

**DIN EN 1999-1-1**

ICS 91.010.30; 91.080.10

Ersatzvermerk  
siehe unten**Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken –  
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln;  
Deutsche Fassung EN 1999-1-1:2007 + A1:2009**

Eurocode 9: Design of aluminium structures –  
Part 1-1: General structural rules;  
German version EN 1999-1-1:2007 + A1:2009

Eurocode 9: Calcul des structures en aluminium –  
Partie 1-1: Règles générales;  
Version allemande EN 1999-1-1:2007 + A1:2009

**Ersatzvermerk**

Ersatz für DIN V ENV 1999-1-1:2000-10;  
teilweiser Ersatz für DIN 4113-1:1980-05, DIN 4113-1/A1:2002-09, DIN 4113-1/A1 Berichtigung 1:2008-12,  
DIN 4113-2:2002-09, DIN 4113-2 Berichtigung 1:2008-12, DIN V 4113-3:2003-11 und  
DIN V 4113-3 Berichtigung 1:2008-12

Gesamtumfang 264 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

## **Nationales Vorwort**

Dieses Dokument (EN 1999-1-1:2007 + A1:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“, dessen Sekretariat vom BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird, unter deutscher Mitwirkung erarbeitet.

Im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. ist hierfür der Arbeitsausschuss NA 005-08-07 AA „Aluminiumkonstruktionen unter vorwiegend ruhender Belastung (DIN 4113, Sp CEN/TC 250/SC 9 + CEN/TC 135/WG 11)“ des Normenausschusses Bauwesen (NABau) zuständig.

Dieses Dokument enthält die Änderung A1, die von CEN am 12. März 2009 angenommen wurde.

Der Anfang und das Ende der Textstellen, die aufgrund der Änderung eingefügt bzw. gestrichen wurden, sind durch **A1** **A1** gekennzeichnet.

Für die Anwendung dieser DIN-EN-Norm ist ein Nationaler Anhang in Vorbereitung (siehe E DIN EN 1999-1-1 NA).

## **Änderungen**

Gegenüber DIN 4113-1:1980-05, DIN 4113-1/A1:2002-09, DIN 4113-1/A1 Berichtigung 1:2008-12, DIN 4113-2:2002-09, DIN 4113-2 Berichtigung 1:2008-12, DIN V 4113-3:2003-11, DIN V 4113-3 Berichtigung 1:2008-12 und DIN V ENV 1999-1-1:2000-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Einführung des semi-probabilistischen Teilsicherheitskonzeptes.

## **Frühere Ausgaben**

DIN 4113-1: 1980-05, DIN 4113: 1958x-02  
DIN 4113-1/A1: 2002-09  
DIN 4113-1/A1 Berichtigung 1: 2008-12  
DIN 4113-2: 2002-09, DIN 4113: 1958-02  
DIN 4113-2 Berichtigung 1: 2008-12  
DIN V 4113-3: 2003-11  
DIN V 4113-3 Berichtigung 1: 2008-12  
DIN V ENV 1999-1-1: 2000-10

Deutsche Fassung

**Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von  
Aluminiumtragwerken —  
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln**

Eurocode 9: Design of aluminium structures —  
Part 1-1: General structural rules

Eurocode 9: Calcul des structures en aluminium —  
Partie 1-1: Règles générales

Diese Europäische Norm wurde von CEN am 18. September 2006 angenommen und enthält die Änderung A1, die vom CEN am 12. März 2009 angenommen wurde.

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

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

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, 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: rue de Stassart, 36 B- 1050 Brüssel**

# Inhalt

Seite

Vorwort .....	7
Vorwort der Änderng A1 .....	8
Nationaler Anhang zu EN 1999-1-1 .....	12
<b>1 Allgemeines .....</b>	<b>13</b>
1.1 Anwendungsbereich .....	13
1.1.1 Anwendungsbereich von EN 1999 .....	13
1.1.2 Anwendungsbereich von EN 1999-1-1 .....	13
1.2 Normative Verweisungen .....	15
1.2.1 Allgemeine Verweisungen .....	15
1.2.2 Verweisungen zur Tragwerksbemessung .....	15
1.2.3 Regelungen für Aluminiumlegierungen .....	15
1.2.4 Verweisungen zum Schweißen .....	17
1.2.5 Sonstige Verweisungen .....	18
1.3 Annahmen .....	18
1.4 Unterscheidung nach Grundsätzen und Anwendungsregeln .....	18
1.5 Begriffe .....	18
1.6 Formelzeichen .....	19
1.7 Definition der Bauteilachsen .....	36
1.8 Ausführungsspezifikation .....	37
<b>2 Grundlagen für die Tragwerksplanung .....</b>	<b>39</b>
2.1 Anforderungen .....	39
2.1.1 Grundlegende Anforderungen .....	39
2.1.2 Behandlung der Zuverlässigkeit .....	39
2.1.3 Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Robustheit .....	39
2.2 Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen .....	39
2.3 Basisvariable .....	40
2.3.1 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse .....	40
2.3.2 Werkstoff- und Produkteigenschaften .....	40
2.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten .....	40
2.4.1 Bemessungswerte von Werkstoffeigenschaften .....	40
2.4.2 Bemessungswerte der geometrischen Größen .....	40
2.4.3 Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit .....	41
2.4.4 Nachweis der Lagesicherheit (EQU) .....	41
2.5 Bemessung mit Hilfe von Versuchen .....	41
<b>3 Werkstoffe .....</b>	<b>42</b>
3.1 Allgemeines .....	42
3.2 Aluminium für Bauteile .....	42
3.2.1 Werkstoffarten .....	42
3.2.2 Werkstoffeigenschaften von Aluminiumknetlegierungen .....	43
3.2.3 Werkstoffeigenschaften von Aluminiumgusslegierungen .....	48
3.2.4 Abmessungen, Gewichte und Toleranzen .....	49
3.2.5 Bemessungswerte der Werkstoffkennwerte .....	49
3.3 Verbindungsmittel .....	50
3.3.1 Allgemeines .....	50
3.3.2 Schrauben, Muttern und Scheiben .....	50
3.3.3 Niete .....	52
3.3.4 Schweißzusätze .....	52
3.3.5 Klebstoffe .....	52
<b>4 Dauerhaftigkeit .....</b>	<b>53</b>
<b>5 Tragwerksberechnung .....</b>	<b>54</b>
5.1 Statische Systeme .....	54

	Seite
5.1.1	Grundlegende Annahmen ..... 54
5.1.2	Berechnungsmodelle für Anschlüsse ..... 54
5.1.3	Bauwerks-Boden-Interaktion ..... 54
5.2	Untersuchung von Gesamttragwerken ..... 55
5.2.1	Einflüsse der Tragwerksverformung ..... 55
5.2.2	Stabilität von Tragwerken ..... 55
5.3	Imperfektionen ..... 56
5.3.1	Grundlage ..... 56
5.3.2	Imperfektionen für die Tragwerksberechnung ..... 57
5.3.3	Imperfektionen zur Berechnung aussteifender Systeme ..... 62
5.3.4	Bauteilimperfektionen ..... 64
5.4	Berechnungsmethoden ..... 64
5.4.1	Allgemeines ..... 64
5.4.2	Elastische Tragwerksberechnung ..... 65
5.4.3	Plastische Tragwerksberechnung ..... 65
6	Grenzzustände der Tragfähigkeit von Bauteilen ..... 65
6.1	Grundlage ..... 65
6.1.1	Allgemeines ..... 65
6.1.2	Charakteristische Festigkeitswerte ..... 65
6.1.3	Teilsicherheitsbeiwerte ..... 66
6.1.4	Klassifizierung von Querschnitten ..... 66
6.1.5	Beulen ..... 72
6.1.6	Festigkeitsreduktionen in der Wärmeeinflusszone von Schweißungen ..... 74
6.2	Beanspruchbarkeit der Querschnitte ..... 77
6.2.1	Allgemeines ..... 77
6.2.2	Querschnittswerte ..... 78
6.2.3	Zugbeanspruchung ..... 80
6.2.4	Druckbeanspruchung ..... 80
6.2.5	Biegebeanspruchung ..... 81
6.2.6	Querkraftbeanspruchung ..... 84
6.2.7	Torsionsbeanspruchung ..... 85
6.2.8	Beanspruchung aus Biegung und Querkraft ..... 87
6.2.9	Beanspruchung aus Biegung und Normalkraft ..... 88
6.2.10	Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Normalkraft ..... 89
6.2.11	Stegkrüppeln ..... 90
6.3	Stabilitätsnachweise für Bauteile ..... 90
6.3.1	Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck ..... 90
6.3.2	Bauteile mit Biegung ..... 95
6.3.3	Bauteile mit Biegung und zentrischem Druck ..... 97
6.4	Mehrteilige druckbeanspruchte Bauteile ..... 102
6.4.1	Allgemeines ..... 102
6.4.2	Gitterstützen ..... 105
6.4.3	Stützen mit Bindeblechen (Rahmenstützen) ..... 106
6.4.4	Mehrteilige Bauteile mit geringer Spreizung ..... 108
6.5	Unausgesteifte, in ihrer Ebene belastete Platten ..... 109
6.5.1	Allgemeines ..... 109
6.5.2	Beanspruchbarkeit unter gleichförmigem Druck ..... 109
6.5.3	Beanspruchbarkeit bei Biegung in der Ebene ..... 111
6.5.4	Beanspruchbarkeit bei in Quer- oder Längsrichtung veränderlichen Normalspannungen ..... 112
6.5.5	Beanspruchbarkeit durch gleichförmige Schubspannungen ..... 112
6.5.6	Beanspruchbarkeit bei kombinierten Einwirkungen ..... 113
6.6	Ausgesteifte, in ihrer Ebene belastete Platten ..... 114
6.6.1	Allgemeines ..... 114
6.6.2	Ausgesteifte Platten unter gleichförmigem Druck ..... 115
6.6.3	Ausgesteifte Platten unter Biegung in ihrer Ebene ..... 117
6.6.4	Gleichförmig versteifte Platten mit in Längsrichtung veränderlichen Spannungen ..... 117
6.6.5	Gleichförmig versteifte Platten unter Schubbeanspruchung ..... 118

	Seite
6.6.6	Beullasten orthotroper Platten .....118
6.7	Vollwandträger mit schlanken Stegen .....121
6.7.1	Allgemeines .....121
6.7.2	Beanspruchbarkeit bei Biegung in der Trägerebene .....122
6.7.3	Beanspruchbarkeit von Trägern mit Längssteifen am Steg .....123
6.7.4	Schubbeanspruchbarkeit.....125
6.7.5	Beanspruchbarkeit unter Querlasten .....130
6.7.6	Interaktion.....133
6.7.7	Gurtinduziertes Stegblechbeulen .....134
6.7.8	Stegblechsteifen .....135
6.8	Bauteile mit Trapezblechstegen.....136
6.8.1	Beanspruchbarkeit durch Biegemomente .....137
6.8.2	Schubkraftbeanspruchbarkeit.....137
7	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit .....139
7.1	Allgemeines .....139
7.2	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für den Hochbau.....139
7.2.1	Vertikale Durchbiegungen .....139
7.2.2	Horizontale Verformungen.....139
7.2.3	Dynamische Einflüsse.....139
7.2.4	Berechnung von elastischen Verformungen .....139
8	Bemessung von Anschlüssen.....140
8.1	Bemessungsgrundlagen .....140
8.1.1	Einführung .....140
8.1.2	Schnittgrößen.....141
8.1.3	Beanspruchbarkeit von Anschlüssen .....141
8.1.4	Bemessungsannahmen .....141
8.1.5	Herstellung und Ausführung .....141
8.2	Schnittpunkte in geschraubten, genieteten und geschweißten Anschlüssen.....142
8.3	Schubbeanspruchte Anschlüsse mit Stoßbeanspruchung, Schwingungsbeanspruchung oder Lastumkehr.....142
8.4	Klassifizierung von Anschlüssen .....142
8.5	Schrauben-, Niet- und Bolzenverbindungen.....143
8.5.1	Rand- und Lochabstände für Schrauben und Niete.....143
8.5.2	Lochabminderungen .....145
8.5.3	Kategorien von Schraubenverbindungen .....148
8.5.4	Kräfteverteilung auf Verbindungsmittel .....149
8.5.5	Bemessungswerte der Tragfähigkeit von Schrauben.....150
8.5.6	Beanspruchbarkeit von Nieten.....153
8.5.7	Senkschrauben und Senkniete .....153
8.5.8	Hohlните und Blindniete .....154
8.5.9	Hochfeste Schrauben in gleitfesten Verbindungen .....154
8.5.10	Abstützkräfte .....156
8.5.11	Lange Anschlüsse .....157
8.5.12	Einschnittige Verbindungen mit einer Schraubenreihe.....158
8.5.13	Verbindungsmittel durch Futterbleche.....158
8.5.14	Bolzenverbindungen .....158
8.6	Schweißverbindungen .....161
8.6.1	Allgemeines .....161
8.6.2	Wärmeeinflusszone (WEZ).....161
8.6.3	Bemessung von Schweißverbindungen .....162
8.7	Hybride Verbindungen .....170
8.8	Geklebte Verbindungen .....170
8.9	Andere Verbindungsverfahren .....170
Anhang A (informativ)	<b>A1</b> Differenzierung der Zuverlässigkeit.....171
A.1	Einleitung.....171

A.2	Vorschriften für die Planung zur Differenzierung der Zuverlässigkeit — Planungsüberwachungsstufen .....	171
A.3	Vorschriften für die Ausführung zur Differenzierung der Zuverlässigkeit — Ausführungsklassen .....	171
A.4	Maßgebende Faktoren für die Auswahl der Ausführungsklassen .....	172
A.5	Festlegung der Ausführungsklasse .....	173
A.6	Ausnutzungsgrade .....	173
<b>Anhang B</b>	(normativ) Äquivalenter T-Stummel mit Zugbeanspruchung .....	174
B.1	Allgemeine Regeln zur Bewertung der Tragfähigkeit .....	174
B.2	Einzelne Schraubenreihen, Schraubengruppen und Gruppen von Schraubenreihen .....	179
<b>Anhang C</b>	(informativ) Werkstoffauswahl .....	181
C.1	Allgemeines .....	181
C.2	Knethalbzeuge .....	181
C.2.1	Aushärtbare Knetlegierungen .....	181
C.2.2	Nichtaushärtbare Knetlegierungen .....	185
C.3	Gussprodukte .....	186
C.3.1	Allgemeines .....	186
C.3.2	Aushärtbare Gusslegierungen EN AC-42100, EN AC-42200, EN AC-43000 und EN AC-43300 .....	186
C.3.3	Nichtaushärtbare Gusslegierungen EN AC-44200 und EN AC-51300 .....	186
C.3.4	Besondere Bemessungsregeln für Gussstücke .....	186
C.4	Verbindungsmitel .....	188
C.4.1	Aluminiumschrauben .....	188
C.4.2	Aluminiumniete .....	189
<b>Anhang D</b>	(informativ) Korrosion und Oberflächenschutz .....	190
D.1	Korrosion von Aluminium unter verschiedenen Umgebungsbedingungen .....	190
D.2	Dauerhaftigkeit von Aluminiumlegierungen .....	191
D.3	Korrosionsschutz .....	191
D.3.1	Allgemeines .....	191
D.3.2	Vollflächiger Schutz von Aluminiumbauteilen .....	191
D.3.3	Aluminium bei Kontakt mit Aluminium und anderen Metallen .....	193
D.3.4	Aluminiumoberflächen in Kontakt mit Nichtmetallen .....	193
<b>Anhang E</b>	(informativ) Analytische Modelle für das Spannungs-Dehnungsgesetz .....	198
E.1	Anwendungsbereich .....	198
E.2	Analytische Modelle .....	198
E.2.1	Modelle mit abschnittsweiser linearer Beschreibung .....	198
E.2.2	Kontinuierliche Modelle .....	201
E.3	Näherungsweise Ermittlung von $\epsilon_U$ .....	205
<b>Anhang F</b>	(informativ) Tragverhalten von Querschnitten oberhalb der Elastizitätsgrenze .....	206
F.1	Allgemeines .....	206
F.2	Definition der Querschnittsgrenzzustände .....	206
F.3	Klassifizierung von Querschnitten nach Grenzzuständen .....	207
F.4	Ermittlung der Traglast unter Normalkraft .....	208
F.5	Ermittlung des Tragmomentes .....	208
<b>Anhang G</b>	(informativ) Rotationskapazität .....	210
<b>Anhang H</b>	(informativ) Fließgelenkverfahren bei Durchlaufträgern .....	212
<b>Anhang I</b>	(informativ) Biegedrillknicken von Trägern sowie Drillknicken und Biegedrillknicken von gedrückten Bauteilen .....	215
I.1	Ideales Biegedrillknickmoment und Schlankheitsgrad .....	215
I.1.1	Grundlage .....	215
I.1.2	Allgemeine Gleichungen für Träger mit konstantem zur schwachen oder starken Achse symmetrischem Querschnitt .....	215
I.1.3	Träger mit konstantem Querschnitt, der zur starken Achse symmetrisch, zentralsymmetrisch oder doppelsymmetrisch ist .....	222

	Seite
I.1.4	Kragträger mit konstantem, zur schwachen Achse symmetrischem Querschnitt.....223
I.2	Schlankheitsgrad für Biegedrillknicken ohne Normalkraft.....225
I.3	Ideale Drillknicklast und Biegedrillknicklast bei Axialbelastung.....228
I.4	Schlankheitsgrad für Drillknicken und Biegedrillknicken mit Normalkraft.....230
<b>Anhang J (informativ) Querschnitteigenschaften.....236</b>	
J.1	Torsionsträgheitsmoment $I_t$ .....236
J.2	Lage des Schubmittelpunktes $S$ .....236
J.3	Wölbwiderstand $I_w$ .....237
J.4	Querschnittswerte offener, dünnwandiger Querschnitte.....241
<b>Bild J.3 — Querschnittsknoten.....241</b>	
J.5	Querschnittswerte offener, verzweigter Querschnitte.....244
J.6	Torsionsträgheitsmoment und Schubmittelpunkt von Querschnitten mit geschlossenen Zellen.....245
<b>Anhang K (informativ) Mittragende Breiten bei der Bauteilbemessung.....246</b>	
K.1	Allgemeines.....246
K.2	Als wirksam anzusetzende mittragende Breiten.....246
K.2.1	Beiwert für die mittragende Breite.....246
K.2.2	Spannungsverteilung im Falle der mittragenden Breite.....248
K.2.3	Lasteinleitung in der Scheibenebene.....249
K.3	Mittragende Breite bei Grenzzuständen der Tragfähigkeit.....250
<b>Anhang L (informativ) Klassifizierung von Anschlüssen.....251</b>	
L.1	Allgemeines.....251
L.2	Voll wirksame Verbindungen.....252
L.3	Teilweise wirksame Verbindungen.....252
L.4	Klassifizierung nach der Steifigkeit.....253
L.5	Klassifizierung nach der Tragfähigkeit.....254
L.6	Klassifizierung nach der Duktilität.....254
L.7	Allgemeine Bemessungsanforderungen für Verbindungen.....254
L.8	Anforderungen an Verbindungen in Rahmentragwerken.....254
L.8.1	Allgemeines.....254
L.8.2	Gelenkige Verbindungen.....256
L.8.3	Momentenübertragende Verbindungen.....256
<b>Anhang M (informativ) Geklebte Verbindungen.....258</b>	
M.1	Allgemeines.....258
M.2	Klebstoffe.....258
M.3	Bemessung geklebter Verbindungen.....259
M.3.1	Allgemeines.....259
M.3.2	Charakteristische Festigkeit von Klebstoffen.....260
M.3.3	Bemessungswert der Scherspannung.....261
M.4	Versuche.....261
A <sub>1</sub>	Literaturhinweise.....262



## **Vorwort**

Dieses Dokument (EN 1999-1-1:2007) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

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

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

Dieses Dokument ersetzt ENV 1999-1-1:1998.

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.

## **Vorwort der Änderung A1**

Dieses Dokument (EN 1999-1-1:2007/A1:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Änderung zur Europäische Norm EN 1999-1-1:2007 muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Januar 2010, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2010 zurückgezogen werden.

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

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. Das Ziel des Programms war die Beseitigung technischer Handelshemmnisse und die Harmonisierung technischer Spezifikationen.

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 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 Vereinbarung<sup>1)</sup> 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 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: Einwirkungen auf Tragwerke*
- EN 1992, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*
- 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 Holzbauwerken*
- 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 Aluminiumtragwerken*

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.

---

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).

## **Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes**

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

- als Mittel zum Nachweis der Übereinstimmung von Hoch- und Ingenieurbauten mit den wesentlichen Anforderungen der Richtlinie des Rates 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 die dazu erforderlichen Ingenieurleistungen;
- als Rahmenbedingung für die Herstellung harmonisierter, technischer Spezifikationen für Bauprodukte (ENs und ETAs)

Die Eurocodes haben, da sie sich auf Bauwerke beziehen, eine direkte Verbindung zu den Grundlagendokumenten<sup>2)</sup>, auf die in Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hingewiesen wird, wenn sie auch anderer Art sind als die harmonisierten Produktnormen<sup>3)</sup>. Daher sind die technischen Gesichtspunkte, die sich aus den 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 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.

## **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 (informativen) Nationalen Anhang.

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

- Zahlenwerte für die Teilsicherheitsbeiwerte und/oder Klassen, wo die Eurocodes Alternativen eröffnen,
- Zahlenwerte, wo die Eurocodes nur Symbole angeben,

---

2) Entsprechend 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 Richtlinien für die europäische Zulassung selbst zu schaffen.

3) Nach Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie haben die Grundlagendokumente

- a) die wesentlichen Anforderungen zu konkretisieren, indem die Begriffe und, soweit erforderlich, die technische Grundlage für Klassen und Anforderungsstufen vereinheitlicht werden,
- b) Methoden zur Verbindung dieser Klassen oder Anforderungsstufen mit technischen Spezifikationen anzugeben, z. B. Berechnungs- oder Nachweisverfahren, technische Entwurfsregeln usw.,
- c) als Bezugsdokumente 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.

- landesspezifische geographische und klimatische Daten, die nur für ein Mitgliedsland gelten, z. B. Schneekarten,
- die Vorgehensweise, wenn die Eurocodes mehrere Vorgehensweisen zur Wahl anbieten,
- Hinweise zur Anwendung der Eurocodes, soweit diese die Eurocodes ergänzen und ihnen nicht widersprechen.

Verhältnis zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (ENs and ETAs)

Es besteht die Notwendigkeit, dass die harmonisierten technischen Spezifikationen für Bauprodukte und die technischen Regelungen für die Tragwerksplanung<sup>4)</sup> 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) zugrunde liegen.

### **Besondere Hinweise zu EN 1999-1-1**

Es ist vorgesehen, EN 1999 gemeinsam mit den Eurocodes EN 1990 — *Grundlagen der Tragwerksplanung*, EN 1991 — *Einwirkungen auf Tragwerke* sowie EN 1992 bis EN 1999, soweit hierin auf Tragwerke aus Aluminium oder Bauteile aus Aluminium Bezug genommen wird, anzuwenden.

EN 1999-1-1 ist der erste von fünf Teilen von EN 1999. In diesem ersten Teil sind Grundregeln enthalten, die für die Verwendung in Verbindung mit den Teilen EN 1999-1-2 bis EN 1999-1-5 vorgesehen sind.

Die anderen vier Teile EN 1999-1-2 bis EN 1999-1-5 behandeln jeweils spezielle Aluminiumbauteile, Grenz-zustände oder Tragwerksarten.

EN 1999-1-1 darf auch für Bemessungssituationen außerhalb des Geltungsbereiches der Eurocodes angewendet werden (andere Tragwerke, andere Belastungen andere Werkstoffe) und dann als Bezugsdokument für andere mit der Tragwerksbemessung befasste CEN TCs dienen.

Die Anwendung von EN 1999-1-1 ist gedacht für

- Komitees zur Erstellung von Spezifikationen für Bauprodukte, Normen für Prüfverfahren sowie Normen für die Bauausführung,
- Bauherren (z. B. zur Formulierung spezieller Anforderungen),
- Tragwerksplaner und Bauausführende,
- zuständige Behörden

Die Zahlenwerte für die Teilsicherheitsbeiwerte und andere Parameter, die die Zuverlässigkeit festlegen, gelten als Empfehlungen, mit denen ein akzeptables Zuverlässigkeitsniveau erreicht werden soll. Bei ihrer Festlegung wurde vorausgesetzt, dass ein angemessenes Niveau der Ausführungsqualität und Qualitätsprüfung vorhanden ist.

---

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

## **Nationaler Anhang zu EN 1999-1-1**

Diese Norm enthält alternative Verfahren, Zahlenwerte und Empfehlungen für Klassen zusammen mit Hinweisen, an welchen Stellen nationale Festlegungen möglicherweise getroffen werden müssen. Deshalb sollte die jeweilige nationale Ausgabe von EN 1999-1-1 einen Nationalen Anhang mit den allen national festzulegenden Parametern enthalten, die für die Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken, die in dem Ausgabeland gebaut werden sollte, erforderlich sind.

Nationale Festlegungen sind in den folgenden Abschnitten vorgesehen:

- 1.1.2(1)
- 2.1.2(3)
- 2.3.1(1)
- 3.2.1(1)
- 3.2.2(1)
- 3.2.2(2)
- 3.2.3.1(1)
- 3.3.2.1(3)
- 3.3.2.2(1)
- 5.2.1(3)
- 5.3.2(3)
- 5.3.4(3)
- 6.1.3(1)
- 6.2.1(5)
- 7.1(4)
- 7.2.1(1)
- 7.2.2(1)
- 7.2.3(1)
- 8.1.1(2)
- 8.9(3)
- A(6) (Tabelle A.1)
- C.3.4.1(2)
- C.3.4.1(3)
- C.3.4.1(4)
- K.1(1)
- K.3(1)

# 1 Allgemeines

## 1.1 Anwendungsbereich

### 1.1.1 Anwendungsbereich von EN 1999

(1)P EN 1999 gilt für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Bauwerken und Tragwerken aus Aluminium. Sie entspricht den Grundsätzen und Anforderungen an die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Tragwerken, sowie den Grundlagen für ihre Bemessung und Nachweise, die in EN 1990 — *Grundlagen der Tragwerksplanung* — enthalten sind.

(2) EN 1999 behandelt ausschließlich Anforderungen an die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit, die Dauerhaftigkeit und den Feuerwiderstand von Tragwerken aus Aluminium. Andere Anforderungen, wie z. B. Wärmeschutz oder Schallschutz, werden nicht behandelt.

(3) EN 1999 gilt in Verbindung mit folgenden Regelwerken:

- EN 1990, *Grundlagen der Tragwerksplanung*
- EN 1991, *Einwirkungen auf Tragwerke*
- Europäische Normen für Bauprodukte, die für Aluminiumtragwerke Verwendung finden
- $\overline{A_1}$  EN 1090-1  $\overline{A_1}$ , *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 1: Konformitätsnachweis für tragende Bauteile*  $\overline{A_1}$  gestrichener Text  $\overline{A_1}$
- $\overline{A_1}$  EN 1090-3  $\overline{A_1}$ , *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 3: Technische Anforderungen für Aluminiumtragwerke*  $\overline{A_1}$  gestrichener Text  $\overline{A_1}$

(4) EN 1999 ist in fünf Teile gegliedert:

EN 1999-1-1, *Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken: Allgemeine Bemessungsregeln.*

EN 1999-1-2, *Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken: Tragwerksbemessung für den Brandfall*

EN 1999-1-3, *Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken: Ermüdungsbeanspruchte Tragwerke*

EN 1999-1-4, *Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken: Kaltgeformte Profiltafeln*

EN 1999-1-5, *Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken: Schalentragwerke*

### 1.1.2 Anwendungsbereich von EN 1999-1-1

(1) EN 1999-1-1 enthält Regeln für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Tragwerken aus Aluminiumknetlegierungen und eine kurze Anleitung für Gusslegierungen (siehe Abschnitt 3  $\overline{A_1}$  und Anhang C  $\overline{A_1}$ ).

ANMERKUNG Die kleinste Werkstoffdicke kann im Nationalen Anhang definiert werden. Die folgenden Grenzen werden empfohlen — wenn nichts anderes ausdrücklich in dieser Norm festgelegt ist:

- Bauteile mit einer Werkstoffdicke nicht kleiner als 0,6 mm;
- Geschweißte Bauteile mit einer Werkstoffdicke nicht kleiner als 1,5 mm;
- Verbindungen mit:
  - Schrauben und Stahlbolzen mit einem Durchmesser nicht kleiner als 5 mm;
  - Aluminiumschrauben und Aluminiumbolzen mit einem Durchmesser nicht kleiner als 8 mm;
  - Niete und gewindeformende Schrauben mit einem Durchmesser nicht kleiner als 4,2 mm

(2) EN 1999-1-1 enthält folgende Abschnitte:

Abschnitt 1: Allgemeines

Abschnitt 2: Grundlagen für die Tragwerksplanung

Abschnitt 3: Werkstoffe

Abschnitt 4: Dauerhaftigkeit

Abschnitt 5: Tragwerksberechnung

Abschnitt 6: Grenzzustände der Tragfähigkeit von Bauteilen

Abschnitt 7: Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Abschnitt 8: Bemessung von Verbindungen

Anhang A Ausführungsklassen

Anhang B Äquivalenter T-Stummel mit Zugbelastung

Anhang C Werkstoffauswahl

Anhang D Korrosion und Oberflächenschutz

Anhang E Analytische Modelle für das Spannungs-Dehnungsgesetz

Anhang F Tragverhalten von Querschnitten oberhalb der Elastizitätsgrenze

Anhang G Rotationskapazität

Anhang H Fließgelenkverfahren bei Durchlaufträgern

Anhang I Biegedrillknicken von Trägern sowie Drillknicken und Biegedrillknicken von gedrückten Bauteilen

Anhang J Querschnittseigenschaften

Anhang K Mittragende Breiten bei der Bauteilbemessung

Anhang L Klassifizierung von Anschlüssen

Anhang M Geklebte Verbindungen

(3) Die Abschnitte 1 und 2 enthalten zusätzliche Regelungen zu EN 1990, *Grundlagen der Tragwerksplanung*.

(4) Abschnitt 3 behandelt die Werkstoffeigenschaften von Bauprodukten aus Aluminiumlegierungen.

(5) Abschnitt 4 legt grundlegende Anforderungen an die Dauerhaftigkeit fest.

(6) Abschnitt 5 bezieht sich auf die Tragwerksberechnung von Stabtragwerken, die mit einer ausreichenden Genauigkeit aus stabförmigen Bauteilen zusammengesetzt werden können.

(7) Abschnitt 6 enthält detaillierte Regeln zur Bemessung von Querschnitten und Bauteilen im Grenzzustand der Tragfähigkeit.

(8) Abschnitt 7 enthält die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit.



(9) Abschnitt 8 enthält ausführliche Regeln für statisch beanspruchte Verbindungen: geschraubte, genietete, geschweißte und geklebte Verbindungen.

