werden.

(2) Die Mindest-Stahlkerndicke von Profilblechen in Silowänden sollte die Anforderungen von EN 1993-1-3 erfüllen. Im Falle geschraubter Verbindungen sollten die Schrauben mindestens Größe M 8 haben.

(3) In horizontal profilierten zylindrischen Silowänden mit Vertikalsteifen sollten der profilierten Wand rechnerisch keine vertikalen Lasten zugewiesen werden, es sei denn, sie wird als orthotrope Schale nach 5.3.4.3.3 behandelt.

(4) Es sollte besonders darauf geachtet werden, dass die Vertikalsteifen bezüglich Meridianbiegung rechtwinklig zur Wand kontinuierlich ausgebildet werden; das ist wichtig für den Beulwiderstand sowohl unter Wind und/oder Teilvakuum als auch bei fließendem Schüttgut.

(5) Die Verbindungsmittel zwischen Steifen und Blech in vertikal versteiften, horizontal profilierten Wänden sollten für die Schubübertragung der Wandreibungslasten aus dem Schüttgut in die Steifen bemessen werden. Die Blechdicke sollte so gewählt werden, dass örtliches Zugbruchversagen an diesen Verbindungsmitteln verhindert wird, wobei auch die reduzierte Lochleibungstragfähigkeit an Verbindungen in Profilblechen zu beachten ist.

(6) Für die Bemessungswerte der vorhandenen Spannungen und der Widerstände und für die Nachweise gilt 5.3.2, aber mit den in den vorstehenden Absätzen (1) bis (5) wiedergegebenen zusätzlichen Regeln.

AC gestrichener Text AC

ANMERKUNG AC gestrichener Text AC Gebräuchliche Steifenformen sind in Bild 5.3 dargestellt.

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

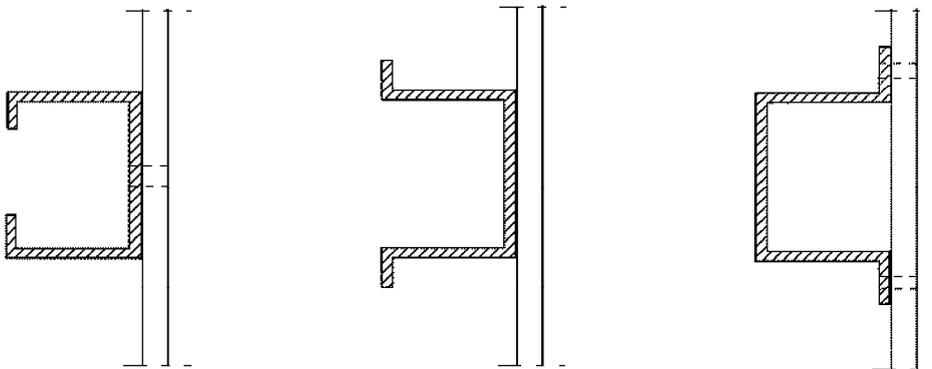
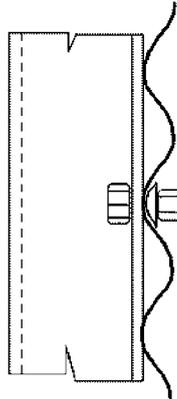


Bild 5.3 — Gebräuchliche Querschnitte von Vertikalsteifen in horizontal profilierten Siloschalen

5.3.4.2 LS1: Plastische Grenze oder Zugbruch

(1) Die Schrauben an den Stößen zwischen den Blechsegmenten sollten die Anforderungen von EN 1993-1-8 erfüllen.

(2) Die Stoßausbildung sollte auch den Anforderungen von EN 1993-1-3 für zug- oder druckbeanspruchte Verbindungen entsprechen.

(3) Die Abstände zwischen den Verbindungsmitteln in Umfangsrichtung sollten nicht größer als 3° sein.

ANMERKUNG Eine typische Schraubenanordnung für eine Wellblechtafel ist in Bild 5.4 dargestellt.

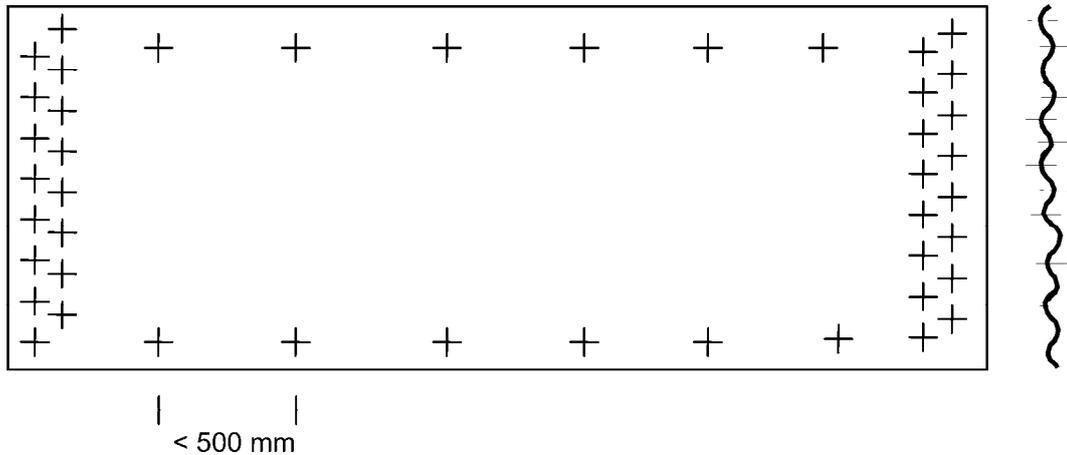


Bild 5.4 — Typische Schraubenanordnung in einer Tafel für ein Wellblechsiloband

(4) An Wanddurchbrüchen für Luken, Türen, Bohrer oder andere Vorrichtungen sollte örtlich ein dickeres Wellblech vorgesehen werden, damit die durch Steifigkeitsabweichungen verursachten Spannungserhöhungen nicht zu lokalen Rissen führen.

5.3.4.3 LS3: Beulen unter Axialdruckbeanspruchung

5.3.4.3.1 Allgemeines

(1) Der Bemessungswiderstand gegen Axialdruckbeulen sollte für alle Punkte des Tragwerks ermittelt werden, und zwar unter Berücksichtigung der vorgeschriebenen Herstelltoleranz-Qualitätsklasse, der Größe des garantiert gleichzeitig wirkenden Innendrucks p und der Ungleichmäßigkeit der Axialdruckbeanspruchung in Umfangsrichtung.

(2) Für den Beulsicherheitsnachweis einer horizontal profilierten Wand mit Vertikalsteifen stehen zwei alternative Berechnungsmodelle zur Verfügung:

- a) Beulen einer orthotropen Ersatzschale (nach 5.3.4.3.3), falls der horizontale Abstand zwischen den Steifen die Bedingung 5.3.4.3.3 (2) erfüllt;
- b) Knicken der einzelnen Steifen (die profilierte Wand nimmt zwar voraussetzungsgemäß keine Axialkräfte auf, stützt aber die Steifen) nach 5.3.4.3.4, falls der horizontale Abstand zwischen den Steifen die Bedingung 5.3.4.3.3 (2) nicht erfüllt.

5.3.4.3.2 Unversteifte Wand

(1) Für eine horizontal profilierte Wand ohne Vertikalsteifen sollte der charakteristische Wert des lokalen plastischen Beulwiderstandes als der größere der beiden folgenden Werte bestimmt werden:

$$n_{x,Rk} = \frac{t^2 f_y}{2d} \quad (5.60)$$

und

$$n_{x,Rk} = R_\phi \frac{t}{r} f_y \quad (5.61)$$

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

Dabei ist

- t die Blechdicke;
- d die Bruttoprofilhöhe von Kuppe zu Kuppe (Wellental zu Wellenberg);
- R_ϕ der örtliche Radius der Profilierung (siehe Bild 4.2);
- r der Zylinderradius.

Der lokale plastische Beulwiderstand $n_{x,Rk}$ sollte unabhängig vom Wert des Innendrucks p_n angesetzt werden.

ANMERKUNG Der lokale plastische Beulwiderstand beschreibt den Widerstand der Profilierung gegen Kollaps oder Zusammenfallen.

(2) Der Membrankraftwiderstand als Bemessungswert des lokalen plastischen Beulwiderstandes sollte wie folgt bestimmt werden:

$$n_{x,Rd} = \alpha_x n_{x,Rk} / \gamma_{M0} \quad (5.62)$$

Dabei ist

- α_x der elastische Imperfektions-Abminderungsfaktor für Axialbeulen;
- γ_{M0} der in 2.9.2 angegebene Teilsicherheitsbeiwert.

ANMERKUNG Der Wert von α_x darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $\alpha_x = 0,80$ empfohlen.

(3) Die Bemessungsmembrankräfte sollten an allen Punkten des Tragwerks die folgende Bedingung erfüllen:

$$n_{x,Ed} \leq n_{x,Rd} \quad (5.63)$$

5.3.4.3.3 Versteifte Wand – als orthotrope Schale behandelt

(1) In die Berechnung einer versteiften Wellblechwand als orthotrope Schale (Berechnungsmodell (a) in 5.3.4.3.1) sind für das Profilblech (Wellblech) die orthotropen Ersatzsteifigkeiten der verschiedenen Richtungen nach 4.4 einzuführen. Die verschmierten Steifigkeiten sollten als gleichmäßig verteilt angesetzt werden. Als Ersatz-Schalenmittelfläche sollte die Achse des Wellblechquerschnitts angesetzt werden, von der aus die Well-Amplitude gemessen wird (siehe Bild 4.2).

(2) Der horizontale Abstand d_s zwischen den Steifen sollte nicht größer sein als

$$d_{s,max} = k_{dx} \left(\frac{r^2 D_y}{C_y} \right)^{0,25} \quad (5.64)$$

Dabei ist

- D_y die Ersatz-Biegesteifigkeit des dünnsten Bleches je Längeneinheit parallel zur Profilierung;
- C_y die Ersatz-Dehnsteifigkeit des dünnsten Bleches je Längeneinheit parallel zur Profilierung;
- r der Zylinderradius.

ANMERKUNG Der Wert von k_{dx} darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $k_{dx} = 7,4$ empfohlen.

(3) Die ideale Beulmembrankraft $n_{x,Rc}$ je Umfangslängeneinheit der orthotropen Schale (Verfahren (a) nach 5.3.4.3) sollte auf jeder Höhenkote des Silos durch Minimierung des nachstehenden Formelausdrucks nach Umfangswellenzahl j und Beulhöhe ℓ_i ermittelt werden.

$$n_{x,Rc} = \frac{1}{j^2 \omega^2} \left(A_1 + \frac{A_2}{A_3} \right) \quad (5.65)$$

mit:

$$A_1 = j^4 [\omega^4 C_{44} + 2\omega^2 (C_{45} + C_{66}) + C_{55}] + C_{22} + 2j^2 C_{25} \quad (5.66)$$

$$A_2 = 2\omega^2 (C_{12} + C_{33}) (C_{22} + j^2 C_{25}) (C_{12} + j^2 \omega^2 C_{14}) - (\omega^2 C_{11} + C_{33}) (C_{22} + j^2 C_{25})^2 - \omega^2 (C_{22} + \omega^2 C_{33}) (C_{12} + j^2 \omega^2 C_{14})^2 \quad (5.67)$$

$$A_3 = (\omega^2 C_{11} + C_{33}) (C_{22} + C_{25} + \omega^2 C_{33}) - \omega^2 (C_{12} + C_{33})^2 \quad (5.68)$$

mit:

$$C_{11} = C_\phi + EA_s/d_s \quad C_{22} = C_\theta + EA_r/d_r$$

$$C_{12} = \nu \sqrt{C_\phi C_\theta} \quad C_{33} = C_{\phi\theta}$$

$$C_{14} = e_s EA_s l / (rd_s) \quad C_{25} = e_r EA_r / (rd_r)$$

$$C_{44} = [D_\phi + EI_s/d_s + EA_s e_s^2/d_s] / r^2 \quad C_{55} = [D_\theta + EI_r/d_r + EA_r e_r^2/d_r] / r^2$$

$$C_{45} = \nu \sqrt{D_\phi D_\theta} / r^2 \quad C_{66} = [D_{\phi\theta} + 0,5(GI_{ts}/d_s + GI_{tr}/d_r)] / r^2$$

$$\omega = \frac{\pi r}{j \ell_i}$$

Dabei ist

ℓ_i die Halbwellenlänge der potenziellen Beule in vertikaler Richtung;

A_s die Querschnittsfläche einer Längssteife (Vertikalsteife);

I_s das Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment) einer Längssteife um ihre Querschnittsachse in Umfangsrichtung (Meridianbiegung);

d_s der Abstand zwischen Längssteifen;

I_{ts} das St.Venant'sche Torsionsträgheitsmoment einer Längssteife;

e_s die Exzentrizität (nach außen) einer Längssteife, bezogen auf die Schalenmittelfläche;

A_r die Querschnittsfläche einer Ringsteife (Horizontalsteife);

I_r das Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment) einer Ringsteife um ihre vertikale Querschnittsachse (Umfangsbiegung);

d_r der Abstand zwischen Ringsteifen;

I_{tr} das St.Venant'sche Torsionsträgheitsmoment einer Ringsteife;

e_r die Exzentrizität (nach außen) einer Ringsteife, bezogen auf die Schalenmittelfläche;

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

- C_ϕ die Ersatz-Dehnsteifigkeit des Wellbleches in Axialrichtung (siehe 4.4 (5) und (7));
 C_θ die Ersatz-Dehnsteifigkeit des Wellbleches in Umfangsrichtung (siehe 4.4 (5) und (7));
 $C_{\phi\theta}$ die Ersatz-Schubsteifigkeit des Wellbleches (siehe 4.4 (5) und (7));
 D_ϕ die Ersatz-Biegesteifigkeit des Wellbleches in Axialrichtung (siehe 4.4 (6) und (7));
 D_θ die Ersatz-Biegesteifigkeit des Wellbleches in Umfangsrichtung (siehe 4.4 (6) und (7));
 $D_{\phi\theta}$ die Ersatz-Drillsteifigkeit des Wellbleches (siehe 4.4 (6) und (7));
 r der Radius des Silozylinders.

ANMERKUNG 1 Die vorstehenden Querschnittsgrößen für die Steifen (A , I , I_t usw.) beziehen sich allein auf den Steifenquerschnitt: Eine Berücksichtigung von mitragenden Anteilen der Schalenwand ist nicht möglich.

ANMERKUNG 2 Der untere Rand der Beule kann dort angenommen werden, wo entweder die Blechdicke oder der Steifenquerschnitt wechselt: Der Beulwiderstand jedes Abschnittes zwischen solchen Wechselstellen ist unabhängig zu überprüfen.

(5) Der Membrankraftwiderstand $n_{x,Rd}$ als Bemessungswert des Axialbeulwiderstandes der orthotropen Schale (Berechnungsmodell (a) in 5.3.4.3.1) sollte als der kleinere der beiden folgenden Werte bestimmt werden:

$$n_{x,Rd} = \alpha_x n_{x,Rcr} / \gamma_{M1} \quad (5.69)$$

und

$$\boxed{\text{AC}} n_{x,Rd} = A_{\text{eff}} f_y / (d_s \gamma_{m0}) \quad \boxed{\text{AC}} \quad (5.70)$$

Dabei ist

α_x der elastische Imperfektions-Abminderungsfaktor für Axialbeulen;

γ_{M1} der in 2.9.2 angegebene Teilsicherheitsbeiwert;

$\boxed{\text{AC}} d_s$ der Abstand zwischen den Längssteifen;

A_{eff} die effektive Querschnittsfläche der Längssteifen. $\boxed{\text{AC}}$

ANMERKUNG Der Wert von α_x darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $\alpha_x = 0,80$ empfohlen.

(6) Die Bemessungsmembrankräfte sollten an allen Punkten des Tragwerks die folgende Bedingung erfüllen:

$$n_{x,Ed} \leq n_{x,Rd} \quad (5.71)$$

5.3.4.3.4 Versteifte Wand – als Reihe Axialkraft tragender Längssteifen behandelt

(1) Wird eine versteifte Wellblechwand unter der Annahme berechnet, dass das Blech keine Axialkräfte trägt (Berechnungsmodell (b) in 5.3.4.3.1), so darf aber angenommen werden, dass es alle Knickverformungen der Steifen in Wandebene verhindert. Der Knickwiderstand der Steifen kann dann alternativ auf zweierlei Weise ermittelt werden:

a) Die Stützwirkung des Bleches für Knickverformungen der Steifen rechtwinklig zur Wand wird vernachlässigt.

b) Die elastische Stützwirkung durch die Steifigkeit des Bleches für Knickverformungen rechtwinklig zur Wand wird berücksichtigt.

(2) Bei Vorgehensweise (a) in Absatz (1) erhält man als Bemessungswert des Widerstandes einer einzelnen Steife unter planmäßig zentrischem Druck ihre Bemessungs-Knicknormalkraft:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}} \quad (5.72)$$

Dabei ist

A_{eff} die effektive Querschnittsfläche der Steife.

Der Abminderungsfaktor χ sollte aus EN 1993-1-1 für Biegeknicken rechtwinklig zur Wand (um die Querschnittsachse in Umfangsrichtung) ermittelt werden; dabei ist, unabhängig vom verwendeten Steifenquerschnitt, die Knickkurve c zu Grunde zu legen (Imperfektionsfaktor $\alpha = 0,49$). Als Knicklänge zur Ermittlung des Abminderungsfaktors χ sollte der Abstand zwischen benachbarten Ringsteifen angesetzt werden.

(3) Soll nach Vorgehensweise (b) in Absatz (1) die elastische Stützwirkung durch die Wand für das Knicken der Steife in Anspruch genommen werden, so sollten die beiden folgenden Bedingungen eingehalten werden:

a) Als unterstützender Wandabschnitt gilt die Breite zwischen den beiden benachbarten Steifen, an diesen gelenkig gelagert angenommen (siehe Bild 5.5).

b) Eine mögliche Unterstützung durch die Steifigkeit des Schüttgutes sollte nicht in Anspruch genommen werden.

(4) Wenn keine genauere Berechnung durchgeführt wird, sollte die Bemessungs-Knicknormalkraft $N_{b,Rd}$ unter Annahme konstanten zentrischen Drucks als der kleinere der folgenden beiden Werte berechnet werden:

$$N_{b,Rd} = 2 \frac{\sqrt{EI_y K}}{\gamma_{M1}} \quad (5.73)$$

$$N_{b,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}} \quad (5.74)$$

Dabei ist

EI_y die Biegesteifigkeit der Steife für Biegung rechtwinklig zur Wand (Nmm²);

K die Federsteifigkeit des Wandbleches (N/mm je mm Wandhöhe), zwischen Vertikalsteifen gespannt, wie in Bild 5.5 dargestellt;

A_{eff} die effektive Querschnittsfläche der Steife.

(5) Die Federsteifigkeit K des Wandbleches sollte unter der Annahme ermittelt werden, dass es als Einfeldplatte zwischen den auf jeder Seite benachbarten Vertikalsteifen gespannt und dort gelenkig gelagert ist, siehe Bild 5.5. Der Wert von K darf wie folgt geschätzt werden:

$$K = k_s \frac{D_y}{d_s^3} \quad (5.75)$$

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

Dabei ist

D_y die Ersatz-Biegesteifigkeit des Wandbleches in Umfangsrichtung;

d_s der Abstand der Vertikalsteifen.

Für profilierte Bleche mit Bogen-Tangenten-Profil oder mit Sinusprofil (Wellbleche) kann der Wert von D_y aus 4.4 (6) entnommen werden. Für andere Profilierungen sollte die Ersatz-Biegesteifigkeit für Umfangsbiegung nach den mechanischen Grundregeln ermittelt werden.

ANMERKUNG Der Wert von k_s darf im nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $k_s = 6$ empfohlen.

(6) Die Bemessungs-Normalkräfte sollten an jedem Punkt der Steifen die folgende Bedingung erfüllen:

$$N_{b,Ed} \leq N_{b,Rd} \quad (5.76)$$

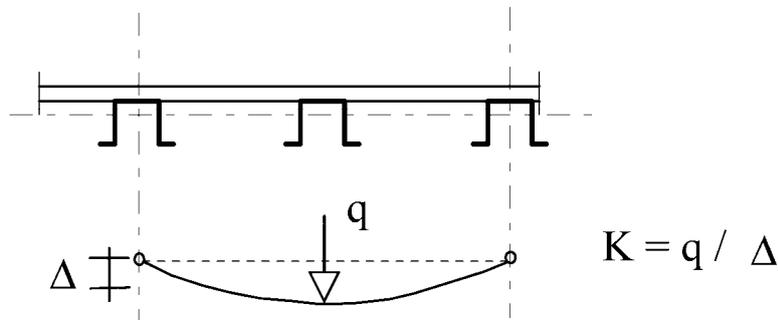


Bild 5.5 — Ermittlung der Stütz-Federsteifigkeit gegen Biegeknicen der Längssteife rechtwinklig zur Wand

5.3.4.4 Beulen und Biegedrillknicken der Steifen

(1) Der Nachweis der Steifen gegen lokales Beulen, Gesamtbeulen und Biegedrillknicken sollte nach EN 1993-1-3 (kaltprofilierter dünnwandige Bauteile) geführt werden.

5.3.4.5 LS3: Beulen unter Außendruck – Teilvakuum und/oder Wind

(1) Die Ersatz-Dehn- und Biegesteifigkeiten der Wandbleche sollten nach 4.4 ermittelt werden.

(2) Die Querschnittsgrößen der Ring- und Längssteifen für Biege- und Normalkraftbeanspruchung, die Exzentrizitäten zwischen den Steifenachsen und der Schalenmittelfläche sowie der Steifenabstand d_s sollten ebenfalls ermittelt werden.

(3) Der horizontale Abstand d_s zwischen den Steifen sollte nicht größer sein als

$$d_{s,max} = k_{d\theta} \left(\frac{r^2 D_y}{C_y} \right)^{0,25} \quad (5.77)$$

Dabei ist

- D_y die Ersatz-Biegesteifigkeit des dünnsten Bleches je Längeneinheit parallel zur Profilierung;
- C_y die Ersatz-Dehnsteifigkeit des dünnsten Bleches je Längeneinheit parallel zur Profilierung;
- r der Zylinderradius.

ANMERKUNG Der Wert von k_{d0} darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $k_{d0} = 7,4$ empfohlen.

(4) Der ideale Außenbeuldruck $p_{n,Rcru}$ sollte durch Minimierung des nachfolgenden Formelausdruckes nach der idealen Umfangswellenzahl j ermittelt werden.

$$p_{n,Rcru} = \frac{1}{r j^2} \left(A_1 + \frac{A_2}{A_3} \right) \quad (5.78)$$

mit:

$$A_1 = j^4 [\omega^4 C_{44} + 2\omega^2 (C_{45} + C_{66}) + C_{55}] + C_{22} + 2j^2 C_{25} \quad (5.79)$$

$$A_2 = 2\omega^2 (C_{12} + C_{33}) (C_{22} + j^2 C_{25}) (C_{12} + j^2 \omega^2 C_{14}) - (\omega^2 C_{11} + C_{33}) (C_{22} + j^2 C_{25})^2 - \omega^2 (C_{22} + \omega^2 C_{33}) (C_{12} + j^2 \omega^2 C_{14})^2 \quad (5.80)$$

$$A_3 = (\omega^2 C_{11} + C_{33}) (C_{22} + C_{25} + \omega^2 C_{33}) - \omega^2 (C_{12} + C_{33})^2 \quad (5.81)$$

mit:

$$C_{11} = C_\phi + EA_s/d_s \quad C_{22} = C_\theta + EA_r/d_r$$

$$C_{12} = \nu \sqrt{C_\phi C_\theta} \quad C_{33} = C_{\phi\theta}$$

$$C_{14} = e_s EA_s / (rd_s) \quad C_{25} = e_r EA_r / (rd_r)$$

$$C_{44} = [D_\phi + EI_s/d_s + EA_s e_s^2 / d_s] / r^2 \quad C_{55} = [D_\theta + EI_r/d_r + EA_r e_r^2 / d_r] / r^2$$

$$C_{45} = \nu \sqrt{D_\phi D_\theta} / r^2 \quad C_{66} = [D_{\phi\theta} + 0,5(GI_{ts}/d_s + GI_{tr}/d_r)] / r^2$$

$$\omega = \frac{\pi r}{j \ell_i}$$

worin ℓ_i , r , A_s , I_s , I_{ts} , d_s , e_s , A_r , I_r , I_{tr} , d_r und e_r dieselbe Bedeutung haben wie in 5.3.4.3.3 (3).

(5) Ist der Steifenquerschnitt oder die Blechdicke mit der Höhe veränderlich, so sollten mehrere potenzielle Beullängen ℓ_i untersucht werden, um die kritischste herauszufinden; dabei ist stets das obere Ende der potenziellen Beule am oberen Rand des dünnsten Blechschnittes anzunehmen.

ANMERKUNG Wenn oberhalb des dünnsten Blechschnittes noch ein Bereich mit dickerem Blech liegt, kann das obere Ende der potenziellen Beule nicht nur am oberen Rand des dünnsten Blechschnittes liegen, sondern auch am oberen Rand der Wand.

(6) Wenn keine genauere Berechnung durchgeführt wird, sollte in die vorstehende Berechnung als Blechdicke stets die Dicke des dünnsten Blechschnittes eingeführt werden.

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

(7) Bei Silos ohne Dach unter Windlast sollte der vorstehend berechnete Beuldruck mit dem Faktor 0,6 reduziert werden.

(8) Der Bemessungswert des Außenbeuldruckes der versteiften Wand sollte nach dem in 5.3.2.5 angegebenen Verfahren ermittelt werden, mit $C_b = C_w = 1,0$ und $\alpha_n = 0,5$ sowie dem idealen Beuldruck $p_{n,Rcr}$ aus dem oben stehenden Absatz (4).

5.3.4.6 LS3: Beulen unter Membranschubbeanspruchung

(1) Der Beulsicherheitsnachweis unter Membranschubbeanspruchung sollte nach den Regeln von EN 1993-1-6 geführt werden.

5.3.5 Vertikal profilierte Wände mit Ringsteifen

5.3.5.1 Allgemeines

(1) Bei zylindrischen Wänden aus Profilblechen (Wellblechen), deren Profilierung vertikal verläuft, sollten die folgenden beiden Bedingungen erfüllt sein:

a) Der profilierten Wand sollten rechnerisch keine horizontalen Kräfte (in Umfangsrichtung) zugewiesen werden.

b) Das profilierte Wandblech ist als durchlaufend von Ring zu Ring spannend anzunehmen.

(2) Die Blechstöße sollten so bemessen werden, dass die angenommene Biegekontinuität erreicht wird.

(3) Bei der Ermittlung der axialen Druckkräfte in der Wand aus Wandreibung des Silogutes sollte der volle Siloumfang unter Beachtung der Profilgeometrie berücksichtigt werden.

(4) Wenn das Profilblech bis zum Boden reicht, sollte die örtliche Biegebeanspruchung aus Randstörung beachtet werden, wobei eine radial unverschiebliche Lagerung anzunehmen ist.

(5) Für die Bemessungswerte der vorhandenen Spannungen und der Widerstände sowie für die Nachweise gilt 5.3.2, aber mit den nachfolgend in 5.3.5.2 bis 5.3.5.5 wiedergegebenen zusätzlichen Regeln.

5.3.5.2 LS1: Plastische Grenze oder Zugbruch

(1) Der profilierten Wand sollten rechnerisch keine Umfangskräfte zugewiesen werden.

(2) Der Abstand der Ringsteifen sollte aus einer Berechnung des Profilbleches als über die Ringe durchlaufenden Biegeträger ermittelt werden, wobei gegebenenfalls der Einfluss unterschiedlicher radialer Verformungen von Ringsteifen unterschiedlichen Querschnittes zu berücksichtigen ist. Die aus dieser Biegeberechnung resultierenden Spannungen sollten beim Beulsicherheitsnachweis für Axialdruckbeanspruchung den Normalkraftspannungen hinzuaddiert werden.

ANMERKUNG Die Meridianbiegebeanspruchung des Profilbleches kann ermittelt werden, indem man es als an den Ringen elastisch gestützten Durchlaufträger behandelt. Die Auflagerfedersteifigkeit ergibt sich dabei aus der Steifigkeit des Ringes gegenüber radialer Belastung.

(3) Die Ringsteifen sollten für die Aufnahme der horizontalen Belastung nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-3 (kaltgeformte dünnwandige Bauteile) bemessen werden.

5.3.5.3 LS3: Beulen unter Axialdruckbeanspruchung

(1) Die Axialbeulspannung der Wand sollte nach den Bestimmungen von EN 1993-1-3 (kaltgeformte dünnwandige Bauteile) ermittelt werden, indem der Querschnitt des Profilbleches als Biegeknickstab betrachtet wird. Die Knicklänge sollte dabei nicht kleiner angenommen werden als der Abstand zwischen benachbarten Ringen.

5.3.5.4 LS3: Beulen unter Außendruck – Teilvakuum und/oder Wind

(1) Der Bemessungs-Außenbeuldruck der versteiften Wand sollte auf dieselbe Weise wie bei horizontal profilierten Wänden ermittelt werden (siehe 5.3.4.5), dabei ist jedoch die vertauschte Orientierung der Profilierung nach 4.4 (7) zu beachten.

5.3.5.5 LS3: Beulen unter Membranschubbeanspruchung

(1) Der Bemessungswert des Beulwiderstandes unter Membranschub sollte auf dieselbe Weise wie bei horizontal profilierten Wänden ermittelt werden, siehe 5.3.4.6.

5.4 Besondere Lagerungsbedingungen für zylindrische Silowände

5.4.1 Zylinderschalen mit voller Auflagerung am unteren Rand oder Lagerung auf einem Trägerrost

(1) Schalen, die an ihrem unteren Rand vollständig gleichmäßig (d. h. kontinuierlich) aufgelagert sind, brauchen nur für die Wandschnittgrößen bemessen zu werden, die sich unmittelbar aus den axialsymmetrischen Einwirkungen und Teilflächenbelastungen nach EN 1991-4 ergeben.

(2) Bei versteiften Wänden sollten die Vertikalsteifen am Fuß voll aufgelagert und mit dem Basisring verbunden sein.

5.4.2 Zylinderschalen mit Zargenlagerung

(1) Schalen, die auf Standzargen stehen (siehe Bild 5.6), gelten als kontinuierlich aufgelagert, wenn die Standzarge eine der beiden folgenden Bedingungen erfüllt:

- a) die Standzarge selbst ist vollständig gleichmäßig auf dem Fundament aufgelagert;
- b) die Blechdicke der Standzarge ist mindestens 20 % größer als die der Siloschale, und bei der Dimensionierung der Standzarge und ihrer Flansche wurden die in Abschnitt 8 angegebenen Regeln zur Bemessung von Ringträgern angewendet.

(2) Die Standzarge sollte für die axiale Druckbeanspruchung der Silowand, jedoch ohne die stabilisierende Wirkung des Innendruckes bemessen werden.

5.4.3 Zylinderschalen mit eingebundenen Stützen

(1) Schalen, die auf in die Zylinderwand einbindenden Einzelstützen stehen (siehe Bild 5.6 b)), sollten unter Berücksichtigung der Schnittgrößen aus dem Einfluss der Einzelkräfte bemessen werden, wenn sie zu Silos der Schadensfolgekassen 2 und 3 gehören.

(2) Die Einbindelänge der Stützen sollte nach 5.4.6 bestimmt werden.

(3) Bei der Bestimmung der Rippenlänge sollte der Grenzzustand ‚Schubbeulen neben der Rippe‘ beachtet werden, siehe 5.3.2.6.

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

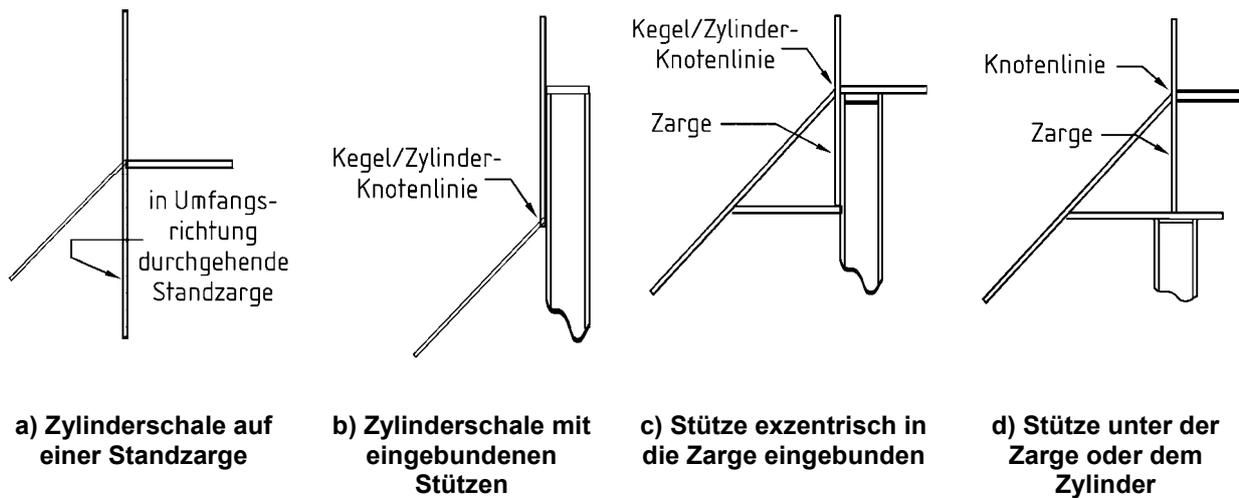


Bild 5.6 — Verschiedene Ausbildungen der Auflagerung eines Silos mit Trichter

5.4.4 Zylinderschalen mit diskreter Auflagerung

(1) Bei Schalen auf diskreten Stützen oder Auflagern sollten die Einflüsse der Einzelkräfte bei der Berechnung der Schalenschnittgrößen berücksichtigt werden, es sei denn, die Regeln in den Absätzen (2) und (3) erlauben, sie zu vernachlässigen.

(2) Wird die Schale nur mit Hilfe der Membrantheorie für axialsymmetrisch belastete Kreiszyinderschalen berechnet, so sollten alle vier folgenden Kriterien eingehalten werden:

- Das Radius-Dicken-Verhältnis r/t sollte nicht größer als $(r/t)_{\max}$ sein.
- Die Exzentrizität der Auflagerung unter der Schalenwand sollte nicht größer als $k_1 t$ sein.
- Die Zylinderwand sollte verformungsschlüssig mit einem Trichter verbunden sein, dessen Wanddicke an der Abzweigung nicht kleiner als $k_2 t$ ist.
- Die Breite jedes Auflagers sollte nicht geringer als $k_3 \sqrt{rt}$ sein.

ANMERKUNG Die Werte von $(r/t)_{\max}$, k_1 , k_2 und k_3 dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es werden folgende Werte empfohlen: $(r/t)_{\max} = 400$; $k_1 = 2,0$; $k_2 = 1,0$ und $k_3 = 1,0$.

(3) Wird die Schale nur mit Hilfe der Membrantheorie für axialsymmetrisch belastete Kreiszyinderschalen berechnet, so sollte außerdem **AC** eines der folgenden Kriterien **AC** eingehalten werden:

- Der obere Schalenrand sollte durch konstruktiv-kraftschlüssige Verbindung mit dem Dach in seiner kreisförmigen Form gesichert sein.
- Der obere Schalenrand sollte durch eine Randringsteife in seiner kreisförmigen Form gesichert sein, deren Biegesteifigkeit EI_z innerhalb der Kreisebene größer ist als

$$EI_{z,\min} = k_s E r t^3 \quad (5.82)$$

Hierin darf für t die Dicke des dünnsten Teiles der Wand angesetzt werden.

ANMERKUNG Der Wert von k_s darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $k_s = 0,10$ empfohlen.

c) Die Schalenhöhe L sollte nicht kleiner sein als

$$L_{s,\min} = k_L r \sqrt{\left(\frac{r}{t}\right) \cdot \frac{1}{n(n^2 - 1)}} \quad (5.83)$$

Dabei ist

n die Anzahl der diskreten Auflager über den Schalenumfang.

ANMERKUNG Der Wert von k_L darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $k_L = 4,0$ empfohlen.

(4) Bei Verwendung der linearen Schalenbiegetheorie oder bei einer noch genaueren Berechnung sollten die Einflüsse der örtlich hohen Spannungen über den Auflagern beim Beulsicherheitsnachweis gegen Axialdruckbeulen berücksichtigt werden, wie in 5.3.2.4 beschrieben.

(5) Die Auflagerkonstruktion sollte nach den Regeln in 5.4.5 bzw. 5.4.6 ausgebildet werden.

5.4.5 Silos mit diskreter Auflagerung am Trichter

(1) Liegt die nach oben verlängerte Achse des unterstützenden Bauteils um mehr als t innerhalb der Schalenmittelfläche der Zylinderschale, so sollte der Silo als am Trichter gelagert betrachtet werden.

(2) Ein am Trichter gelagerter Silo sollte den Regeln in Abschnitt 6 für die Bemessung von Trichtern entsprechen.

(3) Ein am Trichter gelagerter Silo sollte mit Hilfe der linearen Schalenbiegetheorie oder noch genauer berechnet werden. Die lokalen Biegeeinflüsse der Auflager und die meridionale Druckbeanspruchung im oberen Teil des Trichters sollten sowohl beim Nachweis gegen plastischen Kollaps als auch beim Nachweis gegen Beulen berücksichtigt werden; diese Nachweise sollten nach EN 1993-1-6 geführt werden.

5.4.6 Zylindrische Silowände: Details für örtliche Auflager und Kraffteinleitungsrippen

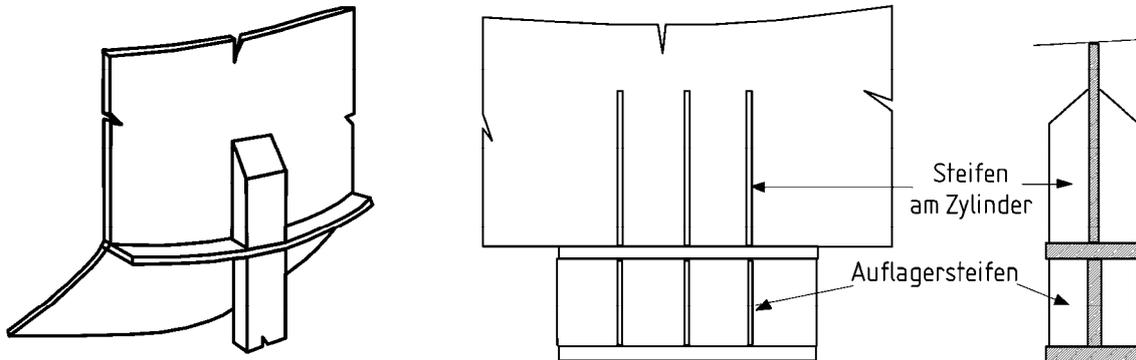
5.4.6.1 Örtliche Auflager unter der Zylinderwand

(1) Eine örtliche Auflagerkonsole für eine Zylinderwand sollte so dimensioniert sein, dass sie die Bemessungsauflegerkraft ohne lokale bleibende Verformungen in die Schalenwand einleiten kann.

(2) Die Auflagerung sollte so ausgebildet werden, dass sie für den Zylinderrand angemessene Verformungsbehinderungen (vertikal, in Umfangsrichtung, gegen meridionale Verdrehungen) liefert.

ANMERKUNG Einige mögliche Auflagerkonstruktionen sind in Bild 5.7 dargestellt.

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)



**Örtliches Auflager am Abzweigungsring
mit eingebundener Stütze**

**Mögliche Versteifungskonstruktion für eine zylindrische
Wand über hohen örtlichen Auflagerkräften**

Bild 5.7 — Typische Auflagerdetails

(3) Bei der Festlegung der Einbindelänge sollte der Beulsicherheitsnachweis gegen Schubbeulen neben der eingebundenen Stütze beachtet werden, siehe 5.3.2.6.

(4) Bei diskreter Auflagerung ohne Ringträger sollte die Steife oberhalb jedes Auflagers

- a) entweder bis zur Dachtraufe reichen;
- b) oder mit einer Einbindelänge von mindestens L_{\min} eingebunden sein:

$$L_{\min} = 0,4 r \sqrt{\left(\frac{r}{t}\right) \cdot \frac{1}{n(n^2 - 1)}} \quad (5.84)$$

Dabei ist

n die Anzahl der diskreten Auflagers über den Schalenumfang.

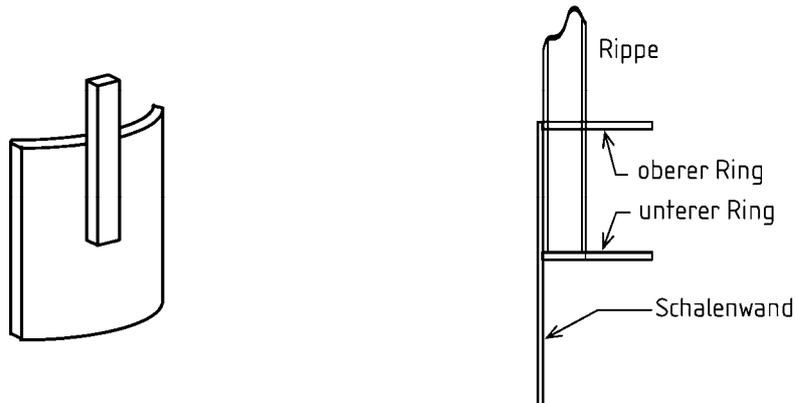
5.4.6.2 Örtliche Rippen zur Lasteinleitung in zylindrische Wände

(1) Eine örtliche Lasteinleitungsrippe für eine Zylinderwand sollte so dimensioniert sein, dass sie die Bemessungslast ohne lokale bleibende Verformungen in das Auflager und in die Schalenwand einleiten kann.

(2) Bei der Festlegung der Rippenlänge sollte der Beulsicherheitsnachweis gegen Schubbeulen neben der Rippe beachtet werden, siehe 5.3.2.6.

(3) Die Rippe sollte so ausgelegt werden, dass sie sich nicht verdrehen und damit lokale radiale Verformungen der Zylinderwand verursachen kann. Bei Bedarf sollten Versteifungsringe angeordnet werden, um radiale Verformungen zu verhindern.

ANMERKUNG Mögliche Lasteinleitungsstrukturen mit örtlichen Rippen sind in Bild 5.8 dargestellt.



Örtliche Rippe – ohne Ringe an die Zylinderwand angeschlossen

Örtliche Rippe – mit Versteifungsringen zur Verhinderung radialer Verformungen

Bild 5.8 — Typische Details von Lasteinleitungsrippen

5.4.7 Verankerung an der Basis eines Silos

(1) Bei der Bemessung der Verankerung sollte die Ungleichmäßigkeit der tatsächlichen Einwirkungen auf die Schalenwand in Umfangsrichtung berücksichtigt werden. Dabei sollte besonders auf die unter Windlast entstehenden, örtlich hohen Ankerkräfte geachtet werden.

ANMERKUNG Die Ankerkräfte werden bei Behandlung des Silos als vertikalen Kragträger unter globaler Biegung in der Regel unterschätzt.

(2) Der Ankerabstand sollte nicht größer sein als aufgrund der Bemessung des Basisringes erforderlich, siehe 8.5.3.

(3) Wenn keine genauere numerische Untersuchung angestellt wird, sollte die Verankerung für folgende abhebende Kraft $n_{x,Ed}$ je Umfangslängeneinheit ausgelegt werden:

$$n_{x,Ed} = p_{n,Edw} \left(\frac{L^2}{2r} \right) \left[C_1 + \sum_{m=2}^M m^2 C_m \left\{ 1 - \frac{3}{4} \left(\frac{a_1}{a_2 + a_3} \right) \right\} \right] \quad (5.85)$$

$$a_1 = 1 + 10,4 \left(\frac{r}{mL} \right)^2 \quad (5.86)$$

$$a_2 = 1 + 7,8 \left(\frac{r}{mL} \right)^2 \quad (5.87)$$

$$a_3 = 3 \frac{r^3 t}{I_z} \left(\frac{r}{L} \right)^3 \left(\frac{1}{m^4 (m^2 - 1)^2} \right) \quad (5.88)$$

Dabei ist

- $p_{n,Edw}$ der größte Bemessungsdruck (im Staumeridian) unter Windlast;
- L die Gesamthöhe der Schalenwand;
- t die mittlere Schalenwanddicke;

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

- I_z das Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment) der Ringsteife am oberen Zylinderrand um ihre vertikale Querschnittsachse (Umfangsbiegung);
- C_m die harmonischen Koeffizienten der Winddruckverteilung in Umfangsrichtung;
- M die höchste Harmonische in der Winddruckverteilung.

ANMERKUNG Die Werte der für die jeweiligen Bedingungen maßgeblichen harmonischen Koeffizienten des Winddrucks C_m dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden. Die folgenden Werte sind vereinfachte Empfehlungen für Silos der Klassen 1 und 2: $M = 4$; $C_1 = +0,25$; $C_2 = +1,0$; $C_3 = +0,45$ und $C_4 = -0,15$. Für Silos der Klasse 3 werden die in Anhang C angegebenen genaueren Verteilungen mit $M = 4$ für einzeln stehende Silos und $M = 10$ für in Gruppen angeordnete Silos empfohlen.

5.5 Detailausbildung von Öffnungen in zylindrischen Wänden

5.5.1 Allgemeines

(1) Öffnungen in der Silowandung sollten durch vertikale und horizontale Steifen neben den Öffnungsrändern verstärkt werden. Sitzen die Steifen nicht unmittelbar an den Öffnungsrändern, so dass kleine unversteifte Wandbereiche verbleiben, so sollten diese bei der Berechnung als nicht vorhanden betrachtet werden.

5.5.2 Rechteckige Öffnungen

(1) Die vertikale Verstärkung an einer rechteckigen Öffnung (siehe Bild 5.9) sollte so ausgelegt werden, dass die Querschnittsfläche der Steifen nicht kleiner ist als die entfallene Wandquerschnittsfläche, aber nicht größer als das Zweifache davon.

(2) Die horizontale Verstärkung sollte ebenfalls so ausgelegt werden, dass die Querschnittsfläche der Steifen nicht kleiner ist als die entfallene Wandquerschnittsfläche.

(3) Die Biegesteifigkeit der Randsteifen in Wandebene sollte so ausgelegt werden, dass die rechnerische Durchbiegung δ der Schalenwandung unter der zugeordneten Membrannormalkraft rechtwinklig zum betrachteten Öffnungsrand in Öffnungsachse nicht größer ist als

$$\delta_{\max} = k_{d1} \sqrt{\frac{t}{r}} \cdot d \quad (5.89)$$

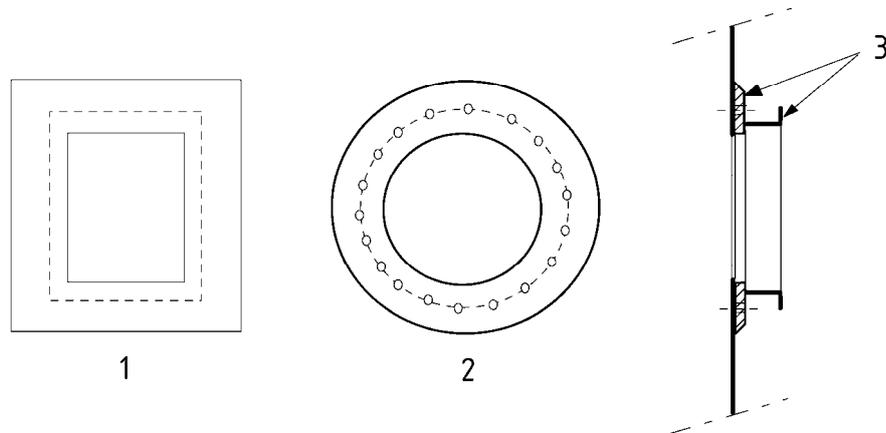
Dabei ist

d die Öffnungsbreite rechtwinklig zur betrachteten Membrannormalkraft.

ANMERKUNG Der Wert von k_{d1} darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $k_{d1} = 0,02$ empfohlen.

(4) Die vertikalen Randsteifen sollten mindestens um $2\sqrt{rt}$ nach oben und unten über die Öffnung hinausreichen.

(5) Der Nachweis gegen örtliches Beulen der Schalenwandung im Bereich der Steifenenden sollte nach den Regeln für örtliche Lasten in 5.4.5 und 5.4.6 geführt werden.

**Legende**

- 1 rechteckige Öffnung
- 2 runde Öffnung
- 3 Verstärkungsstruktur (an die Silowand angeschweißt oder angeschraubt)

Bild 5.9 — Typische Steifenanordnung an Öffnungen in Silowänden**5.6 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit****5.6.1 Grundlagen**

(1) Die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit für Stahlsilos mit zylindrischen Blechwänden sind:

- Verformungen oder Durchbiegungen, die die effektive Benutzung des Tragwerks ungünstig beeinflussen;
- Verformungen, Durchbiegungen, Schwingungen oder Erschütterungen, die die Zerstörung nicht tragender Teile nach sich ziehen.