## 1.2 Normative Verweisungen

(1) Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

### 1.2.1 Allgemeine Verweisungen

EN 1090-1, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 1: Konformitätsnachweis für tragende Bauteile*

EN 1090-3, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 3: Technische Anforderungen für Aluminiumtragwerke*

### 1.2.2 Verweisungen zur Tragwerksbemessung

EN 1990, *Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991 (alle Teile), *Einwirkungen auf Tragwerke*

*gestrichener Text*

EN 1999-1-2, *Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall*

EN 1999-1-3, *Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-3: Ermüdungsbeanspruchte Tragwerke*

EN 1999-1-4, *Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-4: Kaltgeformte Profiltafeln*

EN 1999-1-5, *Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-5: Schalentragwerke*

### 1.2.3 Regelungen für Aluminiumlegierungen

*gestrichener Text*

#### 1.2.3.1 Technische Lieferbedingungen

EN 485-1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Bänder, Bleche und Platten — Teil 1: Technische Lieferbedingungen*

EN 586-1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Schmiedestücke — Teil 1: Technische Lieferbedingungen*

EN 754-1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Gezogene Stangen und Rohre — Teil 1: Technische Lieferbedingungen*

EN 755-1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Stranggepresste Stangen, Rohre und Profile — Teil 1: Technische Lieferbedingungen*

*gestrichener Text*

EN 28839, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen — Schrauben und Muttern aus Nichteisenmetallen*

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

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

### **1.2.3.2 Abmessungen und Werkstoffeigenschaften**

EN 485-2 A1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Bänder, Bleche und Platten — Teil 2: Mechanische Eigenschaften*

EN 485-3 A1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Bänder, Bleche und Platten — Teil 3: Grenzabmaße und Formtoleranzen für warmgewalzte Erzeugnisse*

EN 485-4 A1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Bänder, Bleche und Platten — Teil 4: Grenzabmaße und Formtoleranzen für kaltgewalzte Erzeugnisse*

EN 508-2 A1, *Dachdeckungsprodukte aus Metallblech — Festlegungen für selbsttragende Bedachungselemente aus Stahlblech, Aluminium oder nichtrostendem Stahlblech — Teil 2: Aluminium*

EN 586-2 A1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Schmiedestücke — Teil 2: Mechanische Eigenschaften und zusätzliche Eigenschaftsanforderungen*

EN 586-3 A1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Schmiedestücke — Teil 3: Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 754-2 A1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Gezogene Stangen und Rohre — Teil 2: Mechanische Eigenschaften*

EN 754-3 A1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Gezogene Stangen und Rohre — Teil 3: Rundstangen, Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 754-4 A1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Gezogene Stangen und Rohre — Teil 4: Vierkantstangen, Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 754-5 A1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Gezogene Stangen und Rohre — Teil 5: Rechteckstangen, Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 754-6 A1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Gezogene Stangen und Rohre — Teil 6: Sechskantstangen, Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 754-7 A1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Gezogene Stangen und Rohre — Teil 7: Nahtlose Rohre, Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 754-8 A1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Gezogene Stangen und Rohre — Teil 8: Mit Kammerwerkzeug stranggepresste Rohre, Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 755-2 A1 :2008 A1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Stranggepresste Stangen, Rohre und Profile — Teil 2: Mechanische Eigenschaften*

EN 755-3 A1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Stranggepresste Stangen, Rohre und Profile — Teil 3: Rundstangen, Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 755-4 A1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Stranggepresste Stangen, Rohre und Profile — Teil 4: Vierkantstangen, Grenzabmaße und Formtoleranzen*

**A1** EN 755-5 **A1**, Aluminium und Aluminiumlegierungen — Stranggepresste Stangen, Rohre und Profile — Teil 5: Rechteckstangen, Grenzabmaße und Formtoleranzen

**A1** EN 755-6 **A1**, Aluminium und Aluminiumlegierungen — Stranggepresste Stangen, Rohre und Profile — Teil 6: Sechseckstangen, Grenzabmaße und Formtoleranzen

**A1** EN 755-7 **A1**, Aluminium und Aluminiumlegierungen — Stranggepresste Stangen, Rohre und Profile — Teil 7: Nahtlosgezogene Rohre, Grenzabmaße und Formtoleranzen

**A1** EN 755-8 **A1**, Aluminium und Aluminiumlegierungen — Stranggepresste Stangen, Rohre und Profile — Teil 8: Mit Kammerwerkzeug stranggepresste Rohre, Grenzabmaße und Formtoleranzen

**A1** EN 755-9 **A1**, Aluminium und Aluminiumlegierungen — Stranggepresste Stangen, Rohre und Profile — Teil 9: Profile, Grenzabmaße und Formtoleranzen

**A1** gestrichener Text **A1**

### 1.2.3.3 Gussstücke aus Aluminiumlegierungen

**A1** EN 1559-1 **A1**, Gießereiwesen — Technische Lieferbedingungen — Teil 1: Allgemeines

**A1** EN 1559-4 **A1**, Gießereiwesen — Technische Lieferbedingungen — Teil 4: Zusätzliche Anforderungen an Gussstücke aus Aluminiumlegierungen

**A1** EN 1371-1 **A1**, Gießereiwesen — Eindringprüfung — Teil 1: Sand-, Schwerkraftkokillen- und Niederdruckkokillengussstücke

**A1** EN 12681 **A1**, Gießereiwesen — Durchstrahlungsprüfung

**A1** EN 571-1 **A1**, Zerstörungsfreie Prüfung — Eindringprüfung — Teil 1: Allgemeine Grundlagen

**A1** EN 13068-1 **A1**, Zerstörungsfreie Prüfung — Radioskopische Prüfung — Teil 1: Quantitative Messung der bildgebenden Eigenschaften

**A1** EN 13068-2 **A1**, Zerstörungsfreie Prüfung — Radioskopische Prüfung — Teil 2: Prüfung der Langzeitstabilität von bildgebenden Systemen

**A1** EN 13068-3 **A1**, Zerstörungsfreie Prüfung — Radioskopische Prüfung — Teil 3: Allgemeine Grundlagen für die radioskopische Prüfung von metallischen Werkstoffen mit Röntgen- und Gammastrahlen

**A1** EN 444 **A1**, Zerstörungsfreie Prüfung — Grundlagen für die Durchstrahlungsprüfung von metallischen Werkstoffen mit Röntgen- und Gammastrahlen

**A1** gestrichener Text **A1**

**A1** EN 1706 **A1**, Aluminium und Aluminiumlegierungen — Gussstücke — Chemische Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften

### 1.2.4 Verweisungen zum Schweißen

**A1** gestrichener Text **A1**

EN 1011-4:2000, Schweißen — Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe — Teil 4: Lichtbogenschweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen

**A1** gestrichener Text **A1**

### 1.2.5 Sonstige Verweisungen

**A1** gestrichener Text **A1**

**A1** ISO 8930 **A1**, *General principles on reliability for structures — List of equivalent terms*

**A1** ISO 11003-1 **A1**, *Adhesives — Determination of shear behaviour of structural adhesives — Part 1: Torsion test method using butt-bonded hollow cylinders*

**A1** ISO 11003-2 **A1**, *Adhesives — Determination of shear behaviour of structural adhesives — Part 2: Tensile test method using thick adherents*

**A1** prEN ISO 1302 **A1**, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Angabe der Oberflächenbeschaffenheit in der technischen Produktdokumentation*

**A1** EN ISO 4287 **A1**, *Geometrische Produktspezifikationen (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren — Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit*

**A1** EN ISO 4288 **A1**, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren — Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit*

### 1.3 Annahmen

(1) Zusätzlich zu den allgemeinen Annahmen von EN 1990 gelten die folgenden Annahmen:

— Die Ausführung entspricht **A1** EN 1090-3 **A1**.

### 1.4 Unterscheidung nach Grundsätzen und Anwendungsregeln

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

### 1.5 Begriffe

(1) Es gelten die Begriffe nach EN 1990, 1.5.

(2) Nachstehende Begriffe werden in EN 1999-1-1 mit folgender Bedeutung verwendet:

#### 1.5.1

##### Tragwerk

tragende Bauteile und Verbindungen zur Abtragung von Einwirkungen. Der Begriff umfasst Stabtragwerke wie Rahmentragwerke oder Fachwerke. Es gibt ebene und räumliche Tragwerke

#### 1.5.2

##### Teil-Tragwerk

Teil eines größeren Tragwerks, das jedoch als eigenständiges Tragwerk in der statischen Berechnung behandelt werden darf

#### 1.5.3

##### Art des Tragwerks

Zur Unterscheidung von Tragwerken werden folgende Begriffe verwendet:

- **Tragwerk mit verformbaren Anschlüssen**, bei denen die wesentlichen Eigenschaften der zu verbindenden Bauteile und ihrer Anschlüsse in der statischen Berechnung berücksichtigt werden müssen
- **Tragwerke mit steifen Anschlüssen**, bei denen nur die Eigenschaften der Bauteile in der statischen Berechnung berücksichtigt werden müssen
- **Gelenktragwerke**, in denen die Anschlüsse nicht in der Lage sind, Momente zu übertragen

#### 1.5.4

##### **Tragwerksberechnung**

Bestimmung der Schnittgrößen und Verformungen des Tragwerks, die mit den Einwirkungen im Gleichgewicht stehen

#### 1.5.5

##### **Systemlänge**

Abstand zweier benachbarter Punkte eines Bauteils in einer vorgegebenen Ebene, an denen das Bauteil gegen Verschiebungen in der Ebene gehalten ist oder Abstand zwischen einem solchen Punkt und dem Ende des Bauteils

#### 1.5.6

##### **Knicklänge**

Länge des an beiden Enden gelenkig gelagerten Druckstabes, der den gleichen Querschnitt und die gleiche elastische Knicklast hat wie das untersuchte Bauteil (als Einzelbauteil oder als Teil eines Tragwerkes)

#### 1.5.7

##### **mittragende Breite**

Abminderung der Flanscbreite für den Sicherheitsnachweis von Trägern mit breiten Gurtscheiben zur Berücksichtigung ungleichmäßiger Spannungsverteilung infolge von Scheibenverformung

#### 1.5.8

##### **Kapazitätsbemessung**

auf dem plastischen Verformungsvermögen eines Bauteils und seiner Verbindungen basierende Bemessung, bei der zusätzliche Tragfähigkeit in den Verbindungen und in anderen mit dem Bauteil verbundenen Teilen zur Verfügung gestellt wird

### 1.6 Formelzeichen

(1) Für die Anwendung dieser Norm gelten die folgenden Formelzeichen.

Weitere Formelzeichen werden im Text definiert.

ANMERKUNG Die Formelzeichen sind in der Reihenfolge ihrer Erstverwendung in EN 1999-1-1 aufgelistet. Ein Formelzeichen kann unterschiedliche Bedeutungen haben.

#### **Abschnitt 1 Allgemeines**

x — x	Längsachse eines Bauteils
y — y	Querschnittsachse
z — z	Querschnittsachse
u — u	starke Querschnittshauptachse (wenn diese nicht mit der y-y Achse übereinstimmt)
v — v	schwache Querschnittshauptachse (Nebenachse) (wenn diese nicht mit der z-z Achse übereinstimmt)

#### **Abschnitt 2 Grundlagen für die Tragwerksplanung**

$P_k$	Nennwert einer während der Errichtung aufgebrauchten Vorspannung
$G_k$	Nennwert einer ständigen Einwirkung
$X_k$	charakteristischer Wert einer Werkstoffeigenschaft

$X_n$	Nennwert einer Werkstoffeigenschaft
$R_d$	Bemessungswert einer Beanspruchbarkeit
$R_k$	charakteristischer Wert einer Beanspruchbarkeit
$\gamma_M$	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit
$\gamma_{Mi}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit für die Versagensform i
$\gamma_{Mf}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Ermüdungsbeanspruchbarkeit
$\eta$	Umrechnungsfaktor
$a_d$	Bemessungswert einer geometrischen Größe

### **Abschnitt 3 Werkstoffe**

$f_o$	charakteristischer Wert der 0,2%-Dehngrenze
$f_u$	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit
$f_{oc}$	charakteristischer Wert der 0,2%-Dehngrenze des Gusswerkstoffes
$f_{uc}$	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Gusswerkstoffes
$A_{50}$	Bruchdehnung mit einer Anfangsmesslänge von 50 mm, siehe EN 10002
$A$	$= A_{5,65\sqrt{A_0}}$ , Bruchdehnung mit einer Anfangsmesslänge von $5,65\sqrt{A_0}$ , siehe EN 10002
$A_0$	Anfangsquerschnitt der Probe innerhalb der Versuchslänge
$f_{o,haz}$	0,2%-Dehngrenze in der Wärmeeinflusszone, WEZ
$f_{u,haz}$	Zugfestigkeit in der Wärmeeinflusszone, WEZ
$\rho_{o,haz}$	$= f_{o,haz} / f_o$ , Verhältnis der 0,2%-Dehngrenze in der WEZ zu der im Grundwerkstoff
$\rho_{u,haz}$	$= f_{u,haz} / f_u$ , Verhältnis der Zugfestigkeit in der WEZ zu der im Grundwerkstoff
$BC$	Beulklasse
$n_p$	Exponent im Ramberg-Osgood Gesetz für die plastische Bemessung
$E$	Elastizitätsmodul
$G$	Schubmodul
$\nu$	Poissonsche Zahl, Querkontraktionszahl

$\alpha$  Wärmeausdehnungskoeffizient

$\rho$  Dichte

### **Abschnitt 5 Tragwerksberechnung**

$\alpha_{cr}$  Vergrößerungsbeiwert für die Einwirkungen, um die ideale Verzweigungslast zu erreichen

$F_{Ed}$  Bemessungswert der Einwirkungen auf das Tragwerk

$F_{cr}$  ideale Verzweigungslast auf der Basis elastischer Anfangssteifigkeiten

$H_{Ed}$  Bemessungswert der gesamten Horizontalschubkraft an den unteren Knoten eines Stockwerks infolge horizontaler Lasten einschließlich Ersatzlasten aus Imperfektionen

$V_{Ed}$  Bemessungswert der gesamten vertikalen Last an den unteren Knoten eines Stockwerks

$\delta_{H,Ed}$  Horizontalverschiebung der oberen Knoten gegenüber den unteren Knoten eines Stockwerks infolge  $H_{Ed}$

$h$  Stockwerkshöhe, Höhe des Tragwerkes

$\bar{\lambda}$  Schlankheitsgrad

$N_{Ed}$  Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft (Druck)

$\phi$  Anfangsschiefstellung

$\phi_0$  Ausgangswert der Anfangsschiefstellung

$\alpha_h$  Abminderungsfaktor in Abhängigkeit der Stützhöhe

$\alpha_m$  Abminderungsfaktor in Abhängigkeit von der Anzahl der Stützen in einer Reihe

$m$  Anzahl der Stützen in einer Reihe

$e_0$  Amplitude einer Bauteilimperfektion

$L$  Bauteillänge

$e_{0,d}$  Bemessungswert der Amplitude einer Bauteilimperfektion

$M_{Rk}$  charakteristischer Wert der Momententragfähigkeit eines Querschnitts

$N_{Rk}$  charakteristischer Wert der Normalkrafttragfähigkeit eines Querschnitts

$q$  Ersatzkraft je Längeneinheit auf ein stabilisierendes System äquivalent zur Wirkung von Imperfektionen

$\delta_q$  Durchbiegung des stabilisierenden Systems unter der Ersatzkraft  $q$

$q_d$  Bemessungswert der Ersatzkraft  $q$  je Längeneinheit

$M_{Ed}$  Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments

$k$  Beiwert für  $e_{o,d}$

### **Abschnitt 6 Grenzzustände der Tragfähigkeit von Bauteilen**

$\mathcal{M}1$  Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Querschnitten (bei Anwendung von Querschnittsnachweisen)

$\mathcal{M}1$  Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen (bei Anwendung von Bauteilnachweisen)

$\mathcal{M}2$  Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Querschnitten bei Bruchversagen infolge Zugbeanspruchung

$b$  Breite eines Querschnittsteils

$t$  Dicke eines Querschnittsteils

$\beta$  Breiten/Dicken-Verhältnis  $b/t$

$\eta$  Koeffizient zur Berücksichtigung der Spannungsgradienten oder der Versteifung des Querschnittsteils

$\psi$  Randspannungsverhältnis

$\sigma_{cr}$  elastische Beulspannung für ein ausgesteiftes Querschnittsteil

$\sigma_{cr0}$  elastische Beulspannung für ein unausgesteiftes Querschnittsteil

$R$  Krümmungsradius der Mittelfläche des Bauteils

$D$  Durchmesser der Mittelfläche eines Rohres

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$  Grenzwerte der Schlankheitsparameter

$\varepsilon = \sqrt{250/f_0}$ , Koeffizient

$z_1$  Abstand der am stärksten beanspruchten Faser von der Spannungsnulllinie

$z_2$  Abstand der betrachteten Faser von der Spannungsnulllinie

$C_1, C_2$  Konstanten

$\rho_c$  Abminderungsfaktor für örtliches Beulen

$b_{haz}$  Breite der Wärmeeinflusszone WEZ

$T_1$  Zwischenlagentemperatur

$\alpha_2$  Faktor für  $b_{haz}$



## 6.2 Beanspruchbarkeit der Querschnitte

$\sigma_{x,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalspannung in Längsrichtung
$\sigma_{y,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalspannung in Querrichtung
$\tau_{Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Schubspannung
$N_{Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft
$M_{y,Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden Momentes um die y-y Achse
$M_{z,Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden Momentes um die z-z Achse
$N_{Rd}$	Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit
$M_{y,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit um die y-y Achse
$M_{z,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit um die z-z Achse
$s$	Lochabstand, bei versetzten Löchern gemessen als Abstand der Lochachsen in der Projektion parallel zur Bauteilachse
$p$	Lochabstand, bei versetzten Löchern gemessen als Abstand der Lochachsen in der Projektion rechtwinklig zur Bauteilachse
$n$	Anzahl der Löcher längs einer kritischen Risslinie (in einer Diagonalen oder Zickzacklinie), die sich über den Querschnitt oder Querschnittsteile erstreckt
$d$	Lochdurchmesser
$A_g$	Bruttoquerschnittsfläche
$A_{net}$	Nettoquerschnittsfläche
$A_{eff}$	wirksame Querschnittsfläche

**A1** gestrichener Text **A1**

$N_{t,Rd}$	Bemessungswert der Zugtragfähigkeit
$N_{o,Rd}$	Bemessungswert des Widerstandes gegen Fließen im Gesamtquerschnitt eines zugbeanspruchten Bauteils
$N_{u,Rd}$	Bemessungswert der Zugtragfähigkeit des Nettoquerschnitts längs der kritischen Risslinie durch die Löcher
$N_{c,Rd}$	Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit bei Druck
$M_{Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit

$M_{u,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit des Querschnittes mit Löchern
$M_{o,Rd}$	Bemessungswert des Biege­widerstandes gegen Fließen im Gesamtquerschnitt
$\alpha$	Formfaktor
$W_{el}$	elastisches Widerstandsmoment des Bruttoquerschnittes (siehe 6.2.5.2)
$W_{net}$	elastisches Widerstandsmoment des Nettoquerschnittes unter Berücksichtigung von Löchern und bei geschweißten Querschnitten der Erweichung in der WEZ
$W_{pl}$	plastisches Widerstandsmoment des Bruttoquerschnittes
$W_{eff}$	wirksames elastisches Widerstandsmoment, das sich mit einer reduzierten Dicke $t_{eff}$ für die Querschnittsteile der Klasse 4 ergibt
$W_{el,haz}$	wirksames elastisches Widerstandsmoment des Bruttoquerschnittes, das sich mit einer reduzierten Dicke $\rho_{o,haz}t$ für die Wärmeeinflusszone WEZ ergibt
$W_{pl,haz}$	wirksames plastisches Widerstandsmoment des Bruttoquerschnittes, das sich mit einer reduzierten Dicke $\rho_{o,haz}t$ für die Wärmeeinflusszone WEZ ergibt
$W_{eff,haz}$	wirksames elastisches Widerstandsmoment, das sich als kleinerer der beiden Werte ergibt, wenn zum einen eine verminderte Dicke $\rho_c t$ für die Querschnittsteile der Klasse 4 oder zum anderen eine verminderte Dicke $\rho_{o,haz}t$ für die WEZ angesetzt wird
$\alpha_{3,u}$	Formfaktor für Querschnitte der Klasse 3 ohne Schweißnähte
$\alpha_{3,w}$	Formfaktor für Querschnitte der Klasse 3 mit Schweißnähten
$V_{Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft
$V_{Rd}$	Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit
$A_v$	wirksame Schubfläche
$\eta_v$	Beiwert für die wirksame Schubfläche
$h_w$	Steghöhe zwischen den Gurten
$t_w$	Stegdicke
$A_e$	Querschnittsfläche eines nicht geschweißten Querschnittes und durch Ansatz einer reduzierten Dicke $\rho_{o,haz}t$ in der WEZ ermittelte wirksame Querschnittsfläche eines geschweißten Querschnittes
$T_{Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden Torsionsmomentes

$T_{Rd}$	Bemessungswert der St.Venantschen Torsionstragfähigkeit
$W_{T,pl}$	Plastisches Torsionswiderstandsmoment
$T_{t,Ed}$	Bemessungswert des inneren St. Venantschen Torsionsmomentes
$T_{w,Ed}$	Bemessungswert des inneren Wölbtorsionsmomentes
$\tau_{t,Ed}$	Bemessungswert der Schubspannung infolge St. Venantscher Torsion
$\tau_{w,Ed}$	Bemessungswert der Schubspannung infolge Wölbkrafttorsion
$\sigma_{w,Ed}$	Bemessungswert der Normalspannungen infolge des Bimomentes $B_{Ed}$
$B_{Ed}$	Bimoment
$V_{T,Rd}$	zur Berücksichtigung des einwirkenden Torsionsmomentes abgeminderter Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit
$f_{0,V}$	zur Berücksichtigung der einwirkenden Querkraft abgeminderter Bemessungswert der Festigkeit
$M_{V,Rd}$	zur Berücksichtigung der einwirkenden Querkraft abgeminderter Bemessungswert der Momententragfähigkeit
<b>6.3</b>	<b>Stabilitätsnachweise für Bauteile</b>
$N_{Rd}$	Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit
$M_{y,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit um die y-y Achse
$M_{z,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit um die z-z Achse
$\eta_0, \gamma_0, \xi_0, \psi$	Exponenten in den Interaktionsformeln
$\omega_0$	Faktor für Querschnitte mit örtlicher Schweißnaht
$\rho$	Abminderungsbeiwert zur Bestimmung des Bemessungswertes der Momententragfähigkeit bei Berücksichtigung von $V_{Ed}$
$N_{b,Rd}$	Bemessungswert der Biegeknicktragfähigkeit von Bauteilen unter planmäßig zentrischem Druck
$\kappa$	Faktor zur Berücksichtigung der Schwächung durch den Festigkeitsabfall in der WEZ
$\chi$	Abminderungsbeiwert entsprechend der maßgebenden Knicklinie
$\phi$	Funktion zur Bestimmung des Abminderungsbeiwertes $\chi$
$\alpha$	Imperfektionsbeiwert
$\bar{\lambda}_0$	Grenze des Plateaus der Knicklinie

$N_{Cr}$	ideale Verzweigungslast für den maßgebenden Knickfall bezogen auf den Bruttoquerschnitt
$i$	Trägheitsradius für die maßgebende Knickebene bezogen auf den Bruttoquerschnitt
$\bar{\lambda}$	bezogene Schlankheit
$\bar{\lambda}_T$	bezogene Schlankheit für Drillknicken oder Biegedrillknicken
$N_{Cr}$	ideale Verzweigungslast für den maßgebenden Biegedrillknickfall bezogen auf den Bruttoquerschnitt
$k$	Knicklängenbeiwert
$M_{b,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit bei Biegedrillknicken
$\chi_{LT}$	Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken
$\phi_{LT}$	Funktion zur Bestimmung des Abminderungsbeiwertes $\chi_{LT}$
$\alpha_{LT}$	Imperfektionsbeiwert für die maßgebende Biegedrillknicklinie
$\bar{\lambda}_{LT}$	bezogene Schlankheit für Biegedrillknicken
$M_{Cr}$	ideales Verzweigungsmoment bei Biegedrillknicken
$\bar{\lambda}_{0,LT}$	Grenze des Plateaus der Biegedrillknicklinie
$\eta_c, \gamma_c, \xi_c, \psi_c$	Exponenten in den Interaktionsformeln
$\omega_x, \omega_{x,LT}$	Faktoren für Querschnitte mit örtlicher Schweißnaht
$\bar{\lambda}_{haz}, \bar{\lambda}_{haz,LT}$	Bezogene Schlankheiten für Querschnitte mit örtlicher Schweißnaht
$x_s$	Abstand des Querschnittes mit einer örtlichen Schweißnaht vom gelenkigen Lager oder dem Wendepunkt der elastischen Knickbiegeline infolge einer Axialkraft

#### **6.4 Mehrteilige druckbeanspruchte Bauteile**

$L_{ch}$	Knicklänge eines Gurtstabes
$h_0$	gegenseitiger Abstand der Schwerachsen der Gurtstäbe
$\alpha$	Abstand der gehaltenen Gurtpunkte
$\alpha$	Winkel zwischen den Schwerachsen der Gurtstäbe und der Diagonalen
$i_{min}$	kleinster Trägheitsradius von Einzelwinkeln
$A_{ch}$	Querschnittsfläche eines Gurtstabes

$N_{ch,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft im Gurtstab in der Mitte des mehrteiligen Bauteils
$M_{Ed}^1$	Bemessungswert des einwirkenden Momentes in der Mitte des mehrteiligen Bauteils
$I_{eff}$	effektives Flächenträgheitsmoment eines mehrteiligen Bauteils
$S_V$	Schubsteifigkeit des mehrteiligen Bauteils infolge der Füllstäbe oder Bindebleche
$n$	Anzahl der ausgefachten Ebenen (Füllstabebenen)
$A_d$	Querschnittsfläche einer Diagonale einer Gitterstütze
$d$	Länge der Diagonalen einer Gitterstütze
$A_V$	Querschnittsfläche eines Pfostens einer Gitterstütze
$I_{ch}$	Flächenträgheitsmoment eines Gurtstabes in der Nachweisebene
$I_{bl}$	Flächenträgheitsmoment eines Bindebleches in der Nachweisebene
$\mu$	Wirkungsgrad
$i_y, i_z$	Trägheitsradius (y-y Achse und z-z Achse)
<b>6.5</b>	<b><i>Unausgesteifte, in ihrer Ebene belastete Platten</i></b>
$\nu_1$	Abminderungsfaktor für Schubbeulen
$k_\tau$	Beulwert für Schubbeulen
<b>6.6</b>	<b><i>Ausgesteifte, in ihrer Ebene belastete Platten</i></b>
$c$	elastische Stützwirkung (Federsteifigkeit) der Platte
$l_w$	elastische Beulhalbwellenlänge
$\chi$	Abminderungsfaktor für das Biegeknicken der Untereinheit
$I_{eff}$	Trägheitsmoment des bei der Biegebeanspruchung in der Ebene wirksamen Plattenquerschnittes
$y_{st}$	Abstand von der Plattenmitte zur entferntesten Steife
$B_x$	Plattenbiegesteifigkeit einer orthotropen Platte in einem Schnitt $x = \text{constant}$
$B_y$	Plattenbiegesteifigkeit einer orthotropen Platte in einem Schnitt $y = \text{constant}$
$H$	Drillsteifigkeit einer orthotropen Platte
$I_L$	Trägheitsmoment einer Steife mit der seitlich anschließenden Platte

$I_{XT}$	Torsionssteifigkeit einer Steife mit der seitlich anschließenden Platte
$a$	halber Steifenabstand
$t_1, t_2$	Blechkicken bei orthotropen Platten
$s$	abgewinkelte Länge von Steife und anschließender Platte
$\tau_{cr,g}$	Schubbeulspannung der orthotropen Platte
$\phi, \eta_h$	Faktoren
<b>6.7</b>	<b><i>Vollwandträger mit schlanken Stegen</i></b>
$b_f$	Gurtbreite
$h_w$	Steghöhe = lichte Weite zwischen den Gurten
$b_w$	Steghöhe zwischen den Halsnähten
$t_w$	Stegdicke
$t_f$	Gurtdicke
$I_{st}$	Trägheitsmoment des Bruttoquerschnittes von Steifen und anschließenden wirksamen Breiten des Stegbleches
$b_1, b_2$	Abstände von der Steife zu den Gurtinnenseiten (Halsnähte)
$a_c$	elastische Knicklänge der Steife
$\rho_v$	Faktor für die Schubbeanspruchbarkeit
$\eta$	Faktor für die Schubbeanspruchbarkeit im plastischen Bereich
$\lambda_w$	dimensionsloser Schlankheitsparameter für Schubbeulen
$V_{w,Rd}$	Beitrag des Steges zur Querkrafttragfähigkeit
$V_{f,Rd}$	Beitrag der Gurte zur Querkrafttragfähigkeit
$k_{\tau,st}$	Beitrag der Längssteifen zum Beulwert $k_\tau$
$k_{\tau 1}$	Beulwert des Einzelbeulfeldes
$c$	Faktor im Ausdruck für $V_{f,Rd}$
$M_{f,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit eines Querschnittes bei ausschließlicher Betrachtung der Gurte

$A_{f1}, A_{f2}$	Querschnittsflächen von Ober- und Untergurt
$F_{Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Querlast
$F_{Rd}$	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit durch Querlasten
$L_{eff}$	Wirksame Länge für die Beanspruchbarkeit durch Querlasten
$l_y$	wirksame durch die Querlast belastete Länge im Steg
$\chi_F$	Abminderungsfaktor für Beulen infolge Querlast
$s_s$	Lasteinleitungslänge direkt unter der Querlast
$\lambda_F$	Schlankheitsparameter für Beulen infolge Querlast
$k_F$	Beulwert für Querlast
$\gamma_s$	bezogenes Flächenträgheitsmoment der dem belasteten Gurt nächstgelegenen Steife
$I_{sl}$	Flächenträgheitsmoment der dem belasteten Gurt nächstgelegenen Steife
$m_1, m_2$	Parameter in der Formel für $l_y$
$l_e$	Parameter in der Formel für $l_y$
$M_{N,Rd}$	zur Berücksichtigung der Querlast abgeminderter Bemessungswert der Momententragfähigkeit
$A_w$	Querschnittsfläche des Steges
$A_{fc}$	Querschnittsfläche des Druckgurtes
$k$	Faktor zur Berücksichtigung des gurtinduzierten Beulens
$r$	Krümmungsradius
$h_f$	Abstand der Gurtmittelpunkte
<b>6.8</b>	<b>Bauteile mit Trapezblechstegen</b>
$b_1, b_2$	Gurtbreiten
$t_1, t_2$	Gurtdicken
$\rho_z$	Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung der Querbiegemomente in den Gurten
$M_z$	Querbiegemomente in den Gurten
$\rho_{c,g}$	Abminderungsfaktor für globales Beulen

$\lambda_{c,g}$	Schlankheit für globales Beulen
$\tau_{cr,g}$	Schubbeulspannung für globales Beulen
$\rho_{c,l}$	Abminderungsfaktor für örtliches Beulen
$\lambda_{c,l}$	Schlankheit für lokales Beulen
$\tau_{cr,l}$	Schubbeulspannung für lokales Beulen

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_{max}$  Abmessungen der Profilierung

### **Abschnitt 7 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit**

$I_{ser}$	wirksames Trägheitsmoment im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
$I_{eff}$	Trägheitsmoment des im Grenzzustand der Tragfähigkeit wirksamen Querschnittes
$\sigma_{gr}$	auf den Bruttoquerschnitt bezogene größte Biegedruckspannung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

### **Abschnitt 8 Bemessung von Verbindungen**

$\gamma_{M3} \rightarrow \gamma_{M7}$	Teilsicherheitsbeiwerte
$\gamma_{Mw}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Tragfähigkeit von Schweißverbindungen
$\gamma_{Mp}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Tragfähigkeit von Bolzenverbindungen
$\gamma_{Ma}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Tragfähigkeit von Klebeverbindungen
$\gamma_{Mser}$	Teilsicherheitsbeiwert für Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

### **A1 gestrichener Text A1**

$e_1 \rightarrow e_4,$	Randabstände
$p, p_1, p_2$	Lochabstände
$d$	Durchmesser des Verbindungsmittels
$d_0$	Lochdurchmesser
$V_{eff,1,Rd}$	Bemessungswert des Block-Scherbruchwiderstandes bei zentrischer Belastung
$V_{eff,2,Rd}$	Bemessungswert des Block-Scherbruchwiderstandes bei exzentrischer Belastung
$A_{nt}$	zugbeanspruchter Nettoquerschnitt



$A_{nv}$	schubbeanspruchter Nettoquerschnitt
$A_1$	Querschnittsfläche des angeschlossenen Winkelschenkels zwischen Loch und freiem Rand
$\beta_2, \beta_3$	Abminderungsbeiwerte für Verbindungen bei Winkeln
$F_{v,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Abscherkraft auf eine Schraube im Grenzzustand der Tragfähigkeit
$F_{v,Ed,ser}$	Bemessungswert der einwirkenden Abscherkraft auf eine Schraube im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
$F_{v,Rd}$	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
$F_{t,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft auf eine Schraube im Grenzzustand der Tragfähigkeit
$F_{t,Rd}$	Bemessungswert der Zugtragfähigkeit einer Schraube
$N_{net,Rd}$	Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit des Querschnittes an Schraubenlöchern
$B_{t,Rd}$	Bemessungswert der Zugtragfähigkeit der Schraubenverbindung mit Blech
$f_{ub}$	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffes
$f_{ur}$	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Nietwerkstoffes
$A_0$	Querschnittsfläche des Loches
$A$	Brutto-Querschnittsfläche einer Schraube (Schaft)
$A_s$	Spannungsquerschnittsfläche einer Schraube
$k_2$	Faktor für die Zugtragfähigkeit einer Schraube
$d_m$	Mittelwert aus Eckmaß und Schlüsselweite des Schraubenkopfes oder der Schraubenmutter oder des Außendurchmessers der Unterlegscheibe (maßgebend ist der kleinere Wert)
$t_p$	Dicke des Bleches unter dem Schraubenkopf oder der Mutter
$F_{p,C}$	Vorspannkraft
$\mu$	Reibbeiwert

$n$	Anzahl der Reibflächen
$\beta_{Lf}$	Abminderungsbeiwert für lange Anschlüsse
$L_j$	Abstand der Mitten der äußeren Verbindungsmittel in einem langen Anschluss
$\beta_p$	Abminderungsfaktor für Verbindungen mit Futterblechen
$a, b$	Blechdicke in einer Bolzenverbindung
$c$	Spalt zwischen den Blechen der Bolzenverbindung
$f_w$	charakteristische Festigkeit der Schweißnaht
$\sigma_{\perp}$	Normalspannung rechtwinklig zur Schweißnahtachse
$\sigma_{\parallel}$	Normalspannung parallel zur Schweißnahtachse
$\tau, \tau_{\parallel}$	Schubspannung parallel zur Schweißnahtachse
$\tau_{\perp}$	Schubspannung rechtwinklig zur Schweißnahtachse
$\mathcal{M}_w$	Teilsicherheitsbeiwert für Schweißverbindungen
$L_w$	Gesamtlänge einer Längskehlnaht
$L_{w,eff}$	wirksame Länge einer Längskehlnaht
$a$	wirksame Kehlnahtdicke
$\sigma_{haz}$	Bemessungswert der Normalspannung in der WEZ, rechtwinklig zur Schweißnahtachse
$\tau_{haz}$	Bemessungswert der Schubspannung in der WEZ
$f_{v,haz}$	Charakteristischer Wert der Schubfestigkeit in der WEZ

#### **Anhang A Ausführungsklassen**

$U$  Ausnutzungsgrad

#### **Anhang B Äquivalenter T-Stummel mit Zugbeanspruchung**

$F_{u,Rd}$  Bemessungswert der Zugtragfähigkeit des Flansches eines T-Stummels

$B_u$  Zugtragfähigkeit der Schraubenverbindung mit Blech

$B_0$  übliche elastische Schraubentragfähigkeit

$A_s$  Spannungsquerschnitt der Schraube

$l_{eff}$  wirksame Länge

$e_{\min}$	kleinster Randabstand
$m$	Abstand vom Schweißnahtübergang zur Schraubenachse

### **Anhang C Werkstoffauswahl**

$\sigma_{\text{eq,Ed}}$	Bemessungswert der Vergleichsspannung für Gussstücke
$\sigma_{\text{x,Ed}}$	Bemessungswert der Spannung in x-Richtung für Gussstücke
$\sigma_{\text{y,Ed}}$	Bemessungswert der Spannung in x-Richtung für Gussstücke
$\tau_{\text{xy,Ed}}$	Bemessungswert der Schubspannung für Gussstücke
$\sigma_{\text{Rd}}$	Bemessungswert der Festigkeit für Gussstücke
$\gamma_{\text{Mo,c}}, \gamma_{\text{Mu,c}}$	Teilsicherheitsbeiwerte für Streckgrenze zum einen und Zugfestigkeit zum anderen des Gusswerkstoffes
$\gamma_{\text{M2,co}}, \gamma_{\text{M2,cu}}$	Teilsicherheitsbeiwerte für Streckgrenze zum einen und Zugfestigkeit zum anderen für die Lochleibungstragfähigkeit von Gussstücken bei Schrauben- und Nietverbindungen
$\gamma_{\text{Mp,co}}, \gamma_{\text{Mp,cu}}$	Teilsicherheitsbeiwerte für Streckgrenze zum einen und Zugfestigkeit zum anderen für die Lochleibungstragfähigkeit von Gussstücken bei Bolzenverbindungen

### **Anhang E Analytische Modelle für das Spannungs-Dehnungsgesetz**

Die Formelzeichen werden im Anhang definiert.