(2) Verformungen, Durchbiegungen und Erschütterungen sollten so begrenzt werden, dass die vorstehenden Kriterien eingehalten werden.

(3) Geeignete Grenzwerte sollten zwischen dem Tragwerksplaner, dem Bauherrn und der zuständigen Behörde vereinbart werden; dabei sind der vorgesehene Verwendungszweck und die Beschaffenheit des zu speichernden Schüttgutes zu beachten.

5.6.2 Durchbiegungen

(1) Der Grenzwert für die globale horizontale Ausbiegung eines Silos sollte wie folgt angesetzt werden:

$$w_{\max} = k_{d2} H \quad (5.90)$$

Dabei ist

H die Höhe des Tragwerks vom Fundament bis zum Dach.

ANMERKUNG Der Wert von k_{d2} darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $k_{d2} = 0,02$ empfohlen.

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

(2) Der Grenzwert für lokale radiale Durchbiegungen (Abweichungen vom kreisförmigen Querschnitt) unter Windlast sollte als der kleinere der beiden folgenden Werte angesetzt werden:

$$w_{r,\max} = k_{d3} r \quad (5.91)$$

$$w_{r,\max} = k_{d4} t \quad (5.92)$$

Dabei ist

t die Dicke des dünnsten Teiles der Schalenwand.

ANMERKUNG Die Werte von k_{d3} und k_{d4} dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es werden Werte von $k_{d3} = 0,05$ und $k_{d4} = 20$ empfohlen.

6 Bemessung von konischen Trichtern

6.1 Grundlagen

6.1.1 Allgemeines

(1) Konische Trichter sollten so dimensioniert werden, dass die grundlegenden Anforderungen an die Bemessung nach Abschnitt 2 erfüllt sind.

(2) Die Tragsicherheitsnachweise der Kegelschale sollten nach den Regeln von EN 1993-1-6 geführt werden.

6.1.2 Bemessung der Trichterwand

(1) Die kegelstumpfförmige Trichterwand sollte auf Folgendes überprüft werden:

- Widerstand gegen Zugbruch unter Innendruck und Wandreibung;
- Widerstand gegen örtliches Biegefließen an der Abzweigung;
- Widerstand gegen Ermüdungsbruch;
- Widerstand der Stöße (Verbindungen);
- Widerstand gegen Beulen unter Querbelastungen aus Austragorganen und Anschlüssen;
- lokale Effekte.

(2) Die Schalenwand sollte den Anforderungen von EN 1993-1-6 entsprechen; die Regeln in 6.3 bis 6.5 erfüllen jene Anforderungen.

(3) Die in 6.3 bis 6.5 angegebenen Regeln gelten für Trichter mit halben Kegelöffnungswinkeln im Bereich von $0^\circ < \beta < 70^\circ$.

(4) Für Trichter der Schadensfolgeklasse 1 dürfen die Grenzzustände ‚Zyklisches Plastizieren‘ und ‚Ermüdung‘ außer Acht gelassen werden, sofern die beiden folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- a) Die Bemessung für den Grenzzustand Zugbruch an der Abzweigung sollte mit einem erhöhten Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M0} = \gamma_{M0g}$ durchgeführt werden.
- b) Es sind keine örtlichen Längssteifen oder Auflagerungen an der Trichterwandung im Bereich der Abzweigung vorgesehen.

ANMERKUNG Der Wert von γ_{M0g} darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $\gamma_{M0g} = 1,4$ empfohlen.

6.2 Unterscheidung zwischen verschiedenen Formen von Trichterschalen

- (1) Eine Trichterwand aus gewalzten Stahlblechen wird ‚isotrop‘ genannt.
- (2) Eine Trichterwand mit Steifen an der Außenseite wird ‚außen-versteift‘ genannt.
- (3) Ein Trichter mit mehr als einer Entleerungsöffnung wird ‚Mehrfachauslass‘ genannt.
- (4) Ein Trichter, der Teil eines auf diskreten Stützen oder Konsolen aufgelagerten Silos ist, wird ‚diskret aufgelagert‘ genannt, auch wenn sich die diskreten Auflager nicht direkt unter dem Trichter befinden.

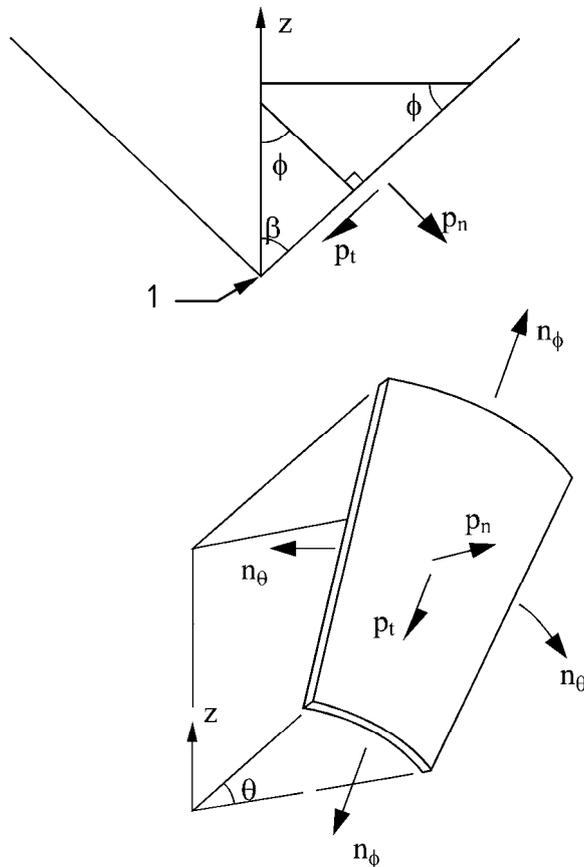
6.3 Tragsicherheitsnachweis für konische Trichterwände

6.3.1 Allgemeines

- (1) Die Kegelschale sollte den Regeln von EN 1993-1-6 entsprechen. Dem wird Genüge getan, wenn die Nachweise nach den Regeln in diesem 6.3 geführt werden.
- (2) Besonders zu beachten sind die Druckverteilungen beim Befüllen und Entleeren, unter denen einzelne Bereiche des Trichters besonders kritisch belastet werden.
- (3) Die Schnittgrößen im Hauptteil des Trichters dürfen in der Regel mit Hilfe der Membrantheorie ermittelt werden.

ANMERKUNG Zusätzliche Informationen zu den möglichen Druckverteilungen und zu den membrantheoretischen Schnittgrößen im Hauptteil des Trichters werden in Anhang B gegeben.

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)



1 Koordinatenursprung und Kegelspitze

Bild 6.1 — Trichterschale

6.3.2 Isotrope, unverstärkte, geschweißte oder geschraubte Trichter

6.3.2.1 Allgemeines

(1) Ein konischer Trichter sollte als Schalentragswerk berechnet werden, das die Lasten kombiniert in Meridian- und Umfangsrichtung abträgt.

6.3.2.2 LS1: Plastischer Kollaps oder Zugbruch in der Trichterwand

(1) Beim Tragsicherheitsnachweis gegen Zugbruch sollte beachtet werden, dass die Trichterwand unterschiedlichen und wechselnden Druckverteilungen ausgesetzt sein kann. Da Zugbruchversagen sich leicht fortpflanzen kann und in der Regel nicht duktil ist, sollte jede einzelne Stelle des Trichters für ihre ungünstigste Bemessungssituation ausgelegt sein.

(2) Geschweißte oder geschraubte Stöße längs der Kegelmeridiane sollten so dimensioniert werden, dass sie an jeder Stelle die ungünstigsten Membrankräfte infolge der Druckverteilungen beim Befüllen oder Entleeren aufnehmen können.

(3) Geschweißte oder geschraubte Stöße längs der Kegelumfänge sollten so dimensioniert werden, dass sie das größtmögliche Schüttgutgewicht unterhalb des jeweiligen Stoßes aufnehmen können.

ANMERKUNG Üblicherweise ist dafür die Befüllungsdruckverteilung maßgebend: siehe EN 1991-4.

6.3.2.3 LS1: Zugbruch an der Abzweigung

(1) Der Umfangsstoß zwischen Trichter und Abzweigung (siehe Bild 6.2) sollte für die größtmögliche meridionale Gesamtbeanspruchung des Trichters ausgelegt werden, wobei eventuelle unvermeidbare Ungleichmäßigkeiten zu berücksichtigen sind.

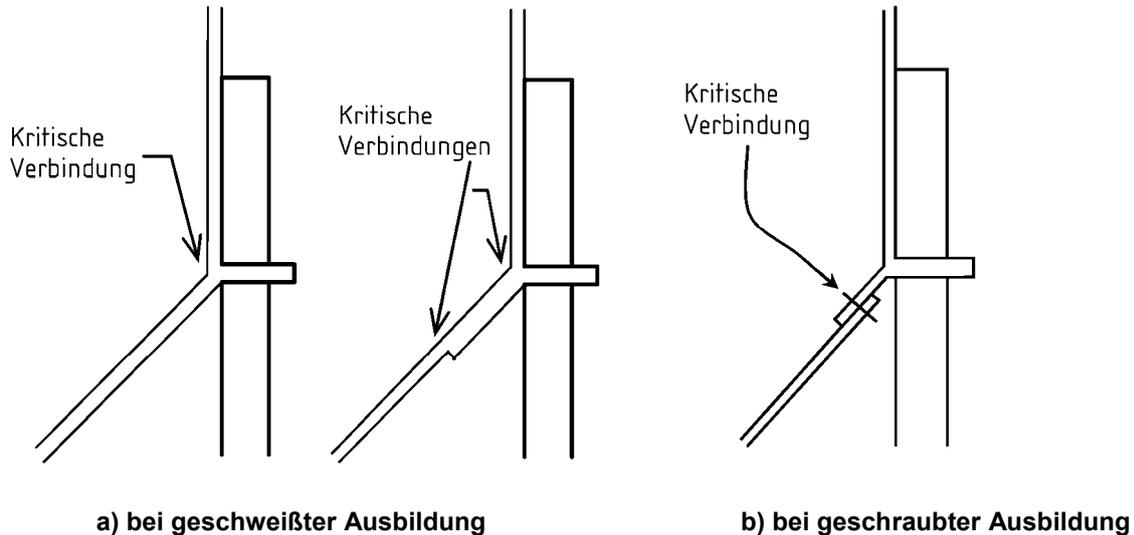


Bild 6.2 — Abzweigung des Trichters: Gefährdung durch Zugbruch

(2) Wenn die Schwerkraft- und Fließbelastung aus dem Schüttgut die einzige zu beachtende Einwirkung ist, sollte die Meridiankraft je Längeneinheit $n_{\phi h, Ed, s}$, die durch die in EN 1991-4 festgelegten symmetrischen Drücke verursacht und durch den Umfangsstoß an der Abzweigung übertragen wird, aus globalem Gleichgewicht ermittelt werden. Der Bemessungswert der örtlichen Meridiankraft je Längeneinheit $n_{\phi h, Ed}$, mit dem der möglichen Ungleichmäßigkeit der Belastung Rechnung getragen wird, sollte dann wie folgt ermittelt werden.

$$n_{\phi h, Ed} = g_{asym} n_{\phi h, Ed, s} \quad (6.1)$$

Dabei ist

- $n_{\phi h, Ed, s}$ der Bemessungswert der lokalen Meridiankraft je Umfangslängeneinheit am oberen Trichterrand, der unter der Annahme vollständig symmetrischer Trichterbelastung erhalten wird;
- g_{asym} der Faktor für die Zunahme der Meridiankraft infolge Unsymmetrie.

ANMERKUNG Ausdrücke für $n_{\phi h, Ed, s}$ sind Anhang B zu entnehmen. Der Wert von g_{asym} darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $g_{asym} = 1,2$ empfohlen.

(3) Bei Silos der Schadensfolgeklasse 2 sollte eine schalenbiegetheoretische Berechnung des Trichters durchgeführt werden, in die gegebenenfalls andere Belastungen aus diskreter Auflagerung, Austragorganen, angeschlossenen Bauteilen, ungleichmäßigen Trichterwanddrücken usw. einzuschließen sind. Aus dieser Berechnung ist die größte lokale Meridiankraft je Umfangslängeneinheit, die vom Trichter an die Abzweigung zu übertragen ist, zu entnehmen.

(4) Der Meridianmembrankraftwiderstand (der Bemessungswert des Widerstandes) des Trichters an der Abzweigung $n_{\phi h, Rd}$ sollte wie folgt angesetzt werden:

$$n_{\phi h, Rd} = k_r t f_u l \gamma_{M2} \quad (6.2)$$

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

Dabei ist

f_u die Zugfestigkeit.

ANMERKUNG Der Wert von k_T darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $k_T = 0,90$ empfohlen.

6.3.2.4 LS1: Plastischer Mechanismus an Dickensprüngen oder an der Abzweigung

(1) Der Widerstand des Trichters gegen Versagen durch Ausbildung eines plastischen Mechanismus sollte in Form des lokalen Wertes der Meridianmembrankraft n_ϕ am oberen Trichterrand bzw. am Dickensprung nachgewiesen werden.

(2) Der entsprechende Meridianmembrankraftwiderstand $n_{\phi,Rd}$ sollte wie folgt ermittelt werden:

$$n_{\phi,Rd} = \left(\frac{r t f_y}{r - 2,4 \sqrt{\frac{r t}{\cos \beta}} \cdot \sin \beta} \right) \left(\frac{0,91 \mu + 0,27}{\mu + 0,15} \right) / \gamma_{M0} \quad (6.3)$$

Dabei ist

t die örtliche Wanddicke;

r der Radius am plastischen Mechanismus (oberer Trichterrand oder Dickensprung);

β der halbe Kegelöffnungswinkel des Trichters, siehe Bild 6.1;

μ der Wandreibungskoeffizient für die Trichterwand.

(3) Die Bemessungsmembrankräfte sollten an allen kritischen Punkten des Tragwerks die folgende Bedingung erfüllen:

$$n_{\phi,Ed} \leq n_{\phi,Rd} \quad (6.4)$$

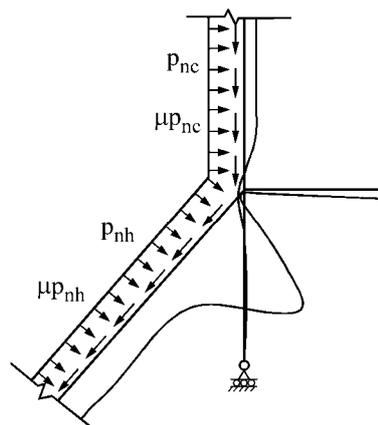


Bild 6.3 — Plastischer Kollaps eines konischen Trichters

6.3.2.5 LS2 und LS4: Örtliche Biegung an der Abzweigung

- (1) Um Versagen durch zyklisches Plastizieren und/oder Ermüdung zu vermeiden, sollten für die starke Biegebeanspruchung am oberen Trichterrand, die sich sowohl aus Gleichgewichts- als auch aus Zwängungseinflüssen zusammensetzt, die entsprechenden Nachweise geführt werden.
- (2) Auf diese Nachweise darf bei Silos der Schadensfolgeklasse 1 verzichtet werden.
- (3) Wenn keine genaue FE-Berechnung des Tragwerks durchgeführt wird, sollte die örtliche Biegespannung am oberen Trichterrand mit Hilfe der nachfolgenden Formeln ermittelt werden.
- (4) Die an der Knotenlinie der Abzweigung angreifenden effektiven Kraftgrößen (Radialkraft $F_{e,Ed}$ und Moment $M_{e,Ed}$) sollten wie folgt ermittelt werden:

$$F_{e,Ed} = n_{\phi h,Ed} \sin \beta - F_h - F_c \quad (6.5)$$

$$M_{e,Ed} = F_c x_c - F_h x_h \quad (6.6)$$

mit:

$$F_c = 2 x_c p_{nc} \quad (6.7)$$

$$F_h = 2 x_h (0,85 - 0,15 \mu \cot \beta) p_{nh} \quad (6.8)$$

$$x_c = 0,39 \sqrt{r t_c} \quad (6.9)$$

$$x_h = 0,39 \sqrt{\frac{r t_h}{\cos \beta}} \quad (6.10)$$

Dabei ist (siehe Bild 8.4)

t_h die örtliche Wanddicke des Trichters;

t_c die örtliche Wanddicke des Zylinders an der Abzweigung;

r der Radius an der Abzweigung (oberer Trichterrand);

β der halbe Kegelöffnungswinkel des Trichters;

μ der Wandreibungskoeffizient für die Trichterwand;

$n_{\phi h,Ed}$ die Bemessungs-Meridianmembrankraft am oberen Trichterrand;

p_{nh} der örtliche Wert des Trichterwanddruckes unmittelbar unterhalb der Abzweigung;

p_{nc} der örtliche Wert des Zylinderwanddruckes unmittelbar oberhalb der Abzweigung.

- (5) Die örtliche Biegespannung $\sigma_{b\phi h,Ed}$ am oberen Trichterrand sollte wie folgt ermittelt werden:

$$\boxed{\text{AC}} \sigma_{b\phi h,Ed} = \left(\frac{6}{\Delta} \right) \left\{ (a_2 - 2 a_1 \eta) M_{e,Ed} - \rho (a_3 - a_2 \eta) F_{e,Ed} \right\} - \left(\frac{6}{t_h^2} \right) F_h x_h \quad \boxed{\text{AC}} \quad (6.11)$$

Dabei ist

$$\Delta = 2 a_1 a_3 - a_2^2 \quad (6.12)$$

$$\rho = 0,78 \sqrt{r} \quad (6.13)$$

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

$$\eta = \sqrt{t_h \cos \beta} \quad (6.14)$$

$$a_1 = t_s^{3/2} + t_c^{3/2} + \frac{t_h^{3/2}}{\sqrt{\cos \beta}} + \frac{A_{ep}}{\rho} \quad (6.15)$$

$$a_2 = t_s^2 - t_c^2 + t_h^2 \quad (6.16)$$

$$a_3 = t_s^{5/2} + t_c^{5/2} + t_h^{5/2} \sqrt{\cos \beta} \quad (6.17)$$

Dabei ist

- t_h die örtliche Wanddicke des Trichters;
- t_c die örtliche Wanddicke des Zylinders an der Abzweigung;
- t_s die örtliche Wanddicke der Standzarge unterhalb der Abzweigung;
- A_{ep} die Querschnittsfläche der Ringsteife an der Abzweigung (ohne mittragende Anteile der benachbarten Schalensegmente);
- r der Radius an der Abzweigung (oberer Trichterrand).

6.3.2.6 Trichter in diskret aufgelagerten Silos

- (1) Bei diskret aufgelagerten Silos sollten bei der Ermittlung der ungleichmäßig verteilten Meridianmembranspannungen im Trichter die relativen Steifigkeiten des Ringträgers an der Abzweigung, der Zylinderwand und der Trichterwand berücksichtigt werden.
- (2) Bei Silos der Schadensfolgeklasse 1 darf auf diese Anforderung verzichtet werden.
- (3) Der Trichter sollte für den größtmöglichen örtlichen Wert der Meridianzugkraft am oberen Trichterrand (im Bereich der Auflagerung) nach 6.3.2.3 und 6.3.2.4 bemessen werden.

6.3.2.7 LS3: Beulen der Trichterwand

- (1) Dieser Grenzzustand darf bei Silos der Schadensfolgeklasse 1 außer Acht gelassen werden.
- (2) Der Trichter sollte auf Beulen infolge horizontaler Einwirkungen aus Austragorganen oder angeschlossenen Bauteilen und gegebenenfalls infolge unsymmetrischer vertikaler Einwirkungen untersucht werden.
- (3) Die Bemessungs-Beulmembrankraft $n_{\phi h, Rd}$ am oberen Trichterrand sollte wie folgt ermittelt werden:

$$n_{\phi h, Rd} = 0,6 \alpha_{xh} E \left(\frac{t_h^2}{r} \right) \cos \beta / \gamma_{M1} \quad (6.18)$$

Dabei ist

- α_{xh} der elastische Imperfektions-Abminderungsfaktor für Meridianbeulen;
- t_h die örtliche Wanddicke des Trichters;
- r der Radius an der Abzweigung (oberer Trichterrand);
- γ_{M1} in 2.9.2 angegeben, jedoch sollte $n_{\phi, Rd}$ nicht größer als $n_{\phi, Rd} = t_h f_y / \gamma_{M1}$ angesetzt werden.

ANMERKUNG Der Wert von α_{xh} darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $\alpha_{xh} = 0,10$ empfohlen.

(4) Die Bemessungsmeridiankraft am oberen Trichterrand sollte die folgende Bedingung erfüllen:

$$n_{\phi h,Ed} \leq n_{\phi h,Rd} \quad (6.19)$$

6.4 Angaben zu speziellen Trichterkonstruktionen

6.4.1 Unterstützungskonstruktion

(1) Die Beeinflussung des Trichters aus einer diskreten Siloauflagerung sollte nach 5.4 behandelt werden. Die Unterstützungskonstruktionen selbst sollten nach EN 1993-1-1 bemessen werden; dabei gilt für die Grenze zwischen Silo und Unterstützungskonstruktion die Definition nach 1.1 (4).

6.4.2 Stützengelagerte Trichter

(1) Wenn die Trichterwand selbst auf diskreten Auflagern oder Stützen gelagert ist, die den oberen Trichterrand nicht erreichen, sollte sie mit Hilfe der Schalenbiegetheorie berechnet werden; siehe EN 1993-1-6.

(2) Für die Einleitung und Verteilung der Auflagerkräfte in die Trichterwand sollten geeignete konstruktive Vorkehrungen getroffen werden.

(3) Die Stöße der Trichterwand sollten für die von ihnen zu übertragenden, größtmöglichen örtlichen Schnittgrößen bemessen werden.

(4) Für Wandbereiche, in denen Druckmembranspannungen entstehen können, sollte ein Beulsicherheitsnachweis geführt werden; siehe EN 1993-1-6.

6.4.3 Unsymmetrische Trichter

(1) Wenn die Trichterachse nicht lotrecht, sondern gegenüber der Vertikalen um den Winkel ω geneigt ist (Bild 6.4), sollten beim Tragsicherheitsnachweis die aus dieser Geometrie resultierenden größeren Meridianspannungen auf der steileren Seite beachtet werden, und es sollten entsprechende Vorkehrungen getroffen werden, um einen angemessenen örtlichen Meridianwiderstand sicherzustellen.

6.4.4 Versteifte Kegelschalen

(1) Die Längssteifen (Meridiansteifen) sollten am oberen Trichterrand angemessen verankert werden.

(2) Bei meridianversteiften Trichterkegeln sollten die Kompatibilitätseffekte zwischen Wand und Steifen beachtet werden. Darüber hinaus sollten bei der Berechnung der Steifen- und Wandschnittgrößen die Querkontraktionseinflüsse aus der Umfangszugbeanspruchung der Trichterwand beachtet werden.

(3) Bei der Bemessung der Wandstöße sollte die infolge der Kompatibilitätseinflüsse erhöhte Zugbeanspruchung beachtet werden.

(4) Die Verbindung zwischen Steifen und Wandblech sollte für die zwischen ihnen wirkenden Verbundkräfte bemessen werden.

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

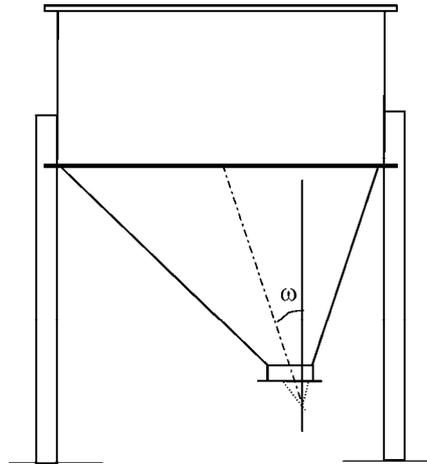


Bild 6.4 — Unsymmetrischer Trichter mit in den Zylinder eingebundenen Stützen

6.4.5 Mehrfach-Kegelschalen

- (1) Bei Trichtern, die aus mehreren Kegelsegmenten unterschiedlicher Wandneigung zusammengesetzt sind, sollten die maßgebenden Schüttguteinwirkungen für jedes Segment getrennt ermittelt und der Bemessung zu Grunde gelegt werden.
- (2) An Wandneigungssprüngen sollten beim Tragsicherheitsnachweis die örtlichen Zug- und Druckbeanspruchungen in Umfangsrichtung beachtet werden.
- (3) Die Gefahr starken Verschleißes an solchen Wandneigungssprüngen sollte bei der Bemessung ebenfalls berücksichtigt werden.

6.5 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

6.5.1 Grundlagen

- (1) Falls Gebrauchstauglichkeitskriterien als notwendig erachtet werden, sollten die entsprechenden Grenzwerte für den Trichter zwischen dem Tragwerksplaner und dem Bauherrn vereinbart werden.

6.5.2 Erschütterungen

- (1) Es sollte dafür gesorgt werden, dass der Trichter während des Betriebes keinen schweren Erschütterungen ausgesetzt ist.

7 Bemessung von kreisrunden konischen Dächern

7.1 Grundlagen

- (1) Bei der Bemessung von Silodächern sollten ständige, häufige und außergewöhnliche Einwirkungen beachtet werden, d. h. besonders Windlast, Schneelast, Nutzlasten und Teilvakuum.
- (2) Bei der Bemessung sollte außerdem die Möglichkeit von aufwärts gerichteten Dachlasten aus unbeabsichtigter Überfüllung oder unerwarteter Verflüssigung des gespeicherten Schüttgutes geprüft werden.

7.2 Unterscheidung zwischen verschiedenen Formen von Dachtragwerken

7.2.1 Begriffe

- (1) Ein aus gewalzten Blechen ohne unterstützende Träger oder Ringe gebildetes Kegelschalendach wird ‚Schalendach‘ oder ‚ungestütztes Dach‘ genannt.
- (2) Ein kegelförmiges Dach, dessen Dachbleche auf Trägern oder einem Trägerrost gelagert sind, wird ‚Gespärredach‘ oder ‚gestütztes Dach‘ genannt.

7.3 Tragsicherheitsnachweise für kreisrunde konische Silodächer

7.3.1 Schalendächer bzw. ungestützte Dächer

- (1) Schalendächer sollten nach den Anforderungen von EN 1993-1-6 bemessen werden. Dem wird für Kegeldächer mit einem Durchmesser von nicht mehr als 5 m Durchmesser und einer Dachneigung ϕ von nicht mehr als 40° gegenüber der Horizontalen Genüge getan, wenn die Nachweise nach den folgenden Regeln geführt werden.
- (2) Die berechneten Oberflächenvergleichsspannungen aus Schalenbiegung und Membrankräften sollten für jeden Punkt in der Schale auf folgenden Vergleichsspannungswiderstand begrenzt werden:

$$f_{c,Rd} = f_y / \gamma_{M0} \quad (7.1)$$

Wobei γ_{M0} nach 2.9.2 zu ermitteln ist.

- (3) Der ideale Beulaußendruck $p_{n,Rcr}$ eines isotropen Kegeldaches sollte wie folgt berechnet werden:

$$p_{n,Rcr} = 2,65 E \left(\frac{t \cos \phi}{r} \right)^{2,43} \cdot (\tan \phi)^{1,6} \quad (7.2)$$

Dabei ist

- r der Außenradius des Daches;
- t die kleinste Wanddicke;
- ϕ der Neigungswinkel des Kegels gegenüber der Horizontalen.

- (4) Der Bemessungs-Beulaußendruck (Bemessungswert des Beulwiderstandes) sollte wie folgt ermittelt werden:

$$p_{n,Rd} = \alpha_p p_{n,Rc} / \gamma_{M1} \quad (7.3)$$

Wobei γ_{M1} nach 2.9.2 zu ermitteln ist.

ANMERKUNG Der Wert von α_p darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $\alpha_p = 0,20$ empfohlen.

- (5) Der Bemessungswert des größten lokalen Außendruckes, der unter den in 7.1 definierten Einwirkungen auftritt, sollte die folgende Bedingung erfüllen:

$$p_{n,Ed} \leq p_{n,Rd} \quad (7.4)$$

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

7.3.2 Gespärredächer bzw. gestützte Dächer

(1) Gespärredächer bzw. gestützte Dächer sollten nach den in EN 1993-4-2 für Tankbauwerke angegebenen Regeln bemessen werden.

7.3.3 Traufkante (Knotenlinie zwischen Silodach und Siloschaft)

(1) Die Verbindung zwischen Dach und Zylinderschale einschließlich der Ringsteife entlang dieser Knotenlinie sollten ebenfalls nach den in EN 1993-4-2 für Tankbehälter angegebenen Bestimmungen bemessen werden.

8 Bemessung von Abzweigungsringen und Auflagerringträgern

8.1 Grundlagen

8.1.1 Allgemeines

(1) Stählerne Ringe oder Ringträger an der Abzweigung des Trichters vom zylindrischen Siloschaft sollten so dimensioniert werden, dass die grundlegenden Anforderungen an die Bemessung nach Abschnitt 2 erfüllt sind.

(2) Der Ring sollte den Anforderungen von EN 1993-1-6 entsprechen; die nachfolgenden Regeln erfüllen jene Anforderungen.

(3) Für Ringe in Silos der Schadensfolgeklasse 1 braucht kein Nachweis gegen die Grenzzustände ‚Zyklisches Plastizieren‘ und ‚Ermüdung‘ geführt zu werden, wenn die nachfolgenden Bedingungen eingehalten werden.

8.1.2 Bemessung des Ringes

(1) Der Ring oder Ringträger sollte auf Folgendes überprüft werden:

- Widerstand gegen plastisches Versagen unter Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung;
- Widerstand gegen Knicken unter Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung;
- Widerstand gegen örtliches Fließen unter Zug- oder Druckspannungen;
- Widerstand gegen örtliches Versagen über Auflagerungen;
- Widerstand gegen Torsionsversagen;
- Widerstand von Stößen und Verbindungen.

(2) Der Ringträger sollte den Anforderungen von EN 1993-1-6 entsprechen; die Regeln in 8.2 bis 8.5 erfüllen jene Anforderungen.

(3) Für Ringe in Silos der Schadensfolgeklasse 1 dürfen die Grenzzustände ‚Zyklisches Plastizieren‘ und ‚Ermüdung‘ außer Acht gelassen werden.

8.1.3 Begriffe

(1) Ein Ring, der ausschließlich der Aufnahme der radialen Kraftkomponenten aus dem Trichter dient, wird ‚Abzweigungsring‘ genannt.

- (2) Ein Ring, der der Verteilung vertikaler Kräfte zwischen verschiedenen Komponenten dient (z. B. von der Zylinderwand in diskrete Auflager), wird ‚Ringträger‘ genannt.
- (3) Die Knotenlinie zwischen den Mittelflächen der Trichterwand und der zylindrischen Schalenwand an der Abzweigung wird ‚Abzweigungszentrum‘ genannt und sollte als Referenzlinie für die rechnerischen Nachweise verwendet werden.
- (4) Ein Silo ohne konkreten Ring an der Abzweigung (siehe Bild 8.1) besitzt einen effektiven Ring (Ersatzring), der aus mittragenden Teilen der angrenzenden Schalen besteht; er wird ‚natürlicher Ring‘ genannt.
- (5) Eine Kreisringplatte an der Abzweigung wird ‚Plattenring‘ genannt, siehe Bild 8.1.
- (6) Ein Walzprofil als Ringsteife an der Abzweigung wird ‚Profilring‘ genannt.
- (7) Ein Walzprofil, das um den Siloumfang herumläuft und den Siloschaft unterhalb der Abzweigung abstützt, wird ‚gewalzter Ringträger‘ genannt.
- (8) Ein aus Stahlblechen, die die Form von niedrigen Zylindern und Kreisringplatten haben, aufgebautes Tragglied wird ‚zusammengesetzter Ringträger‘ genannt; siehe Bild 8.1.

8.1.4 Modellierung des Abzweigungsbereiches

- (1) Bei "Handberechnungen" sollte der Abzweigungsbereich ausschließlich durch zylindrische und konische Schalensegmente und Kreisringplatten repräsentiert werden.
- (2) Bei gleichmäßig aufgelagerten Silos dürfen die Umfangsspannungen in den Kreisringplatten als in jeder Platte konstant angenommen werden.
- (3) Bei diskret aufgelagerten Silos sollte berücksichtigt werden, dass die Umfangsspannungen in den Kreisringplatten als Folge von Wölbspannungen in radialer Richtung veränderlich sind.

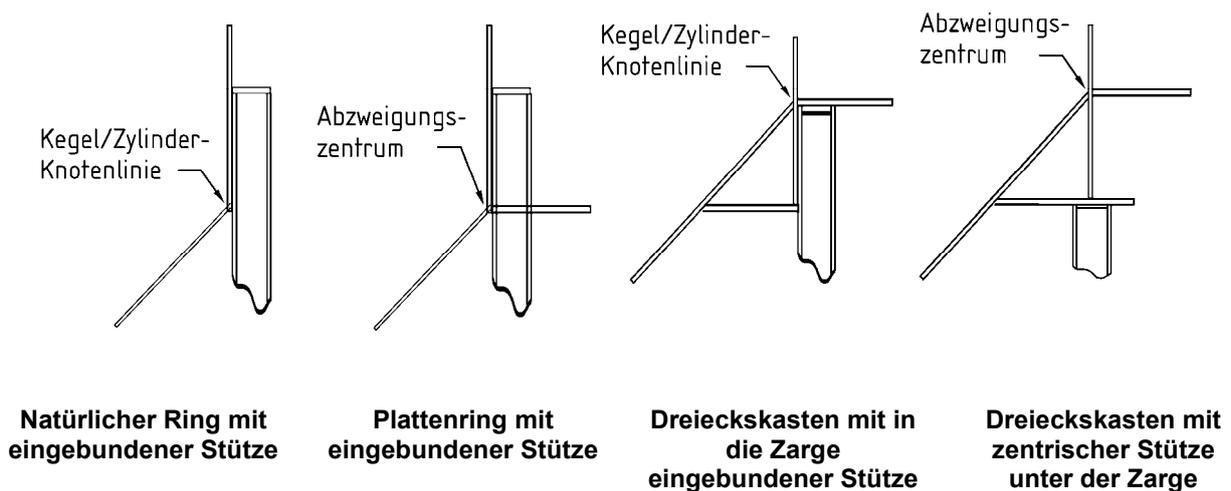


Bild 8.1 — Beispiele für Ringformen

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

8.1.5 Grenzen für die Ringanordnung

(1) Der vertikale Abstand eines Platten- oder Profilinges vom Abzweigungszentrum sollte nicht größer als $0,2\sqrt{rt}$ sein, wobei t die Zylinderwanddicke ist, es sei denn, es wird eine Schalenbiegeberechnung nach EN 1993-1-6 durchgeführt, um den Einfluss der Exzentrizität erfassen zu können.

ANMERKUNG Diese Regel leitet sich aus der Unwirksamkeit von in größerem Abstand zur Abzweigung angeordneten Ringen ab, siehe Bild 8.2.

(2) Die vereinfachten Regeln in 8.2 gelten nur unter der Voraussetzung, dass die Bedingung (1) eingehalten wird.

8.2 Berechnung des Abzweigungsbereiches

8.2.1 Allgemeines

(1) Für Silos der Schadensfolgeklasse 1 darf der Abzweigungsbereich mit Hilfe einfacher, membrantheoretisch hergeleiteter Formeln und Belastungen aus den angrenzenden Schalensegmenten berechnet werden.

(2) Wenn für den Abzweigungsbereich eine genauere Computerberechnung durchgeführt wird, sollte diese die Anforderungen von EN 1993-1-6 erfüllen.

(3) Für gleichmäßig aufgelagerte Silos darf anstelle einer genaueren Computerberechnung die Berechnung nach 8.2.2 durchgeführt werden.

(4) Für diskret aufgelagerte Silos sollte anstelle einer genaueren Computerberechnung die Berechnung nach 8.2.3 durchgeführt werden.

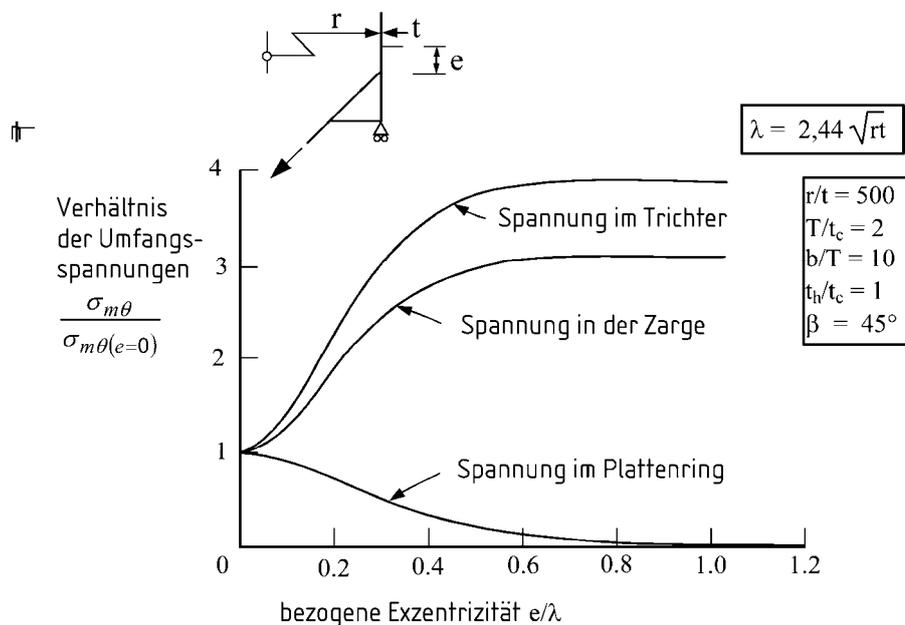


Bild 8.2 — Membranspannungen im Ring und in den angrenzenden Schalen bei exzentrisch angeordnetem Ring

8.2.2 Gleichmäßig unterstützte Abzweigungsbereiche

(1) Der effektive Querschnitt des Abzweigungsbereiches sollte wie folgt festgelegt werden: Die im Abzweigungszentrum zusammentreffenden Schalensegmente sollten in die beiden Gruppen oberhalb (Gruppe A) und unterhalb (Gruppe B) eingeteilt werden, siehe Bild 8.3 a). Alle Kreisringplatten auf Höhe des Abzweigungszentrums sollten zunächst außer Acht gelassen werden. Vertikale Flansche an der Kreisringplatte außerhalb des Abzweigungszentrums sollten als Schalensegmente analog zu den anderen behandelt werden, siehe Bild 8.3.

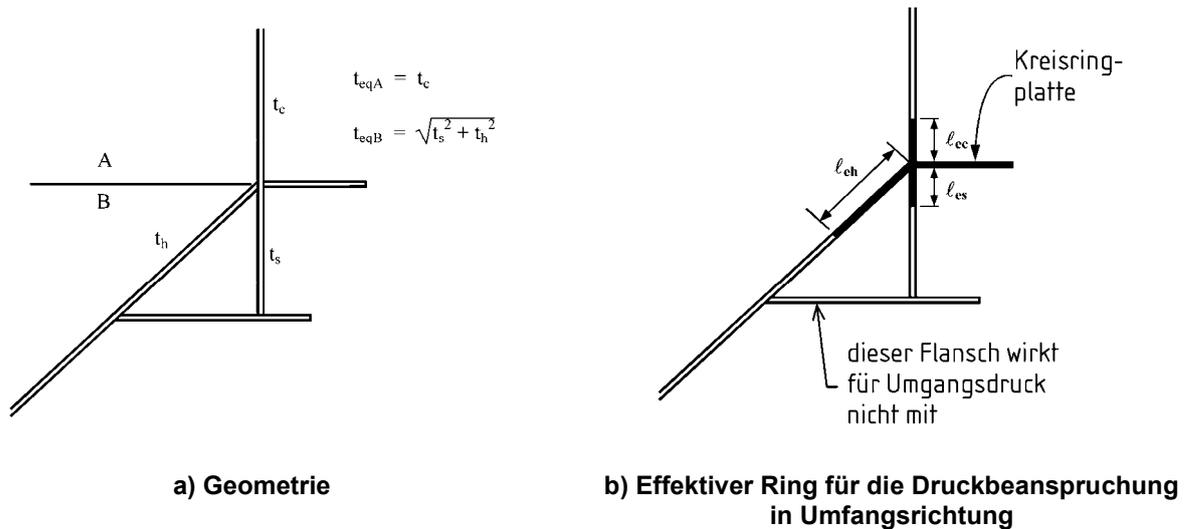


Bild 8.3 — Effektiver Querschnitt des Abzweigungsbereiches Zylinder/Trichter/Ring

(2) Die Ersatzdicken t_{eqA} und t_{eqB} der beiden Schalengruppen sollten wie folgt ermittelt werden:

$$t_{eqA} = \sqrt{\sum_A t^2} \quad (8.1)$$

$$t_{eqB} = \sqrt{\sum_B t^2} \quad (8.2)$$

(3) Das Verhältnis α zwischen dünnerer und dickerer Ersatzschale sollte wie folgt ermittelt werden:

$$\alpha = \frac{(t_{eq})_{\text{dünner}}}{(t_{eq})_{\text{dicker}}} \quad (8.3)$$

mit:

$$(t_{eq})_{\text{dünner}} = \min(t_{eqA}, t_{eqB}) \quad (8.4)$$

$$(t_{eq})_{\text{dicker}} = \max(t_{eqA}, t_{eqB}) \quad (8.5)$$

(4) Für die dünnere der beiden Schalengruppen sollte die mittragende Länge jedes Schalensegmentes wie folgt ermittelt werden:

$$l_{e1} = 0,778 \sqrt{\frac{r t}{\cos \beta}} \quad (8.6)$$

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

Dabei ist β der Winkel zwischen dem Meridian des betreffenden Schalensegmentes und der Siloachse (halber Kegelöffnungswinkel). Die effektive Querschnittsfläche jedes Schalensegmentes ergibt sich dann zu:

$$A_{e1} = \ell_{e1} t \quad (8.7)$$

Für die dickere der beiden Schalengruppen sollte die mittragende Länge jedes Schalensegmentes wie folgt ermittelt werden:

$$\ell_{e2} = 0,389 \left[1 + 3\alpha^2 - 2\alpha^3 \right] \sqrt{\frac{r t}{\cos \beta}} \quad (8.8)$$

Für diese Gruppe ergibt sich die effektive Querschnittsfläche jedes Schalensegmentes dann zu:

$$A_{e2} = \ell_{e2} t \quad (8.9)$$

(5) Die effektive Querschnittsfläche A_{ep} eines Plattenringes (Kreisringplatte an der Abzweigung) sollte wie folgt ermittelt werden:

$$A_{ep} = \frac{b t_p}{1 + 0,8 \frac{b}{r}} \quad (8.10)$$

Dabei ist

- r der Radius der Silo-Zylinderwand;
- b die radiale Breite der Kreisringplatte;
- t_p die Dicke der Kreisringplatte.

(6) Die effektive Gesamtquerschnittsfläche A_{et} des Ersatzringes zur Aufnahme von Druckspannungen in Umfangsrichtung sollte wie folgt ermittelt werden:

$$A_{et} = A_{ep} + \sum_{i=1}^{\text{alle Segmente}} A_{ei} \quad (8.11)$$

(7) Wenn an der Abzweigung nur ein zylindrischer Siloschaft, eine zylindrische Standzarge und ein konischer Trichter zusammentreffen (siehe Bild 8.4), kann die effektive Gesamtquerschnittsfläche A_{et} des Ersatzringes alternativ wie folgt ermittelt werden:

$$A_{et} = A_{ep} + 0,778 \sqrt{r} \left\{ t_e^{3/2} + \psi \left(\frac{t_h^{3/2}}{\sqrt{\cos \beta}} + t_s^{3/2} \right) \right\} \quad (8.12)$$

mit:

$$\psi = 0,5 (1 + 3 \alpha^2 - 2 \alpha^3) \quad (8.13)$$

$$\alpha = \frac{t_c}{\sqrt{t_s^2 + t_h^2}} \quad (8.14)$$

Dabei ist

- r der Radius der Silo-Zylinderwand;
- t_c die Dicke der Silo-Zylinderwand;

- t_s die Dicke der Standzarge;
 t_h die Dicke des Trichters;
 A_{ep} die effektive Querschnittsfläche des Plattenringes.

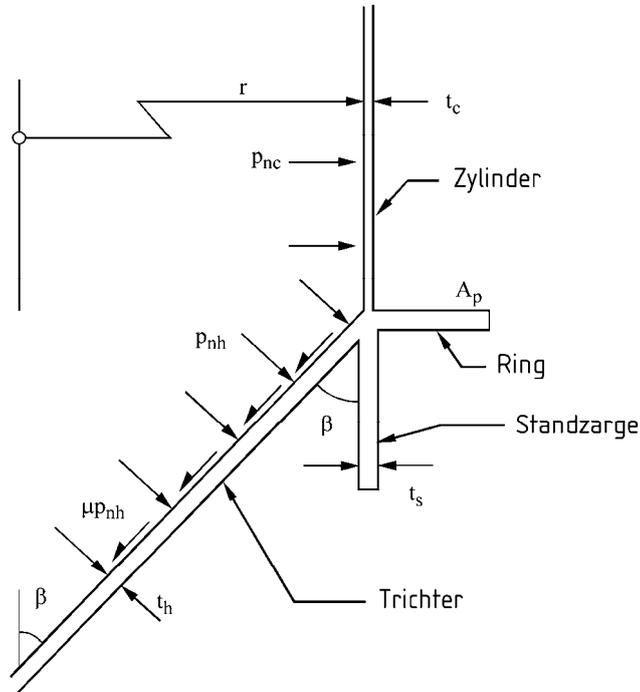


Bild 8.4 — Bezeichnungen bei einer einfachen Abzweigung mit Plattenring (Kreisringplatte)

- (8) Wird an der Abzweigung ein Ring mit komplexerer Querschnittsgeometrie vorgesehen, so dürfen nur solche Ringplattenelemente als mittragend einbezogen werden, die die Bedingung in 8.1.5 (1) einhalten.
- (9) Der Bemessungswert der in Umfangsrichtung an der Abzweigung wirksamen Druckkraft $N_{\theta,Ed}$ sollte wie folgt ermittelt werden:

$$N_{\theta,Ed} = n_{\phi h,Ed} r \sin \beta - p_{nc} r \ell_{ec} - p_{nh} (\cos \beta - \mu \sin \beta) r \ell_{eh} \quad (8.15)$$

Dabei ist (siehe Bild 8.5)

- r der Radius der Silo-Zylinderwand;
 β der halbe Kegelöffnungswinkel des Trichters (am oberen Rand);
 ℓ_{ec} die mittragende Länge des Zylindersegmentes oberhalb der Abzweigung (siehe (4));
 ℓ_{eh} die mittragende Länge des Kegelsegmentes (siehe (4));
 $n_{\phi h,Ed}$ der Bemessungswert der Meridianzugkraft je Umfangslängeneinheit am oberen Trichterrand;
 p_{nc} der über die mittragende Zylinderlänge gemittelte örtliche Wanddruck;
 p_{nh} der über die mittragende Kegellänge gemittelte Wanddruck;
 μ der Wandreibungskoeffizient an der Trichterwand.

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

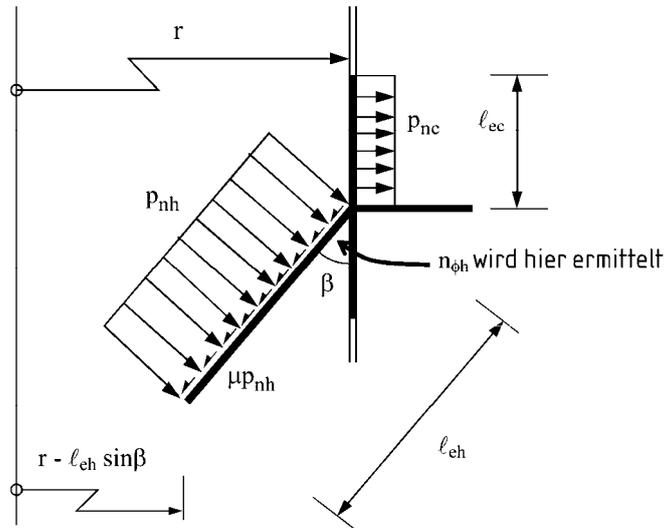


Bild 8.5 — Örtliche Wanddrücke und Membrankräfte, die den Abzweigungsbereich belasten

(10) Der Bemessungswert der in einem gleichmäßig unterstützten Abzweigungsbereich vorhandenen größten Druckspannung in Umfangsrichtung $\sigma_{u\theta,Ed}$ sollte wie folgt ermittelt werden:

$$\sigma_{u\theta,Ed} = \frac{N_{\theta,Ed}}{\eta A_{et}} \quad (8.16)$$

mit:

$$\eta = 1 + 0,3 \frac{b}{r} \quad (8.17)$$

Dabei ist

$N_{\theta,Ed}$ der Bemessungswert der wirksamen Umfangsdruckkraft, siehe Absatz (9);

A_{et} die effektive Gesamtquerschnittsfläche des Ringes, siehe Absatz (7);

r der Radius der Silo-Zylinderwand;

b die Breite des Plattenringes.