### **Anhang F Tragverhalten von Querschnitten oberhalb der Elastizitätsgrenze**

$\alpha_0$	Geometrischer Formfaktor
$\alpha_5, \alpha_{10}$	den maximalen Krümmungen $\chi_{\text{u}} = 5\chi_{\text{el}}$ und $\chi_{\text{u}} = 10\chi_{\text{el}}$ entsprechende verallgemeinerte Formbeiwerte
$\alpha_{\text{M,red}}$	Korrekturbeiwert für geschweißte Querschnitte der Klasse

### **Anhang G Rotationskapazität**

$\chi_{\text{u}}$	Maximalwert der Biegekrümmung
$\chi_{\text{el}}$	elastische Biegekrümmung (= $\chi_{0,2}$ )
$\xi$	Duktilitätsbeiwert
$M_0$	Elastisches Biegemoment, bei dem die Dehngrenze $f_0$ erreicht wird
$m, k$	numerische Parameter

$R$	Rotationskapazität
$\theta_p, \theta_{el}$	und $\theta_u$ , plastische Rotation, elastische Rotation und maximale plastische, dem Maximalwert der Krümmung $\chi_u$ entsprechende Rotation

**Anlage H Fließgelenkverfahren bei Durchlaufträgern**

$\eta$	Korrekturbeiwert, der vom geometrischen Formfaktor und der konventionell verfügbaren Duktilität des Werkstoffes abhängt
$\alpha_\xi$	verallgemeinerte Formbeiwerte $\alpha_5$ oder $\alpha_{10}$
$a, b, c$	Koeffizienten im Ausdruck für $\eta$

**Anhang I Biegedrillknicken von Trägern sowie Drillknicken und Biegedrillknicken von gedrückten Bauteilen**

$I_t$	Torsionsträgheitsmoment
$I_w$	Wölbmoment
$I_z$	Flächenträgheitsmoment um die schwache Achse
$k_z$	Kennwert für die Randbedingung für die seitliche Verschiebung
$k_w$	Kennwert für die Randbedingung für die Drehung um die Längsachse
$k_y$	Kennwert für die Randbedingung für die Verschiebung in der Belastungsebene
$\kappa_{wt}$	dimensionsloser Torsionsparameter
$\zeta_g$	bezogene dimensionslose Koordinate des Lastangriffspunktes
$\zeta_j$	Bezogener dimensionsloser Parameter für die Einfachsymmetrie des Querschnittes
$\mu_{cr}$	Bezogenes dimensionsloses ideales Biegedrillknickmoment
$z_a$	auf den Schwerpunkt bezogene Koordinate des Lastangriffspunktes
$z_s$	auf den Schwerpunkt bezogene Koordinate des Schubmittelpunktes
$z_g$	auf den Schwerpunkt bezogene Koordinate des Lastangriffspunktes
$z_j$	Einfachsymmetriekonstante
$c$	Höhe einer Lippe
$\psi_f$	Beiwert zur Einfachsymmetrie
$h_f$	Abstand zwischen den Gurtschwerpunkten

$h_s$	Abstand der Schubmittelpunkte von Obergurt und Untergurt
$I_{fc}$	Flächenträgheitsmoment des Druckgurtes um die schwache Achse des Querschnittes
$I_{ft}$	Flächenträgheitsmoment des Zuggurtes um die schwache Achse des Querschnittes
$C_1, C_2, C_3, C_{1,1}, C_{12}$	Beiwerte in den Gleichungen für das bezogene dimensionslose ideale Biegedrillknickmoment
$N_{cr,y}, N_{cr,z}, N_{cr,T}$	ideale Biegeknicklast (y-y und z-z Achsen) und Drillknicklast
$i_s$	polarer Trägheitsradius
$\alpha_{yw}, \alpha_{zw}$	Beiwerte in der Gleichung für Drillknicken und Biegedrillknicken mit Normalkraft
$k, \lambda_t$	Beiwerte in den Gleichungen für den bezogenen Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_T$
$\lambda_0, s, X$	Beiwerte zur Berechnung von $\lambda_t$

#### **Anhang J Querschnittseigenschaften**

$\beta, \delta, \gamma$	Kehl- oder Wulstbeiwerte
$b_{sh}$	Breite ebener Querschnittsteile
$\alpha$	Kehl- oder Wulstbeiwert; Winkel zwischen ebenen Querschnittsteilen, die an Kehlen oder Wulste angrenzen
$D$	Durchmesser des der Kehle oder dem Wulst eingeschriebenen Kreises

ANMERKUNG Die Formelzeichen für die Querschnittswerte sind in J.4 angegeben und werden hier nicht wiederholt.

#### **Anhang K Mittragende Breiten bei der Bauteilbemessung**

$b_{eff}$	mittragende Breite
$\boxed{A_1} b_0$	Breite des auskragenden oder halbe Breite des inneren, beidseitig gehaltenen Querschnittsteils
$L_e$	Abstand der Momentennullpunkte $\boxed{A_1}$
$\beta_s$	Beiwert für die mittragende Breite
$\kappa$	ideelles Breiten-Längenverhältnis des Gurtes
$A_{st}$	Querschnittsfläche aller auf der halben Gurtbreite angeordneten Längssteifen
$a_{st,1}$	Bezogene Querschnittsfläche der Steifen = Querschnittsfläche der Steifen dividiert durch den Abstand der Mittelpunkt der Steifen
$s_e$	beanspruchte Länge im Anschluss des Steges an den Gurt

### Anhang L Klassifizierung von Anschlüssen

$F$	Last, verallgemeinerte Kraft
$F_U$	Last im Grenzzustand der Tragfähigkeit, verallgemeinerte Kraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit
$v$	verallgemeinerte Verformung
$v_U$	Verformung, die zur verallgemeinerten Kraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit gehört

### Anhang M Geklebte Verbindungen

$f_{V,adh}$	Charakteristische Werte der Scherfestigkeit von Klebstoffen
$\tau$	Mittelwert der Scherspannung in der Klebefuge
$\gamma_{Ma}$	Teilsicherheitsbeiwert für geklebte Verbindungen

## 1.7 Definition der Bauteilachsen

(1) Die Bauteilachsen werden im Allgemeinen wie folgt definiert:

x-x — längs des Bauteils

y-y — Querschnittsachse

z-z — Querschnittsachse

(2) Die Querschnittsachsen von Aluminiumbauteilen werden wie folgt definiert:

— allgemein:

y-y — Querschnittsachse parallel zu den Flanschen

z-z — Querschnittsachse rechtwinklig zu den Flanschen

— für Winkelprofile:

y-y — Achse parallel zum kleineren Schenkel

z-z — Achse rechtwinklig zum kleineren Schenkel

— wenn erforderlich:

u-u — Hauptachse (wenn sie nicht mit der y-y Achse übereinstimmt)

v-v — Nebenachse (wenn sie nicht mit der z-z Achse übereinstimmt)

(3) Die Symbole für die Abmessungen und für die Achsen von Aluminiumprofilen sind in Bild 1.1 angegeben.

(4) Die Vereinbarung für Indizes zur Bezeichnung der Achsen von Momenten lautet: „Es gilt die Achse, um die das Moment wirkt.“

ANMERKUNG Alle Regeln dieses Eurocode beziehen sich auf die Eigenschaften in den Hauptachsenrichtungen, welche im Allgemeinen als y-y-Achse und z-z-Achse für symmetrische Querschnitte und u-u-Achse und v-v-Achse für unsymmetrische Querschnitte, wie z. B. Winkel, festgelegt sind.

## 1.8 Ausführungsspezifikation

(1) Es sollte eine Ausführungsspezifikation vorbereitet werden, die alle für die Ausführung der Arbeiten erforderlichen technischen Informationen enthält. Zu diesen Informationen gehören die Ausführungsklasse(n), die Gültigkeit nicht normativer Toleranzen in  $\square_{A1}$  EN 1090-3  $\square_{A1}$ , eine vollständige geometrische Beschreibung, die vorgesehenen Werkstoffe für Bauteile und Anschlüsse, Art und Größe der Verbindungsmittel, Schweißanforderungen und Anforderungen an die Ausführung der Arbeiten.  $\square_{A1}$  EN 1090-3  $\square_{A1}$  enthält eine Übersicht zu den zur Verfügung zu stellenden Informationen.





## 2 Grundlagen für die Tragwerksplanung

### 2.1 Anforderungen

#### 2.1.1 Grundlegende Anforderungen

- (1)P Für die Tragwerksplanung von Aluminiumtragwerken gelten die Grundlagen von EN 1990.
- (2)P Darüber hinaus gelten für Aluminiumtragwerke die in diesem Abschnitt angegebenen Regeln.
- (3)P Die grundlegenden Anforderungen von EN 1990, Abschnitt 2, gelten als erfüllt, wenn der Entwurf, die Berechnung und die Bemessung mit Grenzzuständen in Verbindung mit Einwirkungen nach EN 1991 und Teilsicherheitsbeiwerten und Lastkombinationen nach EN 1990 durchgeführt wird.
- (4) Die Bemessungsregeln für die Grenzzustände der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und für die Dauerhaftigkeit in den verschiedenen Teilen von EN 1999 sollten für die jeweiligen Anwendungsbereiche angewendet werden.

#### 2.1.2 Behandlung der Zuverlässigkeit

Falls eine andere als die in dieser Norm empfohlene Zuverlässigkeit gefordert wird, sollte diese vorzugsweise durch entsprechende Gütesicherung bei der Tragwerksplanung und der Ausführung nach EN 1990 und  $\boxed{A_1}$  EN 1090-3  $\boxed{A_1}$  erreicht werden.

Aluminiumtragwerke und -bauteile werden in Ausführungsklassen unterteilt, siehe Anhang A dieser Norm.

Die Ausführung sollte den Festlegungen der  $\boxed{A_1}$  EN 1090-1 und EN 1090-3  $\boxed{A_1}$  entsprechen. Die Informationen, die nach  $\boxed{A_1}$  EN 1090-3  $\boxed{A_1}$  in der Ausführungsspezifikation enthalten sein müssen, sollten zur Verfügung gestellt werden.

ANMERKUNG Durch EN 1090 zugelassene Optionen können in einem Nationalen Anhang zu EN 1999-1-1 spezifiziert werden, um der geforderten Zuverlässigkeit zu genügen.

#### 2.1.3 Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Robustheit

(1) Abhängig von der Art der Einwirkungen, die die Dauerhaftigkeit und Nutzungsdauer (siehe EN 1990) beeinflussen, sollte bei Aluminiumtragwerken Folgendes angewendet werden:

- korrosionsgerechte Gestaltung (siehe Abschnitt 4)
- Gestaltung im Hinblick auf eine ausreichende Ermüdungssicherheit (siehe EN 1999-1-3)
- Berücksichtigung der Auswirkung von Verschleiß beim Entwurf
- Bemessung für außergewöhnliche Einwirkungen (siehe EN 1991-1-7)
- Sicherstellung von Inspektions- und Wartungsmaßnahmen

ANMERKUNG 1 Empfehlungen für korrosionsgerechtes Gestalten sind im Anhang C und Anhang D angegeben.

ANMERKUNG 2 Anforderungen für Ermüdungsbemessung siehe EN 1999-1-3.

## 2.2 Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen

(1) Die in dieser EN 1999-1-1 festgelegten Beanspruchbarkeiten für Querschnitte und Bauteile für den Grenzzustand der Tragfähigkeit nach EN 1990 sind aus vereinfachten Berechnungsmodellen mit anerkannter experimenteller Aussagekraft abgeleitet.

(2) Die in dieser EN 1999-1-1 festgelegten Beanspruchbarkeiten dürfen nur verwendet werden, wenn die Bedingungen für den Werkstoff nach Abschnitt 3 erfüllt sind.

## **2.3 Basisvariable**

### **2.3.1 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse**

(1) Einwirkungen für die Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken sollten nach EN 1991 ermittelt werden. Für die Kombination von Einwirkungen und die Teilsicherheitsbeiwerte siehe EN 1990, Anhang A.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf Einwirkungen für besondere örtliche, klimatische oder außergewöhnliche Situationen festlegen.

(2) Für die Festlegung der Einwirkungen während der Bauzustände wird die Anwendung der EN 1991-1-6 empfohlen.

(3) Die Auswirkungen absehbarer Setzungen und Setzungsunterschiede sollten auf der Grundlage realistischer Annahmen berücksichtigt werden.

(4) Die Einflüsse aus ungleichmäßigen Setzungen, eingepprägten Verformungen oder anderen Formen von Vorspannungen während der Montage sollten durch ihren Nennwert  $P_k$  als ständige Einwirkung berücksichtigt werden. Sie werden mit den anderen ständigen Einwirkungen  $G_k$  zu einer ständigen Gesamteinwirkung ( $G_k + P_k$ ) zusammengefasst.

(5) Einwirkungen, die zu Ermüdungsbeanspruchungen führen und nicht in EN 1991 festgelegt sind, sollten nach EN 1999-1-3 festgelegt werden.

### **2.3.2 Werkstoff- und Produkteigenschaften**

(1) Werkstoffeigenschaften für Aluminium und andere Bauprodukte und geometrische Größen für die Bemessung sind in der Regel den entsprechenden ENs, ETAGs oder ETAs zu entnehmen, sofern in dieser Norm keine anderen Regelungen vorgesehen sind.

## **2.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten**

### **2.4.1 Bemessungswerte von Werkstoffeigenschaften**

(1)P Für die Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken sind die charakteristischen Werte  $X_k$  oder die Nennwerte  $X_n$  der Werkstoffeigenschaft nach diesem Eurocode anzusetzen.

### **2.4.2 Bemessungswerte der geometrischen Größen**

(1) Geometrische Größen für die Querschnitte und Abmessungen des Tragwerks dürfen den Produktnormen oder den Zeichnungen für die Ausführung nach **EN 1090-3** entnommen werden. Sie sind als Nennwerte zu behandeln.

(2) Die in dieser Norm festgelegten Bemessungswerte der geometrischen Ersatzimperfectionen umfassen

- die Einflüsse aus geometrischen Imperfectionen von Bauteilen, die durch geometrische Toleranzen in den Produktnormen oder Ausführungsnormen begrenzt sind.
- die Einflüsse struktureller Imperfectionen infolge Herstellung und Ausführung, Eigenspannungen, ungleichmäßige Verteilungen der Streckgrenze und der Wärmeeinflusszonen.

### 2.4.3 Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit

(1) Für Aluminiumtragwerke gelten die Gleichungen (6.6c) oder (6.6d) von EN 1990:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_M} R_k (\eta_1 X_{k1}; \eta_i X_{ki}; a_d) \quad (2.1)$$

Dabei ist

$R_k$  der charakteristische Wert einer Beanspruchbarkeit, der mit den charakteristischen Werten oder Nennwerten der Werkstoffeigenschaften und Abmessungen ermittelt wurde;

$\gamma_M$  der globale Teilsicherheitsbeiwert für diese Beanspruchbarkeit.

ANMERKUNG Zur Definition von  $\eta_1$ ,  $\eta_i$ ,  $X_{k1}$ ,  $X_{ki}$  und  $a_d$  siehe EN 1990.

### 2.4.4 Nachweis der Lagesicherheit (EQU)

(1) Das Nachweisformat beim Nachweis der Lagesicherheit (EQU) nach EN 1990, Anhang A, Tabelle 1.2 (A), gilt auch für die Bemessungszustände mit ähnlichen Voraussetzungen wie bei (EQU), z. B. für die Bemessung von Verankerungen oder den Nachweis gegen das Abheben von Lagern bei Durchlaufträgern.

## 2.5 Bemessung mit Hilfe von Versuchen

(1) Die charakteristischen Beanspruchbarkeiten  $R_k$  dieser Norm wurden auf der Grundlage von EN 1990, Anhang D, ermittelt.

(2) Um für Empfehlungen von Teilsicherheitsbeiwerten Gruppen mit konstanten Zahlenwerten  $\gamma_{Mi}$  zu erreichen, wurden die charakteristischen Werte  $R_k$  aus

$$R_k = R_d \cdot \gamma_{Mi} \quad (2.2)$$

bestimmt

Dabei ist

$R_d$  die Bemessungswerte von EN 1990, Anhang D;

$\gamma_{Mi}$  die empfohlenen Teilsicherheitsbeiwerte.

ANMERKUNG 1 Die empfohlenen Zahlenwerte für die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{Mi}$  wurden so berechnet, dass  $R_k$  ungefähr der 5%-Quantile einer Verteilung aus einer unendlichen Anzahl von Versuchsergebnissen entspricht.

ANMERKUNG 2 Zu den charakteristischen Bemessungswerten der Ermüdungsfestigkeit und zu den Teilsicherheitsbeiwerten  $\gamma_{Mf}$  für die Ermüdungsnachweise siehe EN 1999-1-3.

(3) Für den Fall, dass bei Fertigteilen die Beanspruchbarkeit  $R_k$  aus Versuchen ermittelt werden, sollte das in (2) aufgeführte Verfahren angewendet werden.

### 3 Werkstoffe

#### 3.1 Allgemeines

(1) Die in diesem Abschnitt aufgeführten Werkstoffeigenschaften werden als charakteristische Werte angegeben. Sie basieren auf den in der jeweiligen Produktnorm angegebenen Mindestwerten

(2) Weitere Werkstoffeigenschaften werden in den in 1.2.1 zusammengestellten ENs aufgeführt.

#### 3.2 Aluminium für Bauteile

##### 3.2.1 Werkstoffarten

(1) Diese Europäische Norm befasst sich mit Entwurf, Berechnung und Konstruktion von Tragwerken aus Aluminiumlegierungen, die in Tabelle 3.1a für Knetlegierungen entsprechend den in 1.2.3.1 zusammengestellten ENs aufgeführt sind. Für Entwurf, Berechnung und Konstruktion von tragenden Bauteilen aus den in Tabelle 3.1b angegebenen Gusslegierungen siehe 3.2.3.1.

ANMERKUNG Weitere Informationen für die Gestaltung von tragenden Bauteilen aus Aluminiumlegierungen sind im Anhang C angegeben.

**Tabelle 3.1a — Aluminiumknetlegierungen für tragende Bauteile**

Bezeichnung der Legierung		Produktform	Beständigkeitsklasse (siehe 4, Anhang C und Anhang D)
Numerische Bezeichnung	Chemische Bezeichnung		
EN AW-3004	EN AW-AlMn1Mg1	SH,ST,PL	A
EN AW-3005	EN AW-AlMn1Mg0,5	SH,ST,PL	A
EN AW-3103	EN AW-Al Mn1	SH,ST,PL,ET,EP, ER/B	A
EN AW-5005/5005A	EN AW-AlMg1(B)/(C)	SH,ST,PL,	A
EN AW-5049	EN AW-AlMg2Mn0,8	SH,ST,PL	A
EN AW-5052	EN AW-Al Mg2,5	SH,ST,PL,ET <sup>2)</sup> ,EP <sup>2)</sup> ,ER/B, DT	A
EN AW-5083	EN AW-Al Mg4,5Mn0,7	SH,ST,PL,ET <sup>2)</sup> ,EP <sup>2)</sup> ,ER/B,DT, FO	A <sup>1)</sup>
EN AW-5454	EN AW-Al Mg3Mn	SH,ST,PL,ET <sup>2)</sup> ,EP <sup>2)</sup> ,ER/B	A
EN AW-5754	EN AW-Al Mg3	SH,ST,PL, ET <sup>2)</sup> ,EP <sup>2)</sup> ,ER/B,DT,FO	A
EN AW-6060	EN AW-Al MgSi	ET,EP,ER/B,DT	B
EN AW-6061	EN AW-Al Mg1SiCu	SH, ST,PL,ET,EP,ER/B,DT	B
EN AW-6063	EN AW-Al Mg0,7Si	ET,EP,ER/B,DT	B
EN AW-6005A	EN AW-Al SiMg(A)	ET,EP,ER/B	B
EN AW-6082	EN AW-Al Si1MgMn	SH,ST,PL,ET,EP,ER/B,DT,FO	B
EN AW-6106	EN AW-AlMgSiMn	EP	B
EN AW-7020	EN AW-Al Zn4,5Mg1	SH,ST,PL,ET,EP,ER/B,DT	C
EN AW-8011A	EN AW-AlFeSi	SH, ST, PL	B
<b>Legende</b>			
SH	Bleche (EN 485)	EP	stranggepresste Profile (EN 755)
ST	Bänder (EN 485)	ER/B	stranggepresste Stangen (EN 755)
PL	Platten (EN 485)	DT	gezogene Rohre (EN 754)
ET	stranggepresste Rohre (EN 755)	FO	Schmiedeteile (EN 586)
1) siehe Anhang C: C2.2.2(2)			
2) nur einfache, offen stranggepresste Vollquerschnitte oder dickwandige Rohre über einen Dorn (nahtlos)			

Tabelle 3.1b — Aluminiumgusslegierungen für tragende Bauteile

Bezeichnung der Legierung		Beständigkeitsklasse (siehe 4, Anhang C und Anhang D)
Numerische Bezeichnung	Chemische Bezeichnung	
EN AC-42100	EN AC-Al Si7Mg0,3	B
EN AC-42200	EN AC-Al Si7Mg0,6	B
EN AC-43000	EN AC-Al Si10Mg(a)	B
EN AC-43300	EN AC-ALSi9Mg	B
EN AC-44200	EN AC-Al Si12(a)	B
EN AC-51300	EN AC-Al Mg5	A

ANMERKUNG 1 Andere Aluminiumlegierungen und Zustände als die aufgeführten dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden.

ANMERKUNG 2 Empfehlungen zur Auswahl von Aluminiumlegierungen sind in Anhang C angegeben.

### 3.2.2 Werkstoffeigenschaften von Aluminiumknetlegierungen

(1) Die charakteristischen Werte für die 0,2%-Dehngrenze  $f_0$  und die Zugfestigkeit  $f_u$  bei Aluminiumknetlegierungen für bestimmte Temperatur- und Dickenbereiche sind in Tabelle 3.2a für Bleche, Bänder und Platten, in Tabelle 3.2b für stranggepresste Produkte wie Stäbe, Rohre und Profile sowie für gezogene Rohre und in Tabelle 3.2c für Schmiedeteile zusammengestellt. Die Werte in Tabelle 3.2a, b und c sowie in Tabelle 3.2 und Tabelle 3.4 (nur für Verbindungsmittel aus Aluminium) gelten für Tragwerke mit Nutzungstemperaturen bis maximal 80 °C.

ANMERKUNG Für die Anwendung elektrisch geschweißter Rohre nach EN 1592-1 bis 4 als tragende Teile gibt diese Norm keine Produkteigenschaften an. Der Nationale Anhang darf Regeln für ihre Anwendung geben. Die Knickspannungslinie B wird empfohlen.

(2) Bei Nutzungstemperaturen zwischen 80 °C und 100 °C sollte eine Festigkeitsabminderung berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 1 Der Nationale Anhang darf Regeln zur Abminderung der zu verwendenden charakteristischen Werte angeben. Bei Temperaturen zwischen 80 °C und 100 °C wird das folgende Verfahren empfohlen:

Alle charakteristischen Festigkeitswerte ( $f_0, f_u, f_{0,haz}$  und  $f_{u,haz}$ ) können abgemindert werden nach

$$X_{kT} = [1 - k_{100}(T - 80) / 20] X_k \quad (3.1)$$

Dabei ist

$X_k$  der charakteristische Wert der Festigkeitseigenschaft des Werkstoffs;

$X_{kT}$  der charakteristische Festigkeitswert für den Werkstoff bei einer Temperatur  $T$  zwischen 80 °C und 100 °C;

$T$  die höchste Temperatur bei der das Tragwerk genutzt wird;

$k_{100} = 0,1$  für kaltverfestigte Legierungen (3xxx-Legierungen, 5xxx-Legierungen und EN AW 8011A);

$k_{100} = 0,2$  für kalt ausgehärteten Werkstoff (6xxx-Legierungen und EN AW-7020).

Bei 100 °C gilt allgemein Knickklasse B für alle Aluminiumlegierungen. Bei Temperaturen zwischen 80 °C und 100 °C sollte zwischen Klasse A und Klasse B interpoliert werden.

ANMERKUNG 2 Zwischen 80 °C und 100 °C kann die Abminderung der Festigkeitswerte wieder zurückgehen, z. B. gewinnen die Werkstoffe bei Temperaturabfall ihre Festigkeitswerte wieder zurück. Bei Temperaturen über 100 °C sollte die Abminderung des Elastizitätsmoduls und zusätzlich die zeitabhängigen, bleibenden Festigkeitsabminderungen berücksichtigt werden.

(3) In den Tabellen 3.2a bis 3.2c werden auch die charakteristischen Werte für die Wärmeeinflusszone (0,2%-Dehngrenze  $f_{0,haz}$  und Zugfestigkeit  $f_{u,haz}$ ) sowie die Abminderungsfaktoren (siehe 6.1.6), die Knickklasse (verwendet in 6.1.4 und 6.3.1) und der Exponent in der Ramberg-Osgood-Beziehung für das plastische Verhalten aufgeführt.

**Tabelle 3.2a — Charakteristische Werte der 0,2 %-Dehngrenze  $f_0$  und der Zugfestigkeit  $f_u$  (ungeschweißt und für WEZ), Mindestwerte der Bruchdehnung  $A$ , Abminderungsfaktoren  $\rho_{0,haz}$  und  $\rho_{u,haz}$  in der WEZ, Knickklasse und Exponent  $n_p$  für Aluminiumknetlegierungen — Bleche, Bänder und Platten**

Legierung EN- AW	Zustand <sup>1)</sup>	Dicke $t^{1)}$ mm	$f_0^{1)}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_u$	$A_{50}^{1), 6)}$ %	$f_{0,haz}^{2)}$	$f_{u,haz}^{2)}$	WEZ-Faktor <sup>2)</sup>		BC <sup>4)</sup>	$n_p^{1), 5)}$
								$\rho_{0,haz}^{1)}$	$\rho_{u,haz}$		
3004	H14   H24/H34	≤ 6   3	180   170	220	1   3	75	155	0,42   0,44	0,70	B	23   18
	H16   H26/H36	≤ 4   3	200   190	240	1   3			0,38   0,39	0,65	B	25   20
3005	H14   H24	≤ 6   3	150   130	170	1   4	56	115	0,37   0,43	0,68	B	38   18
	H16   H26	≤ 4   3	175   160	195	1   3			0,32   0,35	0,59	B	43   24
3103	H14   H24	≤ 25   12,5	120   110	140	2   4	44	90	0,37   0,40	0,64	B	31   20
	H16   H26	≤ 4	145   135	160	1   2			0,30   0,33	0,56	B	48   28
5005/ 5005A	O/H111	≤ 50	35	100	15	35	100	1	1	B	5
	H12   H22/H32	≤ 12,5	95   80	125	2   4	44	100	0,46   0,55	0,80	B	18   11
	H14   H24/H34	≤ 12,5	120   110	145	2   3			0,37   0,40	0,69	B	25   17
5052	H12   H22/H32	≤ 40	160   130	210	4   5	80	170	0,50   0,62	0,81	B	17   10
	H14   H24/H34	≤ 25	180   150	230	3   4			0,44   0,53	0,74	B	19   11
5049	O / H111	≤ 100	80	190	12	80	190	1	1	B	6
	H14   H24/H34	≤ 25	190   160	240	3   6	100	190	0,53   0,63	0,79	B	20   12
5454	O/H111	≤ 80	85	215	12	85	215	1	1	B	5
	H14 H24/H34	≤ 25	220   200	270	2   4	105	215	0,48   0,53	0,80	B	22   15
5754	O/H111	≤ 100	80	190	12	80	190	1	1	B	6
	H14 H24/H34	≤ 25	190   160	240	3   6	100	190	0,53   0,63	0,79	B	20   12

Tabelle 3.2a (fortgesetzt)

Legierung EN- AW	Zustand <sup>1)</sup>	Dicke $t^{1)}$	$f_o^{1)}$	$f_u$	$A_{50}^{1), 6)}$	$f_{o,haz}^{2)}$	$f_{u,haz}^{2)}$	WEZ-Faktor <sup>2)</sup>		BC <sup>4)</sup>	$n_p^{1), 5)}$
		mm	N/mm <sup>2</sup>		%	N/mm <sup>2</sup>		$\rho_{o,haz}^{1)}$	$\rho_{u,haz}$		
5083	O/H111	$\leq 50$	125	275	11	125	275	1	1	B	6
		$50 < t \leq 80$	115	270	14 <sup>3)</sup>	115	270			B	
	H12 H22/H32	$\leq 40$	250   215	305	3   5	155	275	0,62   0,72	0,90	B	22   14
	H14 H24/H34	$\leq 25$	280   250	340	2   4			0,55   0,62	0,81	A	22   14
6061	T4 / T451	$\leq 12,5$	110	205	12	95	150	0,86	0,73	B	8
	T6 / T651	$\leq 12,5$	240	290	6	115	175	0,48	0,60	A	23
	T651	$12,5 < t \leq 80$	240	290	6 <sup>3)</sup>						
6082	T4 / T451	$\leq 12,5$	110	205	12	100	160	0,91	0,78	B	8
	T61/T6151	$\leq 12,5$	205	280	10	125	185	0,61	0,66	A	15
	T6151	$12,5 < t \leq 100$	200	275	12 <sup>3)</sup>			0,63	0,67	A	14
	T6/T651	$\leq 6$	260	310	6			0,48	0,60	A	25
		$6 < t \leq 12,5$	255	300	9			0,49	0,62	A	27
T651	$12,5 < t \leq 100$	240	295	7 <sup>3)</sup>	0,52			0,63	A	21	
7020	T6	$\leq 12,5$	280	350	7	205	280	0,73	0,80	A	19
	T651	$\leq 40$			9 <sup>3)</sup>						
8011A	H14   H24	$\leq 12,5$	110   100	125	2   3	37	85	0,34   0,37	0,68	B	37   22
	H16   H26	$\leq 4$	130   120	145	1   2			0,28   0,31	0,59		33   33