8.2.3 Ringträger an der Abzweigung

(1) Für Silos der Schadensfolgeklasse 3 sollte eine numerische Tragwerksberechnung durchgeführt werden, bei der alle flächenhaften Elemente als Schalensegmente modelliert werden und bei der in keinem der gekrümmten Elemente einem Prismenstab entsprechendes Verhalten angenommen wird. In der Berechnung sollte auch die finite Breite der diskreten Auflagerung berücksichtigt werden.

(2) Bei Silos der anderen Schadensfolgeklassen sollten die Biege- und Torsionsmomente im Ringträger unter Berücksichtigung von Last- und Auflagerexzentrizitäten gegenüber der Ringträgerachse berechnet werden.

(3) Der Gesamtwert der im Ringträger wirksamen Drucknormalkraft sollte als in Umfangsrichtung konstant angenommen und wie folgt ermittelt werden:

$$N_{\theta,Ed} = n_{\phi h,Ed} r_c \sin \beta - p_{nc} r_c \ell_{ec} - p_{nh} (\cos \beta - \mu \sin \beta) r_c \ell_{ch} \quad (8.18)$$

Dabei ist (siehe Bild 8.5)

- r_c der Radius der Silo-Zylinderwand;
- β der halbe Kegelöffnungswinkel des Trichters (am oberen Rand);
- ℓ_{ec} die mittragende Länge des Zylindersegmentes oberhalb der Abzweigung (siehe 8.2.2 (4));
- ℓ_{eh} die mittragende Länge des Kegelsegmentes (siehe 8.2.2 (4));
- $n_{\phi h, Ed}$ der Bemessungswert der Meridianzugkraft je Umfangslängeneinheit am oberen Trichterrand;
- p_{nc} der über die mittragende Zylinderlänge gemittelte örtliche Wanddruck;
- p_{nh} der über die mittragende Kegellänge gemittelte Wanddruck;
- μ der Wandreibungskoeffizient an der Trichterwand.

(4) Die in Abhängigkeit von der Umfangskoordinate θ veränderlichen Bemessungswerte des Ringträger-Biegemomentes $M_{r, Ed}$ um die horizontale (radiale) Querschnittsachse (Feldmomente positiv) und des Ringträger-Torsionsmomentes $T_{\theta, Ed}$ sollten wie folgt ermittelt werden:

$$\boxed{\text{AC}} M_{r, Ed} = n_{v, Ed} (r_g - e_r) [(r_g - e_s) \theta_0 (\sin \theta + \cot \theta_0 \cos \theta) - r_g + e_r] + n_{r, Ed} e_x (r_g - e_r) \quad \boxed{\text{AC}} \quad (8.19a) \quad \boxed{\text{AC}}$$

$$\boxed{\text{AC}} T_{\theta, Ed} = n_{v, Ed} (r_g - e_r) [(r_g - e_s) \theta_0 (\cot \theta_0 \sin \theta - \cos \theta) + r_g (\theta_0 - \theta)] \quad \boxed{\text{AC}} \quad (8.19b) \quad \boxed{\text{AC}}$$

mit:

$$\theta_0 = \frac{\pi}{j} \quad \boxed{\text{AC}} \quad (8.20) \quad \boxed{\text{AC}}$$

$$\boxed{\text{AC}} n_{v, Ed} = n_{xc, Ed} + n_{\phi h, Ed} \cos \beta \quad (8.21a)$$

$$n_{r, Ed} = n_{\phi h, Ed} \sin \beta \quad (8.21b) \quad \boxed{\text{AC}}$$

Dabei ist (siehe Bild 8.6)

- θ die Umfangskoordinate (im Bogenmaß), von einem Auflager aus gemessen;
- θ_0 der zur halben Ringträger-Stützweite gehörende Umfangswinkel (im Bogenmaß);
- j die Anzahl der äquidistant über den Umfang verteilten Auflagerungen;
- r_g der Radius der Ringträgerachse;
- e_r die radiale Exzentrizität zwischen Zylinder und Ringträgerachse (positiv, wenn die Ringträgerachse einen größeren Radius hat);
- e_s die radiale Exzentrizität zwischen Auflagerungen und Ringträgerachse (positiv, wenn die Ringträgerachse einen größeren Radius hat);
- e_x die vertikale Exzentrizität zwischen Abzweigungszentrum und Ringträgerachse (positiv, wenn die Ringträgerachse unter dem Abzweigungszentrum liegt);
- $\boxed{\text{AC}} n_{v, Ed} \quad \boxed{\text{AC}}$ der Bemessungswert der axialen Druckmembrankraft am unteren Zylinderrand;
- $\boxed{\text{AC}} n_{r, Ed} \quad \boxed{\text{AC}}$ der Bemessungswert der meridionalen Zugmembrankraft am oberen Trichterrand.

(5) Die Bemessungswerte der größten Biegemomente um die horizontale (radiale) Querschnittsachse über der Auflagerung $M_{rs, Ed}$ und in Feldmitte zwischen den Auflagerungen $M_{rm, Sd}$ sollten wie folgt ermittelt werden:

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

$$\boxed{\text{AC}} M_{rs,Ed} = n_{v,Ed} (r_g - e_r) [(r_g - e_s) \theta_0 \cot \theta_0 - r_g + e_r] + n_{r,Ed} e_x (r_g - e_r) \boxed{\text{AC}} \quad (8.22)$$

$$\boxed{\text{AC}} M_{rm,Ed} = n_{v,Ed} (r_g - e_r) [(r_g - e_s) \theta_0 \sin \theta_0 - r_g + e_r] + n_{r,Ed} e_x (r_g - e_r) \boxed{\text{AC}} \quad (8.23)$$

(6) Bei offenem Ringträgerquerschnitt sollte, falls keine genauere Berechnung erfolgt, zur Torsionsübertragung nur Wölb-torsion in Anspruch genommen werden. In diesem Falle sollten die Bemessungswerte der größten Flanschbiegemomente um ihre vertikale Achse in jedem Flansch über der Auflagerung $M_{fs,Ed}$ und in Feldmitte zwischen den Auflagern $M_{fm,Ed}$ wie folgt ermittelt werden:

$$\boxed{\text{AC}} M_{fs,Ed} = n_{v,Ed} \frac{r_g (r_g - e_r)}{h} \left[(r_g - e_s) (1 - \theta_0 \cot \theta_0) - \frac{r_g \theta_0^2}{3} \right] \boxed{\text{AC}} \quad (8.24)$$

$$\boxed{\text{AC}} M_{fm,Ed} = n_{v,Ed} \frac{r_g (r_g - e_r)}{h} \left[(r_g - e_s) (1 - \theta_0 / \sin \theta_0) + \frac{r_g \theta_0^2}{6} \right] \boxed{\text{AC}} \quad (8.25)$$

Dabei ist

h der vertikale Abstand zwischen den Flanschen des Ringträgers.

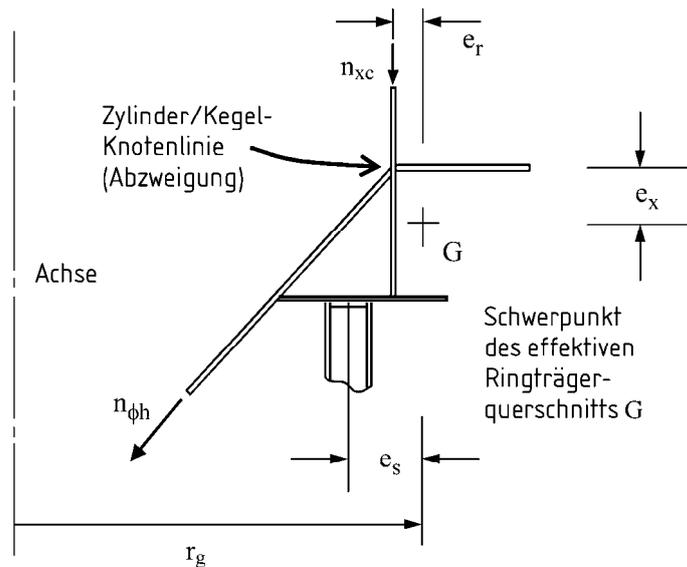


Bild 8.6 — Exzentrizitäten der Vertikallasten am Ringträger

(7) Die Umfangsmembranspannungen $\sigma_{\theta,Ed}$ in den einzelnen Flanschen des Ringträgers sollten aus der Normalkraft $N_{\theta,Ed}$, dem Biegemoment um die Radialachse $M_{r,Ed}$ und den Wölb-Flanschbiegemomenten $M_{fs,Ed}$ mit Hilfe der elementaren Querschnittswerte aus den in Absätzen (3) bis (6) angegebenen Schnittgrößen ermittelt werden.

(8) Der absolute Größtwert der Umfangsmembranspannung $\sigma_{\theta,Ed}$ (Zug oder Druck) in irgendeinem Flansch des Ringträgers an irgendeiner Stelle entlang des Umfangs wird mit $\sigma_{m\theta,Ed}$ bezeichnet.

(9) Der größte Druckwert der Umfangsmembranspannung $\sigma_{\theta,Ed}$ in irgendeinem Flansch des Ringträgers an irgendeiner Stelle entlang des Umfangs wird mit $\sigma_{c\theta,Ed}$ bezeichnet.

8.3 Tragwiderstände

8.3.1 Allgemeines

(1) Der Abzweigungsbereich sollte den Anforderungen von EN 1993-1-6 entsprechen, diesen wird jedoch Genüge getan, wenn die Bemessungswerte der Bauteilwiderstände nach den folgenden Regeln ermittelt werden.

8.3.2 Widerstand gegen plastisches Versagen

8.3.2.1 Allgemeines

(1) Der Bemessungswert des Widerstandes sollte nach den Regeln von EN 1993-1-6 ermittelt werden. Ersatzweise und auf der sicheren Seite dürfen die nachfolgenden vereinfachten Näherungen verwendet werden.

8.3.2.2 Widerstand auf der Grundlage einer elastischen Berechnung

(1) Grundlage für den Nachweis gegen plastisches Versagen sollte die Spannung an der höchstbeanspruchten Stelle im Bereich der Abzweigung sein.

(2) Der Bemessungswert des Widerstandes gegen plastisches Versagen sollte demzufolge wie folgt ermittelt werden:

$$f_{p,Rd} = f_y / \gamma_{M0} \quad (8.26)$$

8.3.2.3 Widerstand auf der Grundlage einer plastischen Berechnung

(1) Als Bemessungswert des Widerstandes gegen plastisches Versagen sollte die größte erreichbare Membranzugkraft $n_{\phi h,Rd}$ im Trichter an der Abzweigung verwendet werden.

(2) Der Bemessungswert des Widerstandes gegen plastisches Versagen $n_{\phi h,Rd}$ sollte demzufolge wie folgt ermittelt werden:

$$\boxed{\text{AC}} \quad n_{\phi h,Rd} = \frac{1}{\sin \beta} \left\{ \left(\frac{A_p + l_{oc} t_c + l_{os} t_s + l_{oh} t_h}{r} \right) \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} + p_{nc} l_{oc} + p_{nh} (\cos \beta - \mu \sin \beta) l_{oh} \right\} \boxed{\text{AC}} \quad (8.27)$$

mit:

$$\alpha = \sqrt{\frac{t_c^2}{t_s^2 + t_h^2}} \quad (8.28)$$

$$\psi = 0,7 + 0,6 \alpha^2 - 0,3 \alpha^3 \quad (8.29)$$

— für den Zylinder $l_{oc} = 0,975 \sqrt{r t_c}$

— für die Standzarge $l_{os} = 0,975 \psi \sqrt{r t_s}$

— für den Trichterkegel $l_{oh} = 0,975 \psi \sqrt{\frac{r t_h}{\cos \beta}}$

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

Dabei ist (siehe Bild 8.5)

r	der Radius der Silo-Zylinderwand;
t_c	die Wanddicke des Zylinders;
t_s	die Wanddicke der Standzarge;
t_h	die Wanddicke des Trichters;
A_p	die Querschnittsfläche des Ringes;
β	der halbe Kegelöffnungswinkel des Trichters (am oberen Rand);
l_{oc}	die plastisch mittragende Länge des Silozylinders oberhalb der Abzweigung;
l_{oh}	die plastisch mittragende Länge des Trichterkegels;
l_{os}	die plastisch mittragende Länge der Standzarge unterhalb der Abzweigung;
$n_{\phi h, Rd}$	der Bemessungswert des Meridianmembrankraftwiderstandes je Umfangslängeneinheit am oberen Trichterrand;
p_{nc}	der über die mittragende Zylinderlänge gemittelte örtliche Wanddruck;
p_{nh}	der über die mittragende Kegellänge gemittelte Wanddruck;
μ	der Wandreibungskoeffizient an der Trichterwand.

8.3.3 Widerstand gegen Knicken innerhalb der Ringebene

(1) Der Bemessungswert des Widerstandes sollte nach den Regeln von EN 1993-1-6 ermittelt werden. Ersatzweise und auf der sicheren Seite dürfen die nachfolgenden vereinfachten Näherungen verwendet werden.

(2) Grundlage für den Nachweis gegen Knicken innerhalb der Ringebene sollte die größte Umfangs-Druckmembranspannung im Bereich der Abzweigung sein.

(3) Der Bemessungswert des Widerstandes gegen Knicken innerhalb der Ringebene sollte demzufolge als Bemessungs-Knickspannung $\sigma_{ip, Rd}$ wie folgt ermittelt werden:

$$\sigma_{ip, Rd} = \frac{4 EI_z}{A_{et} r_g^2} \cdot \frac{1}{\gamma_{M1}} \quad (8.30)$$

Dabei ist

EI_z	die Biegesteifigkeit des Ersatzringquerschnittes (siehe Bild 8.3) um seine vertikale Achse;
A_{et}	die effektive Querschnittsfläche des Ersatzringes nach 8.2.2;
r_g	der Radius der Schwerachse des Ersatzringquerschnittes.

(4) Die vorstehende Berechnung eines Knickwiderstandes und der zugehörige Tragsicherheitsnachweis in 8.4 dürfen entfallen, wenn der halbe Kegelöffnungswinkel β größer ist als β_{lim} .

ANMERKUNG Der Wert von β_{lim} darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $\beta_{lim} = 20^\circ$ empfohlen.

8.3.4 Widerstand gegen Knicken aus der Ringebeine heraus und gegen örtliches Beulen**8.3.4.1 Allgemeines**

(1) Der Bemessungswert des Widerstandes sollte nach den Regeln von EN 1993-1-6 ermittelt werden. Ersatzweise und auf der sicheren Seite dürfen die nachfolgenden vereinfachten Näherungen verwendet werden.

8.3.4.2 Örtliches Beulen der Schale in der Nähe des Abzweigungsbereiches

(1) Bei Abzweigungsbereichen ohne Ring an der Abzweigung (einfache Kegel/Zylinder-Knotenlinie) oder bei ringversteiften Abzweigungen sollte als Bemessungswert des Beulwiderstandes der an den Abzweigungsbereich angrenzenden Wand die Bemessungs-Beulspannung $\sigma_{\text{op,Rd}}$ verwendet werden:

$$\sigma_{\text{op,Rd}} = \frac{1}{\gamma_{\text{M1}}} \cdot 4,1 (\cos \beta)^{0,4} \cdot \left(\frac{t}{r_s} \right)^{1,5} \cdot \left(\frac{E t r_g}{A_{\text{et}}} \right) \quad (8.31)$$

mit:

$r_s = r$ für die zylindrische Wand;

$r_s = \frac{r}{\cos \beta}$ für die konische Trichterwand.

Dabei ist

r der Radius der Silo-Zylinderwand;

β der halbe Kegelöffnungswinkel des Trichters (am oberen Rand);

t die Wanddicke des betreffenden Schalensegments;

A_{et} die effektive Querschnittsfläche des Ersatzringes nach 8.2.2;

r_g der Radius der Schwerachse des Ersatzringquerschnittes.

8.3.4.3 Abzweigung mit Plattenring

(1) Für Abzweigungen mit Plattenring sollte als Bemessungswert des Widerstandes gegen Knicken aus der Ringebeine heraus die Bemessungs-Knickspannung $\sigma_{\text{op,Rd}}$ verwendet werden:

$$\sigma_{\text{op,Rd}} = kE \left(\frac{t_p}{b} \right)^2 \cdot \frac{1}{\gamma_{\text{M1}}} \quad (8.32)$$

mit:

$$k = \frac{\eta_c k_c + \eta_s k_s}{\eta_c + \eta_s} \quad (8.33)$$

$$k_s = 0,385 + 0,452 \sqrt{\frac{b}{r}} \quad (8.34)$$

$$k_c = 1,154 + 0,56 \frac{b}{r} \quad (8.35)$$

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

$$\eta_s = 0,43 + 0,1 \left(\frac{r}{20b} \right)^2 \quad (8.36)$$

$$\eta_c = 0,5 \left\{ \left(\frac{t_c}{t_p} \right)^{5/2} + \left(\frac{t_s}{t_p} \right)^{5/2} + \left(\frac{t_h}{t_p} \right)^{5/2} \right\} \quad (8.37)$$

Dabei ist

- r der Radius der Silo-Zylinderwand;
- t_c die Wanddicke des Zylinders;
- t_s die Wanddicke der Standzarge;
- t_h die Wanddicke des Trichters;
- t_p die Dicke des Plattenringes;
- b die Breite des Plattenringes;
- k_c der Plattenbeulkoeffizient für einen Ring mit eingespanntem Innenrand;
- k_s der Plattenbeulkoeffizient für einen Ring mit gelenkig gelagertem Innenrand;
- γ_{M1} der Teilsicherheitsbeiwert nach 2.9.2.

8.3.4.4 Abzweigung mit T-Ring

(1) Die folgenden Regeln gelten für einen Ring an der Abzweigung, der aus einer Kreisringplatte der Breite b_p mit einem symmetrisch angeordneten Versteifungsflansch der Höhe b_f an ihrem Außenrand besteht, so dass ein T-Querschnitt mit Basis im Verzweigungszentrum entsteht.

(2) Grundlage für den Nachweis gegen Knicken eines T-Ringes aus der Ringebene heraus sollte die größte Umfangsmembrandruckspannung am Innenrand der zentralen Kreisringplatte des Ringes sein. Der Bemessungswert des Widerstandes sollte demzufolge als Bemessungs-Knickspannung $\sigma_{op,Rd}$ wie folgt ermittelt werden:

$$\sigma_{op,Rd} = \frac{\eta_s \sigma_s + \eta_c \sigma_c}{\eta_s + \eta_c} \cdot \frac{1}{\gamma_{M1}} \quad (8.38)$$

mit:

$$\eta_s = 0,385 + \left(\frac{r}{175 b_p} \right)^2 \quad (8.39)$$

$$\eta_c = 0,5 \left\{ \left(\frac{t_c}{t_p} \right)^{5/2} + \left(\frac{t_s}{t_p} \right)^{5/2} + \left(\frac{t_h}{t_p} \right)^{5/2} \right\} \quad (8.40)$$

$$\sigma_s = \frac{EI_r}{A r_0^2} \left(0,2 \frac{b_p}{r} + \frac{G I_t}{EI_r} + 2 \sqrt{\frac{G I_t b_p}{EI_r r}} \right) \quad (8.41)$$

$$\sigma_c = E \left(\frac{t_p}{b_p} \right)^{1,1} \cdot \frac{(1 + 5\rho)(1 + 32\rho - 16\rho^2)}{64 \left(1 + 5 \frac{b_f t_f}{b_p t_p} \right)} \quad (8.42)$$

$$r_o^2 = \frac{I_r + I_z + A x_c^2}{A} \quad (8.43)$$

$$\rho = \frac{b_f}{b_p} \left(\frac{t_f}{t_p} \right)^{1/3} \quad (8.44)$$

Dabei ist

- r der Radius der Silo-Zylinderwand;
- t_c die Wanddicke des Zylinders;
- t_s die Wanddicke der Standzarge;
- t_h die Wanddicke des Trichters;
- t_p die Dicke der Kreisringplatte;
- t_f die Dicke des vertikalen Außenflansches des T-Querschnitts;
- b_p die Breite der Kreisringplatte;
- b_f die Höhe (Flanscbreite) des vertikalen Außenflansches des T-Querschnitts;
- A die Querschnittsfläche des T-Ringes;
- x_c der Schwerpunktabstand des T-Querschnittes von seinem Innenrand;
- I_r das Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment) des T-Querschnitts um seine radiale Achse;
- I_z das Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment) des T-Querschnitts um seine vertikale Achse;
- I_t das St.Venantsche Torsionsträgheitsmoment des T-Querschnitts;
- γ_{M1} der Teilsicherheitsbeiwert nach 2.9.2.

8.4 Tragsicherheitsnachweise

8.4.1 Gleichmäßig unterstützte Abzweigungsbereiche

(1) Wenn für den Silo eine computergestützte Schalenberechnung durchgeführt wurde, sollten die Nachweise nach EN 1993-1-6 geführt werden. Falls die Computerberechnung keine Beulanalyse einschließt, dürfen die Beulwiderstände nach 8.3 für die nach EN 1993-1-6 geforderten Nachweise verwendet werden.

(2) Bei Silos, die über eine Standzarge gleichmäßig auf einem Fundament aufgelagert sind (siehe 5.4.2) und für die die Berechnungen nach 8.2 durchgeführt wurden, darf angenommen werden, dass die Abzweigung nur durch die in 8.2.2 (10) ermittelte konstante Umfangsmembranspannung $\sigma_{u,\theta Ed}$ beansprucht wird. Die Tragsicherheitsnachweise sollten dann wie nachfolgend beschrieben geführt werden.

(3) Wird der Nachweis gegen plastisches Versagen des Abzweigungsbereiches auf der Grundlage einer elastischen Berechnung geführt, so sollte er wie folgt geführt werden:

$$\sigma_{u,\theta,Ed} \leq f_{p,Rd} \quad (8.45)$$

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

Dabei ist

$\sigma_{u,\theta,Ed}$ der Bemessungswert der Umfangsdruckspannung nach 8.2.2 (10);

$f_{p,Rd}$ der Bemessungswert des Widerstandes gegen plastisches Versagen nach 8.3.2.2.

(4) Wird der Nachweis gegen plastisches Versagen des Abzweigungsbereiches auf der Grundlage einer plastischen Berechnung geführt, so sollte er wie folgt geführt werden:

$$n_{\phi h,Ed} \leq n_{\phi h,Rd} \quad (8.46)$$

Dabei ist

$n_{\phi h,Ed}$ der Bemessungswert der Meridian-Zugmembrankraft am oberen Trichterrand;

$n_{\phi h,Rd}$ der Bemessungswert des Widerstandes gegen plastisches Versagen nach 8.3.2.3.

(5) Der Nachweis gegen Knicken des Abzweigungsbereiches innerhalb der Ringebeine sollte wie folgt geführt werden:

$$\sigma_{u\theta,Ed} \leq \sigma_{ip,Rd} \quad (8.47)$$

Dabei ist

$\sigma_{u\theta,Ed}$ der Bemessungswert der Umfangsdruck-Spannung nach 8.2.2 (10);

$\sigma_{ip,Rd}$ der Bemessungswert des Widerstandes gegen Knicken innerhalb der Ringebeine nach 8.3.3.

(6) Der Nachweis gegen Knicken innerhalb der Ringebeine darf entfallen, wenn die folgenden beiden Bedingungen erfüllt sind:

- der halbe Kegelöffnungswinkel β ist größer als β_{lim} , und über dem Ring befindet sich ein Zylinder;
- Unrundheits-Verformungen des oberen Zylinderrandes werden, falls die Höhe L des Zylinders geringer als $L_{min} = k_L \sqrt{rt}$ ist, durch einen Ring behindert, dessen Biegesteifigkeit EI_z um seine vertikale Achse (Biegung in Umfangsrichtung) größer ist als:

$$EI_{z,min} = k_R E (rt)^2 \sqrt{(t/r)} \quad (8.48)$$

Dabei ist

t die Dicke des dünnsten Schusses im Zylinder.

ANMERKUNG 1 Die Werte von β_{lim} , k_L und k_R dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es werden Werte von $\beta_{lim} = 10^\circ$; $k_L = 10$ und $k_R = 0,04$ empfohlen.

ANMERKUNG 2 Die Anforderung, dass der obere Zylinderrand gehalten sein sollte, um seine Rundheit sicherzustellen, gilt nur für kurze Zylinder über der Abzweigung, da höhere Zylinder, auch ohne am oberen Rand gehalten zu sein, ausreichend widerstandsfähig gegen diese Art des Ringknickens sind.

(7) Der Nachweis gegen Knicken des Abzweigungsbereiches aus der Ringebeine heraus sollte wie folgt geführt werden:

$$\sigma_{u\theta,Ed} \leq \sigma_{op,Rd} \quad (8.49)$$

Dabei ist:

- $\sigma_{u\theta,Ed}$ der Bemessungswert der Umfangsdruckspannung nach 8.2.2 (10);
 $\sigma_{op,Rd}$ der entsprechende Bemessungswert des Widerstandes gegen Knicken aus der Ringebe-
 hereaus nach 8.3.4.

8.4.2 Ringträger an der Abzweigung

(1) Wenn für den Silo eine computergestützte Schalenberechnung durchgeführt wurde, sollten die Nachweise nach EN 1993-1-6 geführt werden. Falls die Schalenberechnung keine Beulanalyse einschließt, dürfen die Beulwiderstände nach 8.3 für die in EN 1993-1-6 geforderten Tragsicherheitsnachweise verwendet werden.

(2) Bei Silos, die diskret aufgelagert sind, so dass der Abzweigungsbereich als Ringträger wirkt, sollten dessen sowohl über den Querschnitt als auch über den Umfang veränderliche Umfangsmembranspannungen bei den Tragsicherheitsnachweisen berücksichtigt werden. Falls die Berechnungen nach 8.2 durchgeführt wurden, sollten die Tragsicherheitsnachweise wie nachfolgend beschrieben geführt werden.

(3) Der Nachweis gegen plastisches Versagen des Abzweigungsbereiches sollte unter Verwendung der nach 8.2.3 (8) ermittelten Spannung $\sigma_{m\theta,Ed}$ wie folgt geführt werden:

$$\sigma_{m\theta,Ed} \leq f_{p,Rd} \quad (8.50)$$

Dabei ist

- $\sigma_{m\theta,Ed}$ der Bemessungswert der absolut größten Umfangsspannung nach 8.2.3 (8);
 $f_{p,Rd}$ der Bemessungswert des Widerstandes gegen plastisches Versagen nach 8.3.2.2.

(4) Der Nachweis gegen Knicken des Abzweigungsbereiches innerhalb der Ringebe-
 hereaus sollte unter Verwendung der nach 8.2.3 (9) ermittelten Spannung $\sigma_{c\theta,Ed}$ wie folgt geführt werden:

$$\sigma_{c\theta,Ed} \leq \sigma_{ip,Rd} \quad (8.51)$$

Dabei ist

- $\sigma_{c\theta,Ed}$ der Bemessungswert der größten Umfangsdruckspannung nach 8.2.3 (9);
 $\sigma_{ip,Rd}$ der Bemessungswert des Widerstandes gegen Knicken innerhalb der Ringebe-
 hereaus nach 8.3.3.

(5) Der Nachweis gegen Knicken innerhalb der Ringebe-
 hereaus darf entfallen, wenn die folgenden beiden Bedin-
 gungen erfüllt werden:

- der halbe Kegelöffnungswinkel β ist größer als β_{lim} , und über dem Ring befindet sich ein Zylinder;
- Unrundheits-Verformungen des oberen Zylinderrandes werden, falls die Höhe L des Zylinders geringer als $L_{min} = k_L \sqrt{rt}$ ist, durch einen Ring behindert, dessen Biegesteifigkeit EI_z um seine vertikale Achse (Biegung in Umfangsrichtung) größer ist als:

$$EI_{z,min} = k_R E (rt)^2 \sqrt{(t/r)} \quad (8.52)$$

Dabei ist

- t die Dicke des dünnsten Schusses im Zylinder;
 L die Höhe der Schalenwand oberhalb des Ringes.

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

ANMERKUNG 1 Die Werte von β_{lim} , k_L und k_R dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es werden Werte von $\beta_{lim} = 10^\circ$; $k_L = 10$ und $k_R = 0,04$ empfohlen.

ANMERKUNG 2 Die Anforderung, dass der obere Zylinderrand gehalten sein sollte, um seine Rundheit sicherzustellen, gilt nur für kurze Zylinder über dem Ring, da höhere Zylinder, auch ohne am oberen Rand gehalten zu werden, ausreichend widerstandsfähig gegen diese Art des Ringknickens sind.

(6) Der Nachweis gegen Knicken des Abzweigungsbereiches aus der Ringebene heraus sollte unter Verwendung der nach 8.2.3 (9) ermittelten Spannung $\sigma_{c\theta,Ed}$ wie folgt geführt werden:

$$\sigma_{c\theta,Ed} \leq \sigma_{op,Rd} \quad (8.53)$$

Dabei ist

$\sigma_{c\theta,Ed}$ der Bemessungswert der größten Umfangsdruckspannung nach 8.2.3 (9);

$\sigma_{op,Rd}$ der Bemessungswert des Widerstandes gegen Knicken aus der Ringebene heraus nach 8.3.4.

8.5 Angaben zur Auflageranordnung am Abzweigungsbereich

8.5.1 Zargengelagerte Abzweigungsbereiche

(1) Bei Silos, die über eine Standzarge gleichmäßig auf einem Fundament aufgelagert sind (siehe 5.4.2), darf angenommen werden, dass der Abzweigungsbereich nur durch Umfangsmembranspannungen beansprucht wird.

(2) Für die Standzarge sollte ein Beulsicherheitsnachweis für Axialdruckbeulen geführt werden, in dem gegebenenfalls Öffnungen in der Zarge zu berücksichtigen sind.

8.5.2 Stützelgelagerte Abzweigungsbereiche und Ringträger

(1) Bei Silos, die auf einem Ringträger aufgelagert sind, der diskrete Stützenkräfte in die Schale einleiten soll, sollten Abzweigung und Ringträger die in 8.2.3 und 8.4.2 angegebenen Bedingungen erfüllen.

(2) Falls der Ringträger aus einer oberen und einer unteren Hälfte zusammengeschaubt wird, von denen jede mit einem anderen Schalensegment verbunden ist, sollten die Schrauben für den vollen Bemessungswert der von der oberen Ringhälfte zu tragenden Kraft in Umfangsrichtung dimensioniert werden, wobei auch die Biegebeanspruchung des Ringes zu beachten ist.

8.5.3 Basisring

(1) Kontinuierlich bodengelagerte Silos sollten mit einem Basisring versehen und verankert werden.

(2) Der Abstand der Ankerschrauben oder sonstigen Verankerungspunkte in Umfangsrichtung sollte nicht größer sein als $4\sqrt{rt}$, wobei t die örtliche Schalenwanddicke ist.

(3) Der Basisring sollte eine Biegesteifigkeit EI_z um seine vertikale Achse (Umfangsbiegung) von mindestens

$$EI_{z,min} = k E r t^3 \quad (8.54)$$

haben, wobei t als die Wanddicke des Schusses am Basisring anzusetzen ist.

ANMERKUNG Der Wert von k darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $k = 0,10$ empfohlen.

9 Bemessung von rechteckigen und ebenwandigen Silos

9.1 Grundlagen

(1) Ein rechteckiger Silo sollte entweder als versteiftes Kastentragwerk bemessen werden, in dem die Lasten vorwiegend über Biegung abgetragen werden, oder als dünnwandiges Membrantragwerk, in dem die Lasten nach großen Verformungen vorwiegend über Membrankräfte abgetragen werden.

(2) Wenn der Kasten auf Biegung bemessen wird, sollten die Stöße so ausgebildet werden, dass die bei der Berechnung angenommene Kontinuität bei der Bauausführung tatsächlich erreicht wird.

9.2 Klassifizierung der Tragwerksformen

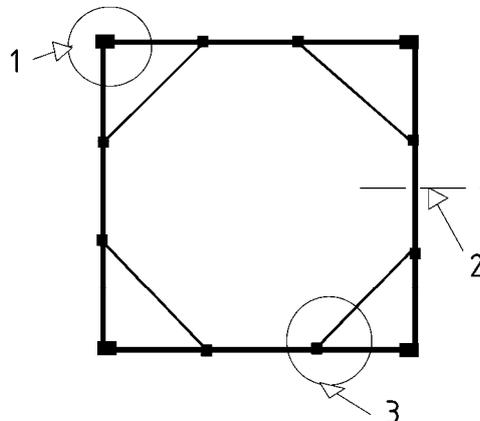
9.2.1 Unversteifte Silos

(1) Ein Tragwerk, das aus ebenen Stahlblechen ohne Steifen besteht, wird ‚unversteifter Kasten‘ genannt.

(2) Ein Tragwerk, das Steifen nur entlang der Verbindungslinien von Blechen enthält, die nicht in der gleichen Ebene liegen, wird ebenfalls ‚unversteifter Kasten‘ genannt.

9.2.2 Versteifte Silos

(1) Ein Tragwerk, das aus ebenen Stahlblechen mit Steifen innerhalb der ebenen Blechflächen besteht, wird ‚versteifter Kasten‘ genannt. Die Steifen können horizontal (in Umfangsrichtung) oder vertikal oder orthogonal (in beiden Richtungen) verlaufen.



Legende

- 1 Detail 1
- 2 Vertikalschnitt
- 3 Detail 2

Bild 9.1 — Grundriss eines rechteckigen Kastensilos mit Zugankern

9.2.3 Silos mit Zugankern

(1) Silos mit Zugankern können einen quadratischen oder allgemein rechteckigen Grundriss haben.

ANMERKUNG Einige typische konstruktive Details eines dreifeldrigen quadratischen Einzellensilos sind  in den Bildern 9.1 und 9.2 dargestellt. 

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

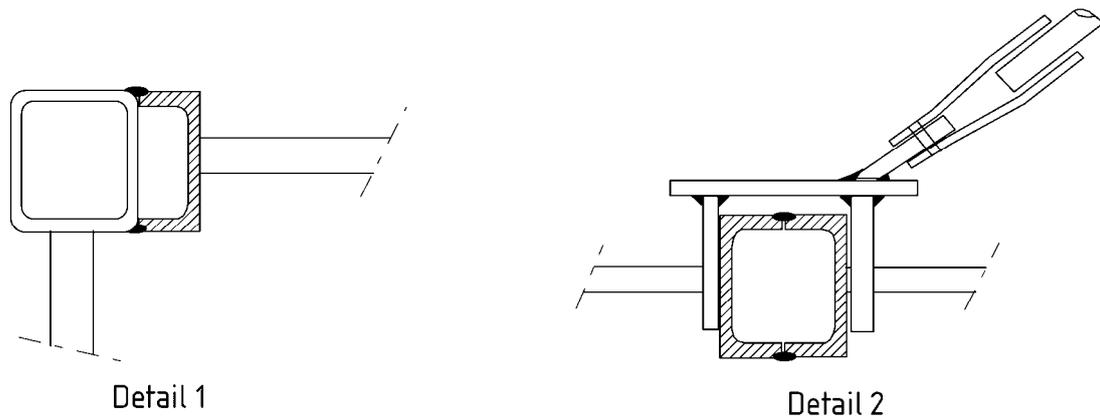


Bild 9.2 — Typische Anschlussdetails eines Kastensilos mit Zugankern

9.3 Tragwiderstände von unverteiften vertikalen Wänden

(1) Der Tragwiderstand von vertikalen Wänden sollte nach EN 1993-1-7 ermittelt werden. Dem wird Genüge getan, wenn die Nachweise nach den Regeln in 9.4 geführt werden.

(2) Der Tragwiderstand von vertikalen Wänden sollte unter Berücksichtigung sowohl des Membran- als auch des Plattenbiegungstragverhaltens ermittelt werden.

(3) Die von der unverteiften Platte aufzunehmenden Beanspruchungen lassen sich in folgende Kategorien einteilen:

- Gesamtbiegung als zweiachsig gespannte Platte aus Schüttgutbelastung;
- Membranbeanspruchung aus Querscheibenfunktion;
- örtliche Biegung aus Schüttgut und/oder Ausrüstung.

9.4 Tragwiderstand von Silowänden aus versteiften und profilierten Platten

9.4.1 Allgemeines

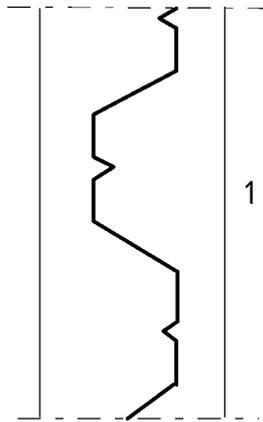
(1) Der Tragwiderstand unverteifter Teile von vertikalen Wänden sollte nach den in 9.4 angegebenen Regeln ermittelt werden. Dabei sollte sowohl das Membran- als auch das Plattenbiegungstragverhalten berücksichtigt werden.

(2) Horizontal profilierte Platten [AC] sollten für Folgendes nachgewiesen werden (siehe Bild 9.3) [AC]:

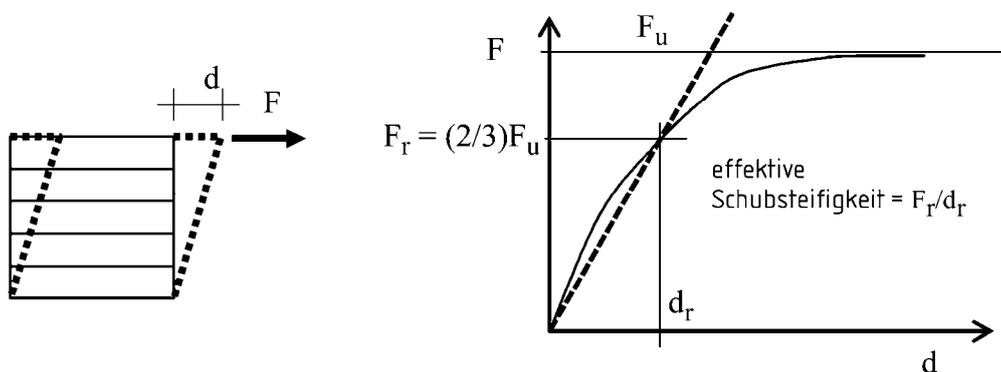
- Gesamtbiegung aus Schüttgutbelastung;
- Membranspannungen aus Querscheibenfunktion;
- örtliche Biegung aus Schüttgut und/oder Ausrüstung.

(3) Die effektiven Biegesteifigkeiten und Biegegewiderstände der versteiften Platten sollten nach den Regeln für Trapezbleche mit Zwischensteifen in EN 1993-1-3 ermittelt werden.

- (4) Die Steifen sollten nach den in EN 1993-1-1 und EN 1993-1-3 angegebenen Regeln für Stäbe bemessen werden, wobei der Zusammenhang der Steifen mit den Wandelementen, die Auswirkungen der Exzentrizität der Wandbleche gegenüber den Steifenachsen und der Durchlaufwirkung der Wandelemente sowie der Horizontal- und Vertikalsteifen zu berücksichtigen sind. Darüber hinaus sollten bei der Bauteilbemessung der Steifen Spannungen rechtwinklig zur Steifenachse an den Stellen berücksichtigt werden, an denen die Steifen statisch durchlaufende Wandelemente kreuzen.
- (5) Die Lasteinleitung aus vertikalen Steifen in untere Randbauteile sollte der Tragfähigkeit des betreffenden Bauteils und des vorhandenen Fundaments entsprechend bemessen werden.
- (6) Die Schubsteifigkeit und der Schubwiderstand sollten aus Versuchen oder geeigneten theoretischen Beziehungen hergeleitet werden.
- (7) Falls keine genaueren Angaben vorliegen, darf der Schubbeulwiderstand nach 5.3.4.6 unter Annahme eines unendlich großen Schalenradius ermittelt werden.
- (8) Bei Versuchen darf die Schubsteifigkeit aus der Lastverformungsbeziehung als Sekantenmodul bei $2/3$ der erreichten Schubtraglast entnommen werden, siehe Bild 9.4.



1 Vertikalschnitt

Bild 9.3 — Typischer Schnitt durch die profilierte Wand eines rechteckigen Silos

Bild 9.4 — Schubverhalten einer profilierten Wand

9.4.2 Gesamtbiegung aus direkter Einwirkung des Schüttgutes

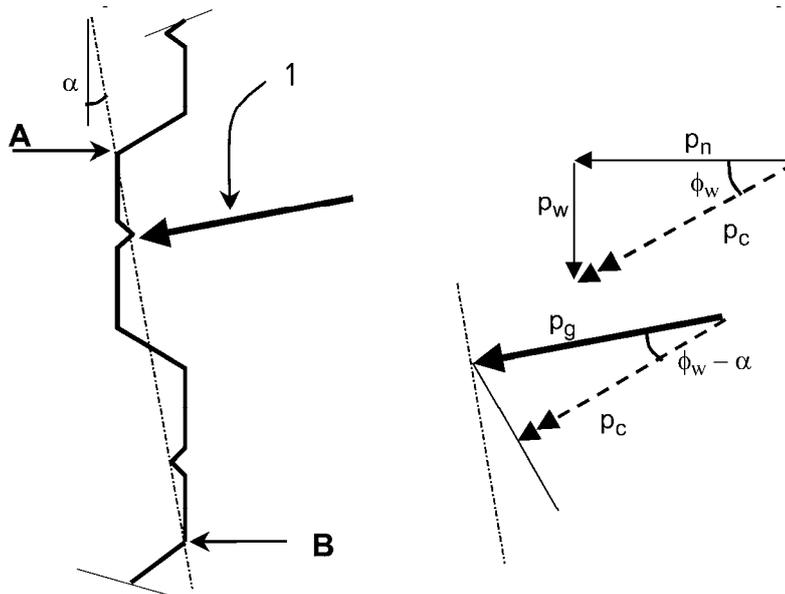
- (1) Wenn der Horizontaldruck aus dem Schüttgut, gegebenenfalls kombiniert mit Wandreibung, horizontale Biegung zur Folge hat, sollte diese Biegebeanspruchung bei der Bemessung berücksichtigt werden.

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

(2) Für Biegung aus dem Horizontaldruck allein sollte die Berechnung auf den effektiven Querschnittswerten nach EN 1993-1-3 beruhen.

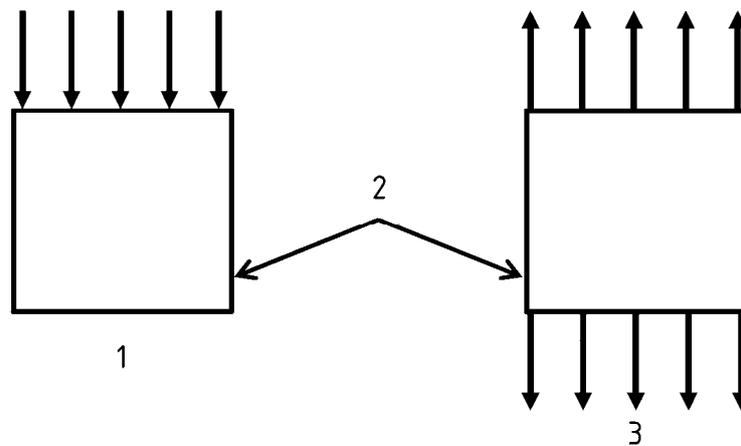
(3) Für Biegung aus Horizontaldruck in Kombination mit Wandreibung darf die Berechnung nach dem in Bild 9.5 skizzierten Ansatz vorgenommen werden, bei dem der Wandabschnitt zwischen den Punkten A und B als biegebeanspruchter Querschnitt unter der Einwirkung des kombinierten Drucks p_g angenommen wird. Die aus dem Biegemoment resultierenden Spannungen sollten mit denen überlagert werden, die durch die Axialkraft verursacht werden, die sich aus dem Schüttgutdruck auf die rechtwinklig angrenzenden Wände ergibt (siehe 9.4.3).

ANMERKUNG Diese Berechnung ist allgemein üblich und eingeführt. Es darf jedoch angemerkt werden, dass dabei die Dehnungskontinuität zwischen benachbarten Wandabschnitten vernachlässigt wird.



1 Kombiniertes Druck p_g rechtwinklig zur Ebene A–B

Bild 9.5 — Biegebeanspruchung bei kombinierter Einwirkung von Horizontaldruck und Wandreibung (Vertikalschnitt)



Legende

- 1 Windlast
- 2 Querscheibenwirkung in diesen Wänden
- 3 Schüttgutdruck

Bild 9.6 — Membranbeanspruchung in Wänden aus Schüttgutdruck oder Windlast

9.4.3 Membranbeanspruchung aus Querscheibenfunktion

(1) Die Membranbeanspruchungen resultieren aus Schüttgutdruck und/oder Windlast auf die jeweils rechtwinklig benachbarten Wände, siehe Bild 9.6.

(2) Als einfache Näherung darf angenommen werden, dass der Schüttgutdruck nur durch Normalspannungen aufgenommen wird (d. h., die Wandreibung wird vernachlässigt).

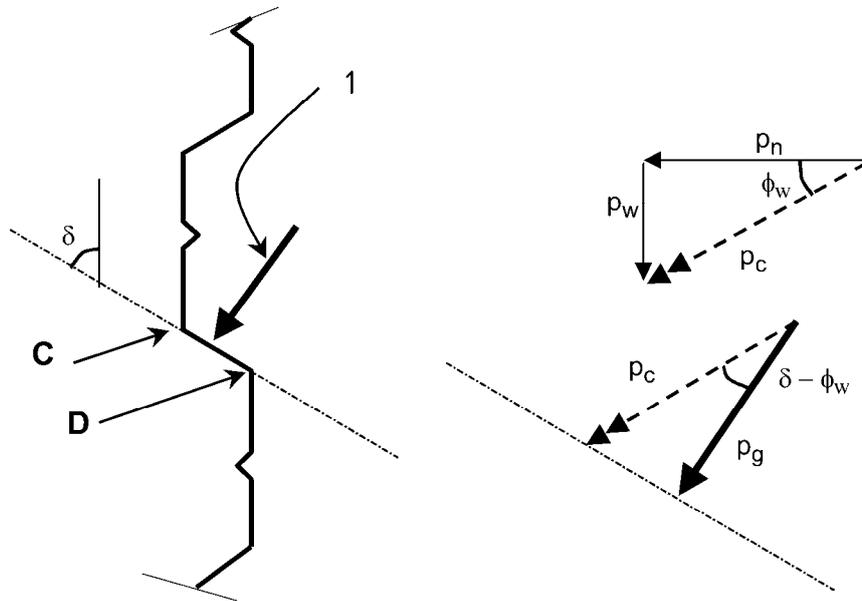
(3) Normal- und Schubspannungen aus Windlast dürfen entweder durch "Handberechnungen" oder mit Hilfe einer FE-Berechnung ermittelt werden.

9.4.4 Örtliche Biegung aus Schüttgut und/oder Ausrüstung

(1) Die Möglichkeit schädlicher lokaler Biegeeffekte in tragenden Einzelteilen, die durch den Schüttgutdruck verursacht werden, sollte beachtet werden.

ANMERKUNG Bei der in Bild 9.7 dargestellten Situation kann der Nachweis des Plattenelementes CD bemessungsbestimmend sein.

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)



1 Kombiniertes Druck p_g rechtwinklig zur Ebene C–D

Bild 9.7 — Mögliche lokale Biegeeffekte

9.5 Silos mit innen liegenden Zugankern

9.5.1 Durch Schüttgutdruck verursachte Kräfte in innen liegenden Zugankern

- (1) Die vom Schüttgut auf den Zuganker ausgeübte Belastung sollte ermittelt werden.
- (2) Falls keine genaueren Berechnungen angestellt werden, darf die auf den Zuganker ausgeübte Streckenlast q_t je Längeneinheit des Zugankers näherungsweise wie folgt ermittelt werden:

$$q_t = C_t p_v b \quad (9.1)$$

mit:

$$C_t = \frac{C_s \beta}{k_L} \quad (9.2)$$

Dabei ist

- p_v der vertikale Schüttgutdruck in Höhe des Zugankers;
- b die größte horizontale Breite des Zugankers;
- C_t der Lastvergrößerungsfaktor;
- C_s der Formfaktor für den Ankerquerschnitt;
- k_L der Lastfallfaktor;
- β der von der Position des Zugankers innerhalb der Silozelle abhängige Lagefaktor (siehe Bilder 9.8 und 9.9).

(3) Der Formfaktor C_s sollte wie folgt angesetzt werden:

- für glatte Kreisquerschnitte: $C_s = C_{sc}$
- für raue Kreisquerschnitte oder quadratische Querschnitte: $C_s = C_{ss}$

ANMERKUNG Die Werte von C_{sc} und C_{ss} dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es werden Werte von $C_{sc} = 1,0$ und $C_{ss} = 1,2$ empfohlen.