- 1) Wenn zwei (drei) Zustände in einer Zeile angegeben werden, haben die durch „|“ getrennten Zustände unterschiedliche technologische Werte, wenn sie durch „/“ getrennt sind, haben sie die gleichen Werte. (Die Zustände weisen dann gegebenenfalls Unterschiede bei  $f_o$ ,  $A$  und  $n_p$  auf).
- 2) Die WEZ-Werte gelten für MIG-Schweißen und Dicken bis zu 15 mm. Bei WIG-Schweißen kaltverfestigter Legierungen (3xxx, 5xxx und 8011A) bis zu 6 mm gelten die gleichen Werte, bei WIG-Schweißen ausscheidungsgehärteter Legierungen (6xxx und 7xxx) und Dicken bis zu 6 mm müssen die WEZ-Werte und damit auch die Beiwerte  $\rho$  mit einem Faktor 0,8 multipliziert werden. Bei größeren Dicken müssen — wenn keine anderen Werte vorliegen — die WEZ-Werte und die Beiwerte  $\rho$  bei ausscheidungsgehärteten Legierungen (6xxx und 7xxx) weiter mit einem Faktor von 0,8 und bei kaltverfestigten Legierungen (3xxx, 5xxx und 8011A) mit einem Faktor von 0,9 abgemindert werden. Diese Abminderungen gelten nicht für den Zustand O.
- 3) Auf der Grundlage von  $A$  ( $= A_{5,65\sqrt{A_0}}$ ), nicht  $A_{50}$
- 4) BC = Knickklasse, siehe 6.1.4.4, 6.1.5 und 6.3.1.
- 5) Exponent  $n$  für das Ramberg-Osgoodgesetz für die plastische Berechnung. Er gilt nur in Verbindung mit dem aufgeführten  $f_o$ -Wert.
- 6) Die angegebenen Mindestwerte der Bruchdehnung gelten nicht für den gesamten Dickenbereich sondern im Wesentlichen für geringe Dicken. Einzelheiten hierzu siehe EN 485-2

**Tabelle 3.2b — Charakteristische Werte der 0,2 %-Dehngrenze  $f_0$  und der Zugfestigkeit  $f_u$  (ungeschweißt und für WEZ), Mindestwerte der Bruchdehnung  $A$ , Abminderungsfaktoren  $\rho_{0,haz}$  und  $\rho_{u,haz}$  in der WEZ, Knickklasse und Exponent  $n_p$  für Aluminiumknetlegierungen — Strangpressprofile, stranggepresste Rohre, stranggepresste Stangen und gezogene Rohre**

Legierung EN- AW	Produkt- form	Zustand	Dicke $t^{1)3)}$	$f_0^{1)}$	$f_u^{1)}$	$A^{5)2)}$	$f_{0,haz}^{4)}$	$f_{u,haz}^{4)}$	WEZ-Faktor <sup>4)</sup>		BC <sup>6)</sup>	$n_p^{7)}$
			mm	N/mm <sup>2</sup>		%	N/mm <sup>2</sup>		$\rho_{0,haz}$	$\rho_{u,haz}$		
5083	ET, EP,ER/B	O / H111, F, H112	$t \leq 200$	110	270	12	110	270	1	1	B	5
	DT	H12/22/32	$t \leq 10$	200	280	6	135	270	0,68	0,96	B	14
		H14/24/34	$t \leq 5$	235	300	4			0,57	0,90	A	18
$\langle A1 \rangle$ 5454	ET, EP,ER/B	O/H111 F/H112	$t \leq 25$	85	200	16	85	200	1	1	B	5
5754	ET, EP,ER/B	O/H111 F/H112	$t \leq 25$	80	180	14	80	180	1	1	B	6
	DT	H14/ H24/H34	$t \leq 10$	180	240	4	100	180	0,56	0,75	B	16 $\langle A1 \rangle$
6060	EP,ET,ER/B	T5	$t \leq 5$	120	160	8	50	80	0,42	0,50	B	17
	EP		$5 < t \leq 25$	100	140	8			0,50	0,57	B	14
	ET,EP,ER/B	T6	$t \leq 15$	<b>140</b>	<b>170</b>	8	60	100	0,43	0,59	A	24
	DT		$t \leq 20$	160	215	12			0,38	0,47	A	16
	EP,ET,ER/B	T64	$t \leq 15$	120	180	12	60	100	0,50	0,56	A	12
	EP,ET,ER/B	T66	$t \leq 3$	160	215	8	65	110	0,41	0,51	A	16
	EP		$3 < t \leq 25$	150	195	8			0,43	0,56	A	18
$\langle A1 \rangle$ 6061	EP,ET,ER/B	T4	$t < 25$	110	180	15	95	150	0,86	0,83	B	8
	DT		$t \leq 20$	110	205	16				0,73	B	8
	EP,ET,ER/B	T6	$t < 25$	240	260	<b>8</b>	115	175	0,48	0,67	A	55
	DT		$t \leq 20$	240	290	10				0,60	A	23 $\langle A1 \rangle$
6063	EP,ET,ER/B	T5	$t \leq 3$	130	175	8	60	100	0,46	0,57	B	16
	EP		$3 < t \leq 25$	110	160	<b>7</b>			0,55	0,63	B	13
	EP,ET,ER/B	T6	$t \leq 25$	<b>160</b>	<b>195</b>	8	65	110	0,41	0,56	A	24
	DT		$t \leq 20$	190	220	10			0,34	0,50	A	31
	EP,ET,ER/B	T66	$t \leq 10$	200	245	8	75	130	0,38	0,53	A	22
	EP		$10 < t \leq 25$	180	225	8			0,42	0,58	A	21
	DT		$t \leq 20$	195	230	10			0,38	0,57	A	28



Tabelle 3.2b (fortgesetzt)

Legierung EN- AW	Produkt- form	Zustand	Dicke $t^{1)3)}$	$f_o^{1)}$	$f_u^{1)}$	$A^{5)2)}$	$f_{o,haz}^{4)}$	$f_{u,haz}^{4)}$	WEZ-Faktor <sup>4)</sup>		BC <sup>6)</sup>	$n_p^{7)}$
			mm	N/mm <sup>2</sup>		%	N/mm <sup>2</sup>		$\rho_{o,haz}$	$\rho_{u,haz}$		
6005A	EP/O, ER/B	T6	$t \leq 5$	225	270	8	115	165	0,51	0,61	A	25
			$5 < t \leq 10$	215	260	8			0,53	0,63	A	24
			$10 < t \leq 25$	200	250	8			0,58	0,66	A	20
	EP/H, ET	T6	$t \leq 5$	<b>215</b>	<b>255</b>	8			0,53	0,65	A	26
			$5 < t \leq 10$	<b>200</b>	<b>250</b>	8			0,58	0,66	A	20
6106	EP	T6	$t \leq 10$	200	250	8	95	160	0,48	0,64	A	20
6082	EP,ET,ER/B	T4	$t \leq 25$	110	205	14	100	160	0,91	0,78	B	8
	<b>A1</b> EP <b>A1</b>	T5	$t \leq 5$	230	270	8	125	185	0,54	0,69	B	28
	<b>A1</b> EP <b>A1</b> ET	T6	$t \leq 5$	250	290	8	125	185	0,50	0,64	A	32
			$5 < t \leq 15$	260	310	10			0,48	0,60	A	25
	ER/B	T6	$t \leq 20$	250	295	8			0,50	0,63	A	27
			$20 < t \leq 150$	260	310	8			0,48	0,60	A	25
	DT	T6	$t \leq 5$	255	310	8			0,49	0,60	A	22
$5 < t \leq 20$			240	310	10	0,52			0,60	A	17	
7020	EP,ET,ER/B	T6	$t \leq 15$	290	350	10			205	280	0,71	0,80
	EP,ET,ER/B	T6	$15 < t < 40$	275	350	10	0,75	0,80			A	19
	DT	T6	$t \leq 20$	<b>280</b>	350	10	0,73	0,80			A	18

**Legende**

EP stranggepresste Profile  
EP/H stranggepresste Hohlprofile  
ER/B stranggepresster Stab  
EP/O stranggepresste offene Profile  
ET stranggepresste Rohre  
DT gezogene Rohre

Fußnoten zu Tabelle 3.2b:

- 1) Wo die Werte **fett** angegeben sind, können in einigen Ausführungsformen größere Dicken und/oder größere Festigkeitswerte zugelassen werden, siehe die in 1.2.1.3 aufgeführten ENs und prENs. In diesem Fall können die Werte für  $R_{p0,2}$  und  $R_m$  als  $f_o$  und  $f_u$  angesetzt werden. Wenn diese größeren Werte verwendet werden, müssen die entsprechenden WEZ-Beiwerte  $\rho$  nach den Gleichungen (6.13) und (6.14) mit denselben Werte für  $f_{o,haz}$  und  $f_{u,haz}$  berechnet werden.
- 2) Wo die Mindestwerte der Bruchdehnung **fett** angegeben sind, gelten für einige Ausführungsformen oder Dicken größere Mindestwerte.
- 3) Nach EN 755-2**A1**:2008 **A1** gilt folgende Regel: „Wenn der Querschnitt eines Profils sich aus unterschiedlichen Dicken zusammensetzt, denen verschiedene Werte der mechanischen Eigenschaften zugeordnet sind, gelten jeweils die niedrigsten festgelegten Werte für den gesamten Querschnitt des Profils.“ Abweichend davon kann der größte Wert verwendet werden, wenn der Hersteller diesen Wert durch eine geeignete Bescheinigung der Qualitätssicherung belegen kann.
- 4) Die WEZ-Werte gelten für MIG-Schweißen und Dicken bis zu 15 mm. Bei WIG-Schweißen kaltverfestigter Legierungen (**A1**) 3xxx und 5xxx (**A1**) bis zu 6 mm gelten die gleichen Werte, bei WIG-Schweißen ausscheidungsgehärteter Legierungen (6xxx und 7xxx) und Dicken bis zu 6 mm müssen die WEZ-Werte mit einem Faktor von 0,8 multipliziert werden und damit auch die Beiwerte  $\rho$ . Bei größeren Dicken — falls keine anderen Werte vorliegen — müssen die WEZ-Werte und die Beiwerte  $\rho$  bei ausscheidungsgehärteten Liegerungen (6xxx und 7xxx) weiter mit einem Faktor von 0,8 abgemindert werden und bei kaltverfestigten Legierungen (3xxx, 5xxx und 8011A) mit einem Faktor von 0,9. Diese Abminderungen gelten nicht für den Zustand O.
- 5)  $A = 5,65 \sqrt{A_0}$
- 6) BC = Beulklasse, siehe 6.1.4.4, 6.1.5 und 6.3.1.
- 7)  $n$ -Wert im Ausdruck von Ramberg-Osgood für plastische Berechnung. Er gilt nur in Verbindung mit dem aufgeführten  $f_o$ -Wert (minimaler genormter Wert).

**A1** gestrichener Text **A1**

**Tabelle 3.2c — Charakteristische Werte für die 0,2 %-Dehngrenze  $f_o$ , Zugfestigkeit  $f_u$  (ungeschweißt und für WEZ), Mindestwert  $A$  der Bruchdehnung und Beulklasse für Aluminiumknetlegierungen — Schmiedeerzeugnisse**

Legierung EN-AW	Zu- stand	Dicke bis zu mm	Richtung	$f_o$	$f_u$	$f_{o,haz}^{1)}$	$f_{u,haz}^{1)}$	$A^{3)}$ %	Beulklasse
				N/mm <sup>2</sup>					
5754	H112	150	Längs (L)	80	180	80	180	15	B
5083	H112	150	Längs (L)	120	270	120	270	12	B
			transversal (T)	110	260	110	260	10	B
6082	T6	100	Längs (L)	260	310	125 <sup>2)</sup>	185 <sup>2)</sup>	6	A
			transversal (T)	250	290			5	A

1)  $\rho_{o,haz}; \rho_{u,haz}$  Berechnung nach Gleichung (6.13) und (6.14)  
2) Bei Dicken über 15 mm (MIG-Schweißen) oder 6 mm (WIG-Schweißen) siehe Tabelle 3.2.b Fußnote 4).  
3)  $= A_{5,65} \sqrt{A_o}$

### 3.2.3 Werkstoffeigenschaften von Aluminiumgusslegierungen

#### 3.2.3.1 Allgemeines

(1) EN 1999-1-1 kann im Allgemeinen nicht auf Gusserzeugnisse angewandt werden.

ANMERKUNG 1 Die Bemessungsregeln können für als Sand- oder Kokillenguss hergestellte Erzeugnisse aus den in Tabelle 3.3 angegebenen Werkstoffen verwendet werden, wenn die in C.3.4 von Anhang C aufgeführten zusätzlichen und speziellen Regeln und Qualitätsanforderungen befolgt werden.

ANMERKUNG 2 Der Nationale Anhang darf Qualitätsanforderungen für die Herstellung von Gusserzeugnissen geben.

#### 3.2.3.2 Charakteristische Werte

(1) Die charakteristischen Werte der 0,2 %-Dehngrenze  $f_o$  und der Zugfestigkeit  $f_u$  für Sand- und Kokillenguss, die vom Gießer oder der Gießerei für jede Stelle des Gussstückes eingehalten werden müssen, sind in Tabelle 3.3 aufgeführt. Die angegebenen Werte betragen 70 % der in  $\boxed{A_1}$  EN 1706:1998  $\boxed{A_1}$  aufgeführten Werte, die nur für getrennt gegossene Probekörper gelten (siehe  $\boxed{A_1}$  EN 1706:1998, 6.3.3.2  $\boxed{A_1}$ ).

ANMERKUNG Die für  $A_{50}$  in Tabelle 3.3 aufgeführten Werte betragen 50 % der Dehnungswerte von  $\boxed{A_1}$  EN 1706:1998  $\boxed{A_1}$ , die nur für getrennt gegossene Probekörper gelten (siehe  $\boxed{A_1}$  EN 1706:1998, 6.3.3.2  $\boxed{A_1}$ ).

**Tabelle 3.3 — Charakteristische Werte der 0,2 %-Dehngrenze  $f_o$  und der Zugfestigkeit  $f_u$  von Aluminiumgusslegierungen — Sand- oder Kokillenguss**

Legierung	Gießprozess	Zustand	$f_o$ ( $f_{oc}$ ) N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ ( $f_{uc}$ ) N/mm <sup>2</sup>	$A_{50}$ % <sup>1)</sup>
EN AC-42100	Kokillenguss	T6	147	203	2,0
	Kokillenguss	T64	126	175	4
EN AC-42200	Kokillenguss	T6	168	224	1,5
	Kokillenguss	T64	147	203	3
EN AC-43000	Kokillenguss	F	63	126	1,25
EN AC-43300	Kokillenguss	T6	147	203	2,0
	Sandguss	T6	133	161	1,0
	Kokillenguss	T64	126	175	3
EN AC-44200	Kokillenguss	F	56	119	3
	Sandguss	F	49	105	2,5
EN AC-51300	Kokillenguss	F	70	126	2,0
	Sandguss	F	63	112	1,5

<sup>1)</sup> Zu Anforderungen an die Dehnung bei der Bemessung von Gussstücken siehe C.3.4.2(1).

### 3.2.4 Abmessungen, Gewichte und Toleranzen

(1) Die Abmessungen und Toleranzen von Strangpressprodukten, Blechen und Platten, gezogenen Rohren, Draht und Schmiedestücken sollten mit den in 1.2.3.3 aufgeführten ENs und prENs übereinstimmen.

(2) Die Abmessungen und Toleranzen von Gusserzeugnissen sollten mit den in 1.2.3.4 aufgeführten ENs und prENs übereinstimmen.

### 3.2.5 Bemessungswerte der Werkstoffkennwerte

(1) Für die Werkstoffkennwerte der Aluminiumlegierungen, welche die vorliegende Europäische Norm abdeckt, sind folgende Bemessungswerte anzunehmen:

- Elastizitätsmodul  $E = 70\,000\text{ N/mm}^2$ ;
- Schubmodul  $G = 27\,000\text{ N/mm}^2$ ;
- Querdehnungszahl  $\nu = 0,3$ ;
- linearer Wärmeausdehnungskoeffizient  $\alpha = 23 \times 10^{-6}\text{ je } ^\circ\text{C}$ ;
- Dichte  $\rho = 2\,700\text{ kg/m}^3$ .

(2) Werkstoffeigenschaften für Konstruktionen unter erhöhten Temperaturen im Brandfall sind in EN 1999-1-2 angegeben.

### 3.3 Verbindungsmittel

#### 3.3.1 Allgemeines

- (1) Verbindungsmittel sollten für ihre spezielle Anwendung geeignet sein.
- (2) Geeignete Verbindungsmitteln sind Schrauben, Verbindungsmittel für gleitfeste Verbindungen, Vollniete, spezielle Verbindungsmittel, Schweißnähte und Klebstoffe.

ANMERKUNG Für Klebstoffe, siehe Anhang M.

#### 3.3.2 Schrauben, Muttern und Scheiben

##### 3.3.2.1 Allgemeines

- (1) Schrauben, Muttern und Scheiben sollten den bestehenden ENs, prENs und ISO-Normen entsprechen. Für tragende Verbindungen sollten Schrauben und Niete nach Tabelle 3.4 verwendet werden.
- (2) Die Mindestwerte der 0,2 %-Dehngrenze  $f_o$  und der Zugfestigkeit  $f_u$ , die als charakteristische Werte für die Berechnungen anzunehmen sind, sind in Tabelle 3.4 angegeben.
- (3) Aluminiumschrauben und -niete sollten nur bei Verbindungen der Kategorie A (Lochleibungsverbindungen, siehe Tabelle 8.4) verwendet werden.

ANMERKUNG 1 Gegenwärtig gibt es keine EN-Norm, die alle Anforderungen an Aluminiumschrauben abdeckt. Für die Anwendung der in Tabelle 3.4 aufgeführten Schrauben sind Empfehlungen im Anhang C angegeben. Der Nationale Anhang darf Regeln angeben.

ANMERKUNG 2 Gegenwärtig gibt es keine EN-Norm, die alle Anforderungen an Vollniete aus Aluminium abdeckt. Für die Anwendung der in Tabelle 3.4 aufgeführten Vollniete sind Empfehlungen im Anhang C angegeben.

- (4) Gewindeformende Schrauben und Blindniete können bei dünnwandigen Bauteilen verwendet werden. Regeln hierzu sind in EN 1999-1-4 angegeben.

Tabelle 3.4 — Mindestwerte der 0,2%-Dehngrenze  $f_o$  und der Zugfestigkeit  $f_u$  für Schrauben und Vollniete

Werkstoff	Verbindungsmittel	Legierung num. Bezeichnung EN AW-	Legierung chem. Bezeichnung EN AW-	Zustand oder Festigkeitsklasse	Durchmesser	$f_o$ <sup>7)</sup> N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ <sup>7)</sup> N/mm <sup>2</sup>
Aluminium-Legierung	Voll-Niete <sup>1)</sup>	5019	AlMg5	H111	≤ 20	110	250
				H14,H34	≤ 18	210	300
		5754	AlMg3	H111	≤ 20	80	180
				H14/H34	≤ 18	180	240
		6082	AlSi1MgMn	T4	≤ 20	110	205
				T6	≤ 20	240	300
	Schrauben <sup>2)</sup>	5754 (AL1) <sup>3)</sup>	AlMg3	4)	≤ 10	230	270
					10 < d ≤ 20	180	250
		5019 (AL2) <sup>3)</sup>	AlMg5	4)	≤ 14	205	310
					14 < d ≤ 36	200	280
6082 (AL3) <sup>3)</sup>		AlSi1MgMn	4)	≤ 6	250	320	
	14 < d ≤ 36			260	310		
Stahl	Schrauben <sup>5)</sup>			4.6	≤ 39	240	400
				5.6	≤ 39	300	500
				6.8	≤ 39	480	600
				8.8	≤ 39	640	800
				10.9	≤ 39	900	1 000
nichtrostender Stahl	Schrauben <sup>6)</sup>	A2, A4		50	≤ 39	210	500
				70	≤ 39	450	700
				80	≤ 39	600	800

- 1) siehe 3.3.2.1 (3) <sup>A1</sup> gestrichener Text <sup>A1</sup>
- 2) siehe 3.3.2.1 (3) <sup>A1</sup> gestrichener Text <sup>A1</sup>
- 3) Werkstoffbezeichnung nach EN 28839
- 4) Keine Bezeichnung der Festigkeitsklasse in EN 28839
- 5) Festigkeitsklasse nach EN ISO 898-1
- 6) Bezeichnung und Festigkeitsklasse nach EN ISO 3506-1
- 7) Die angegebenen Werte für Vollniete sind die jeweils kleineren Werte von EN 764 (gezogene Stäbe) oder EN 1301 (gezogener Draht), aus denen Vollniete durch Kaltverformung hergestellt werden. Für die 0,2 %-Dehngrenze legt EN 1301 zwar nur typische Werte fest, aber die oben aufgeführten Werte können alle als auf der sicheren Seite liegend betrachtet werden. Für die Bemessung von Verbindungen der Kategorie A (Lochleibungsverbindung) ist aber ohnehin die Zugfestigkeit die Grundlage zur Berechnung der Tragfähigkeit einer Schraube oder eines Nietes.

### 3.3.2.2 Vorgespannte Schrauben

(1) Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9 können als planmäßig vorgespannte Schrauben verwendet werden, wenn sie den Anforderungen an vorgespannte Schrauben in bestehenden ENs, prENs und ISO-Normen entsprechen.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Regeln zur Anwendung von nicht diesen Normen entsprechenden Schrauben geben, wenn diese mit Vorspannung verwendet werden sollen.

**3.3.3 Niete**

(1) Die Werkstoffeigenschaften, Abmessungen und Toleranzen von Voll- und Hohl-Nieten aus Aluminiumlegierungen sollten den jeweiligen ENs, prENs oder ISO-Normen entsprechen (falls und wenn sie verfügbar sind).

(2) Die garantierten Mindestwerte der 0,2%-Dehngrenze  $f_0$  und der Zugfestigkeit  $f_u$ , die als charakteristische Werte für die Berechnung anzunehmen sind, sind in Tabelle 3.4 angegeben.

**3.3.4 Schweißzusätze**

(1) Alle Schweißzusätze sollten den in 1.2.2 aufgeführten ENs, prENs oder ISO-Normen (falls vorhanden) entsprechen.

ANMERKUNG prEN (WI 121 127 und WI 121 214) sind in Vorbereitung.

(2) Schweißzusätze für die zu verbindende Kombination von Legierungen sollten nach prEN 1011-4, Tabelle B.2 und Tabelle B.3 in Verbindung mit den Bemessungsanforderungen für die Schweißverbindung ausgewählt werden, siehe 8.6.3.1. Hinweise für die Auswahl der Schweißzusätze für die in dieser Europäischen Norm angegebenen Grundwerkstoffe sind in den Tabellen 3.5 und 3.6 angegeben.

**Tabelle 3.5 — Gruppierung der Legierungen für Tabelle 3.6**

Gruppe des Schweißzusatzes	Legierung
Typ 3	3103
Typ 4	4043A, 4047A <sup>1)</sup>
Typ 5	5056A, 5356 / 5356A, 5556A / 5556B, 5183 / 5183A
<sup>1)</sup> 4047A wird speziell verwendet, um Risse im Schweißgut zu vermeiden. In den meisten anderen Fällen ist 4043A vorzuziehen.	

**3.3.5 Klebstoffe**

ANMERKUNG Empfehlungen für geklebte Verbindungen sind in Anhang M angegeben.

Tabelle 3.6 — Wahl der Schweißzusätze (siehe Tabelle 3.5 für Legierungsgruppen)

Werkstoffkombinationen <sup>1)</sup>							
Grundwerkstoff 1	Grundwerkstoff 2						
	Al-Si Gusswerkstoffe	Al-Mg Gusswerkstoffe	3xxxer Legierungen	5xxxer Legierungen außer 5083	5083	6xxxer Legierungen	7020
7020	NR <sup>2)</sup>	Typ 5 Typ 5 Typ 5	Typ 5 Typ 5 Typ 4	Typ 5 Typ 5 Typ 5	5556A Typ 5 5556A	Typ 5 Typ 5 Typ 4	5556A Typ 5 Typ 4 <sup>4)</sup>
6xxxer Legierungen	Typ 4 Typ 4 Typ 4	Typ 5 Typ 5 Typ 5	Typ 4 Typ 4 Typ 4	Typ 5 Typ 5 Typ 5	Typ 5 Typ 5 Typ 5	Typ 5 Typ 4 Typ 4	
5083	NR <sup>2)</sup>	Typ 5 Typ 5 Typ 5	Typ 5 Typ 5 Typ 5	Typ 5 Typ 5 Typ 5	5556A Typ 5 Typ 5		
5xxxer Legierungen außer 5083	NR <sup>2)</sup>	Typ 5 Typ 5 Typ 5	Typ 5 Typ 5 Typ 5	Typ 5 <sup>3)</sup> Typ 5			
3xxxer Legierungen	Typ 4 Typ 4 Typ 4	Typ 5 Typ 5 Typ 5	Typ 3 Typ 3 Typ 3				
Al-Mg-Gusswerkstoffe	NR <sup>2)</sup>	Typ 5 Typ 5 Typ 5					
Al-Si-Gusswerkstoffe	Typ 4 Typ 4 Typ 4						

1) In jedem Kasten ergibt der Schweißzusatz in der obersten Zeile die größte Schweißnahtfestigkeit; bei den 6xxxer Legierungen und bei EN-AW 7020 liegt dieser Wert unterhalb der Festigkeit des voll ausgehärteten Grundwerkstoffes. Der in der mittleren Zeile angegebene Schweißzusatz ergibt die beste Korrosionsbeständigkeit. Der in der unteren Zeile angegebene Schweißzusatz dient der Vermeidung von Schweißrissen.

2) NR = nicht empfohlen. Das Schweißen von Legierungen, die ungefähr 2 % oder mehr an Mg enthalten, mit Al-Si-Schweißzusätzen oder umgekehrt, wird nicht empfohlen, weil sich soviel Mg<sub>2</sub>Si an der Schmelzlinie ausscheidet, dass es ausreicht, die Schweißnaht zu verspröden. Wenn unvermeidbar, siehe prEN 1011-4.

3) Es ist ein besserer Korrosionswiderstand des Schweißgutes zu erwarten, wenn dessen Legierungsgehalt nahe bei dem des Grundwerkstoffes liegt und nicht bemerkenswert größer ist. Deshalb wird für aggressive Umgebung für den Grundwerkstoff EN-AW 5454 vorzugsweise der Schweißzusatz 5454 verwendet. In einigen Fällen kann dies jedoch nur auf Kosten der Schweißnahtgüte erreicht werden, so dass ein Kompromiss erforderlich ist.

4) Nur in speziellen Fällen wegen der geringen Festigkeit und des geringen Dehnungsvermögens der Verbindung.

## 4 Dauerhaftigkeit

(1) Die grundlegenden Anforderungen an die Dauerhaftigkeit sind in EN 1990 festgelegt.

ANMERKUNG Für Aluminium in Kontakt mit anderem Werkstoff werden in Anhang D Empfehlungen gegeben.

(2) Unter normalen Witterungsverhältnissen benötigen Aluminiumtragwerke aus den in den Tabellen 3.1a und 3.1b aufgeführten Legierungen keinen Oberflächenschutz zur Vermeidung von Tragfähigkeitsverlusten.

ANMERKUNG Anhang D enthält Informationen über die Korrosionsbeständigkeit und Hinweise zum Oberflächenschutz sowie Informationen über Bedingungen, bei denen Korrosionsschutz zu empfehlen ist.

(3) Bauteile, die korrosionsanfällig sind und aggressiver Umgebung, mechanischer Abnutzung oder Ermüdung ausgesetzt sind, sollten so ausgeführt werden, dass die Bauwerksprüfung, Wartung und Instandsetzung während Nutzungszeit zufrieden stellend durchgeführt werden kann. Zugang für Überwachung und Wartung sollte in der Regel vorhanden sein.

(4) Anforderungen und Mittel zur Durchführung von Schutzmaßnahmen, die im Werk oder auf der Baustelle vorgenommen werden sind in **A1** EN 1090-3 **A1** festgelegt.

(5) Die Ausführungsspezifikation sollte den Umfang, die Art und das durchzuführende Verfahren für die gewählte Oberflächenbehandlung oder Schutzmaßnahme beschreiben.

## **5 Tragwerksberechnung**

### **5.1 Statische Systeme**

#### **5.1.1 Grundlegende Annahmen**

(1) Die statische Berechnung sollte mit einem Berechnungsmodell für das Tragwerk durchgeführt werden, das für den betrachteten Grenzzustand geeignet ist.

(2) Das Berechnungsmodell und die grundlegenden Annahmen für die Berechnung sollten so gewählt werden, dass sie das Tragverhalten im betrachteten Grenzzustand mit ausreichender Genauigkeit wiedergeben und dem erwarteten Verhalten der Querschnitte, der Bauteile, der Anschlüsse und der Lagerungen entsprechen.

#### **5.1.2 Berechnungsmodelle für Anschlüsse**

(1) Die Einflüsse aus dem Last-Verformungsverhalten der Anschlüsse auf die Schnittgrößenverteilung und auf die Gesamtverformung des Tragwerks dürfen im Allgemeinen vernachlässigt werden. Sie sollten jedoch berücksichtigt werden, wenn sie, wie z. B. bei verformbaren Anschlüssen, maßgebend werden können.

(2) Um festzustellen, ob die Einflüsse aus dem Verhalten von Anschlüssen bei der Berechnung berücksichtigt werden müssen, darf zwischen folgenden drei Anschlussmodellen unterschieden werden:

- gelenkige Anschlüsse, wenn angenommen werden darf dass der Anschluss keine Biegemomente überträgt.
- biegesteife Anschlüsse, wenn die Steifigkeit und/oder die Tragfähigkeit des Anschlusses die Annahme biegesteif verbundener Bauteile in der Berechnung erlaubt;
- verformbare Anschlüsse, wenn das Verformungsverhalten des Anschlusses bei der Berechnung berücksichtigt werden muss.

ANMERKUNG In Anhang L werden Empfehlungen für die verschiedenen Anschlussstypen gegeben.

#### **5.1.3 Bauwerks-Boden-Interaktion**

(1) Falls notwendig, sollten die Verformungseigenschaften der Fundamente berücksichtigt werden,

ANMERKUNG EN 1997 enthält Verfahren zur Berechnung der Bauwerks-Boden-Interaktion.



## 5.2 Untersuchung von Gesamttragwerken

### 5.2.1 Einflüsse der Tragwerksverformung

(1) Die Schnittgrößen können im Allgemeinen entweder nach

— Theorie I. Ordnung, unter Ansatz der Ausgangsgeometrie des Tragwerks, oder nach

— Theorie II. Ordnung, unter Berücksichtigung der Einflüsse der Tragwerksverformung

berechnet werden.

(2)P Die Einflüsse aus der Tragwerksverformung (Einflüsse aus Theorie II. Ordnung) müssen immer berücksichtigt werden, wenn die daraus resultierende Vergrößerung der Schnittgrößen nicht mehr vernachlässigt werden darf oder das Tragverhalten maßgeblich beeinflusst wird.

(3) Die Berechnung nach Theorie I. Ordnung ist zulässig, wenn die durch Verformungen hervorgerufene Erhöhung der maßgebenden Schnittgrößen oder andere Änderungen des Tragverhaltens vernachlässigt werden können. Diese Anforderung darf als erfüllt angesehen werden, wenn die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 \quad (5.1)$$

Dabei ist

$\alpha_{cr}$  der Faktor, mit dem die Bemessungswerte der Belastung erhöht werden müssten, um die ideale Verzweigungslast des Gesamttragwerkes zu erreichen;

$F_{Ed}$  der Bemessungswert der Einwirkungen auf das Tragwerk;

$F_{cr}$  die ideale Verzweigungslast des Gesamttragwerkes. Bei der Berechnung von  $F_{cr}$  ist von den elastischen Anfangssteifigkeiten auszugehen.

ANMERKUNG Im Nationalen Anhang darf ein anderes Kriterium für die Grenze von  $\alpha_{cr}$ , oberhalb der der Einfluss der Theorie II. Ordnung vernachlässigt werden kann, festgelegt werden.

(4) Mittragende Breiten und wirksame Breiten aus örtlichem Beulen sollten berücksichtigt werden, falls sie die globale Tragwerksberechnung beeinflussen.

ANMERKUNG Empfehlungen sind in Anhang K angegeben.

(5) Der Schlupf in Schraubenlöchern oder ähnliche Verformungen infolge Schlupf bei Kopfbolzendübeln oder Ankerbolzen sollten bei der Tragwerksberechnung berücksichtigt werden, wenn sie maßgebend sind.

### 5.2.2 Stabilität von Tragwerken

(1) Wenn der Einfluss der Verformungen des Tragwerks nach 5.2.1 berücksichtigt werden muss, sollten (2) bis (6) beachtet werden, um die Stabilität des Tragwerks nachzuweisen.

(2) Beim Nachweis der Stabilität von Tragwerken oder Tragwerksteilen sollten Imperfektionen und Einflüsse aus Theorie II. Ordnung berücksichtigt werden.

(3) Je nach Art des Tragwerks und der Tragwerksberechnung können die Einflüsse aus Theorie II. Ordnung und Imperfektionen nach einer der folgenden Methoden berücksichtigt werden:

- a) beide Einflüsse vollständig im Rahmen der Berechnung des Gesamttragwerks,
- b) teilweise durch Berechnung des Gesamttragwerks und teilweise durch Stabilitätsnachweise einzelner Bauteile nach 6.3,
- c) in einfachen Fällen durch Ersatzstabnachweise nach 6.3, wobei Knicklängen entsprechend der Knickfigur (Eigenform) des Gesamttragwerks verwendet werden.

(4) Einflüsse aus Theorie II. Ordnung können durch Anwendung eines für das Tragwerk geeigneten Berechnungsverfahrens ermittelt werden. Dies kann ein schrittweises oder iteratives Verfahren sein. Bei Rahmen, bei denen das seitliche Ausweichen die Knickfigur maßgeblich bestimmt, sollte eine elastische Berechnung nach der Theorie I. Ordnung durchgeführt werden, deren Schnittgrößen (z. B. Biegemomente) und Verformungen anschließend durch geeignete Faktoren vergrößert werden.

(5) Nach 5.2.2(3) a) und b) sollte die Stabilität der einzelnen Bauteile wie folgt nachgewiesen werden:

- a) Wenn die Einflüsse aus Theorie II. Ordnung in Einzelbauteilen und die maßgebenden Bauteilimperfektionen (siehe 5.3.4) vollständig in der Berechnung des Gesamttragwerks berücksichtigt werden, sind keine weiteren Stabilitätsnachweise der Einzelbauteile nach 6.3 erforderlich.
- b) Wenn die Einflüsse aus Theorie II. Ordnung in Einzelbauteilen oder bestimmte Bauteilimperfektionen (z. B. Bauteilimperfektionen für Biegeknicken und/oder Biegedrillknicken, siehe 5.3.4) nicht vollständig in der Berechnung des Gesamttragwerks berücksichtigt werden, sollte die Stabilität der Einzelbauteile, die nicht in der Berechnung des Gesamttragwerks enthalten ist, unter Verwendung der maßgebenden Kriterien nach 6.3 zusätzlich nachgewiesen werden. Bei diesem Nachweis sollten die Endmomente und Kräfte des Einzelbauteils aus der Berechnung des Gesamttragwerks einschließlich der Einflüsse aus Theorie II. Ordnung und globalen Imperfektionen (siehe 5.3.2) berücksichtigt werden. Darüber hinaus darf als Knicklänge des Einzelbauteils dessen Systemlänge angesetzt werden, siehe Bild 5.1 (d), (e), (f) und (g).

(6) Wird die Stabilität von Tragwerken durch einen Ersatzstabnachweis nach 6.3 nachgewiesen, so sollte die Knicklänge aus der Knickfigur des Gesamttragwerks ermittelt werden; dabei sind die Steifigkeit der Bauteile und Verbindungen, das Ausbilden von Fließgelenken sowie die Verteilung der Druckkräfte mit den Bemessungswerten der Einwirkungen in der Regel zu berücksichtigen. In diesem Fall werden die im Tragfähigkeitsnachweis verwendeten Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung ohne Berücksichtigung von Imperfektionen berechnet, siehe Bild 5.1 (a), (b) und (c).

## **5.3 Imperfektionen**

### **5.3.1 Grundlage**

(1)P Bei der Tragwerksberechnung sind geeignete Ansätze zu wählen, um die Wirkungen von Imperfektionen einschließlich Eigenspannungen und geometrischen Imperfektionen wie Schiefstellung und Abweichungen von der Geradheit, Ebenheit und Passung sowie alle unplanmäßigen Exzentrizitäten, die in den Verbindungen des unbelasteten Tragwerks auftreten, zu erfassen.

ANMERKUNG  $\text{A}_1$  Geometrische Imperfektionen sind, entsprechend den grundlegenden Toleranzen, in den Beanspruchbarkeitsformeln, den Knickkurven und den  $\gamma_M$ -Werten in EN 1999 berücksichtigt.  $\text{A}_1$

(2) In den Berechnungen sollten äquivalente geometrische Ersatzimperfektionen (siehe 5.3.2 und 5.3.3) verwendet werden, deren Werte die möglichen Wirkungen aller Imperfektionen abdecken. Im Ersatzstabverfahren nach 5.4.3 sind die Wirkungen in den Gleichungen für den Bauteilwiderstand enthalten.

(3) Folgende Imperfektionen sollten angesetzt werden:

- a) Imperfektionen für Gesamttragwerke und aussteifende Systeme
- b) örtliche Imperfektionen für einzelne Bauteile

### 5.3.2 Imperfektionen für die Tragwerksberechnung

(1) Die anzunehmende Form der Imperfektionen eines Gesamttragwerks und örtlicher Imperfektionen eines Tragwerks kann aus der Form der maßgebenden Eigenform in der betrachteten Ebene hergeleitet werden.

(2) Knicken, sowohl in als auch aus der Ebene, einschließlich Drillknicken mit symmetrischen und anti-symmetrischen Knickfiguren sollte in der ungünstigsten Richtung und Form berücksichtigt werden.

(3) Bei Tragwerken, deren Eigenform durch eine seitliche Verschiebung charakterisiert ist, sollten die Einflüsse der Imperfektionen bei der Berechnung durch eine äquivalente Ersatzverformung in Form einer Anfangsschiefstellung des Tragwerks und der Vorkrümmung der einzelnen Bauteile berücksichtigt werden. Die Imperfektionen sollten wie folgt ermittelt werden:

a) globale Anfangsschiefstellung, siehe Bild 5.1.(d):

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m \quad (5.2)$$

Dabei ist

$\phi_0$  der Ausgangswert:  $\phi_0 = 1/200$

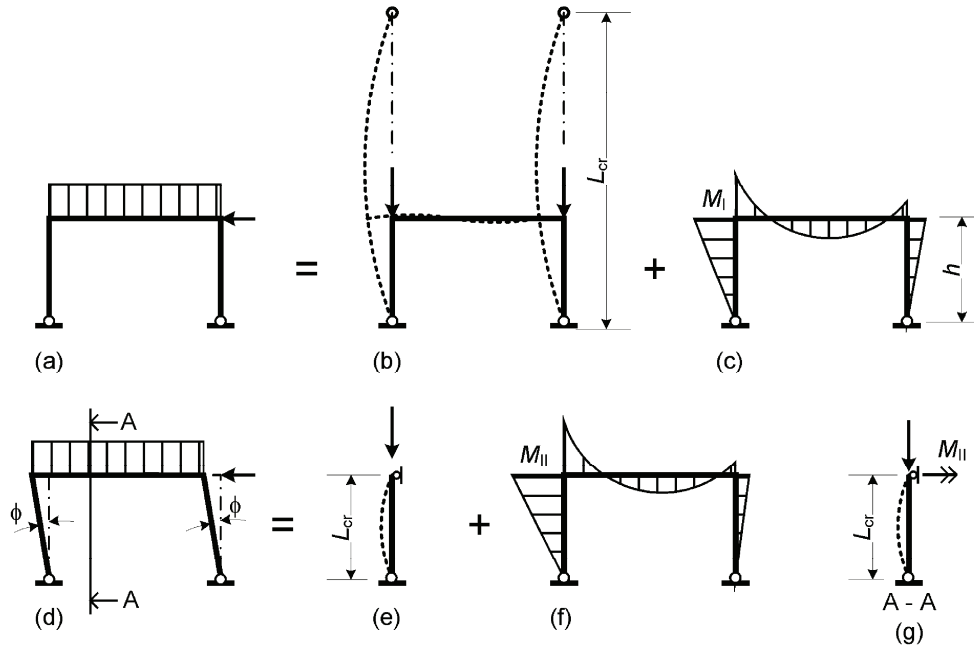
$\alpha_h$  der Abminderungsfaktor für die Höhe  $h$  von Stützen:

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \text{ jedoch } \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0$$

$h$  die Höhe des Tragwerks in Meter

$\alpha_m$  der Abminderungsfaktor für die Anzahl der Stützen in einer Reihe:  $\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$

$m$  die Anzahl der Stützen in einer Reihe unter ausschließlicher Betrachtung der Stützen, die eine Vertikalbelastung  $N_{Ed}$  übernehmen, die nicht kleiner ist als 50 % der durchschnittlichen Stützenlast in der betrachteten vertikalen Ebene.



Das äquivalente Stützenverfahren ist in (a), (b) und (c) beschrieben, wobei (a) System und Belastung, (b) die äquivalente Knicklänge (Ersatzstab) und (c) das Moment nach der Theorie I. Ordnung zeigt.

Das Verfahren der äquivalenten Stützenschiefstellung ist in (d), (e), (f) und (g) beschrieben, wobei (d) System, Last und Verschiebung, (e) die Vorkrümmung und Knicklänge für das Biegeknicken, (f) das Moment nach der Theorie II. Ordnung einschließlich Moment aus der Stützenschiefstellung (Vorverdrehung) und (g) die Vorkrümmung und die Knicklänge für das Biegedrillknicken zeigt.

**Bild 5.1 — Äquivalente Knicklänge und äquivalente Stützenschiefstellung**

b) eingeprägte Vorkrümmung von Bauteilen beim Biegeknicken

$$e_0 / L \tag{5.3}$$

Dabei ist

$L$  die Bauteillänge.

ANMERKUNG Die Werte  $e_0 / L$  dürfen dem Nationalen Anhang entnommen werden. Empfohlene Werte sind in Tabelle 5.1 aufgeführt.

**Tabelle 5.1 — Bemessungswerte der Vorkrümmung  $e_0 / L$**

Knickklasse nach Tabelle 3.2	Elastische Berechnung	Plastische Berechnung
	$e_0 / L$	$e_0 / L$
A	1 / 300	1 / 250
B	1 / 200	1 / 150

(4) Für Hochbauten dürfen Anfangsschiefstellungen vernachlässigt werden, wenn

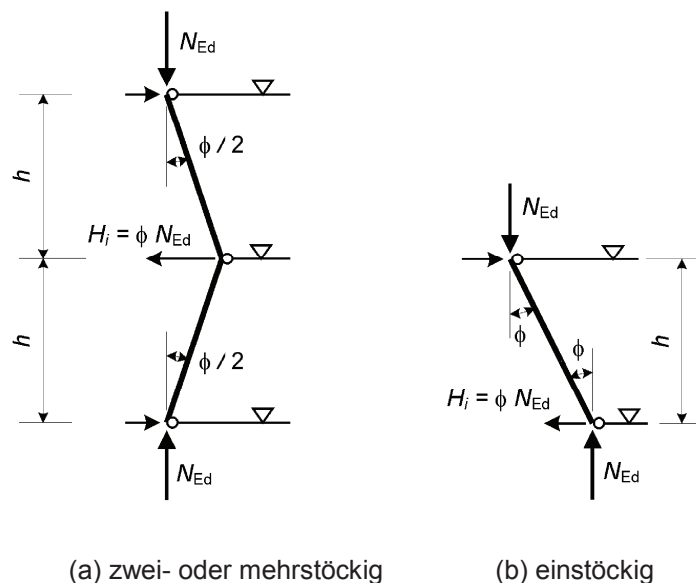
$$H_{Ed} \geq 0,15 V_{Ed} \quad (5.4)$$

Dabei ist

$H_{Ed}$  der Bemessungswert für die horizontale Kraft;

$V_{Ed}$  der Bemessungswert der vertikalen Kraft.

(5) Für die Bestimmung der horizontalen Kräfte auf aussteifenden Deckenscheiben sollte die Anordnung der Imperfektionen nach Bild 5.2 verwendet werden, wobei  $\phi$  die mit (5.2) ermittelte Anfangsschiefstellung eines Stockwerks mit der Höhe  $h$  ist, siehe (3) a).



**Bild 5.2 — Anordnung der Anfangsschiefstellung  $\phi$  für Horizontalkräfte auf aussteifenden Deckenscheiben**

(6) Für die Berechnung der Schnittgrößen an Enden von Bauteilen für den Bauteilnachweis nach 6.3 dürfen lokale Vorkrümmungen vernachlässigt werden. Bei Tragwerken, die empfindlich auf Verformungen reagieren (siehe 5.2.1(3)), sollten für jedes Bauteil mit Druckbeanspruchung zusätzlich lokale Vorkrümmungen angesetzt werden, wenn folgende Bedingungen gelten:

— mindestens ein Bauteilende ist eingespannt oder biegesteif verbunden

$$\bar{\lambda} > 0,5 \sqrt{\frac{A f_o}{N_{Ed}}} \quad (5.5)$$

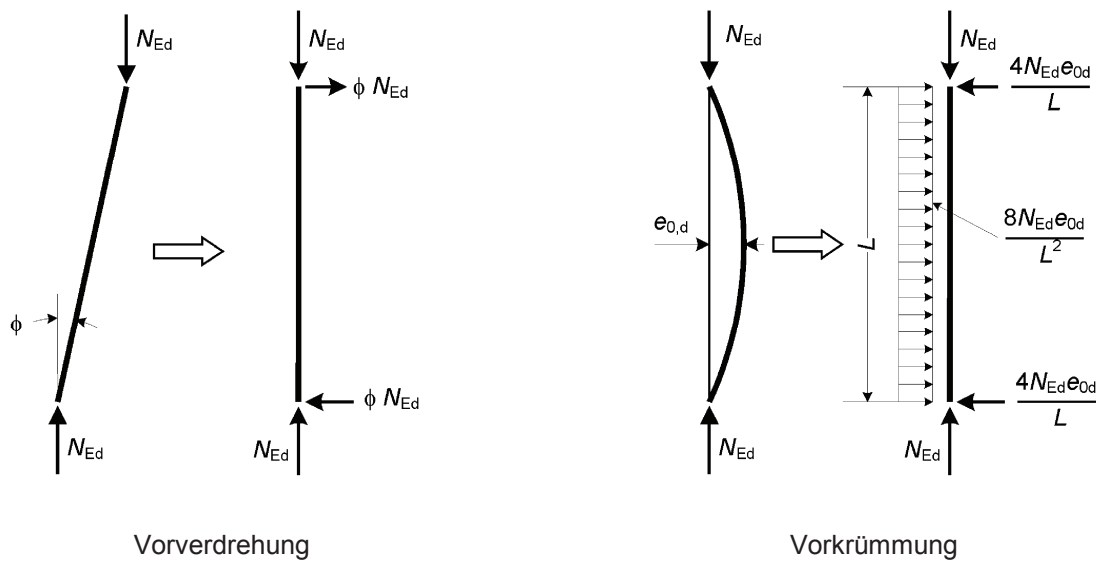
Dabei ist

$N_{Ed}$  der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft (Druck);

$\bar{\lambda}$  die bezogene Schlankheit des Bauteils in der betrachteten Ebene mit der Annahme beidseitig gelenkiger Lagerung.

ANMERKUNG Lokale Vorkrümmungen sind bereits in den Gleichungen für die Bauteilnachweise berücksichtigt, siehe 5.2.2 (3) und 5.3.4.

(7) Die Wirkungen der Anfangsschiefstellungen und Vorkrümmungen dürfen durch Systeme äquivalenter horizontaler Ersatzlasten an jeder Stütze ersetzt werden, siehe Bild 5.2 und Bild 5.3.



**Bild 5.3 — Ersatz der Vorverformungen durch äquivalente horizontale Ersatzlasten**

(8) Diese Vorverdrehungen sollten jeweils in allen maßgebenden horizontalen Richtungen untersucht werden, brauchen aber nur in einer Richtung gleichzeitig betrachtet zu werden.

(9) Bei mehrstöckigen Rahmentragwerken mit Trägern und Stützen sollten die äquivalenten Ersatzkräfte in jeder Decken- und Dachebene angesetzt werden.

(10) Die möglichen Torsionswirkungen infolge gleichzeitig auftretender anti-metrischer Verschiebungen auf zwei einande gegenüberliegenden Seiten sollten beachtet werden, siehe Bild 5.4 —.



(a) Seiten A-A und B-B verschieben sich symmetrisch

(b) Seiten A-A und B-B verschieben sich anti-metrisch

**Legende**

- 1 Verschiebung
- 2 Verdrehung

**Bild 5.4 — Verschiebungsmöglichkeiten und Einflüsse aus Torsion (Draufsicht)**

(11) Alternativ zu (3) und (6) darf die Eigenform  $\eta_{cr}$  zur elastischen Verzweigungslast für das gesamte Tragwerk oder das nachzuweisende Bauteil als Imperfektionsform angesetzt werden. Die geometrische Ersatzimperfektion darf wie folgt dargestellt werden:

$$\boxed{A_1} \eta_{\text{init}}(x) = e_0 \frac{N_{\text{cr},m}}{EI_m |\eta_{\text{cr},m}''|} \eta_{\text{cr}}(x) \quad \boxed{A_1} \quad (5.6)$$

Dabei ist

$$\boxed{A_1} e_0 = \alpha (\bar{\lambda}_m - \bar{\lambda}_0) \frac{M_{\text{Rk},m}}{N_{\text{Rk},m}} \frac{1 - \chi \bar{\lambda}_m^2}{1 - \chi \bar{\lambda}_0^2} \quad \boxed{A_1} \quad \text{für } \bar{\lambda}_m > \bar{\lambda}_0 \quad (5.7)$$

$m$   $\boxed{A_1}$  der Querschnitt, in dem  $\eta_{\text{cr}}''$  sein Maximum erreicht, für den Fall, dass die Normalkraft und Querschnitt über die Stablänge gesehen gleich sind  $\boxed{A_1}$ ;

$\alpha$  der Imperfektionsbeiwert der zutreffenden Knickspannungslinie, siehe Tabelle 6.6;

$\bar{\lambda}_m = \sqrt{\frac{N_{\text{Rk},m}}{N_{\text{cr},m}}}$  relative Schlankheit des Tragwerks;

$\bar{\lambda}_0$  der in Tabelle 6.6 aufgeführter Grenzwert ;

$\chi$  der Abminderungsfaktor der zutreffenden Knickspannungslinie, siehe 6.3.1.2;

$N_{\text{cr},m} = \alpha_{\text{cr}} N_{\text{Ed},m}$  Wert der Normalkraft im Querschnitt  $m$ , bei dem die ideale Verzweigungslast erreicht wird;

$\alpha_{\text{cr}}$  der kleinstmögliche Vergrößerungsfaktor der Normalkräfte  $N_{\text{Ed}}$ , um die ideale Verzweigungslast zu erreichen;

$M_{\text{Rk},m}$  die charakteristische Momententragfähigkeit des Querschnitts  $m$  nach (6.25) 6.2.5.1;

$N_{\text{Rk},m}$  die charakteristische Normalkrafttragfähigkeit des Querschnitts nach (6.22) 6.2.4;

$\boxed{A_1} EI_m |\eta_{\text{cr},m}''| \quad \boxed{A_1}$  das Biegemoment infolge  $\eta_{\text{cr}}$  im Querschnitt  $m$ ;

$\eta_{\text{cr}}''$  die zweite Ableitung von  $\eta_{\text{cr}}(x)$ .

ANMERKUNG 1 Für die Berechnung des Vergrößerungsfaktors  $\alpha_{\text{cr}}$  kann davon ausgegangen werden, dass die Bauteile des Tragwerks ausschließlich durch axiale Kräfte  $N_{\text{Ed}}$  beansprucht werden.  $N_{\text{Ed}}$  sind dabei die nach Theorie I. Ordnung berechneten Kräfte für den betrachteten Lastfall. Biegemomente können vernachlässigt werden.

ANMERKUNG 2 Das Verhältnis  $\boxed{A_1} \frac{1}{EI_m |\eta_{\text{cr},m}''|} \quad \boxed{A_1}$  darf ersetzt werden durch  $\boxed{A_1} \frac{|\eta''|_{\text{max}}}{|M_{\eta_{\text{cr},m}}''| |\eta_{\text{cr}}|_{\text{max}}} \quad \boxed{A_1}$

Dabei ist

$|\eta_{cr}|_{\max}$   $\langle A_1 \rangle$  der größte Amplitudenwert  $\langle A_1 \rangle$  der Eigenform des Tragwerks (ein willkürlicher Wert darf genommen werden);

$|\eta^{\text{II}}|_{\max}$  die mit der Imperfektion in Form der Eigenform  $\eta_{cr}$  zur elastischen Verzweigungslast mit der größten Amplitude  $|\eta_{cr}|_{\max}$  nach Theorie II. Ordnung ermittelte größte Durchbiegung des  $\langle A_1 \rangle$  (durch II symbolisierten)  $\langle A_1 \rangle$  Tragwerks;

$M_{\eta_{cr},m}^{\text{II}}$  das Biegemoment im Querschnitt m, berechnet wie bei  $|\eta^{\text{II}}|_{\max}$ .

Die Biegemomente im Tragwerk infolge  $\eta_{\text{init}}(x)$  dürfen dann mit Berücksichtigung der Theorie II. Ordnung berechnet werden aus:

$$\langle A_1 \rangle M_{\eta_{\text{init}}}(x) = \frac{e_0 N_{cr,m} |\eta^{\text{II}}|_{\max}}{|M_{\eta_{cr},m}^{\text{II}}| |\eta_{cr}|_{\max}} M_{\eta_{cr}}^{\text{II}}(x) \langle A_1 \rangle \quad (5.8)$$

ANMERKUNG 3 Die Gleichung (5.6) basiert auf der Forderung, dass die Imperfektion  $\eta_{\text{init}}$ , die die Form der Eigenform  $\eta_{cr}$  zur elastischen Verzweigungslast hat, die gleiche maximale Krümmung aufweisen sollte wie der Ersatzstab.

### 5.3.3 Imperfektionen zur Berechnung aussteifender Systeme

(1) Bei der Berechnung aussteifender Systeme, die zur seitlichen Stabilisierung von Trägern oder druckbeanspruchten Bauteilen benötigt werden, sollte der Einfluss der Imperfektionen durch geometrische Ersatzimperfektionen in Form von Vorkrümmungen der auszusteifenden Bauteile berücksichtigt werden:

$$e_0 = \alpha_m L / 500 \quad (5.9)$$

Dabei ist

$L$  die Spannweite des Bauteils und

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left( 1 + \frac{1}{m} \right)} \quad (5.10)$$

sowie

$m$  die Anzahl der auszusteifenden Bauteile.

(2) Zur Vereinfachung darf der Einfluss der durch das aussteifende System stabilisierten Bauteile durch stabilisierende Ersatzkräfte nach Bild 5.5 ersetzt werden:

$$q_0 = \sum N_{Ed} 8 \frac{e_0 + \delta_q}{L^2} \quad (5.11)$$



Dabei ist

$\delta_q$  die nach Theorie I. Ordnung gerechnete Durchbiegung des aussteifenden Systems in seiner Ebene infolge  $q_0$  und weiterer äußerer Lasten.

ANMERKUNG 1  $\delta_q$  darf 0 gesetzt werden, falls nach Theorie II. Ordnung gerechnet wird.

ANMERKUNG 2 Da  $\delta_q$  in (5.11) von  $q_0$  abhängig ist, führt dies zu einem iterativen Verfahren.

(3) Wird das aussteifende System zur Stabilisierung des druckbeanspruchten Flansches eines Trägers mit konstanter Höhe eingesetzt, so kann die Kraft  $N_{Ed}$  in Bild 5.5 — wie folgt ermittelt werden:

$$N_{Ed} = M_{Ed} / h \quad (5.12)$$

Dabei ist

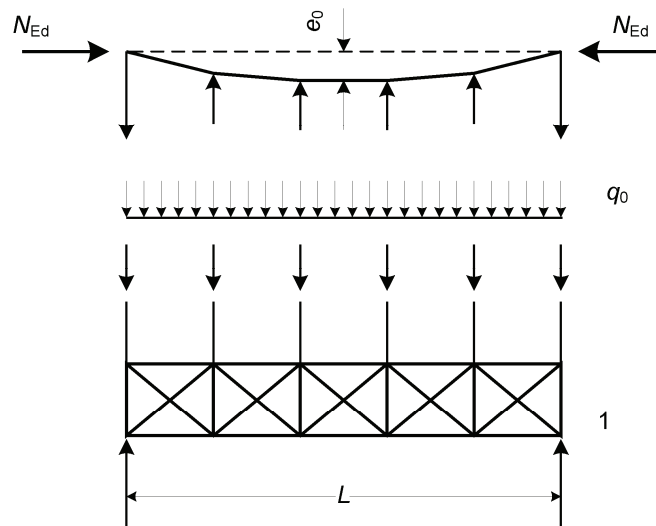
$M_{Ed}$  das maximale einwirkende Biegemoment des Trägers;

$h$  die Gesamthöhe des Trägers.

ANMERKUNG Wenn der Träger auch durch Druckkräfte beansprucht wird, so sollte dies berücksichtigt werden.

(4) An Stößen von Trägern oder von druckbeanspruchten Bauteilen sollte zusätzlich nachgewiesen werden, dass das aussteifende System eine lokale Kraft von der Größe  $\alpha_m N_{Ed} / 100$  von jedem an dieser Stelle gestoßenen Träger oder druckbeanspruchten Bauteil aufnehmen und auf deren anschließende Haltepunkte übertragen kann, siehe Bild 5.6.

(5) Bei dem Nachweis der lokalen Kräfte nach Abschnitt (4) sollten auch alle anderen äußeren Kräfte berücksichtigt werden, die auf das aussteifende System wirken, wobei die Kräfte aus dem Einfluss der Imperfektion aus (1) vernachlässigt werden dürfen.

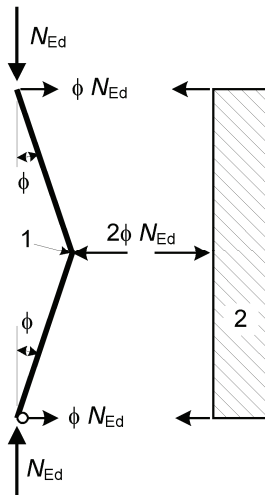


### Legende

- $e_0$  Imperfektion
- $q_0$  äquivalente Kraft je Längeneinheit
- 1 aussteifendes System

Die Kraft  $N_{Ed}$  wird innerhalb der Spannweite  $L$  des aussteifenden Systems für konstant angenommen. Für nicht konstante Kräfte ist die Annahme leicht konservativ.

**Bild 5.5 — Äquivalente stabilisierende Ersatzkräfte**



**Legende**

- 1 Stoß
- 2 aussteifendes System

$$\phi = \alpha_m \phi_0 \quad : \phi_0 = 1 / 200$$

$$2\phi N_{Ed} = \alpha_m N_{Ed} / 100$$

**Bild 5.6 — Lokale Ersatzkräfte an Stößen in druckbeanspruchten Bauteilen**

**5.3.4 Bauteilimperfectionen**

(1) Die in 5.3.1(1) beschriebenen Einflüsse von Bauteilimperfectionen sind in den Gleichungen für die Stabilitätsnachweise von Bauteilen nach 6.3.1 enthalten.

(2) Wenn die Stabilitätsnachweise von Bauteilen nach Theorie II. Ordnung nach 5.2.2(5)a) geführt werden, sollte die Imperfektion für druckbeanspruchte Bauteile  $k_{A1} e_0 \langle A_1 \rangle$  nach 5.3.2(3)b) oder 5.3.2(5) oder (6) berücksichtigt werden.

(3) Bei einem Biegedrillknicknachweis von biegebeanspruchten Bauteilen nach Theorie II. Ordnung darf die Imperfektion mit  $k \langle A_1 \rangle e_0 \langle A_1 \rangle$  angenommen werden, wobei  $\langle A_1 \rangle e_0 \langle A_1 \rangle$  die äquivalente Vorkrümmung um die schwache Achse des betrachteten Profils ist. Im Allgemeinen braucht keine weitere Torsionsimperfektion betrachtet zu werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf den Wert  $k$  festlegen. Der Wert  $k = 0,5$  wird empfohlen.

**5.4 Berechnungsmethoden**

**5.4.1 Allgemeines**

(1) Die Schnittgrößen können nach einer der beiden folgenden Methoden ermittelt werden

- a) elastische Tragwerksberechnung
- b) plastische Tragwerksberechnung.

ANMERKUNG Zu Finite Element (FEM)-Berechnungen siehe 1993-1-5.

(2) Die elastische Tragwerksberechnung darf in allen Fällen angewendet werden.

(3) Eine plastische Tragwerksberechnung darf nur dann durchgeführt werden, wenn das Tragwerk über ausreichende Rotationskapazität an den Stellen verfügt, an denen sich die plastischen Gelenke bilden, sei es in Bauteilen oder Anschlüssen. An den Stellen plastischer Gelenke in Bauteilen sollte der Bauteilquerschnitt doppelt-symmetrisch oder einfach-symmetrisch mit einer Symmetrieebene in der Rotationsebene des plastischen Gelenks sein und zusätzlich den in 5.4.3 festgelegten Anforderungen entsprechen. Tritt ein plastisches Gelenk an einem Anschluss auf, so sollte der Anschluss entweder ausreichende Festigkeit haben, damit sich das plastische Gelenk im Bauteil bildet, oder er sollte seine plastische Festigkeit über eine ausreichende Rotation beibehalten können

ANMERKUNG 1 Informationen über die Rotationskapazität sind im Anhang G angegeben.

ANMERKUNG 2 Nur bestimmte Legierungen haben die für eine ausreichende Rotationskapazität erforderliche Duktilität, siehe 6.4.3(2).

#### 5.4.2 Elastische Tragwerksberechnung

(1) Bei der elastischen Tragwerksberechnung wird davon ausgegangen, dass die Spannungs-Dehnungsbeziehung des Materials in jedem Spannungszustand linear verläuft.

ANMERKUNG Zur Wahl des Modells für verformbare Anschlüsse siehe 5.1.2.

(2) Die Schnittgrößen dürfen mit elastischen Berechnungsverfahren ermittelt werden, auch wenn die Querschnittsbeanspruchbarkeiten plastisch ermittelt sind.

(3) Eine elastische Tragwerksberechnung darf auch für Querschnitte verwendet werden, deren Beanspruchbarkeit durch lokales Beulen begrenzt wird.

#### 5.4.3 Plastische Tragwerksberechnung

(1) Eine plastische Tragwerksberechnung ist in der Regel nicht zulässig, wenn auf der Zugseite des Trägers an der Stelle des plastischen Gelenks eine Quernaht liegt.

ANMERKUNG Zur plastischen Tragwerksberechnung von Trägern werden in Anhang H Empfehlungen gegeben.

(2) Eine plastische Tragwerksberechnung sollte nur dann verwendet werden, wenn die Stabilität der Bauteile gesichert ist, siehe 6.3.

## 6 Grenzzustände der Tragfähigkeit von Bauteilen

### 6.1 Grundlage

#### 6.1.1 Allgemeines

(1)P Aluminiumkonstruktionen und -bauteile sind so zu bemessen, dass die in Abschnitt 2 angegebenen grundlegenden Bemessungsanforderungen für Grenzzustand der Tragfähigkeit erfüllt sind. Die Bemessungsvorschriften gelten für Tragwerke unter normalen atmosphärischen Bedingungen.

#### 6.1.2 Charakteristische Festigkeitswerte

(1) Bei der Berechnung der Tragfähigkeit der Bauteile werden die charakteristischen Festigkeitswerte wie folgt verwendet:

$f_o$  ist der charakteristische Festigkeitswert für Biegung und globalem Fließen bei Zug- und Druckbeanspruchung

$f_u$  ist der charakteristische Festigkeitswert für die örtliche Tragfähigkeit des Nettoquerschnitts bei Zug- oder Druckbeanspruchung

(2) Die charakteristischen Werte der 0,2%-Dehngrenze  $f_0$  und der Zugfestigkeit  $f_u$  sind für Aluminium-knetlegierungen in 3.2.2 angegeben.

**6.1.3 Teilsicherheitsbeiwerte**

(1) Die charakteristischen Werte der Beanspruchbarkeit, die in diesem Abschnitt angegeben sind, sollten mit den in 2.4.3 definierten Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_M$ , wie folgt abgemindert werden:

**Tabelle 6.1 — Teilsicherheitsbeiwerte für Grenzzustände der Tragfähigkeit**

Beanspruchbarkeit von Querschnitten (unabhängig von der Querschnittsklasse)	$\gamma_{M1}$
Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen (bei Anwendung von Bauteilnachweisen)	
Beanspruchbarkeit von Querschnitten bei Bruchversagen infolge Zugbeanspruchung	$\gamma_{M2}$
Beanspruchbarkeit von Anschlüssen	siehe Abschnitt 8

ANMERKUNG 1 Der Nationale Anhang darf die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{Mi}$  festlegen. Die folgenden Zahlenwerte werden empfohlen:

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

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

ANMERKUNG 2 Weitere Empfehlungen für Zahlenwerte sind in EN 1999-1-2 bis EN 1999-1-5 zu finden. Zu Tragwerken, die nicht durch EN 1999-1-2 bis EN 1999-1-5 erfasst werden, darf der Nationale Anhang Hinweise enthalten.

**6.1.4 Klassifizierung von Querschnitten**

**6.1.4.1 Grundlage**

(1) Mit der Klassifizierung von Querschnitten soll die Begrenzung der Beanspruchbarkeit und Rotationskapazität durch lokales Beulen von Querschnittsteilen festgestellt werden.

ANMERKUNG Siehe auch Anhang F.