(4) Der Lastfallfaktor k_L sollte wie folgt angesetzt werden:

- für den Füllvorgang: $k_L = k_{Lf}$
- für den Entleervorgang: $k_L = k_{Le}$

ANMERKUNG Der Wert von k_L darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es werden Werte von $k_{Lf} = 4,0$ und $k_{Le} = 2,0$ empfohlen.

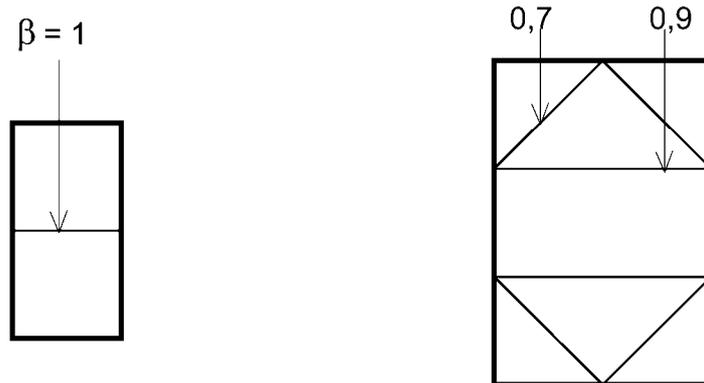


Bild 9.8 — Lagefaktor β für innen liegende Zuganker

9.5.2 Modellierung der Zuganker

(1) Je nach Steifigkeiten sind zwei Arten von Zugankern zu unterscheiden. Ein Anker sollte als Seil behandelt werden, wenn seine Biegesteifigkeit vernachlässigbar klein ist. Hat er neben seiner Axialsteifigkeit auch eine signifikante Biegesteifigkeit, so sollte er als Stab behandelt werden. Die Berechnung sollte auf diese Klassifizierung Rücksicht nehmen.

(2) Ist der Zuganker ein Stab, so sollten zusätzlich zur axialen Zugkraft die Biegemomente berücksichtigt werden.

(3) Die Zugkraft N (und bei Stäben: die Biegemomente M) im Zuganker sollte (sollten) unter Berücksichtigung der geometrischen Nichtlinearität berechnet werden. Dabei sollten auch die tatsächlichen Randbedingungen und die Steifigkeit der Silowand berücksichtigt werden (siehe Bild 9.10).

(4) Für die Bemessung sind die Werte N und M am Anschluss des Zugankers an die Wand maßgebend.

(5) Der Anfangsdurchhang der Anker sollte $\langle \overline{AC} \rangle$ zwischen dem Kunden, dem Tragwerksplaner und dem Hersteller vereinbart werden $\langle \overline{AC} \rangle$ vereinbart werden. Für Seile (Biegesteifigkeit vernachlässigbar) sollte der Anfangsdurchhang nicht größer als $k_s L$ sein, wobei L die Länge des Ankers ist.

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

ANMERKUNG 1 Der Wert von k_s darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $k_s = 0,01$ empfohlen.

ANMERKUNG 2 Bisher wurde der Anfangsdurchhang oft zu $0,02 L$ angenommen. Der hier empfohlene kleinere Wert wird benötigt, um bei Betrieb einen näherungsweise linearen Zusammenhang zwischen Drücken und eingetragenen Zugkräften zu erhalten.

(6) Die Ankeranschlüsse sollten sowohl für die vertikale als auch die horizontale Komponente der Ankerzugkraft ausgebildet werden.

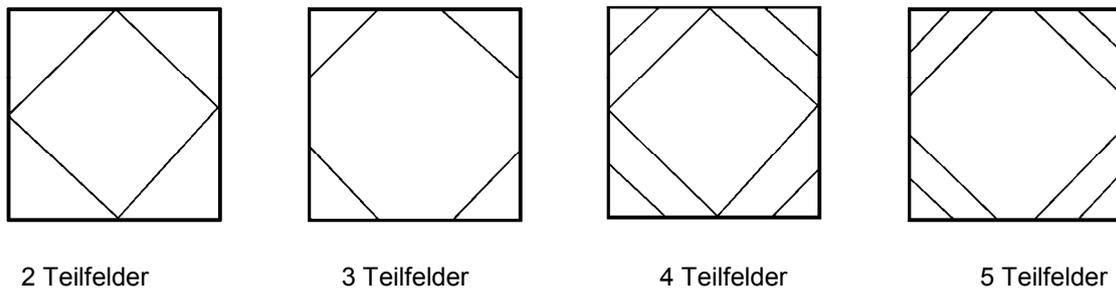


Bild 9.9 — Zuganker über Eck: $\beta = 0,7$

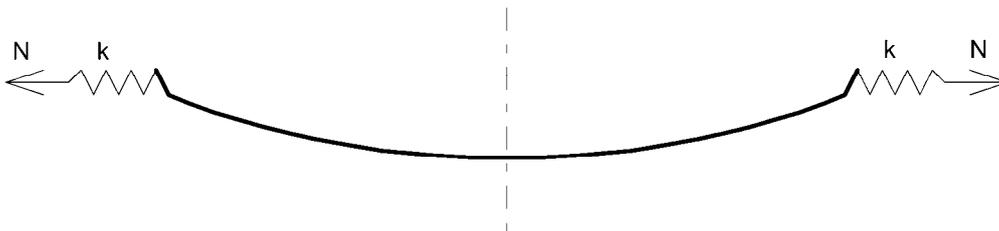


Bild 9.10 — Aufbau der Zugkraft in einem Zuganker

9.5.3 Lastfälle für Zugankeranschlüsse

(1) Bei der Berechnung der Zuganker sind zu berücksichtigen:

- Einwirkungen aus dem Schüttgut;
- Zwängungskräfte, die infolge der Wandverformungen aus anderen Lastfällen in die Zuganker eingetragen werden.

(2) Die folgenden beiden Lastfälle sollten bei der Ermittlung der Anschlusskräfte und -momente eines Zugankers beachtet werden:

- a) Lastfall 1: Streckenlast q_t und Zugkraft N , wie nach 9.5.1 und 9.5.2 berechnet;
- b) Lastfall 2: Erhöhter Streckenlastwert $1,2 q_t$ und reduzierter Zugkraftwert $0,7 N$, wobei q_t und N die Werte nach 9.5.1 und 9.5.2 sind.

9.6 Tragsicherheit von pyramidischen Trichtern

(1) Pyramidische Trichter (Bild 9.12) sollten als Kastentragwerke nach den Regeln von EN 1993-1-7 behandelt werden. Diese gelten als erfüllt, wenn die Anforderungen an Wände nach 9.3 und 9.4 erfüllt und die nachstehenden Näherungsverfahren angewendet werden.

(2) Die Biegemomente und Membrankräfte dürfen mit Hilfe numerischer Verfahren nach EN 1993-1-6 und EN 1993-1-7 ermittelt werden. Die Biegemomente in den trapezförmigen Wandplatten des Trichters dürfen alternativ mit Hilfe der nachstehenden Näherungsbeziehungen ermittelt werden.

(3) Die Trichterplatte ABCD wird durch ein gleichseitiges Dreieck ABE mit dem Flächeninhalt A und dieses durch einen flächengleichen Kreis mit folgendem Ersatzradius ersetzt:

$$r_{\text{eq}} = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 0,37 a \quad (9.3)$$

Dabei ist

a die horizontale Länge des oberen Randes der Platte, siehe Bild 9.11.

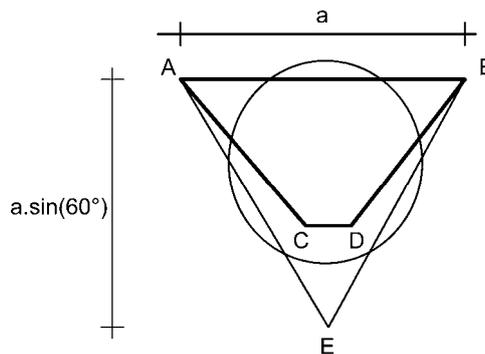


Bild 9.11 — Vereinfachtes Modell für die Biegebeanspruchung einer trapezförmigen Platte

(4) Das Referenz-Biegemoment M_0 sollte dann wie folgt ermittelt werden:

$$M_0 = \frac{3}{16} p_n r_{\text{eq}}^2 = 0,026 p_n a^2 \quad (9.4)$$

Dabei ist

p_n der mittlere Flächendruck auf der trapezförmigen Platte.

(5) Bei gelenkig gelagerten Plattenrändern kann der Bemessungswert des Biegemomentes in der trapezförmigen Platte wie folgt angesetzt werden:

$$M_{s,Ed} = M_0 \quad (9.5)$$

(6) Bei eingespannt gelagerten Plattenrändern können das Biegemoment in Plattenmitte $M_{s,Ed}$ und das Biegemoment am Plattenrand $M_{e,Ed}$ wie folgt angesetzt werden:

$$M_{s,Ed} = 0,80 M_0 \quad (9.6)$$

$$M_{e,Ed} = 0,53 M_0 \quad (9.7)$$

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

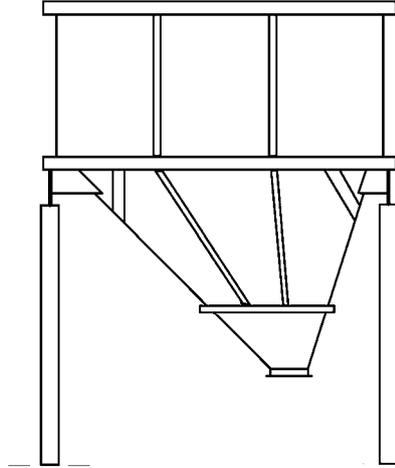


Bild 9.12 — Unsymmetrischer Trichter mit geneigten Rippen

9.7 Vertikale Steifen an Kastenwänden

(1) Vertikale Steifen an Kastenwänden sollten nachgewiesen werden für:

- die ständigen Einwirkungen;
- den Flächendruck auf die Wand infolge Schüttgut;
- die Reibungskräfte auf die Wand;
- die veränderlichen Einwirkungen aus dem Dach;
- die Axialkräfte, die sich aus dem Beitrag der Querscheibenwirkung in den Wänden ergeben.

(2) Die Exzentrizität der Reibungskräfte gegenüber der Plattenmittelfläche und den Steifenachsen darf vernachlässigt werden.

9.8 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

9.8.1 Grundlagen

(1) Die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit für Stahlsilos mit rechteckigem Grundriss und ebenen Blechwänden sind:

- Verformungen oder Durchbiegungen, die die effektive Benutzung des Tragwerks ungünstig beeinflussen;
- Verformungen, Durchbiegungen, Schwingungen oder Erschütterungen, die die Zerstörung tragender oder nicht tragender Teile nach sich ziehen.

(2) Verformungen, Durchbiegungen und Erschütterungen sollten so begrenzt werden, dass die vorstehenden Kriterien eingehalten werden.

(3) Geeignete Grenzwerte sollten zwischen dem Tragwerksplaner, dem Bauherrn und der zuständigen Behörde vereinbart werden; dabei sind der Verwendungszweck und die Beschaffenheit des zu speichernden Schüttgutes zu beachten.

9.8.2 Durchbiegungen

(1) Als Grenzwert für die globale horizontale Ausbiegung eines Silos sollte der kleinere der beiden folgenden Werte angesetzt werden:

$$\delta_{\max} = k_1 H \quad (9.8)$$

$$\delta_{\max} = k_2 t \quad (9.9)$$

Dabei ist

H die Höhe des Tragwerks vom Fundament bis zum Dach;

t die Dicke des dünnsten Wandbleches.

ANMERKUNG Die Werte von k_1 und k_2 dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es werden Werte von $k_1 = 0,02$ und $k_2 = 10$ empfohlen.

(2) Als Grenzwert für die lokale Durchbiegung einzelner Blechfelder gegenüber ihren Rändern wird folgender Wert empfohlen:

$$\delta_{\max} < k_3 L \quad (9.10)$$

Dabei ist

L die kleinere Abmessung der Rechteckplatte.

ANMERKUNG Der Wert von k_3 darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $k_3 = 0,05$ empfohlen.

Anhang A **(informativ)**

Vereinfachte Regeln für kreisrunde Silos der Schadensfolgeklasse 1

Die nachfolgenden vereinfachten Regeln erlauben eine tragsichere Bemessung von kreisrunden Silos der Schadensfolgeklasse 1 für eine begrenzte Anzahl von Einwirkungskombinationen (Lastfällen).

A.1 Einwirkungskombinationen für Schadensfolgeklasse 1

Die folgenden vereinfachten Einwirkungskombinationen dürfen für Silos der Schadensfolgeklasse 1 berücksichtigt werden:

- Befüllen des Silos;
- Entleerung des Silos;
- Wind auf leerem Silo;
- Befüllen bei Wind.

Beim Ansetzen der Windlasten sind Vereinfachungen zulässig.

A.2 Ermittlung der Beanspruchungen

(1) Wird die Bemessung mit Hilfe der in diesem Anhang angegebenen Formelausdrücke durchgeführt, so sollten die Membranspannungen um den Faktor k_M vergrößert werden, um lokale Biegeeffekte abzudecken.

ANMERKUNG Der Wert von k_M darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $k_M = 1,1$ empfohlen.

(2) Wird die Bemessung mit Hilfe der in diesem Anhang angegebenen Formelausdrücke durchgeführt, so sollten die Trichter- und Ringsteifenschnittgrößen um den Faktor k_h vergrößert werden, um Biegeeffekte aus Unsymmetrien und Umfangsbiegung abzudecken.

ANMERKUNG Der Wert von k_h darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $k_h = 1,2$ empfohlen.

A.3 Tragsicherheitsnachweise

A.3.1 Allgemeines

(1) Die hier angegebenen vereinfachten Regeln erlauben eine schnellere Bemessung, sind jedoch teilweise konservativer als die vollständigeren Regeln der Norm.

A.3.2 Isotrope, geschweißte oder geschraubte, zylindrische Wände

A.3.2.1 Plastische Grenze oder Zugbruch

(1) Unter Innendruck und allen maßgeblichen Bemessungslasten sollten für jeden Punkt die nachfolgend beschriebenen Nachweise geführt werden, gegebenenfalls unter Berücksichtigung des veränderlichen Innendrucks und der veränderlichen Wanddicken.

(2) Die Bemessungswerte der Membranschnittgrößen $n_{x,Ed}$ und $n_{\theta,Ed}$ (beide als Zugkräfte positiv) sollten an jedem Punkt der Schale die folgende Bedingung erfüllen:

$$\sqrt{n_{x,Ed}^2 - n_{x,Ed} n_{\theta,Ed} + n_{\theta,Ed}^2} \leq t f_y / \gamma_{M0} \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist

$n_{x,Ed}$ die vertikale (axiale) Membrankraft je Längeneinheit, berechnet aus den Bemessungswerten der Einwirkungen (Lasten);

$n_{\theta,Ed}$ die horizontale (Umfangs-)Membrankraft je Längeneinheit, berechnet aus den Bemessungswerten der Einwirkungen (Lasten);

f_y der charakteristische Wert der Streckgrenze der Schalenwandbleche;

γ_{M0} der Teilsicherheitsbeiwert gegen plastisches Versagen.

(3) Die Bemessungswerte der Schnittgrößen sollten an allen geschraubten Stößen oder Anschlüssen in der Schale die folgenden Bedingungen gegen Nettoquerschnittversagen einhalten:

$$\text{— in Meridianrichtung} \quad n_{x,Ed} \leq f_u t / \gamma_{M2} \quad (\text{A.2})$$

$$\text{— in Umfangsrichtung} \quad n_{\theta,Ed} \leq f_u t / \gamma_{M2} \quad (\text{A.3})$$

Dabei ist

f_u der charakteristische Wert der Zugfestigkeit der Schalenwandbleche;

γ_{M2} der Teilsicherheitsbeiwert gegen Zugbruch (= 1,25).

(4) Die Verbindungen sollten nach EN 1993-1-8 oder EN 1993-1-3 bemessen werden. Der Einfluss der Schraub- und Nietlöcher sollte nach EN 1993-1-1 unter Anwendung der jeweils zutreffenden Anforderungen für Zug, Druck oder Schub erfasst werden.

(5) Der Bemessungswiderstand an Überlappstößen in geschweißten Schalenwänden $f_{e,Rd}$ sollte durch ein fiktives Festigkeitskriterium wie folgt angegeben werden:

$$f_{e,Rd} = j f_y / \gamma_{M0} \quad (\text{A.4})$$

Dabei ist

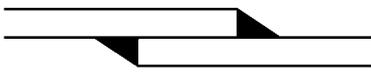
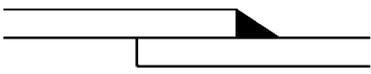
j der Verbindungswirksamkeitsfaktor.

(6) Die Verbindungswirksamkeit von überlappt geschweißten Stößen mit durchgehenden Kehlnähten sollte mit $j = j_1$ angesetzt werden.

ANMERKUNG AC Der Wert von j_1 darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Die für j_1 empfohlenen Werte sind in der nachstehenden Tabelle für verschiedene Ausführungen von Stößen angegeben. Einfach geschweißte Überlappstöße sollten nicht verwendet werden, wenn mehr als 20 % des Wertes von $\sigma_{e,Ed}$ in Gleichung (5.4) aus Biegemomenten resultieren. AC

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

Verbindungswirksamkeit j_i von geschweißten Überlappstößen

Verbindungsart	Skizze	Wert von j_i
Doppelt geschweißter Überlappstoß		$j_1 = 1,0$
Einfach geschweißter Überlappstoß		$j_2 = 0,35$

A.3.2.2 LS3: Beulen unter Axialdruckbeanspruchung

(1) Für jede Stelle der Schale sollte ein Beulsicherheitsnachweis gegen Axialdruckbeulen geführt werden. Dabei ist die vertikale Veränderlichkeit des Axialdruckes zu vernachlässigen, es sei denn, EN 1993-1-6 gibt explizite Regeln dazu. Bei den Beulberechnungen sollten Druckmembrankräfte als positiv behandelt werden, um das Rechnen mit negativen Zahlen zu vermeiden.

(2) An horizontalen Überlappstößen sollte zur Abdeckung der Exzentrizität der durch den Stoß hindurchgeleiteten Axialkräfte der Wert des im nächsten Absatz gegebenen Imperfektions-Abminderungsfaktors α auf 70 % reduziert werden, wenn die Exzentrizität zwischen den beiden Blechmittelflächen größer ist als $\overline{AC} t \overline{AC}$ und der Dickensprung zwischen den beiden Blechen nicht größer ist als $t/4$, wobei t die Dicke des dünneren der beiden Bleche ist. Bei kleinerer Exzentrizität oder größerem Dickensprung braucht α nicht reduziert zu werden.

(3) Der elastische Imperfektions-Abminderungsfaktor α sollte wie folgt ermittelt werden:

$$\alpha = \frac{0,62}{1 + 0,035 \left(\frac{r}{t} \right)^{0,72}} \quad (\text{A.5})$$

Dabei ist

r der Radius der Silowand;

t die Wanddicke an der betreffenden Stelle.

(4) Die ideale Axialbeulspannung $\sigma_{x,Rcr}$ sollte für jeden Punkt der isotropen Wand wie folgt berechnet werden:

$$\sigma_{x,Rcr} = 0,605 E \frac{t}{r} \quad (\text{A.6})$$

(5) Die charakteristische Axialbeulspannung sollte wie folgt ermittelt werden:

$$\sigma_{x,Rk} = \chi_x f_y \quad (\text{A.7})$$

wobei:

$$\chi_x = 1 \quad \text{wenn} \quad \overline{\lambda}_x \leq \overline{\lambda}_0 \quad (\text{A.8})$$

$$\chi_x = 1 - 0,6 \left(\frac{\overline{\lambda}_x - \overline{\lambda}_0}{\overline{\lambda}_p - \overline{\lambda}_0} \right) \quad \text{wenn} \quad \overline{\lambda}_0 < \overline{\lambda}_x < \overline{\lambda}_p \quad (\text{A.9})$$

$$\chi_x = \frac{\alpha}{\overline{\lambda}_x^2} \quad \text{wenn} \quad \overline{\lambda}_p \leq \overline{\lambda}_x \quad (\text{A.10})$$

mit:

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rc}}}, \quad \bar{\lambda}_o = 0,2 \quad \text{und} \quad \bar{\lambda}_p = \sqrt{2,5 \alpha}$$

(6) Der Beulsicherheitsnachweis sollte für jeden Punkt der Schale mit dem Bemessungswert der dort vorhandenen Axialmembrankraft $n_{x,Ed}$ (Druck positiv) wie folgt geführt werden:

$$n_{x,Ed} \leq t \sigma_{x,Rk} / \gamma_{M1} \quad (\text{A.11})$$

mit γ_{M1} nach 2.9.2.

ANMERKUNG Der Wert von γ_{M1} darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $\gamma_{M1} = 1,1$ empfohlen.

(7) Die größtzulässige messbare Vorbeul-Imperfektion, gemessen nach den in EN 1993-1-6 festgelegten Verfahren, aber ohne Messung über Überlappstöße hinweg, sollte wie folgt festgelegt werden:

$$\Delta w_{od} = 0,0375 \sqrt{r t} \quad (\text{A.12})$$

(8) Der Nachweis der Schalenwand gegen Axialbeulen über einem diskreten Auflager oder im Bereich einer Konsole (z. B. zur Lagerung einer Förderbrücke) oder im Bereich einer Öffnung sollte nach 5.6 geführt werden.

A.3.2.3 LS3: Beulen unter Außendruck — inneres Teilvakuum und/oder Wind

(1) Für konstantes inneres Teilvakuum (Außendruck) sollte der ideale Beuldruck $p_{n,Rcru}$ für die isotrope Wand, falls ein mit dem Zylinder kraftschlüssig verbundenes Dach vorhanden ist, wie folgt ermittelt werden:

$$p_{n,Rcru} = 0,92 E \left(\frac{r}{\ell} \right) \left(\frac{t}{r} \right)^{2,5} \quad (\text{A.13})$$

Dabei ist

- r der Radius der Silowand;
- t die Dicke des dünnsten Teils der Wand;
- ℓ die Höhe zwischen Versteifungsringen oder gehaltenen Rändern.

(2) Der Bemessungswert des maximalen Außendrucks $p_{n,Ed}$, dem das Tragwerk unter der kombinierten Einwirkung von Wind und Teilvakuum ausgesetzt ist, sollte die folgende Bedingung erfüllen:

$$p_{n,Ed} \leq \alpha_n p_{n,Rcru} / \gamma_{M1} \quad (\text{A.14})$$

ANMERKUNG Die Werte von α_n und γ_{M1} dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es werden Werte von $\alpha_n = 0,5$ und $\gamma_{M1} = 1,1$ empfohlen.

(3) Falls der obere Zylinderrand nicht kraftschlüssig mit dem Dach verbunden ist, sollte dieses vereinfachte Verfahren durch das in 5.3 angegebene Verfahren ersetzt werden.

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

A.3.3 Konische geschweißte Trichter

(1) Die vereinfachten Bemessungsregeln dürfen angewendet werden, wenn die beiden folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Es wird ein größerer Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M0} = \gamma_{M0g}$ für den Trichter verwendet.
- Im Bereich der Abzweigung sind keine lokalen Meridiansteifen oder Auflagerungen mit der Trichterwand verbunden.

ANMERKUNG Der Wert von γ_{M0g} darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $\gamma_{M0g} = 1,4$ empfohlen.

(2) Wenn die Schwerkraft- und Fließbelastung aus dem Schüttgut die einzige zu beachtende Einwirkung ist, sollte die Meridiankraft je Umfangslängeneinheit $n_{\phi h, Ed, s}$ am Anschluss des oberen Trichterrandes, die durch die symmetrischen Drücke nach EN 1991-4 verursacht wird, aus globalem Gleichgewicht ermittelt werden, siehe Bild A.1. Der Bemessungswert der örtlichen Meridiankraft je Umfangslängeneinheit $n_{\phi h, Ed}$, mit dem der möglichen Ungleichmäßigkeit der Belastung Rechnung getragen wird, sollte dann wie folgt ermittelt werden.

$$n_{\phi h, Ed} = g_{asym} n_{\phi h, Ed, s} \quad (A.15)$$

Dabei ist

$n_{\phi h, Ed, s}$ der Bemessungswert der Meridianmembrankraft je Umfangslängeneinheit am oberen Trichterrand, der unter der Annahme vollständig symmetrischer Trichterbelastung erhalten wird;

g_{asym} der Spannungserhöhungsfaktor für den Einfluss unsymmetrischer Belastungen.

ANMERKUNG Ausdrücke für $n_{\phi h, Ed, s}$ sind Anhang B zu entnehmen. Der Wert von g_{asym} darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $g_{asym} = 1,2$ empfohlen.