**6.1.4.2 Klassifizierung**

(1) Es werden vier Querschnittsklassen definiert:

- Querschnitte der Klasse 1 können plastische Gelenke oder Fließzonen mit ausreichender plastischer Momententragfähigkeit und Rotationskapazität für plastische Tragwerksberechnung ausbilden.

ANMERKUNG Anhang G enthält weitere Angaben zu Querschnitten der Klasse 1.

- Querschnitte der Klasse 2 können die plastische Momententragfähigkeit entwickeln, haben aber wegen örtlichen Beulens nur eine begrenzte Rotationskapazität.

- Querschnitte der Klasse 3 erreichen in der äußersten druckbeanspruchten Faser des Aluminiumbauteils die Dehngrenze, können aber wegen örtlichen Beulens nicht die plastische Momententragfähigkeit entwickeln.

- Querschnitte der Klasse 4 sind solche, bei denen örtliches Beulen vor Erreichen der Dehngrenze in einem oder mehreren Teilen des Querschnitts auftritt.



a) ebene innere, beidseitig gehaltene Querschnittsteile mit konstanter Spannungsverteilung oder ebene auskragende Querschnittsteile mit konstanter Spannungsverteilung oder maximaler Druckspannung am äußeren Rand  $\beta = b/t$  (6.1)

b) ebene innere, beidseitig gehaltene Querschnittsteile, mit Nulldurchgang des Spannungsverlaufs in ihrer Mitte  $\beta = 0,40 b/t$  (6.2)

c) ebene innere, beidseitig gehaltene Querschnittsteile mit linear veränderlichem Spannungsverlauf oder ebene auskragende Querschnittsteile mit maximaler Druckspannung am inneren Rand  $\beta = \eta b/t$  (6.3)

Dabei ist

$b$  die Breite des Querschnittsteils;

$t$  die Querschnittsdicke;

$\eta$  der Koeffizient für die Spannungsgradienten, der durch die Ausdrücke:

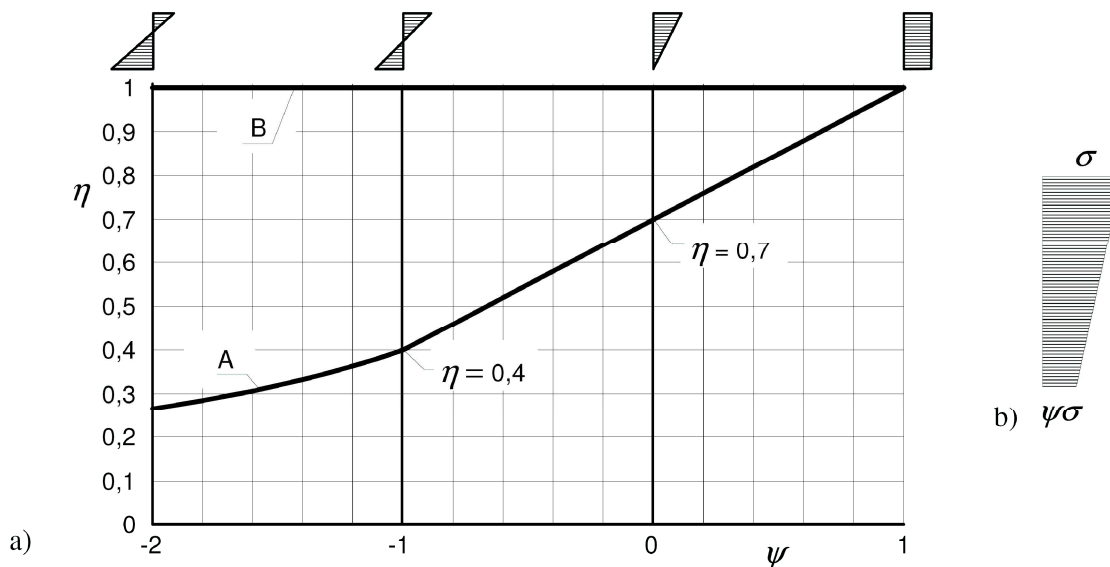
$$\eta = 0,70 + 0,30 \psi \quad (1 \geq \psi \geq -1), \quad (6.4)$$

$$\eta = 0,80 / (1 - \psi) \quad (\psi < -1), \text{ siehe Bild 6.2} \quad (6.5)$$

bestimmt wird;

$\psi$  das auf die maximale Druckspannung bezogene Verhältnis der Randspannungen der betrachteten Platte. Im Allgemeinen ist als Spannungsnulllinie die elastische Spannungsnulllinie anzusetzen, jedoch darf bei der Überprüfung, ob ein Querschnitt der Klasse 1 oder 2 angehört, die plastische Spannungsnulllinie verwendet werden.

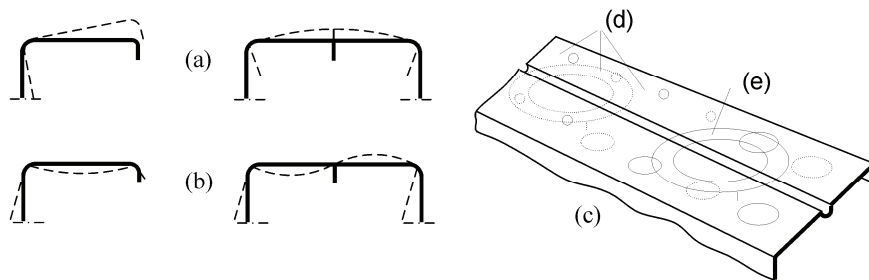
ANMERKUNG Alle Querschnittsteile werden bei der Berechnung der Parameter  $\beta$  als gelenkig gelagert betrachtet auch wenn die Querschnittsteile elastisch oder starr eingespannt sind.



**Bild 6.2 —Werte von  $\eta$  für ebene innere, beidseitig gehaltene Querschnittsteile mit linearer Spannungsverteilung. Für ebene innere, beidseitig gehaltene Querschnittsteile und für ebene auskragende Querschnittsteile mit größter Druckbeanspruchung am äußeren Rand gilt Linie A. Für ebene auskragende Querschnittsteile mit größter Druckbeanspruchung am inneren Rand gilt Linie B.**

(2) Bei der Ermittlung der Empfindlichkeit eines ausgesteiften ebenen Querschnittsteils für örtliches Beulen sollten drei mögliche Beulformen berücksichtigt werden, wie in Bild 6.3 gezeigt wird. In der Regel werden sich eigene Werte von  $\beta$  für jede Beulform ergeben. Die Beulformen sind:

- a) Beulform 1: das ausgesteifte Querschnittsteil beult als ganzes, wobei die Steife mit derselben Krümmung beult wie das Querschnittsteil. Diese Beulform wird oft als Gesamtfeldbeulen bezeichnet.
- b) Beulform 2: Die einzelnen Teilbereiche und die Steife beulen je für sich, wobei ihre Verbindungslinie gerade bleibt.
- c) Beulform 3: Dies ist eine Kombination aus den Beulformen 1 und 2, bei der das Einzelfeldbeulen dem Gesamtfeldbeulen überlagert ist. Dies ist in Bild 6.3(c) angezeigt.



(a) Beulform 1, (b) Beulform 2, (c) Beulform 3, (d) Teilfeldbeulen, (e) Gesamtfeldbeulen

**Bild 6.3 — Beulformen für ebene ausgesteifte Querschnittsteile**

(3) Die Werte von  $\beta$  ergeben sich wie folgt:

- a) Beulform 1, gleichförmige Druckspannung, Regelausführung der Steifen

Wenn die Steife eine einseitige Rippe oder Abkantung (Lippe) von gleicher Dicke  $t$  wie das Querschnittsteil ist

$$\beta = \eta \frac{b}{t} \quad (6.6)$$

wobei  $\eta$  durch die Gleichungen (6.7a), (6.7b) oder (6.7c) angegeben oder aus Bild 6.4(a), (b) oder (c) entnommen wird. In diesem Bild wird die Höhe  $c$  der Rippe oder der Abkantung (Lippe) bis zur Innenseite des Blechelementes gemessen.

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,1(c/t - 1)^2}} \quad (\text{Bild 6.4a}) \quad (6.7a)$$

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{1 + 2,5 \frac{(c/t - 1)^2}{b/t}}} \geq 0,5 \quad (\text{Bild 6.4b}) \quad (6.7b)$$

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{1 + 4,5 \frac{(c/t - 1)^2}{b/t}}} \geq 0,33 \quad (\text{Bild 6.4c}) \quad (6.7c)$$

b) Beulform 1, gleichförmige Druckspannung, von der Regelausführung abweichende Steifen:

Bei irgendeiner anderen Form einer Steife wird diese durch eine äquivalent Rippe oder Abkantung (Lippe) ersetzt, die die gleiche Dicke ( $t$ ) wie das Querschnittsteil hat. Der Wert  $c$  für diese äquivalente Rippe oder Abkantung (Lippe) wird so gewählt, dass das auf die Mittelebene des Querschnittsteils (Platte) bezogene Trägheitsmoment der Steife gleich dem auf die selbe Ebene bezogenen der von der Regelausführung abweichenden Steife ist. Eine alternative Methode wird in 6.6 angegeben.

c) Beulform 1, gleichförmige Druckspannung, komplexe Ausführung der Steife:

Bei ungewöhnlichen Steifenformen, die nicht mit den oben beschriebenen Berechnungen erfasst werden können, gilt

$$\beta = \frac{b}{t} \left( \frac{\sigma_{cr0}}{\sigma_{cr}} \right)^{0,4} \tag{6.8}$$

mit

$\sigma_{cr}$  elastische Beulspannung des ausgesteiften Querschnittsteils unter Annahme gelenkiger Lagerung an den Rändern

$\sigma_{cr0}$  elastische Beulspannung des unausgesteiften Querschnittsteils unter Annahme gelenkiger Lagerung an den Rändern

d) Beulform 1, linearer Spannungsverlauf:

Der Wert  $\beta$  ist nach Gleichung (6.8) zu berechnen, wobei sich  $\sigma_{cr}$  und  $\sigma_{cr0}$  jetzt auf die Spannung an dem stärker druckbeanspruchten Rand des Querschnittsteils beziehen.

e) Beulform 2:

Der Wert  $\beta$  ist für jedes Teilfeld nach  $\text{A1}$  6.1.4.3(1)  $\text{A1}$  zu bestimmen.

(4) Die Empfindlichkeit eines durch gleichförmigen Druck beanspruchten flach gekrümmten unausgesteiften inneren, beidseitig gehaltenen Querschnittsteils für örtliches Beulen wird festgelegt durch

$$\beta = \frac{b}{t} \frac{1}{\sqrt{1 + 0,006 \frac{b^4}{R^2 t^2}}} \tag{6.9}$$

mit

$R$  Krümmungsradius der Mittelfläche des Querschnittsteils;

$b$  abgewinkelte Breite der Mittelfläche des Querschnittsteils;

$t$  Dicke.

Das oben aufgeführte Verfahren gilt, wenn  $R/b > 0,1b/t$ . Querschnitte mit stärker gekrümmten Querschnittsteilen benötigen eine besondere Untersuchung oder die Bemessung aufgrund von Versuchen.

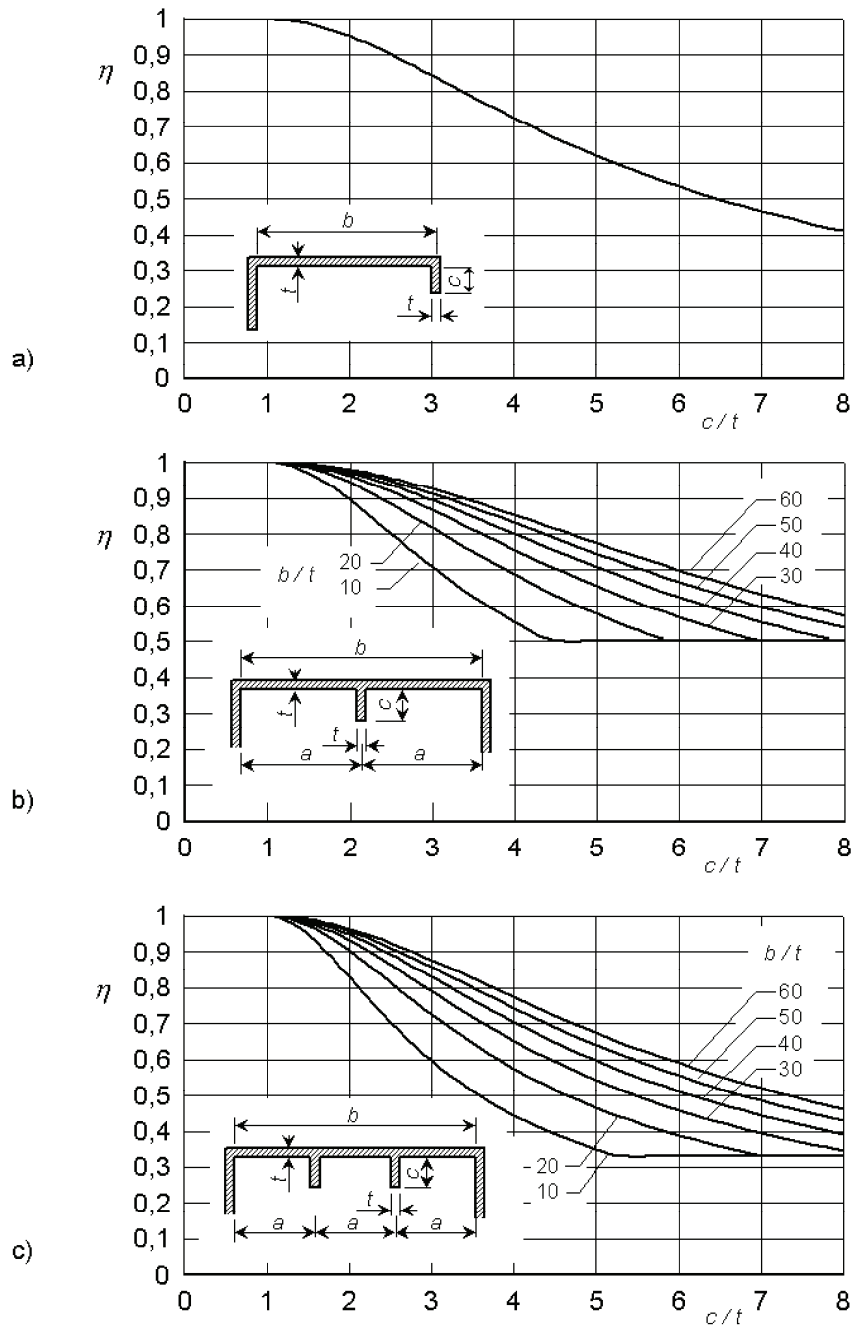


(5) Die Empfindlichkeit dünnwandiger Rundhohlprofile für örtliches Beulen bei gleichförmigem Druck oder bei Biegung wird durch den folgenden Wert  $\beta$  beschrieben:

$$\beta = 3 \sqrt{\frac{D}{t}} \quad (6.10)$$

mit

$D$  Durchmesser der Rohrmittelfläche.



### Legende

$a$  Aussteifungen mit gleichem Zwischenraum

**Bild 6.4 — Werte von  $\eta$  für ausgesteifte Querschnittsteile**

6.1.4.4 Klassifizierung von Querschnittsteilen

(1) Die Klassifizierung der Querschnittsteile ist wie folgt mit den Werten der Schlankheitsparameter  $\beta$  verbunden:

Querschnittsteile in Biegeträgern	Querschnittsteile in Druckstäben
$\beta \leq \beta_1$ : Klasse 1	$\beta \leq \beta_2$ : Klasse 1 oder 2
$\beta_1 < \beta \leq \beta_2$ : Klasse 2	$\beta_2 < \beta \leq \beta_3$ : Klasse 3
$\beta_2 < \beta \leq \beta_3$ : Klasse 3	$\beta_3 < \beta$ : Klasse 4
$\beta_3 < \beta$ : Klasse 4	

(2) Die Werte von  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  und  $\beta_3$  sind in Tabelle 6.2 aufgeführt.

Tabelle 6.2 — Schlankheitsparameter  $\beta_1/\epsilon$ ,  $\beta_2/\epsilon$  und  $\beta_3/\epsilon$

Werkstoffklassifikation nach Tabelle 3.2	Innenliegende Teilfläche			Außenliegende Teilfläche		
	$\beta_1/\epsilon$	$\beta_2/\epsilon$	$\beta_3/\epsilon$	$\beta_1/\epsilon$	$\beta_2/\epsilon$	$\beta_3/\epsilon$
Klasse A, ungeschweißt	11	16	22	3	4,5	6
Klasse A, geschweißt	9	13	18	2,5	4	5
Klasse B, ungeschweißt	13	16,5	18	3,5	4,5	5
Klasse B, geschweißt	10	13,5	15	3	3,5	4

$\epsilon = \sqrt{250/f_0}$ ,  $f_0$  in N/mm<sup>2</sup>

(3) In Tabelle 6.2 wird eine Teilfläche dann als geschweißt bezeichnet, wenn diese Schweißnähte am Rand oder an irgendeinem Punkt innerhalb ihres Querschnittes enthält. Eine Teilfläche kann auch als ungeschweißt bezeichnet werden, wenn die Schweißnähte quer zur Bauteilachse verlaufen und an einer Stelle seitlicher Stützung liegen.

ANMERKUNG Bei einer Teilfläche mit Schweißnähten ist die Klassifikation unabhängig von der Ausdehnung der Wärmeinflusszone (WEZ).

(4) Bei der Klassifizierung von Teilflächen biegebeanspruchter Bauteile darf ein modifizierter Ausdruck  $\epsilon = \sqrt{(250/f_0)(z_1/z_2)}$  verwendet werden, wenn die Teilfläche geringer beansprucht ist als die höchstbeanspruchten Fasern im Querschnitt. In diesem Ausdruck ist  $z_1$  der Abstand von der elastischen Spannungsnulllinie des wirksamen Querschnitts zur höchstbeanspruchten Faser und  $z_2$  ist der Abstand von der elastischen Spannungsnulllinie des wirksamen Querschnitts zur betrachteten Teilfläche.  $z_1$  und  $z_2$  sollten am wirksamen Querschnitt mittels Iteration (mindestens 2 Schritte) berechnet werden.

6.1.5 Beulen

(1) Örtliches Beulen bei Bauteilen der Klasse 4 wird allgemein durch das Ersetzen des Gesamtquerschnitts durch einen wirksamen Querschnitt berücksichtigt. Den wirksamen Querschnitt erhält man durch Ansatz eines örtlichen Beulfaktors  $\rho_c$  zur Reduzierung der Dicke.  $\rho_c$  wird auf die einheitliche Dicke einer Teilfläche der Klasse 4 angewandt, die vollkommen oder teilweise druckbeansprucht ist. Teilflächen mit veränderlicher Dicke bedürfen einer genaueren Untersuchung.

(2) Der Faktor  $\rho_c$  ergibt sich aus den Gleichungen (6.11) oder (6.12), gesondert für die verschiedenen Teilflächen eines Querschnitts in Abhängigkeit vom Verhältnis  $\beta/\varepsilon$ , mit  $\beta$  nach 6.1.4.3,  $\varepsilon$  nach Tabelle 6.2 und den Konstanten  $C_1$  und  $C_2$  nach Tabelle 6.3. Die Beziehung zwischen  $\rho_c$  und  $\beta/\varepsilon$  ist in Bild 6.5 zusammengefasst.

$$\rho_c = 1,0 \quad \text{bei } \beta \leq \beta_3 \quad (6.11)$$

$$\rho_c = \frac{C_1}{(\beta/\varepsilon)} - \frac{C_2}{(\beta/\varepsilon)^2} \quad \text{bei } \beta > \beta_3 \quad (6.12)$$

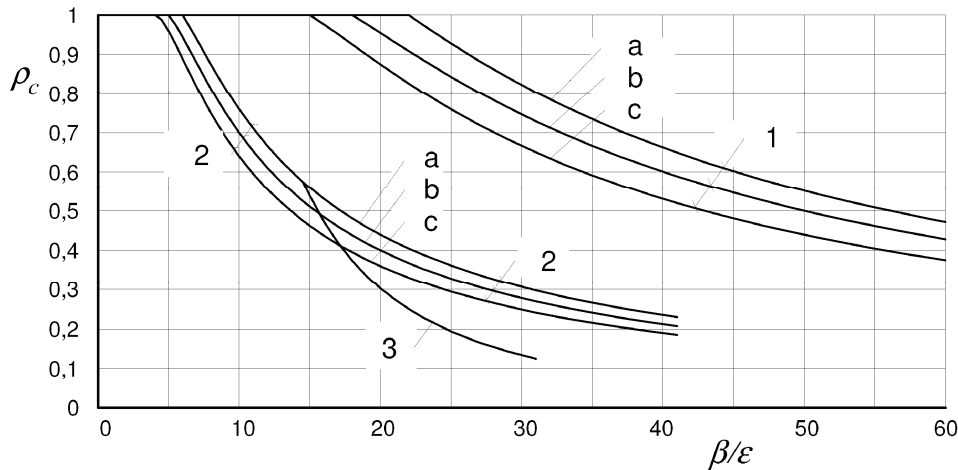
**Tabelle 6.3 — Die Konstanten  $C_1$  und  $C_2$  der Gleichungen für  $\rho_c$**

Werkstoffklassifikation nach Tabelle 3.2	Innenliegende Teilflächen		Außenliegende Teilflächen	
	$C_1$	$C_2$	$C_1$	$C_2$
Klasse A, ungeschweißt	32	220	10	24
Klasse A, geschweißt	29	198	9	20
Klasse B, ungeschweißt	29	198	9	20
Klasse B, geschweißt	25	150	8	16

(3) Für ebene außenliegende Teilflächen unsymmetrischer Querschnitte (Bild 6.1) ergibt sich  $\rho_c$  durch die oben aufgeführten Gleichungen für ebene außenliegende Teilflächen symmetrischer Querschnitte, aber nicht mehr als  $120/(\beta/\varepsilon)^2$ .

(4) Ausgesteifte Teilflächen: Man betrachtet alle möglichen Beulformen und nimmt den kleinsten sich ergebenden Wert für  $\rho_c$ . Im Falle der Beulform 1 sollte der Faktor  $\rho_c$  auf die Fläche der Aussteifung sowie auf die Blechdicke des betrachteten Teilfeldes angewendet werden. Siehe auch 6.7. Bei ausgesteiften außenliegenden Teilflächen ist die Kurve für außenliegende Teilflächen, andernfalls die Kurve für innenliegende Teilflächen zu verwenden.

(5) Zur Bestimmung von  $\rho_c$  in Querschnitten unter zweiachsiger Biegung oder Biegung und Normalkraft, siehe Anmerkungen in 6.3.3(4).



**Legende**

- 1 Innenliegende Teilflächen und Rundrohre
- 2 Symmetrische außenliegende Teilflächen
- 3 Unsymmetrische außenliegende Teilflächen
- a) Klasse A, ungeschweißt,
- b) Klasse A, geschweißt oder Klasse B, ungeschweißt
- c) Klasse B, geschweißt

**Bild 6.5 — Beziehung zwischen  $\rho_c$  und  $\beta/\epsilon$  für außenliegende Teilflächen, innenliegende Teilflächen und Rundrohre**

**6.1.6 Festigkeitsreduktionen in der Wärmeeinflusszone von Schweißungen**

**6.1.6.1 Allgemeines**

(1)P Bei der Bemessung von geschweißten Konstruktionen aus kaltverfestigten oder lösungsgeglühten und warmausgelagerten Legierungen muss die in der Nähe von Schweißnähten auftretende Reduktion der Festigkeitswerte berücksichtigt werden.

(2) Abweichend von dieser Regel treten keine Festigkeitsreduktionen angrenzend an Schweißnähte bei Legierungen im O-Zustand oder wenn sich der Werkstoff im F-Zustand befindet und die Bemessungswerte der Beanspruchbarkeitauf den Eigenschaften des O-Zustandes basieren auf.

(3) Zu Bemessungszwecken wird angenommen, dass die Festigkeitswerte in der ganzen Wärmeeinflusszone (WEZ) auf das gleiche Niveau reduziert werden.

ANMERKUNG 1 Die Reduktion beeinflusst die 0,2%-Dehngrenze des Werkstoffs stärker als die Zugfestigkeit. Der beeinflusste Bereich breitet sich sofort um die Schweißnaht aus, darüber hinaus erreichen die Festigkeitswerte ihre vollständigen ungeschweißten Werte rasch wieder.

ANMERKUNG 2 Auch kleine Schweißnähte beim Anschluss einer kleinen Befestigung an ein Hauptbauteil können infolge der WEZ den Bauteilwiderstand erheblich vermindern. Bei der Bemessung von Trägern ist es oft vorteilhaft, Schweißnähte und Befestigungen in Bereichen mit niedrigen Spannungen anzuordnen, z. B. in der Nähe der Spannungsnulllinie oder entfernt von Bereichen mit hohem Biegemoment.

ANMERKUNG 3 Für einige warmbehandelte Legierungen ist es möglich, die Einflüsse der Festigkeitsreduktion in der WEZ durch Warmauslagern nach dem Schweißen zu mildern.

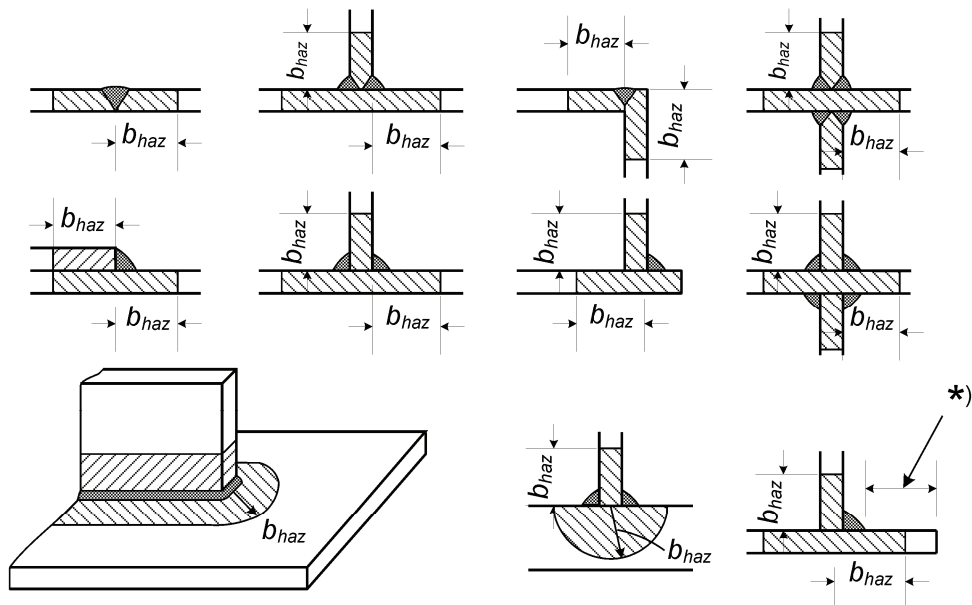
### 6.1.6.2 Grad der Festigkeitsreduktion

(1) Die charakteristischen Werte der 0,2%-Dehngrenzen  $f_{o,haz}$  und der Zugfestigkeit  $f_{a,haz}$  in der Wärmeinflusszone sind in Tabelle 3.2 aufgeführt. Tabelle 3.2 gibt auch die Abminderungsfaktoren an.

$$\rho_{o,haz} = \frac{f_{o,haz}}{f_o} \quad (6.13)$$

$$\rho_{u,haz} = \frac{f_{u,haz}}{f_u} \quad (6.14)$$

ANMERKUNG Werte für andere Legierungen und Zusätze müssen auf Grundlage von Versuchen nachgewiesen und festgelegt werden. Wenn allgemeine Werte verlangt werden, sind Versuchsserien erforderlich, um die Tatsache zu berücksichtigen, dass sich die Werkstoffe unterschiedlicher Hersteller von Halbzeugen in ihrer chemischen Zusammensetzung unterscheiden und daher unterschiedliche Festigkeitswerte nach dem Schweißen aufweisen können. In einigen Fällen ist es auch möglich, die Festigkeitswerte aus bekannten Legierungen durch Interpolation abzuleiten.



\*) Wenn der Abstand weniger als  $3b_{haz}$  beträgt, ist anzunehmen, dass sich die WEZ über die volle Breite der Teilfläche ausdehnt, siehe 6.1.6.3(7)

**Bild 6.6 — Ausdehnung der Wärmeinflusszonen (WEZ)**

(2) Die Werte von  $f_{o,haz}$  und  $f_{u,haz}$  in Tabelle 3.2 gelten ab den folgenden Zeitpunkten nach dem Schweißen, vorausgesetzt, dass der Werkstoff bei einer Temperatur über 10 °C gehalten wurde.

Legierungen der Serie 6xxx	3 Tage
Legierungen der Serie 7xxx	30 Tage.

ANMERKUNG 1 Wird der Werkstoff nach dem Schweißen bei einer Temperatur unter 10 °C gehalten, verlängert sich die Erholungszeit. In der Regel ist Rat vom Hersteller einzuholen.

ANMERKUNG 2 Der Grad der Festigkeitsreduktion kann durch die charakteristischen Festigkeitswerte  $f_{o,haz}$  und  $f_{u,haz}$  in der WEZ (Tabelle 3.2) für den Werkstoff oder durch Reduktion der angesetzten Querschnittsfläche, auf die die

Beanspruchungen wirken, mit den Faktoren  $\rho_{o,haz}$  und  $\rho_{u,haz}$  (Tabelle 3.2) erfasst werden. Somit kann der charakteristische Widerstand eines einfachen durch die Festigkeitsreduktion in der WEZ beeinflussten Rechteckquerschnittes als  $A f_{u,haz} = (\rho_{u,haz} A) f_u$  dargestellt werden, wenn bei der Bemessung die Zugfestigkeit maßgebend ist oder als  $A f_{o,haz} = (\rho_{o,haz} A) f_o$ , wenn bei der Bemessung die 0,2%-Dehngrenze maßgebend ist.

### 6.1.6.3 Ausdehnung der WEZ

(1) Es wird angenommen, dass die WEZ mit einer Breite  $b_{haz}$  in jede Richtung ausgehend von einer Schweißnaht verläuft, gemessen wie folgt (siehe Bild 6.6):

- a) rechtwinklig zur Mittellinie einer ebenen Stumpfnah
- b) rechtwinklig zur Schnittlinie der geschweißten Oberflächen an den Kehlnähten
- c) rechtwinklig zur Schnittlinie der geschweißten Oberflächen bei Stumpfnähten, die bei Ecknähten, T-Stößen oder Kreuzstößen verwendet werden.
- d) in jede radiale Richtung vom Ende der Schweißnaht aus.

(2) Im Allgemeinen sollten die Grenzen der WEZ als Geraden rechtwinklig zur Bauteiloberfläche angenommen werden, besonders beim Schweißen von dünnen Bauteilen. Wenn jedoch eine Oberflächenschweißung an dickem Material ausgeführt wird, ist es zulässig, einen gekrümmten Verlauf mit dem Radius  $b_{haz}$  anzunehmen, wie in Bild 6.6 gezeigt.

(3) Bei einer MIG-Schweißung an nicht vorgewärmtem Werkstoff und beim Mehrlagenschweißen mit einer Abkühlung zwischen den Schweißlagen auf 60 °C oder weniger, lauten die Werte von  $b_{haz}$  wie folgt:

$$0 < t \leq 6 \text{ mm:} \quad b_{haz} = 20 \text{ mm}$$

$$6 < t \leq 12 \text{ mm:} \quad b_{haz} = 30 \text{ mm}$$

$$12 < t \leq 25 \text{ mm:} \quad b_{haz} = 35 \text{ mm}$$

$$t > 25 \text{ mm:} \quad b_{haz} = 40 \text{ mm}$$

(4) Bei einer Dicke  $> 12$  mm kann es einen Temperatureinfluss geben, weil die Kühlung zwischen den Schweißlagen wenn keine strenge Qualitätskontrolle durchgeführt wird 60 °C überschreiten kann. Dieser erhöht die Ausdehnung der Wärmeeinflusszone.

(5) Die oben aufgeführten Werte gelten für ebene Stumpfnähte (zwei wirksame Wege zur Wärmeableitung) oder Kehlnähte an T-Verbindungen (drei wirksame Wege zur Wärmeableitung) bei  $\text{A}_1$  Legierungen der Serien 6xxx und 7xxx und Legierungen der Serien 3xxx und 5xxx  $\text{A}_1$  im kaltverfestigten Zustand.

(6) Bei einer WIG-Schweißnaht ist der Ausdehnung der WEZ größer, weil der Wärmeeintrag größer ist als bei einer MIG-Schweißnaht. WIG-Schweißnähte für ebene Stumpfnähte oder Kehlnähte bei Legierungen der Serien 6xxx und 7xxx  $\text{A}_1$  und der Serien 3xxx und 5xxx im kaltverfestigten Zustand  $\text{A}_1$  haben einen Wert  $b_{haz}$ , der folgendermaßen angegeben wird:

$$0 < t \leq 6 \text{ mm:} \quad b_{haz} = 30 \text{ mm}$$

(7) Wenn zwei oder mehr Schweißnähte nahe beieinander liegen, überlappen sich die Grenzen ihre WEZ. Dann ist eine WEZ für die gesamte Schweißnahtgruppierung vorhanden. Ist eine Schweißnaht zu nah an der freien Kante eines außenliegenden Teilfeldes angeordnet, ist die Wärmeableitung weniger wirksam. Dies ist

der Fall wenn der Abstand von der Schweißnaht zur freien Kante weniger als  $3b_{\text{haz}}$  beträgt. In diesem Fall ist anzunehmen, dass die gesamte Breite des außenliegenden Teilfeldes dem Faktor  $\rho_{0,\text{haz}}$  unterliegt.

(8) Weitere Faktoren, die den Wert  $b_{\text{haz}}$  beeinflussen, lauten wie folgt:

a) Einfluss von Temperaturen über 60 °C

Wenn mehrlagige Schweißnähte gelegt werden, kann ein Temperaturanstieg zwischen den Lagen auftreten. Dieser führt zu einer Vergrößerung der WEZ-Ausdehnung.  $\text{A1}$  Für Zwischenlagentemperaturen  $T_1$ (°C) zwischen 60 °C und 120 °C ergibt sich hierfür bei Legierungen der Serien 6xxx, 7xxx sowie der Serien 3xxx und 5xxx im kaltverfestigten Zustand durch Multiplikation von  $b_{\text{haz}}$  mit dem Faktor  $\alpha_2$  ein auf der sicheren Seite liegender Wert.  $\alpha_2$  bestimmt sich bei:  $\text{A1}$

Legierungen der Serie 6xxx  $\text{A1}$  und der Serien 3xxx und 5xxx kaltverfestigten Zustand  $\text{A1}$ :  
zu  $\alpha_2 = 1 + (T_1 - 60)/120$ ;

Legierungen der Serie 7xxx: zu  $\alpha_2 = 1 + 1,5(T_1 - 60)/120$ .

Wird ein weniger weit auf der sicheren Seite liegender Wert von  $\alpha_2$  gewünscht, lässt sich durch Härteprüfungen an Probekörpern die tatsächliche Ausdehnung der WEZ ermitteln. Eine Temperatur von 120 °C ist die empfohlene maximale Temperatur für das Schweißen von Aluminiumlegierungen.

b) Unterschiedliche Bauteildicken

Haben die durch Schweißnähte zu verbindenden Querschnittsteile nicht die gleiche Dicke  $t$ , liegt es bei allen oben aufgeführten Ausdrücken auf der sicheren Seite, anzunehmen, dass  $t$  die mittlere Dicke der Teile ist. Dies trifft zu, solange die mittlere Dicke 1,5-mal die kleinste Dicke nicht überschreitet. Bei größeren Dickenabweichungen sollte die Ausdehnung der WEZ aus Härteprüfungen an Probekörpern ermittelt werden.

c) Abweichung von der Anzahl der Wege zur Wärmeableitung

Hat die Verbindung zwischen den Querschnittsteilen Kehlnähte, aber eine von den unter (5) genannten drei Wegen abweichende Zahl von Wegen zur Wärmeableitung ( $n$ ), wird der Wert  $b_{\text{haz}}$  mit  $3/n$  multipliziert.

## 6.2 Beanspruchbarkeit der Querschnitte

### 6.2.1 Allgemeines

(1)P Der Bemessungswert der Beanspruchung darf in keinem Querschnitt den zugehörigen Bemessungswert der Beanspruchbarkeit überschreiten. Falls mehrere Beanspruchungsarten gleichzeitig auftreten, darf deren Kombination die zugehörige Beanspruchbarkeit nicht überschreiten.

(2) Dabei sollten die mittragende Breite und die mitwirkende Breite infolge lokalen Beulens berücksichtigt werden, siehe 6.1.5. Alternativ kann auch eine äquivalente mitwirkende Breite verwendet werden.

ANMERKUNG Siehe Anhang K für die Auswirkung der mittragenden Breite.

(3) Die Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit hängen von der Querschnittsklassifizierung ab.

(4) Ein Nachweis nach der Elastizitätstheorie entsprechend der elastischen Beanspruchbarkeit ist für alle Querschnittsklassen möglich, sofern für Querschnitte der Klasse 4 die wirksamen Querschnittswerte angesetzt werden.

(5) Für die Beanspruchbarkeit darf das folgende Fließkriterium für den kritischen Punkt eines Querschnitts verwendet werden, wenn nicht andere Interaktionsformeln vorgezogen werden, siehe 6.2.7 bis 6.2.10.

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_o/\gamma_{M1}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_o/\gamma_{M1}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_o/\gamma_{M1}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_o/\gamma_{M1}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{f_o/\gamma_{M1}}\right)^2 \leq C \quad (6.15)$$

$$\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_o/\gamma_{M1}} \leq 1, \quad \frac{\sigma_{z,Ed}}{f_o/\gamma_{M1}} \leq 1 \quad \text{und} \quad \frac{\sqrt{3}\tau_{Ed}}{f_o/\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.15 \text{ a, b, c})$$

Dabei ist

- $\sigma_{x,Ed}$  der Bemessungswert der Normalspannung in Längsrichtung am betrachteten Punkt;
- $\sigma_{z,Ed}$  der Bemessungswert der Normalspannung in Querrichtung am betrachteten Punkt;
- $\tau_{Ed}$  der Bemessungswert der Schubspannung am betrachteten Punkt;
- $C \geq 1$  die Konstante, siehe ANMERKUNG 2.

ANMERKUNG 1 Die Nachweisführung nach 6.2.1(5) kann konservativ sein, da sie die begrenzte plastische Spannungsumlagerung, die bei einer elastischen Bemessung erlaubt ist, nicht berücksichtigt. Deshalb sollte sie nur angewendet werden, wenn die Interaktion auf der Grundlage der Beanspruchbarkeitswerte nicht anwendbar ist.

ANMERKUNG 2 Die Konstante  $C$  im Kriterium (6.15) darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Der Zahlenwert  $C = 1,2$  wird empfohlen.

## 6.2.2 Querschnittswerte

### 6.2.2.1 Bruttoquerschnitt

(1) Die Bruttoquerschnittswerte ( $A_g$ ) sollten mit den Nennwerten der Abmessungen ermittelt werden. Löcher für Verbindungsmittel brauchen nicht abgezogen zu werden, jedoch sollten größere Öffnungen berücksichtigt werden. Lose Futterbleche sollten nicht angesetzt werden.

### 6.2.2.2 Nettofläche

(1) Die Nettofläche eines Querschnitts ( $A_{net}$ ) sollte aus der Bruttofläche durch geeigneten Abzug der Löcher, anderer Öffnungen und der Wärmeeinflusszonen (WEZ) bestimmt werden.

(2) Bei der Berechnung der Nettofläche besteht der Lochabzug für ein einzelnes Loch in der  $\overline{A_1}$  gestrichener Text  $\overline{A_1}$  Querschnittsfläche des Loches in der Lochachse. Bei Löchern für Senkschrauben sollte die Senkung entsprechend berücksichtigt werden.

(3) Bei nicht versetzten Löchern ist die kritische Lochabzugsfläche der Größtwert der Summen aller Lochquerschnittsflächen in den verschiedenen Schnitten rechtwinklig zur Bauteilachse (siehe kritischer Schnitt 1 in Bild 6.7).

ANMERKUNG Der Größtwert kennzeichnet die kritische Versagenslinie.

(4) Sind die Löcher für Verbindungsmittel versetzt angeordnet, sollte als kritische Lochabzugsfläche der Größtwert folgender Werte angenommen werden (siehe Bild 6.7):

- a) der Lochabzug wie bei nicht versetzt angeordneten Löchern nach (3)



b) der Lochabzug wird angenommen als  $\sum t d - \sum t b_s$  wobei  $b_s$  der kleinere Parameter ist von

$$s^2 / (4p) \text{ oder } 0,65s \quad (6.16)$$

Dabei ist

- $d$  der Lochdurchmesser;
- $s$  der versetzte Lochabstand, d. h. der Abstand der Lochachsen zweier aufeinanderfolgender Löcher gemessen in einer Reihe längs der Bauteilachse;
- $p$  der Lochabstand derselben Lochachsen gemessene senkrecht zur Bauteilachse;
- $t$  die Blechdicke (oder wirksame Dicke in einem Bauteil im Bereich der Wärmeeinflusszone (WEZ)).

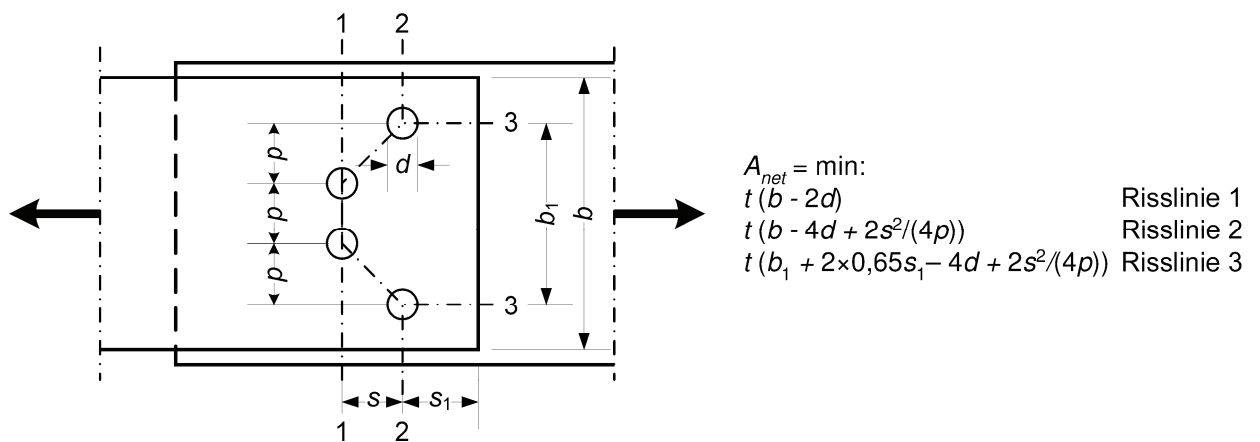


Bild 6.7 — Versetzte Löcher und kritische Risslinien 1, 2 und 3

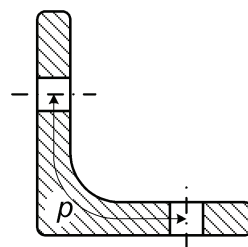


Bild 6.8 — Winkel mit Löchern in beiden Schenkeln

(5) Bei Winkeln oder einem anderen Bauteil mit Löchern in mehreren Flächen sollte der Abstand  $p$  entlang der Profilmittellinie gemessen werden (siehe Bild 6.8).

### 6.2.2.3 Mittragende Breite

(1) Der Einfluss der mittragenden Breite auf die Beul- und Bruchfestigkeit von Flanschen sollte berücksichtigt werden. Empfehlungen werden in Anhang K gegeben.

### 6.2.3 Zugbeanspruchung

(1)P Für den Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft  $N_{Ed}$  muss folgender Nachweis erfüllt werden:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.17)$$

**[A1]** ANMERKUNG Die durch die Verschiebung der Schwerpunktachse eines asymmetrisch geschweißten Querschnitts bedingte Außermittigkeit darf vernachlässigt werden. **[A1]**

(2) Als Bemessungswert der Zugtragfähigkeit des Querschnitts  $N_{t,Rd}$  sollte der kleinere der Werte  $N_{o,Rd}$  und  $N_{u,Rd}$  angesetzt werden, mit:

a) allgemeines Fließen des Bauteils:  $N_{o,Rd} = A_g f_o / \gamma_{M1} \quad (6.18)$

b) örtliches Versagen im Querschnitt mit Löchern:  $N_{u,Rd} = 0,9 A_{net} f_u / \gamma_{M2} \quad (6.19a)$

c) örtliches Versagen in einem Querschnitt der Wärmeeinflusszone:  $N_{u,Rd} = A_{eff} f_u / \gamma_{M2} \quad (6.19b)$

Dabei ist

$A_g$  entweder der Bruttoquerschnitt oder ein reduzierter Querschnitt zur Berücksichtigung der Festigkeitsreduktion in der Wärmeeinflusszone infolge von Längsschweißnähten. Im letztgenannten Fall wird  $A_g$  ermittelt, indem man eine reduzierte Fläche gleich  $\rho_{o,haz}$ -mal der Fläche der WEZ nimmt, siehe 6.1.6.2;

$A_{net}$  die Nettoquerschnittsfläche mit Lochabzug und gegebenenfalls einem Abzug zur Berücksichtigung der Festigkeitsreduktion in der WEZ im durch das Loch geschwächten Nettoquerschnitt. Der letztgenannte Abzug basiert auf der reduzierten Dicke  $\rho_{u,haz}^t$ .

$A_{eff}$  die effektive Fläche auf der Grundlage der reduzierten Dicke von  $\rho_{u,haz}^t$ .

(3) Bei Anschlüssen von Winkeln über nur einen Schenkel gilt **[A1]** 8.5.2.3 **[A1]**. Gleiche Regelungen gelten auch für Anschlüsse anderer Querschnitte über Schenkel.

(4) Bei versetzten Löchern gilt 6.2.2.2.

### 6.2.4 Druckbeanspruchung

(1)P Für den Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft  $N_{Ed}$  muss folgender Nachweis erfüllt werden:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.20)$$

**[A1]** ANMERKUNG Die durch die Verschiebung der Schwerpunktachse eines asymmetrisch geschweißten Querschnitts bedingte Außermittigkeit darf vernachlässigt werden. **[A1]**

(2) Als Bemessungswert der Drucktragfähigkeit unter gleichbleibender Druckkraft  $N_{c,Rd}$  sollte der kleinere der Werte  $N_{u,Rd}$  und  $N_{c,Rd}$  angesetzt werden, wobei :

a) in Querschnitten mit unausgefüllten Löchern  $N_{u,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2} \quad (6.21)$

b) andere Querschnitte 
$$N_{c,Rd} = A_{eff} f_o / \gamma_{M1} \quad (6.22)$$

Dabei ist

$A_{net}$  die Nettoquerschnittsfläche, mit Lochabzügen bei unausgefüllten Löchern und gegebenenfalls einem Abzug zur Berücksichtigung der Festigkeitsreduktion die in der WEZ, siehe 6.2.2.3. Bei Löchern in Bereichen mit reduzierter Dicke darf der Lochabzug auf die reduzierte Dicke anstelle der Bauteildicke berechnet werden;

$A_{eff}$  wirksame Querschnittsfläche auf der Grundlage einer reduzierten Dicke zur Berücksichtigung örtlichen Beulens und der Festigkeitsreduktion in der WEZ, aber unausgefüllte Lochflächen nicht angesetzt.

## 6.2.5 Biegebeanspruchung

### 6.2.5.1 Grundlage

(1)P Für den Bemessungswert des einwirkenden Biegemomentes  $M_{Ed}$  muss in jedem Querschnitt folgender Nachweis erfüllt werden:

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

**ANMERKUNG** Die durch die Verschiebung der Schwerpunktschwerachse eines asymmetrisch geschweißten Querschnitts bedingte Außermittigkeit darf vernachlässigt werden. **A1**

(2) Als Bemessungswert der Biegetragfähigkeit eines Querschnitts unter einachsiger Biegung  $M_{Rd}$  wird der kleinere der Werte  $M_{u,Rd}$  und **A1**  $M_{o,Rd}$  **A1** angesetzt, wobei

$$M_{u,Rd} = W_{net} f_u / \gamma_{M2} \quad \text{in einem Nettoquerschnitt und} \quad (6.24)$$

$$\text{A1} \quad M_{o,Rd} = \alpha W_{el} f_o / \gamma_{M1} \quad \text{A1}$$

Dabei ist

$\alpha$  der Formfaktor, siehe Tabelle 6.4;

$W_{el}$  das elastische Widerstandsmoment des Bruttoquerschnitts (siehe 6.2.5.2);

$W_{net}$  das elastische Widerstandsmoment des Nettoquerschnittes unter Berücksichtigung von Löchern und bei geschweißten Querschnitten der Festigkeitsreduktion in der WEZ (siehe 6.2.5.2). Der letztgenannte Abzug basiert auf der reduzierten Dicke  $\rho_{u,haz} t$ .

Tabelle 6.4 — Werte des Formfaktors  $\alpha$

Querschnittsklasse	Ohne Schweißnähte	mit Längsschweißnähten
1	$W_{pl} / W_{el}^{*)}$	$W_{pl,haz} / W_{el}^{*)}$
2	$W_{pl} / W_{el}$	$W_{pl,haz} / W_{el}$
3	$\alpha_{3,u}$	$\alpha_{3,w}$
4	$W_{eff} / W_{el}$	$W_{eff,haz} / W_{el}$

\*) auf der sicheren Seite. Genauere Werte werden in Anhang F empfohlen.

Die verschiedenen Querschnittsmoduli  $W$  und Formfaktoren  $\alpha_{3,u}$ ,  $\alpha_{3,w}$  aus Tabelle 6.4 werden wie folgt bezeichnet:

- $W_{pl}$  plastisches Widerstandsmoment des Bruttoquerschnittes
- $W_{eff}$  wirksames elastisches Widerstandsmoment, das sich mit einer reduzierten Dicke  $t_{eff}$  für die Querschnittsteile der Klasse 4 ergibt (siehe 6.2.5.2)
- $W_{el,haz}$  wirksames elastisches Widerstandsmoment des Bruttoquerschnittes, das sich mit einer reduzierten Dicke  $\rho_{o,haz}t$  für die Wärmeeinflusszone WEZ ergibt (siehe 6.2.5.2)
- $W_{pl,haz}$  wirksames plastisches Widerstandsmoment des Bruttoquerschnittes, das sich mit einer reduzierten Dicke  $\rho_{o,haz}t$  für die Wärmeeinflusszone WEZ ergibt (siehe 6.2.5.2)
- $W_{eff,haz}$  wirksames elastisches Widerstandsmoment, das sich als kleinerer der beiden Werte ergibt, wenn zum einen eine verminderte Dicke  $\rho_c t$  für die Querschnittsteile der Klasse 4 oder zum anderen eine verminderte Dicke  $\rho_{o,haz}t$  für die WEZ angesetzt wird, unabhängig davon, welche Dicke geringer ist (siehe 6.2.5.2)

$\alpha_{3,u} = 1$  oder alternativ wie folgt berechnet:

$$\alpha_{3,u} = \left[ 1 + \left( \frac{\beta_3 - \beta}{\beta_3 - \beta_2} \right) \left( \frac{W_{pl}}{W_{el}} - 1 \right) \right] \tag{6.26}$$

$\alpha_{3,w} = W_{el,haz} / W_{el}$  oder alternativ wie folgt berechnet:

$$\alpha_{3,w} = \left[ \frac{W_{el,haz}}{W_{el}} + \left( \frac{\beta_3 - \beta}{\beta_3 - \beta_2} \right) \left( \frac{W_{pl,haz} - W_{el,haz}}{W_{el}} \right) \right] \tag{6.27}$$

Dabei ist

- $\beta$  Schlankheitsparameter für die kritischste Teilfläche im Querschnitt;
- $\beta_2$  und  $\beta_3$  Grenzwerte für diese Teilfläche nach Tabelle 6.2.

Die kritischste Teilfläche wird durch den niedrigsten Wert von  $\overline{A_1} / \beta_2 / \beta / \overline{A_1}$  bestimmt.

(3) Bezüglich der Kombination Biegemoment und Querkraft wird auf 6.2.8 verwiesen.

(4) Zusätzlich sollte auch der Widerstand des Bauteils gegen Biegedrillknicken nachgewiesen werden, siehe 6.3.2.

### 6.2.5.2 Querschnittsbemessung

(1) Die in diesem Abschnitt verwendete Terminologie lautet wie folgt:

- a) Der Nettoquerschnitt schließt den Lochabzug und die Berücksichtigung reduzierter Werkstofffestigkeit ein, die in der Nähe der Schweißnähte angenommen wurde, um die Festigkeitsreduktion in der WEZ zu berücksichtigen, falls eine Schweißung erfolgte.
- b) Der wirksame Querschnitt schließt die Berücksichtigung der Festigkeitsreduktion in der WEZ und örtliches Beulen ein, aber ohne Lochabzug. Siehe Bild 6.9.

(2) Für die oben aufgeführten Querschnitte a) und b) muss das Ausmaß der Berücksichtigung der reduzierten Werkstofffestigkeit im Allgemeinen für die verschiedenen Teilflächen des Querschnittes folgendermaßen erfolgen:

- a) Teilfläche der Klasse 4 frei von Einflüssen der WEZ. Ein Wert  $t_{\text{eff}} = \rho_c t$  wird für den druckbeanspruchten Abschnitt der Teilfläche angenommen, wobei  $\rho_c$  wie in 6.1.5 ermittelt wird. Die Anwendung eines wirksamen Querschnittes kann zu einem Iterationsverfahren führen. Siehe 6.7.
- b) Teilflächen der Klassen 1, 2 oder 3 mit Einflüssen der WEZ. Ein Wert  $\rho_{0,\text{haz}} t$  wird in den Abschnitten der Teilfläche mit reduzierter Festigkeit angenommen, wobei  $\rho_{0,\text{haz}}$  und die Ausdehnung der Festigkeitsreduktion in 6.1.6.2 und 6.1.6.3 angegeben werden.
- c) Teilfläche der Klasse 4 mit Einflüssen der WEZ. Die Dicke wird im Abschnitt der Teilfläche mit reduzierter Festigkeit als der kleinere Wert der reduzierten Dicke  $t_{\text{eff}}$  und der reduzierten Dicke  $\rho_{0,\text{haz}} t$  und im Rest des druckbeanspruchten Abschnittes der Teilfläche als  $t_{\text{eff}}$  angesetzt. Siehe Bild 6.9.
- d) Im Falle von ausgesteiften Teilflächen (siehe 6.1.4.3(2)), sollte  $\rho_c$  sowohl auf die Fläche der Steife als auch auf die Blechdicke der Teilfläche angewandt werden.
- e) Bei einem geschweißten Querschnittteil in einem Querschnitt der Klasse 3 oder 4 kann eine günstigere Dicke wie folgt angenommen werden:
  - Die Festigkeitsreduktion in der WEZ wird für alle Bereiche mit einem Abstand von weniger als  $\rho_{0,\text{haz}} z_1$  von der elastischen Spannungsnulllinie des Bruttoquerschnitts aus außer acht gelassen, wobei  $z_1$  der Abstand von dort zu den am weitesten entfernten Randfasern des Querschnitts ist.
  - Für alle Bereiche der WEZ mit einem Abstand  $z (> \rho_{0,\text{haz}} z_1)$  von der neutralen Achse kann  $\rho_{0,\text{haz}}$  durch einen Wert  $\rho_{zy}$  ersetzt werden, der bestimmt wird als  $\rho_{zy} = \rho_{0,\text{haz}} + 1 - z / z_1$ .

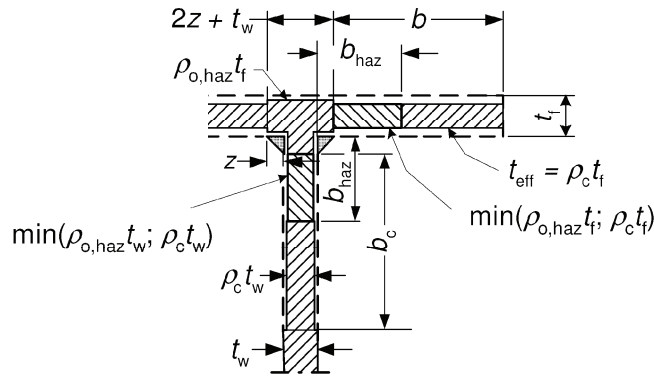


Bild 6.9 — Wirksame Dicke in einem Querschnitt der Klasse 4 mit Schweißnähten

### 6.2.6 Querkraftbeanspruchung

(1)P Für den Bemessungswert der einwirkenden Querkraft  $V_{Ed}$  muss in jedem Querschnitt folgender Nachweis erfüllt werden:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1,0 \quad (6.28)$$

wobei  $V_{Rd}$  der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit des Querschnitts ist.

(2) Für gedrungene Bleche,  $h_w / t_w < 39\varepsilon$ , siehe 6.5.5(2)

$$V_{Rd} = A_v \frac{f_o}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} \quad (6.29)$$

wobei  $A_v$  die wirksame Schubfläche ist, die wie folgt angesetzt wird:

a) Bei Querschnitten mit schubbeanspruchten Stegen

$$A_v = \sum_{i=1}^n \left[ (h_w - \sum d) (t_w)_i - (1 - \rho_{o,haz}) b_{haz} (t_w)_i \right] \quad (6.30)$$

Dabei ist

$h_w$  die Steghöhe zwischen den Gurten;

$b_{haz}$  die Gesamthöhe des Bereiches der WEZ in der lichten Steghöhe zwischen den Gurten. Bei Querschnitten ohne Schweißnähte ist  $\rho_{o,haz} = 1$ . Wenn sich die WEZ über die gesamte Höhe des Stegblechfeldes ausbreitet ist  $b_{haz} = h_w - \sum d$ ;

$t_w$  die Stegdicke;

$d$  der Lochdurchmesser in der Schubfläche;

$n$  die Anzahl der Stege.

b) Bei Vollmaterial und Rundrohren

$$A_v = \eta_v A_e \quad (6.31)$$

Dabei ist

$\eta_v = 0,8$  bei Vollmaterial;

$\eta_v = 0,6$  bei einem Rundrohr;

$A_e$  die Querschnittsfläche eines nicht geschweißten Querschnittes oder durch Ansatz einer reduzierten Dicke  $\rho_{0,haz} t$  in der WEZ ermittelte wirksame Querschnittsfläche eines geschweißten Querschnittes.

(3) Schlanke Stege und ausgesteifte Stege siehe 6.7.4 – 6.7.6.

(4) Wird eine Querkraft mit einem Torsionsmoment kombiniert, sollte die Querkrafttragfähigkeit  $V_{Rd}$  wie in 6.2.7.3 festgelegt reduziert werden.

## 6.2.7 Torsionsbeanspruchung

### 6.2.7.1 Torsion ohne Verwölbung

(1)P Für torsionsbeanspruchte Bauteile, bei denen Querschnittsverformungen und Wölbkrafttorsion vernachlässigt werden können, muss für den Bemessungswert des einwirkenden Torsionsmomentes  $T_{Ed}$  in jedem Querschnitt folgender Nachweis erbracht werden:

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0 \quad (6.32)$$

wobei  $T_{Rd} = W_{T,pl} f_o / (\sqrt{3} \gamma_{M1})$  der Bemessungswert der St. Venant'schen Torsionstragfähigkeit des Querschnitts mit dem plastischen Torsionsmodul  $W_{T,pl}$  ist.

ANMERKUNG 1 Geht die die resultierende Kraft durch den Schubmittelpunkt, tritt kein Torsionsmoment infolge dieser Beanspruchung auf.

ANMERKUNG 2 Gleichungen für den Schubmittelpunkt werden im Anhang J für einige häufig vorkommende Querschnitte angegeben.

(2) Bei der Berechnung der Beanspruchbarkeit  $T_{Rd}$  von Hohlprofilen mit schlanken Querschnittsteilen sollte der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit der einzelnen Querschnittsteile nach 6.7.4 oder 6.7.5 berücksichtigt werden.

### 6.2.7.2 Torsion mit Verwölbung

(1) Für torsionsbeanspruchte Bauteile, bei denen Querschnittsverformungen, aber nicht Wölbkrafttorsion, vernachlässigt werden können, sollte das Gesamtorsionsmoment in jedem Querschnitt als Summe zweier inneren Anteile berücksichtigt werden.

$$T_{Ed} = T_{t,Ed} + T_{w,Ed} \quad (6.33)$$

Dabei ist

$T_{t,Ed}$  der Bemessungswert des einwirkenden St. Venant'schen Torsionsmomentes; (primäres Torsionsmoment);

$T_{w,Ed}$  der Bemessungswert des einwirkenden Wölbtorsionsmomentes (sekundäres Torsionsmoment).

(2) Die Bemessungswerte  $T_{t,Ed}$  und  $T_{w,Ed}$  können für jeden Querschnitt unter Berücksichtigung der Querschnittseigenschaften, der Auflagerbedingungen und der Verteilung der Einwirkungen in einer elastischen Berechnung ermittelt werden.

ANMERKUNG In diesem Fall kann kein Ausdruck für die Tragfähigkeit  $T_{Rd}$  angegeben werden.

(3) Folgende Spannungen infolge Torsionsbeanspruchung sollten berücksichtigt werden:

— Schubspannungen  $\tau_{t,Ed}$  infolge St. Venant'scher Torsion  $T_{t,Ed}$ ;

— Normalspannungen  $\sigma_{w,Ed}$  infolge des Bimomentes  $B_{Ed}$  und Schubspannungen infolge Wölbkrafttorsion  $T_{w,Ed}$ .

ANMERKUNG Querschnittseigenschaften sind in Anhang J aufgeführt.

(4) Beim elastischen Nachweis kann das Fließkriterium in 6.2.1(5) verwendet werden.

(5) Bei der Bestimmung der Momententragfähigkeit eines Querschnitts nur unter Biegung und Torsion sollten die Torsionseinflüsse  $B_{Ed}$  einer elastischen Berechnung entnommen werden, siehe (3).

(6) Im Falle eines Bauteils mit offenem Querschnitt, wie z. B. I oder H, kann vereinfachend angenommen werden, dass der Einfluss der St. Venant'schen Torsion vernachlässigt werden kann.

### 6.2.7.3 Kombination aus Querkraft und Torsionsmoment

(1)P Bei der Kombination aus Querkraft und Torsionsmoment muss die Querkrafttragfähigkeit aufgrund der Torsionseinflüsse von  $V_{Rd}$  auf  $V_{T,Rd}$  reduziert und für den Bemessungswert der einwirkenden Querkraft muss folgender Nachweis erfüllt werden:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{T,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.34)$$

wobei  $V_{T,Rd}$  wie folgt bestimmt wird:

— für eine I- oder H-Querschnitt

$$V_{T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed} \sqrt{3}}{1,25 f_0 / \gamma_{M1}}} V_{Rd} \quad (6.35)$$



— für einen U-Querschnitt:

$$V_{T,Rd} = \left[ \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed} \sqrt{3}}{1,25 f_o / \gamma_{M1}} - \frac{\tau_{w,Ed} \sqrt{3}}{f_o / \gamma_{M1}}} \right] V_{Rd} \quad (6.36)$$

— für einen Hohlquerschnitt

$$V_{T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{t,Ed} \sqrt{3}}{f_o / \gamma_{M1}} \right] V_{Rd} \quad (6.37)$$

wobei  $V_{Rd}$  in 6.2.6 angegeben ist.

### 6.2.8 Beanspruchung aus Biegung und Querkraft

(1) Bei Biegung mit Querkraftbeanspruchung sollte der Einfluss der Querkraft auf die Momententragfähigkeit berücksichtigt werden.

(2) Unterschreitet der Bemessungswert  $V_{Ed}$  der einwirkenden Querkraft die Hälfte des Bemessungswertes der Querkrafttragfähigkeit, dann kann die Abminderung der Bemessungswerte der Momententragfähigkeit vernachlässigt werden, außer wenn die Querschnittstragfähigkeit durch Schubbeulen reduziert wird, siehe 6.7.6.

(3) Andernfalls sollte die Abminderung des Bemessungswertes der Momententragfähigkeit dadurch berücksichtigt werden, dass für die schubbeanspruchten Querschnitte die abgeminderte Streckgrenze

$$f_{o,V} = f_o \left( 1 - (2V_{Ed} / V_{Rd} - 1)^2 \right) \quad (6.38)$$

angesetzt wird, wobei man  $V_{Rd}$  aus 6.2.6 erhält.

(4) Im Falle eines mit gleichen Gurten versehenen I-Querschnittes, der unter Biegebeanspruchung in Klasse 1 oder 2 eingestuft ist, lautet der sich ergebende Wert der Momententragfähigkeit  $M_{v,Rd}$ :

$$M_{v,Rd} = t_f b_f (h - t_f) \frac{f_o}{\gamma_{M1}} + \frac{t_w h_w^2}{4} \frac{f_{o,V}}{\gamma_{M1}} \quad (6.39)$$

wobei  $h$  die Gesamthöhe des Querschnitts und  $h_w$  die Steghöhe zwischen den Innenseiten der Gurte ist.

(5) Im Falle eines mit gleichen Gurten versehenen I-Querschnittes, der unter Biegebeanspruchung in Klasse 3 eingestuft ist, ergibt sich der Wert  $M_{v,Rd}$  aus Gleichung (6.39), wobei aber der Nenner 4 im zweiten Term durch 6 zu ersetzen ist.

(6) Für Querschnitte, die unter Biegebeanspruchung in Klasse 4 eingestuft sind oder durch Festigkeitsreduktion in der WEZ beeinflusst sind, siehe  $\boxed{A_1}$  6.2.5  $\boxed{A_1}$ .