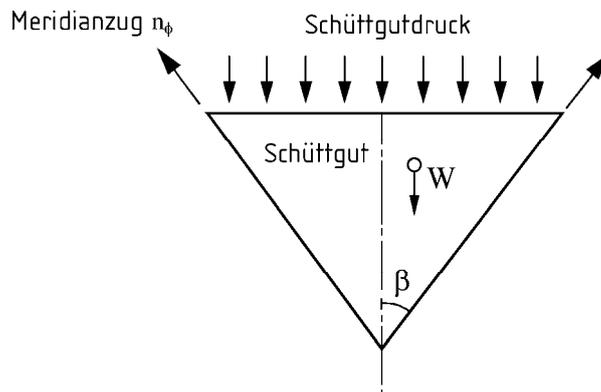


Bild A.1 — Globales Gleichgewicht am Trichter

(3) Der Bemessungswert der Meridianmembranzugkraft $n_{\phi h, Ed}$ am oberen Trichterrand sollte die folgende Bedingung erfüllen:

$$n_{\phi h, Ed} \leq k_r t f_u / \gamma_{M2} \quad (A.16)$$

Dabei ist

- t die Dicke der Trichterwand;
- f_u die Zugfestigkeit;
- γ_{M2} der Teilsicherheitsbeiwert für Zugbruch.

ANMERKUNG Der Wert von k_T darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $k_T = 0,90$ empfohlen. Der Wert von γ_{M2} darf ebenfalls im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $\gamma_{M2} = 1,25$ empfohlen.

A.3.4 Abzweigung

(1) Die nachfolgenden vereinfachten Bemessungsregeln gelten für Zylinder/Konus-Abzweigungen in Silos der Schadensfolgeklasse 1, mit oder ohne Kreisringplatte oder eine ähnlich kompakte Ringsteife an der Abzweigung, siehe Bild A.2.

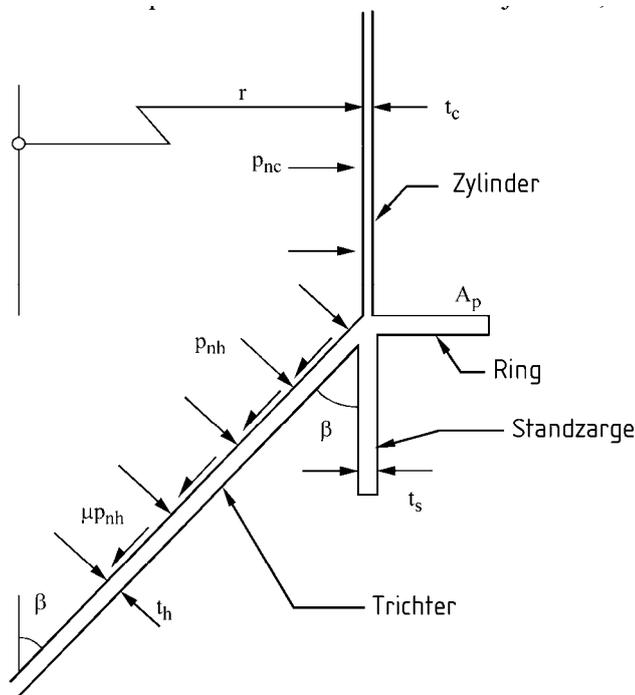


Bild A.2 — Bezeichnungen für eine einfache Abzweigung

(2) Die wirksame Gesamtquerschnittsfläche A_{et} des Ringes sollte wie folgt ermittelt werden:

$$A_{et} = A_p + 0,4 \sqrt{r} \left\{ t_c^{3/2} + t_s^{3/2} + \frac{t_h^{3/2}}{\sqrt{\cos \beta}} \right\} \quad (A.17)$$

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

Dabei ist

- r der Radius der Silo-Zylinderwand;
- t_c die Wanddicke des Zylinders;
- t_s die Wanddicke der Standzarge;
- t_h die Wanddicke des Trichters;
- β der halbe Kegelöffnungswinkel des Trichters;
- A_p die Querschnittsfläche des Ringes an der Abzweigung.

(3) Der Bemessungswert der Umfangsdruckkraft $N_{\theta,Ed}$ an der Abzweigung sollte wie folgt ermittelt werden:

$$N_{\theta,Ed} = n_{\phi h,Ed} r \sin \beta \quad (\text{A.18})$$

Dabei ist

- $n_{\phi h,Ed}$ der Bemessungswert der Meridianzugkraft je Umfangslängeneinheit am oberen Trichterrand, siehe Bild A.1 und Gleichung (A.15).

(4) Die mittlere Umfangsdruckspannung im Ring sollte die folgende Bedingung erfüllen:

$$\frac{N_{\theta,Ed}}{A_{et}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (\text{A.19})$$

Dabei ist

- f_y die kleinste der charakteristischen Streckgrenzen der Ring- und Blechwerkstoffe;
- γ_{M0} der Teilsicherheitsbeiwert für plastisches Versagen.

ANMERKUNG Der Wert von γ_{M0} darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird ein Wert von $\gamma_{M0} = 1,0$ empfohlen.

Anhang B (informativ)

Gleichungen für Membranspannungen in konischen Trichtern

Die hier angegebenen Formeln ermöglichen die membrantheoretische Ermittlung von Spannungen für Lastfälle, die in Standard-Monographien über Schalen und Silos in der Regel nicht behandelt werden. Membrantheoretische Formeln liefern exakte Membranspannungen in der Trichterwand (d. h. an Stellen, die nicht in unmittelbarer Nachbarschaft der Abzweigung oder von Auflagerungen liegen), vorausgesetzt, die Lasten werden nach den Verteilungen nach EN 1991-4 angesetzt.

Koordinatensystem mit dem Ursprung für z an der Kegelspitze-

Vertikale Höhe des Trichters h und halber Kegelöffnungswinkel des Trichters β .

B.1 Konstanter Druck p_0 mit Wandreibung μp_0

$$\sigma_\phi = \frac{p_0 z}{t} \left(\frac{\tan \beta}{\cos \beta} \right) \quad (\text{B.1})$$

$$\sigma_\phi = \frac{p_0 z}{2 t} \left(\frac{\tan \beta + \mu}{\cos \beta} \right) \quad (\text{B.2})$$

B.2 Linear veränderlicher Druck (von p_1 an der Kegelspitze auf p_2 an der Abzweigung) mit Wandreibung μp

$$p = p_1 + \frac{z}{h} (p_2 - p_1) \quad (\text{B.3})$$

$$\sigma_\theta = \left\{ p_1 + \frac{z}{h} (p_2 - p_1) \right\} \frac{z}{t} \left(\frac{\tan \beta}{\cos \beta} \right) \quad (\text{B.4})$$

$$\sigma_\phi = \left\{ 3 p_1 + \frac{2 z}{h} (p_2 - p_1) \right\} \frac{z}{6 t} \left(\frac{\tan \beta + \mu}{\cos \beta} \right) \quad (\text{B.5})$$

Für den Sonderfall von Mises $\mu = 0$ und $p_2 < 0,48 p_1$ liegt der Größtwert der Membran-Vergleichsspannung im Trichter auf der Höhe

$$z = 0,52 \left(\frac{p_1}{p_2 - p_1} \right) h \quad (\text{B.6})$$

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

B.3 „Radiales Druckfeld“ mit dreieckiger Druckspitze („Switch“) an der Abzweigung

$$p = p_1 \frac{z}{h_1} \quad \text{für } 0 < z < h_1 \quad (\text{B.7})$$

$$p = \frac{p_1 (h - z) - p_2 (h_1 - z)}{h - h_1} \quad \text{für } h_1 < z < h \quad (\text{B.8})$$

$$\sigma = p_1 \left(\frac{z^2}{3 h t} \right) \left(\frac{\tan \beta}{\cos \beta} \right) \quad \text{für } 0 < z < h_1 \quad (\text{B.9})$$

$$\sigma_\theta = \left\{ \frac{z p_1 (h - z) - p_2 (h_1 - z)}{t (h - h_1)} \right\} \left(\frac{\tan \beta}{\cos \beta} \right) \quad \text{für } h_1 < z < h \quad (\text{B.10})$$

$$\sigma_\phi = \frac{p_1 z^2}{3 t h_1} \left(\frac{\tan \beta + \mu}{\cos \beta} \right) \quad \text{für } 0 < z < h_1 \quad (\text{B.11})$$

$$\sigma_\phi = \left\{ \frac{2 z^3 (p_2 - p_1) + (3 z^2 - h_1^2) (h p_1 - h_1 p_2)}{6 z t (h - h_1)} \right\} \left(\frac{\tan \beta + \mu}{\cos \beta} \right) \quad \text{für } h_1 < z < h \quad (\text{B.12})$$

B.4 Wobei p_1 der Druck in Höhe h_1 oberhalb der Spitze und p_2 der Druck an der Abzweigung ist. Drücke nach verallgemeinerter Trichtertheorie

Die Druckverteilung lässt sich in Form des rechtwinklig auf die Wand wirkenden Druckes p mit begleitender Wandreibungslast μp wie folgt beschreiben:

$$p = F q \quad (\text{B.13})$$

$$q = \frac{\gamma h}{n-1} \left[\left(\frac{z}{h} \right) - \left(\frac{z}{h} \right)^n \right] + q_t \left(\frac{z}{h} \right)^n \quad (\text{B.14})$$

mit:

$$n = 2 (F \mu \cot \beta + F - 1) \quad (\text{B.15})$$

Dabei ist F das Verhältnis des Wanddruckes p zur vertikalen Spannung q im Schüttgut, und q_t ist die mittlere vertikale Spannung im Schüttgut an der Abzweigung:

$$\sigma_\theta = \left[\frac{\gamma h}{(n-1)} \left(\frac{z}{h} \right)^2 + \left(q_t - \frac{\gamma h}{(n-1)} \right) \left(\frac{z}{h} \right)^{n+1} \right] \cdot \left(\frac{F h}{t} \right) \left(\frac{\tan \beta}{\cos \beta} \right) \quad (\text{B.16})$$

$$\sigma_\phi = \left[\frac{\gamma h}{3(n-1)} \left(\frac{z}{h} \right)^2 + \frac{1}{(n+2)} \left(q_t - \frac{\gamma h}{(n-1)} \right) \left(\frac{z}{h} \right)^{n+1} \right] \cdot \left(\frac{F h}{t} \right) \left(\frac{\tan \beta + \mu}{\cos \beta} \right) \quad (\text{B.17})$$

Anhang C (informativ)

Winddruckverteilung über den Umfang kreisrunder Silos

Die Verteilung des Winddruckes um einen flachen Silo mit kreisförmigem Grundriss oder einen bodengelagerten Tankbehälter herum (siehe Bild C.1) kann wichtig sein bei der Bemessung der Verankerung und beim Beulsicherheitsnachweis. Die in EN 1991-1-4 enthaltenen Angaben sind für gewisse Fälle nicht detailliert genug.

Die Druckverteilung über den Umfang eines einzeln stehenden Silos kann mit Hilfe der Umfangskoordinate θ beschrieben werden, wobei der Ursprung am windzugewandten Meridian (Staumeridian) liegt (siehe Bild C.2).

Die Umfangsfunktion der Druckverteilung (nach innen gerichtet positiv) an einem einzeln stehenden Silo mit geschlossenem Dach beträgt (siehe Bild C.2):

$$C_p = -0,54 + 0,16 (d_c/H) + \{0,28 + 0,04 (d_c/H)\} \cos \theta + \{1,04 - 0,20 (d_c/H)\} \cos 2 \theta + \{0,36 - 0,05 (d_c/H)\} \cos 3 \theta - \{0,14 - 0,05 (d_c/H)\} \cos 4 \theta \quad (C.1)$$

Dabei ist d_c der Durchmesser des Silos und H dessen Gesamthöhe (H/d_c ist das Abmessungsverhältnis für das gesamte Tragwerk einschließlich seiner Unterstützungsstruktur) (siehe Bild C.1). Bei Silos mit $H/d_c < 0,50$ sollten die Werte für $H/d_c = 0,50$ verwendet werden. Die Druckverteilung sollte nicht auf der Zylinderhöhe H_c beruhen.

Die Umfangsfunktion der Druckverteilung (nach innen gerichtet positiv) an einem geschlossenen Silo in einer Gruppe beträgt (siehe Bild C.3):

$$C_p = +0,20 + 0,60 \cos \theta + 0,27 \cos 2 \theta - 0,05 \cos 3 \theta - 0,13 \cos 4 \theta + 0,13 \cos 6 \theta - 0,09 \cos 8 \theta + 0,07 \cos 10 \theta \quad (C.2)$$

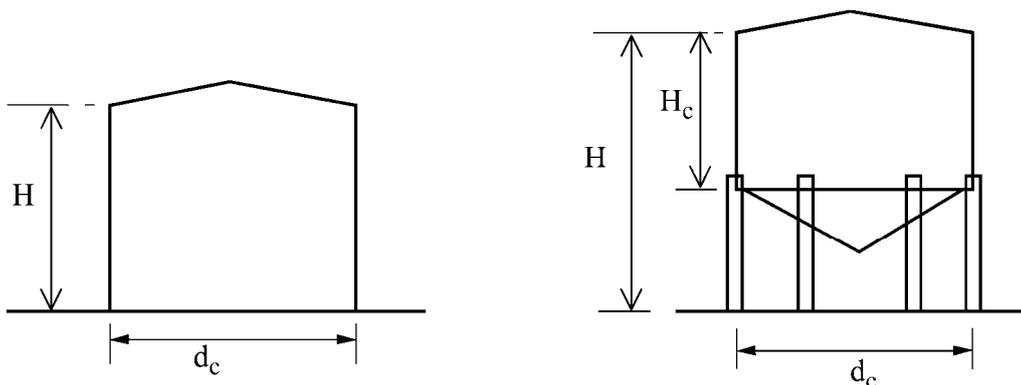


Bild C.1 — Windbelastete Silos

DIN EN 1993-4-1:2010-12
EN 1993-4-1:2007 + AC:2009 (D)

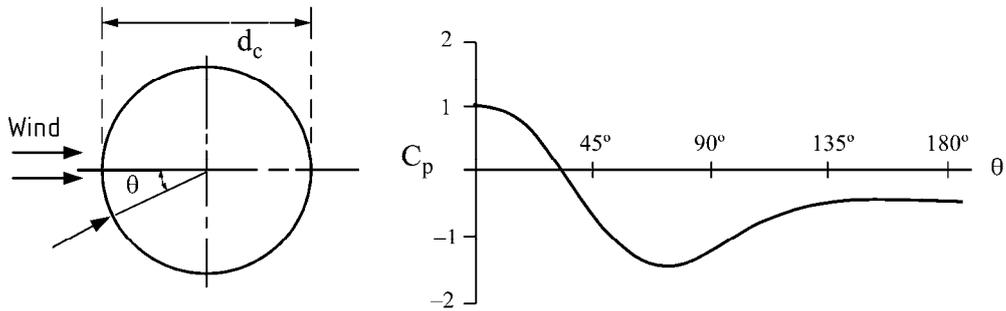


Bild C.2 — Winddruckverteilung über den halben Umfang bei einem einzeln stehenden Silo

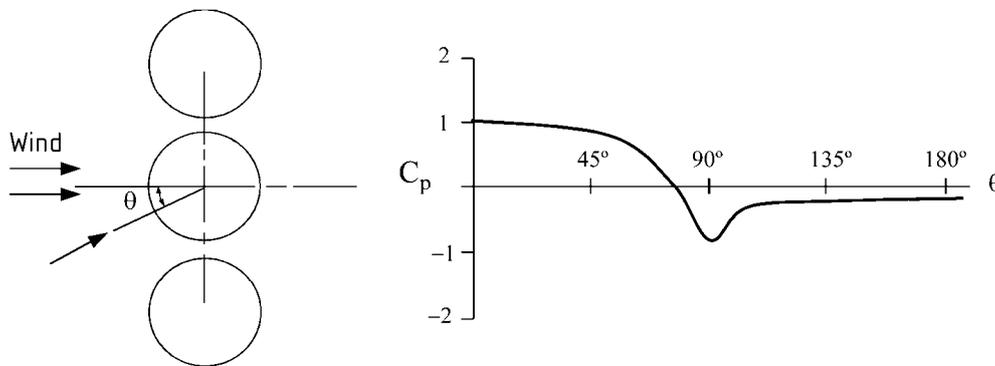


Bild C.3 — Winddruckverteilung über den halben Umfang bei einem in einer Gruppe stehenden Silo

Bei Silos ohne geschlossenes Dach sollten die folgenden konstanten Druckbeiwerte ΔC_p für den inneren Unterdruck zu den obigen Funktionen hinzuaddiert werden, wodurch sich der nach innen gerichtete Druck am Staumeridian vergrößert:

- Zusätzlicher innerer Unterdruck in einem oben offenen Silo: $\Delta C_p = +0,6$.
- Zusätzlicher innerer Unterdruck in einem belüfteten Silo mit kleiner Öffnung: $\Delta C_p = +0,4$.

ANMERKUNG ΔC_p wird als nach innen gerichtet positiv angesetzt. Für diesen Fall ist die Resultante des Außen- und Innendrucks an der Silowand auf der Leeseite des Silos annähernd gleich null.

DIN EN 1993-4-1/NA

ICS 65.040.20; 91.010.30; 91.080.10

Ersatzvermerk
siehe unten**Nationaler Anhang –
National festgelegte Parameter –
Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 4-1: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen – Silos**

National Annex –
Nationally determined parameters –
Eurocode 3: Design of steel structures –
Part 4-1: Silos, tanks and pipelines – Silos

Annexe Nationale –
Paramètres déterminés au plan national –
Eurocode 3: Calcul des structures en acier –
Partie 4-1: Silos, réservoirs et canalisations – Silos

Ersatzvermerk

Mit DIN EN 1993-1-8:2010-12, DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12 und DIN EN 1993-4-1:2010-12 Ersatz für
DIN 18914:1985-09;
mit DIN EN 1993-4-1:2010-12 Ersatz für DIN 18914 Beiblatt 1:1985-09

Gesamtumfang 8 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

DIN EN 1993-4-1/NA:2010-12

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
NA 1 Anwendungsbereich	4
NA 2 Nationale Festlegungen zur Anwendung von DIN EN 1993-4-1:2010-12	4
NA 2.1 Allgemeines	4
NA 2.2 Nationale Festlegungen	5

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom NA 005-08-16 AA „Tragwerksbemessung (Sp CEN/TC 250/SC 3)“ erstellt.

Dieses Dokument bildet den Nationalen Anhang zu DIN EN 1993-4-1:2010-12 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4-1: Silos“.

Die Europäische Norm EN 1993-4-1 räumt die Möglichkeit ein, eine Reihe von sicherheitsrelevanten Parametern national festzulegen. Diese national festzulegenden Parameter (en: Nationally determined parameters, NDP) umfassen alternative Nachweisverfahren und Angaben einzelner Werte, sowie die Wahl von Klassen aus gegebenen Klassifizierungssystemen. Die entsprechenden Textstellen sind in der Europäischen Norm durch Hinweise auf die Möglichkeit nationaler Festlegungen gekennzeichnet. Eine Liste dieser Textstellen befindet sich im Unterabschnitt NA 2.1.

Dieser Nationale Anhang ist Bestandteil von DIN EN 1993-4-1:2010-12.

Änderungen

Gegenüber DIN 18914:1985-09 und DIN 18914 Beiblatt 1:1985-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) nationale Festlegungen zu DIN EN 1993-4-1:2010-12 aufgenommen.

Frühere Ausgaben

DIN 18914: 1985-09

DIN 18914 Beiblatt 1: 1985-09

DIN EN 1993-4-1/NA:2010-12**NA 1 Anwendungsbereich**

Dieser Nationale Anhang enthält nationale Festlegungen für die Tragwerksplanung von freistehenden oder unterstützten Stahlsilos mit kreisrundem oder rechteckigem Grundriss, die bei der Anwendung von DIN EN 1993-4-1:2010-12 in Deutschland zu berücksichtigen sind.

Dieser Nationale Anhang gilt nur in Verbindung mit DIN EN 1993-4-1:2010-12.

NA 2 Nationale Festlegungen zur Anwendung von DIN EN 1993-4-1:2010-12**NA 2.1 Allgemeines**

DIN EN 1993-4-1:2010-12 weist an den folgenden Textstellen die Möglichkeit nationaler Festlegungen aus (NDP; en: Nationally determined parameters):

- | | |
|--------------------------------|---------------------------|
| — 2.2 (1); | — 5.5.2 (3); |
| — 2.2 (3); | — 5.6.2 (1) und (2); |
| — 2.9.2.2 (3); | — 6.1.2 (4); |
| — 3.4 (1); | — 6.3.2.3 (2) und (4); |
| — 4.1.4 (2) und (4); | — 6.3.2.7 (3); |
| — 4.2.2.3 (6); | — 7.3.1 (4); |
| — 4.3.1 (6) und (8); | — 8.3.3 (4); |
| — 5.3.2.3 (3); | — 8.4.1 (6); |
| — 5.3.2.4 (10), (12) und (15); | — 8.4.2 (5); |
| — 5.3.2.5 (10) und (14); | — 8.5.3 (3); |
| — 5.3.2.6 (3) und (6); | — 9.5.1 (3) und (4); |
| — 5.3.2.8 (2); | — 9.5.2 (5); |
| — 5.3.3.5 (1) und (2); | — 9.8.2 (1) und (2); |
| — 5.3.4.3.2 (2); | — A.2 (1) und (2); |
| — 5.3.4.3.3 (2) und (5); | — A.3.2.1 (6); |
| — 5.3.4.3.4 (5); | — A.3.2.2 (6); |
| — 5.3.4.5 (3); | — A.3.2.3 (2); |
| — 5.4.4 (2), (3); | — A.3.3 (1), (2) und (3); |
| — 5.4.7 (3); | — A.3.4 (4). |

NA 2.2 Nationale Festlegungen

Die nachfolgende Nummerierung entspricht der Nummerierung von DIN EN 1993-4-1:2010-12 bzw. ergänzt diese.

NDP zu 2.2(1)

Keine weitere nationale Festlegung.

NDP zu 2.2(3)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 2.9.2.2(3)

Es gelten die Empfehlungen.

NDP zu 3.4(1)

Keine weitere nationale Festlegung.

NDP zu 4.1.4(2)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 4.1.4(4)

Keine weitere nationale Festlegung.

NDP zu 4.2.2.3(6)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 4.3.1(6)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 4.3.1(8)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 5.3.2.3(3)

Es gelten die Empfehlungen.

NDP zu 5.3.2.4(10)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 5.3.2.4(12)

Es gelten die Empfehlungen.

DIN EN 1993-4-1/NA:2010-12

NDP zu 5.3.2.4(15)

Es gelten die Empfehlungen.

NDP zu 5.3.2.5(10)

Es gilt $\alpha_n = \alpha_e$ nach DIN EN 1993-1-6:2010-12, Tabelle D.5.

NDP zu 5.3.2.5(14)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 5.3.2.6(3)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 5.3.2.6(6)

Es gilt α_T nach DIN EN 1993-1-6:2010-12, Tabelle D.5.

NDP zu 5.3.2.8(2)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 5.3.3.5(1)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 5.3.3.5(2)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 5.3.4.3.2(2)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 5.3.4.3.3(2)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 5.3.4.3.3(5)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 5.3.4.3.4(5)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 5.3.4.5(3)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 5.4.4(2)

Es gelten die Empfehlungen.

NDP zu 5.4.4(3)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 5.4.7(3)

Es gelten die Empfehlungen.

NDP zu 5.5.2(3)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 5.6.2(1)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 5.6.2(2)

Es gelten die Empfehlungen.

NDP zu 6.1.2(4)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 6.3.2.3(2)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 6.3.2.3(4)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 6.3.2.7(3)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 7.3.1(4)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 8.3.3(4)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 8.4.1(6)

Es gelten die Empfehlungen.

NDP zu 8.4.2(5)

Es gelten die Empfehlungen.

NDP zu 8.5.3(3)

Es gilt die Empfehlung.

DIN EN 1993-4-1/NA:2010-12

NDP zu 9.5.1(3)

Es gelten die Empfehlungen.

NDP zu 9.5.1(4)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 9.5.2(5)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu 9.8.2(1)

Es gelten die Empfehlungen.

NDP zu 9.8.2(2)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu A.2(1)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu A.2(2)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu A.3.2.1(6)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu A.3.2.2(6)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu A.3.2.3(2)

Es gelten die Empfehlungen.

NDP zu A.3.3(1)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu A.3.3(2)

Es gilt die Empfehlung.

NDP zu A.3.3(3)

Es gelten die Empfehlungen.

NDP zu A.3.4(4)

Es gilt die Empfehlung.