(7) Bei Torsionsbeanspruchung ist  $V_{Rd}$  in Gleichung (6.38) durch  $V_{T,Rd}$ , siehe 6.2.7, zu ersetzen, jedoch mit  $f_{o,V} = f_o$  für  $V_{Ed} \leq 0,5 V_{T,Rd}$

(8) Zur Interaktion bei Biegebeanspruchung, Querkraft und Querbelastung siehe  $\boxed{A_1}$  6.7.6  $\boxed{A_1}$ .

## 6.2.9 Beanspruchung aus Biegung und Normalkraft

### 6.2.9.1 Offene Querschnitte

(1) Bei doppel-symmetrischen Querschnitten (mit Ausnahme von Vollquerschnitten, siehe 6.2.9.2) sollten die beiden folgenden Nachweise erbracht werden:

$$\left( \frac{N_{Ed}}{\omega_0 N_{Rd}} \right)^{\xi_0} + \frac{M_{y,Ed}}{\omega_0 M_{y,Rd}} \leq 1,00 \quad (6.40)$$

$$\left( \frac{N_{Ed}}{\omega_0 N_{Rd}} \right)^{\eta_0} + \left( \frac{M_{y,Ed}}{\omega_0 M_{y,Rd}} \right)^{\gamma_0} + \left( \frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 M_{z,Rd}} \right)^{\xi_0} \leq 1,00 \quad (6.41)$$

Dabei ist

$$\eta_0 = 1,0 \text{ oder alternativ } \alpha_z^2 \alpha_y^2 \text{ aber } 1 \leq \eta_0 \leq 2 \quad (6.42a)$$

$$\gamma_0 = 1,0 \text{ oder alternativ } \alpha_z^2 \text{ aber } 1 \leq \gamma_0 \leq 1,56 \quad (6.42b)$$

$$\xi_0 = 1,0 \text{ oder alternativ } \alpha_y^2 \text{ aber } 1 \leq \xi_0 \leq 1,56 \quad (6.42c)$$

$N_{Ed}$  Bemessungswert der einwirkenden Druck- oder Zugkraft

$M_{y,Ed}$  und  $M_{z,Ed}$  sind die Biegemomente um die y-y und z-z-Achse

$N_{Rd} = A_{eff} f_o / \gamma_{M1}$ , siehe 6.2.4.

$M_{y,Rd} = \alpha_y W_{y,el} f_o / \gamma_{M1}$

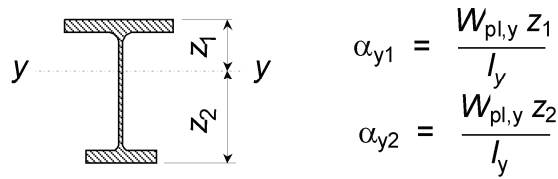
$M_{z,Rd} = \alpha_z W_{z,el} f_o / \gamma_{M1}$

$\alpha_y, \alpha_z$  sind die Formfaktoren für Biegebeanspruchung um die y- und z-Achse, mit Berücksichtigung örtlichen Beulens und Festigkeitsreduktion in der WEZ durch Längsnähte, siehe 6.2.5.

$\omega_0 = 1$  für Querschnitte ohne örtliche Schweißnähte oder Löcher. Siehe auch 6.2.9.3.

ANMERKUNG Zur Klassifikation des Querschnitts siehe 6.3.3(4).

(2) Kriterium (6.41) kann auch für einfach-symmetrische Querschnitte mit  $\eta_0 = \alpha_y^2$  (aber  $1 \leq \eta_0 \leq 2,0$ ) und  $\gamma_0 = \xi_0 = 1$  verwendet werden, wobei  $\alpha_y = \max(\alpha_{y1}, \alpha_{y2})$ , siehe Bild 6.10, wenn Längskraft und Biegemoment Spannungen mit demselben Vorzeichen im größeren Gurt und  $\alpha_y = \min(\alpha_{y1}, \alpha_{y2})$ , wenn Längskraft und Biegemoment Spannungen mit demselben Vorzeichen im kleineren Gurt ergeben.



**Bild 6.10 — Formfaktor für einen einfach-symmetrischen Querschnitt der Klasse 1 oder 2**

### 6.2.9.2 Hohlquerschnitte und Vollquerschnitte

(1) Hohlquerschnitte und Vollquerschnitte sollten den folgenden Nachweis erfüllen:

$$\left( \frac{N_{Ed}}{\omega_0 N_{Rd}} \right)^\psi + \left[ \left( \frac{M_{y,Ed}}{\omega_0 M_{y,Rd}} \right)^{1,7} + \left( \frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 M_{z,Rd}} \right)^{1,7} \right]^{0,6} \leq 1,00 \quad (6.43)$$

Dabei ist  $\psi = 1,3$  für Hohlquerschnitte und  $\psi = 2$  für Vollquerschnitte.  $\psi$  kann alternativ zu  $\alpha_y, \alpha_z$  gesetzt werden, aber  $1 \leq \psi \leq 1,3$  für Hohlquerschnitte und  $1 \leq \psi \leq 2$  für Vollquerschnitte.

### 6.2.9.3 Bauteile mit örtlichen Schweißnähten

(1) Wird ein Querschnitt durch die Festigkeitsreduktion in der WEZ an einem festgelegten Ort der Bauteillänge beeinflusst und dehnt sich die Festigkeitsreduktion in Längsrichtung nicht über mehr als die kleinste Breite des Bauteils aus, dann wird in der Regel der Bemessungswert der Zugfestigkeit  $\rho_{u,haz} f_u / \gamma_{M2}$  der abgeminderten Werkstofffestigkeit als Grenzspannung angesetzt.

$$\omega_0 = (\rho_{u,haz} f_u / \gamma_{M2}) / (f_0 / \gamma_{M1}) \quad (6.44)$$

ANMERKUNG Dies schließt die Auswirkungen der WEZ infolge des Anschweißens temporärer Befestigungen ein.

(2) Dehnt sich die Festigkeitsreduktion in Längsrichtung über mehr als die kleinste Breite des Bauteils aus, wird in der Regel die Festigkeit  $\rho_{o,haz} f_0$  für Fließen der gesamten Bereiche mit reduzierter Festigkeit als Grenzspannung angesetzt.

$$\omega_0 = \rho_{o,haz} \quad (6.45)$$

### 6.2.10 Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Normalkraft

(1) Bei gleichzeitiger Beanspruchung durch Biegung, Querkraft und Normalkraft sollte der Einfluss der Querkraft und Normalkraft auf die plastische Momententragfähigkeit berücksichtigt werden.

(2) Wenn der Bemessungswert der Querkraft  $V_{Ed}$  die Hälfte des Bemessungswertes der Querkrafttragfähigkeit  $V_{Rd}$  nicht überschreitet, braucht keine Abminderung der Beanspruchbarkeit von auf Biegung und Normalkraft beanspruchten Querschnitten durchgeführt zu werden, es sei denn Schubbeulen vermindert die Querschnittstragfähigkeit, siehe 6.7.6.

(3) Falls  $V_{Ed}$  die Hälfte von  $V_{Rd}$  überschreitet, sollte die Momententragfähigkeit für auf Biegung und Normalkraft beanspruchte Querschnitte mit einer abgeminderten Streckgrenze

$$(1 - \rho) f_0 \quad (6.46)$$

für die wirksamen Schubflächen ermittelt werden, wobei man

$$\rho = (2V_{Ed} / V_{Rd} - 1)^2 \quad (6.47)$$

und  $V_{Rd}$  aus 6.2.6(2) erhält.

ANMERKUNG Anstelle der abgeminderten Streckgrenze kann auch eine wirksame Blechdicke in der Berechnung verwendet werden.

### 6.2.11 Stegkrüppeln

(1) Dieser Abschnitt befasst sich mit der Bemessung von Stegen unter konzentrierten, Kräften infolge Einzellasten oder Auflagerkräften in Trägern. Für unversteifte und längsversteifte Stege wird dieses Thema in 6.7.5 behandelt.

(2) Bei querversteiften Stegen ist die tragende Aussteifung, wenn sie befestigt ist, in der Regel ein Querschnitt der Klasse 1 oder 2. Sie kann auf der sicheren Seite liegend unter der Annahme, dass sie der gesamten Kraft ohne Hilfe des Stegs standhält bemessen werden, indem die Aussteifung als Druckstab (siehe 6.4.1) auf Knicken aus der Ebene und lokales Fließen nachgewiesen wird, wobei gegebenenfalls Einflüsse aus seitlicher Biegebeanspruchung berücksichtigt werden müssen (siehe 6.3.2). Siehe auch 6.7.8.

## 6.3 Stabilitätsnachweise für Bauteile

### 6.3.1 Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck

(1) Zentrisch belastete Druckstäbe können auf eine der drei folgenden Arten versagen:

- a) Biegeknicken (siehe 6.3.1.1 bis 6.3.1.3)
- b) Drillknicken oder Biegedrillknicken (siehe 6.3.1.1 und 6.3.1.4)
- c) Lokales Fließen (siehe 6.2.4)

ANMERKUNG Nachweis a) sollte immer geführt werden. Nachweis b) ist im Allgemeinen erforderlich, aber in einigen Fällen kann darauf verzichtet werden. Nachweis c) ist nur bei Druckstäben geringer Schlankheit notwendig, die örtlich deutlich durch Löcher oder Schweißnähte geschwächt sind.

#### 6.3.1.1 Biegeknicken

(1)P Ein Druckstab muss sowohl gegen Knicken als auch Drillknicken oder Biegedrillknicken wie folgt nachgewiesen werden:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.48)$$

Dabei ist

$N_{Ed}$  der Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft;

$N_{b,Rd}$  der Bemessungswert der Biegeknicktragfähigkeit von Bauteilen unter planmäßig zentrischem Druck.

(2) Der Bemessungswert der Biegeknicktragfähigkeit von Bauteilen unter planmäßig zentrischem Druck  $N_{b,Rd}$  sollte wie folgt angesetzt werden:

$$N_{b,Rd} = \kappa \chi A_{eff} f_o / \gamma_{M1} \quad (6.49)$$

Dabei ist

- $\chi$  der Abminderungsbeiwert entsprechend dem maßgebenden Knickfall wie in 6.3.1.2 angegeben;
- $\kappa$  ein Faktor zur Berücksichtigung der Schwächung durch den Festigkeitsabfall in der WEZ. Für längsgeschweißte Bauteile wird  $\kappa$  in Tabelle 6.5 für Biegeknicken und  $\kappa = 1$  für Drillknicken und Biegedrillknicken angegeben. Im Falle eines quergeschweißten Bauteils ist  $\kappa = \omega_x$  nach 6.3.3.3. **[A1]**  $\kappa = 1$ , wenn keine Schweißnähte vorhanden sind **[A1]**;
- $A_{eff}$  die wirksame Fläche, die örtliches Beules für Querschnitte der Klasse 4 berücksichtigt. Für Drillknicken und Biegedrillknicken siehe Tabelle 6.7;
- $A_{eff} = A$  für Querschnitte der Klasse 1, 2 oder 3.

### 6.3.1.2 Knickspannungslinien

(1) Für zentrisch belastete Druckstäbe sollte der Wert  $\chi$  mit dem Wert  $\bar{\lambda}$  aus der maßgebenden Knickspannungslinie ermittelt werden:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{aber } \mathbf{[A1]} \quad \chi \leq 1,0 \quad \mathbf{[A1]} \quad (6.50)$$

Dabei ist

$$\phi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_o}{N_{cr}}} \quad (6.51)$$

- $\alpha$  der Imperfektionsbeiwert;
- $\bar{\lambda}_0$  die Grenze des Plateaus der Knickspannungslinie;
- $N_{cr}$  die ideale Verzweigungslast für den maßgebenden Knickfall bezogen auf den Bruttoquerschnitt.

**[A1] ANMERKUNG** Bei einem Bauteil mit örtlicher Schweißnaht sollte der Schlankheitsparameter  $\bar{\lambda}_{naz}$  nach 6.3.3.3 (3) für den Querschnitt mit der Schweißnaht angewendet werden. **[A1]**

(2) Den Imperfektionsbeiwert  $\alpha$  und die Grenze des Plateaus der Knickspannungslinie  $\bar{\lambda}_0$  entsprechend der maßgebenden Knickspannungslinie erhält man in der Regel aus Tabelle 6.6 für Biegeknicken oder aus Tabelle 6.7 für Drillknicken und Biegedrillknicken.

(3) Werte des Abminderungsbeiwertes  $\chi$  für die maßgebende relative Schlankheit  $\bar{\lambda}$  kann man aus Bild 6.11 für Biegeknicken und Bild 6.12 für Drillknicken oder Biegedrillknicken entnehmen.

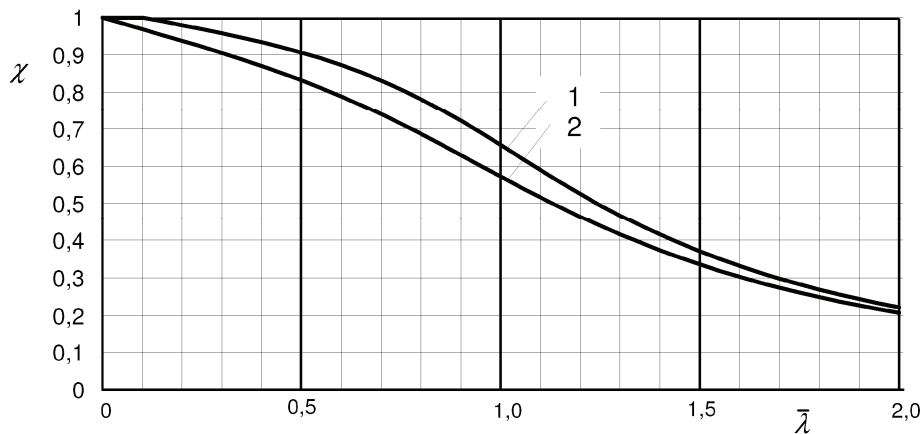
(4) Bei einer bezogenen Schlankheit  $\bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_0$  oder  $N_{Ed} \leq \bar{\lambda}_0^2 N_{cr}$  müssen die Stabilitätsprobleme nicht beachtet werden und es sind nur Spannungsnachweise zu führen.

Tabelle 6.5 — Werte des Faktors  $\kappa$  für Bauteile mit Längsnähten

Werkstoff der Klasse A nach Tabelle 3.2	Werkstoff der Klasse B nach Tabelle 3.2
$\kappa = 1 - \left(1 - \frac{A_1}{A}\right) 10^{-\bar{\lambda}} - \left(0,05 + 0,1 \frac{A_1}{A}\right) \bar{\lambda}^{-1,3(1-\bar{\lambda})}$ <p>mit <math>A_1 = A - A_{\text{haz}}(1 - \rho_{0,\text{haz}})</math>                      wobei <math>A_{\text{haz}}</math> = Fläche der WEZ</p>	$\kappa = 1 \text{ wenn } \bar{\lambda} \leq 0,2$ $\kappa = 1 + 0,04(4\bar{\lambda})^{(0,5-\bar{\lambda})} - 0,22\bar{\lambda}^{1,4(1-\bar{\lambda})}$ <p>wenn <math>\bar{\lambda} &gt; 0,2</math></p>

Tabelle 6.6 — Werte von  $\alpha$  und  $\bar{\lambda}_0$  für Biegeknicke

Knickklasse des Werkstoffes nach Tabelle 3.2	$\alpha$	$\bar{\lambda}_0$
Klasse A	0,20	0,10
Klasse B	0,32	0,00



Legende

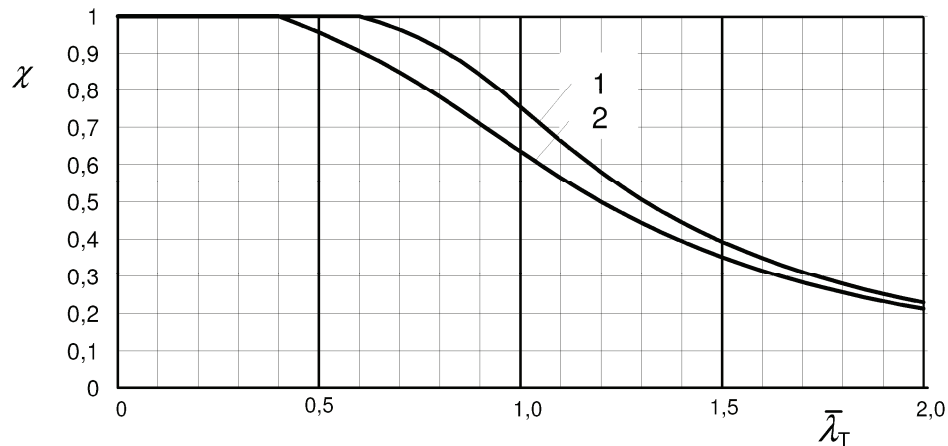
- 1 Werkstoff Klasse A
- 2 Werkstoff Klasse B

Bild 6.11 — Abminderungsbeiwert  $\chi$  für Biegeknicke

Tabelle 6.7 — Werte von  $\alpha$ ,  $\bar{\lambda}_0$  und  $A_{\text{eff}}$  für Drillknicken und Biegedrillknicken

Querschnitt	$\alpha$	$\bar{\lambda}_0$	$A_{\text{eff}}$
Allgemein <sup>1)</sup>	0,35	0,4	$A_{\text{eff}}$ <sup>1)</sup>
völlig aus radial abstehenden Teilflächen zusammengesetzt <sup>2)</sup>	0,20	0,6	$A$ <sup>2)</sup>

- 1) Bei Querschnitten, die versteifte außenliegende Teilflächen enthalten so dass Beulform 1 hinsichtlich örtlichen Beulens maßgebend wird (siehe 6.1.4.3(2), sollte das Bauteil unter „allgemein“ einzustufen und  $A_{\text{eff}}$  wird entweder unter Berücksichtigung örtlichen Beulens oder des Werkstoffes der WEZ bestimmt.
- 2) Bei Querschnitten wie Winkeln, T-Profilen oder kreuzförmige Profile die vollkommen aus radial abstehenden Teilflächen zusammengesetzt sind, sind örtliches Beulen und Drillknicken eng miteinander verbunden. Bei der Bestimmung von  $A_{\text{eff}}$  sollte soweit vorhanden die WEZ berücksichtigt werden, jedoch hat keine Abminderung infolge örtlichen Beulens erfolgen, d. h.  $\rho_c = 1$ .



**Legende**

- 1 Querschnitt aus radial abstehenden Teilflächen zusammengesetzt
- 2 Allgemeiner Querschnitt

**Bild 6.12 — Abminderungsbeiwert  $\chi$  für Biegeknicken und Biegedrillknicken**

**6.3.1.3 Schlankheitsgrad für Biegeknicken**

**A1** (1) Die bezogene Schlankheit  $\bar{\lambda}$  ist wie folgt zu bestimmen:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_o}{N_{\text{cr}}}} = \frac{L_{\text{cr}}}{i} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_o}{A E}} \tag{6.52}$$

Dabei ist

$L_{\text{cr}}$  die Knicklänge in der betrachteten Knickebene;

$i$  der Trägheitsradius für die maßgebende Achse, die unter Verwendung der Eigenschaften des Bruttoquerschnitts ermittelt wird.

(2) Die Knicklänge,  $L_{\text{cr}}$ , sollte als  $kL$  angesetzt werden, wobei  $L$  die Länge zwischen den Punkten der seitlichen Stützung ist; bei einem Kragträger ist  $L$  dessen Länge. Der Wert  $k$ , der Knicklängenbeiwert für Bauteile, sollte aus der Kenntnis der Auflagerbedingungen heraus festgelegt werden. Sofern keine Untersuchung mit höherer Genauigkeit erfolgt, sollte Tabelle 6.8 angewendet werden.

**ANMERKUNG** Die Knicklängenbeiwerte  $k$  werden gegenüber dem theoretischen Wert für feste Einspannungen erhöht, um die verschiedenen Verformungen in der Verbindung zwischen unterschiedlichen Bauteilen zu berücksichtigen.

**Tabelle 6.8 — Knicklängenbeiwert  $k$  bei Bauteilen**

Auflagerbedingungen	$k$
1. an beiden Enden festgehalten und eingespannt	0,7
2. an beiden Enden festgehalten und an einem Ende eingespannt	0,85
3. an beiden Enden festgehalten, aber nicht eingespannt	1,0
4. an einem Ende festgehalten und an beiden Enden eingespannt	1,25
5. an einem Ende festgehalten und eingespannt und am anderen Ende teilweise eingespannt, aber nicht festgehalten	1,5
6. an einem Ende festgehalten und eingespannt, und am anderen Ende frei	2,1

**A1**

#### 6.3.1.4 Schlankheitsgrad für Drillknicken und Biegedrillknicken

(1) Bei Bauteilen mit offenen Querschnitten sollte beachtet werden, dass der Widerstand des Bauteils gegen Drillknicken oder Biegedrillknicken möglicherweise kleiner als sein Widerstand gegen Biegeknicken ist.

ANMERKUNG Die Möglichkeit von Drillknicken oder Biegedrillknicken kann in den folgenden Fällen vernachlässigt werden:

- a) Hohlprofile;
- b) doppel-symmetrische I-Profile;
- c) Profile, die aus radial abstehenden Teilflächen zusammengesetzt sind, z. B. Winkel, T-Profile, kreuzförmige Profile, die nach 6.1.4 in Klasse 1 und 2 eingestuft sind.

(2) Die bezogene Schlankheit  $\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_T$  für Drillknicken und Biegedrillknicken sollte angesetzt werden als

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_0}{N_{\text{cr}}}} \quad (6.53)$$

Dabei ist

$A_{\text{eff}}$  die Querschnittsfläche nach Tabelle 6.7;

$N_{\text{cr}}$  die elastische Verzweigungslast für Drillknicken, falls erforderlich unter Berücksichtigung der Interaktion mit Biegeknicken (Biegedrillknicken).

ANMERKUNG Werte von  $N_{\text{cr}}$  und  $\bar{\lambda}_T$  sind in Anhang I angegeben.

#### 6.3.1.5 Außermittig angeschlossene einteilige Druckstäbe

(1) Unter der Voraussetzung, dass die Endbefestigung eine Drehung in der Ebene des verbundenen Bauteils verhindert und keine planmäßige Biegebeanspruchung aufgebracht wird, können die folgenden Arten außermittig verbundener Druckstäbe unter Verwendung einer vereinfachten Annäherung bemessen werden. Dies stellt eine Alternative zum allgemeinen Verfahren nach 6.3.3 mit der Kombination aus Biege- und Druckbeanspruchung dar:

- a) einzelner Winkel, der nur durch einen Schenkel angeschlossen ist;
- b) Schenkel-an-Schenkel liegende, mit einem Knotenbleche verbundene Winkel;
- c) einzelnes U-Profil, das nur durch einen Steg angeschlossen ist;
- d) einzelnes T-Profil, das nur durch seinen Gurt angeschlossen ist.

(2) Wenn der Nachweis gegen Biegeknicken aus der Ebene des befestigten Bauteils nach 6.3.1.1 geführt wird, sollte die Außermittigkeit der Belastung vernachlässigt werden und der Wert  $N_{b,Rd}$  sollte zu 40 % des Wertes für eine zentrische Belastung angesetzt werden.

(3) Der Wert der Biegeknicktragfähigkeit für a) sollte der für Knicken um die Achse parallel zu den verbundenen Bauteilen sein. Für Drillknicken ergeben sich gegenüber den Verfahren nach 6.3.1.1 und 6.3.1.4 keine Änderungen.



### 6.3.2 Bauteile mit Biegung

(1) Üblicherweise sollten die folgenden Beanspruchbarkeiten nachgeprüft werden:

- a) Biegung (siehe 6.2.5), gegebenenfalls unter Berücksichtigung von gleichzeitig wirkender Querkraft (siehe 6.2.8);
- b) Querkraft (siehe 6.2.6 und 6.2.8);
- c) Beanspruchbarkeit unter Querlasten (siehe 6.7.5);
- d) Biegedrillknicken (siehe 6.3.2.1).

(2) Die Klasse, in der der Querschnitt eingestuft ist (siehe 6.1.4), Wärmeinflusszonen (siehe 6.1.5) und vorhandene Löcher (6.2.5) sollten berücksichtigt werden.

(3) Für Bauteile unter kombinierter Biegung und Normalkraft wird auf 6.3.3 verwiesen.

(4) Zweiachsige Biegung kombiniert mit Normalkraft wird in 6.2.9 und 6.3.3 behandelt. Ist keine Normalkraft vorhanden, sollte der Term mit  $N_{Ed}$  gestrichen werden.

#### 6.3.2.1 Biegedrillknicken

ANMERKUNG Biegedrillknicken braucht in den folgenden Fällen nicht nachgewiesen werden:

- a) die Biegung erfolgt um die schwache Achse und gleichzeitig liegt der Lastangriff nicht über dem Schubmittelpunkt;
- b) das Bauteil ist über seine gesamte Länge gegen seitliches Ausweichen gehalten;
- c) die bezogene Schlankheit  $\bar{\lambda}_{LT}$  (siehe 6.3.2.3) zwischen den Punkten wirksamer seitlicher Stützung beträgt weniger als 0,4.

(1)P Ein seitlich nicht gehaltene Bauteil unter Biegebeanspruchungen um die starke Achse muss wie folgt gegen Biegedrillknicken nachgewiesen werden:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.54)$$

Dabei ist

$M_{Ed}$  der Bemessungswert des einwirkenden Biegemomentes;

$M_{b,Rd}$  der Bemessungswert der Momententragfähigkeit bei Biegedrillknicken.

(2) Der Bemessungswert der Momententragfähigkeit bei Biegedrillknicken eines seitlich nicht gehaltenen Bauteils sollte wie folgt angesetzt werden:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \alpha W_{el,y} f_o / \gamma_{M1} \quad (6.55)$$

Dabei ist

$W_{el,y}$  das elastische Widerstandsmoment des Bruttoquerschnitts ohne Berücksichtigung der Festigkeitsreduktion in der WEZ, örtlichen Beulens oder Löcher;

$\alpha$  Tabelle 6.4 entnommen, jedoch  $\alpha \leq W_{pl,y} / W_{el,y}$ ;

$\chi_{LT}$  der Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken (siehe 6.3.2.2).

**6.3.2.2 Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken**

(1) Der Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken  $\chi_{LT}$  für die maßgebende bezogene Schlankheit  $\bar{\lambda}_{LT}$  sollte bestimmt werden aus:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{aber } \chi_{LT} \leq 1 \tag{6.56}$$

Dabei ist

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{0,LT}) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \tag{6.57}$$

- $\alpha_{LT}$  der Imperfektionsbeiwert;
- $\bar{\lambda}_{LT}$  die bezogene Schlankheit für Biegedrillknicken;
- $\bar{\lambda}_{0,LT}$  die Grenze des Plateaus der Biegedrillknicklinie;
- $M_{cr}$  das ideale Verzweigungsmoment bei Biegedrillknicken.

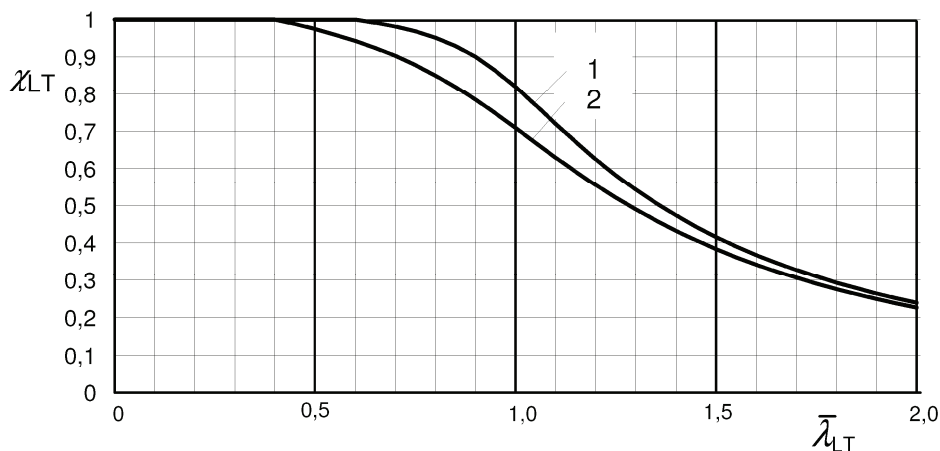
(2) Die Werte von  $\alpha_{LT}$  und  $\bar{\lambda}_{0,LT}$  sollten angesetzt werden als:

$\alpha_{LT} = 0,10$  und  $\bar{\lambda}_{0,LT} = 0,6$  für Querschnitte der Klassen 1 und 2

$\alpha_{LT} = 0,20$  und  $\bar{\lambda}_{0,LT} = 0,4$  für Querschnitte der Klassen 3 und 4.

(3) Werte für den Abminderungsbeiwert  $\chi_{LT}$  für die maßgebende bezogene Schlankheit können Bild 6.13 entnommen werden.

(4) Für die bezogene Schlankheit  $\bar{\lambda}_{LT} \leq \bar{\lambda}_{0,LT}$  oder für  $M_{Ed} \leq \lambda_{0,LT}^2 M_{cr}$  muss Biegedrillknicken nicht berücksichtigt werden und es sind nur Spannungsnachweise zu führen.



**Legende**

- 1 Querschnitte der Klassen 1 und 2
- 2 Querschnitte der Klassen 3 und 4

**Bild 6.13 — Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken**

### 6.3.2.3 Bezogene Schlankheit

(1) Die bezogene Schlankheit  $\bar{\lambda}_{LT}$  sollte bestimmt werden aus:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\alpha W_{el,y} f_o}{M_{cr}}} \quad (6.58)$$

Dabei ist

$\alpha$  Tabelle 6.4 entnommen, jedoch  $\alpha \leq W_{pl,y} / W_{el,y}$ ;

$M_{cr}$  das ideale Verzweigungsmoment bei Biegedrillknicken.

(2)  $M_{cr}$  basiert auf Bruttoquerschnittswerten und berücksichtigt die Belastung, die tatsächliche Momentenverteilung und die seitliche Stützung.

ANMERKUNG Gleichungen für  $M_{cr}$  für einige Querschnitte und Randbedingungen werden im Anhang I.1 und Näherungswerte für  $\bar{\lambda}_{LT}$  für einige I-Querschnitte und U-Profile werden im Anhang I.2 angegeben.

### 6.3.2.4 Wirksame seitliche Stützung

(1) Aussteifende Systeme, die für eine seitliche Stützung sorgen, sollten nach 5.3.3 bemessen werden.

ANMERKUNG Wenn zwei oder mehr parallele Bauteile eine seitliche Stützung erfordern, ist es nicht ausreichend, die Druckgurte miteinander zu verbinden, so dass sie sich gegenseitig abstützen. Eine geeignete Stützung wird nur dann erreicht, wenn man die Verbindung mit einem unabhängigen starren Auflager herstellt oder einen Fachwerkverband vorsieht. Beträgt die Anzahl der parallelen Bauteile mehr als 3, ist es ausreichend, das Stützsystem nur für die Summe der seitlichen Stützkraft aus der drei größten Druckkräfte zu bemessen.

### 6.3.3 Bauteile mit Biegung und zentrischem Druck

(1) Wenn keine Untersuchung nach Theorie 2. Ordnung mit Ansatz der Imperfektionen nach 5.3.2 durchgeführt wird, sollte die Stabilität von Bauteilen mit gleich bleibendem Querschnitt wie im folgenden Abschnitt aufgeführt nachgewiesen werden, wobei folgende Differenzierung vorgenommen wird:

- Gegen Verdrillung unempfindliche Bauteile, wie z. B. Hohlquerschnitte oder gegen Verdrillung ausgesteifte Querschnitte (nur Biegeknicken);
- Gegen Verdrillung empfindliche Bauteile, wie z. B. offene Querschnitte die nicht gegen Verdrillung ausgesteift sind (Biegedrillknicken oder Biegeknicken).

(2) Bei Bauteilen, die empfindlich gegen Verdrillung sind, sind im Allgemeinen zwei Nachweise erforderlich:

- Biegeknicken;
- Biegedrillknicken.

(3) Bei der Berechnung der Tragfähigkeiten  $N_{Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$  und  $M_{z,Rd}$  sollte die Festigkeitsreduktion in der WEZ aus Längsnähten besonders berücksichtigt werden (siehe 6.2.4 und 6.2.5). Eine örtlich begrenzte Festigkeitsreduktion in der WEZ aus Quernähten und vorhandene Löcher sollten nach 6.3.3.3 und 6.3.3.4 beachtet werden.

(4) Alle Größen beim Interaktionskriterium sollten positiv angesetzt werden.

ANMERKUNG 1 Die Einstufung der Querschnitte für Bauteile mit Biege- und Längskräften wird nach 6.1.4 für jede Belastungskomponente getrennt durchgeführt. Für den kombinierten Spannungszustand wird keine Einstufung gemacht.

ANMERKUNG 2 Ein Querschnitt kann für Querkraft, Biegung um die starke Achse und Biegung um die schwache Achse verschiedenen Klassen angehören. Der kombinierte Spannungszustand wird in den Interaktionsgleichungen berücksichtigt. Diese Interaktionsgleichungen können für alle Querschnittsklassen verwendet werden. Der Einfluss örtlichen Beulens und Fließens auf die Beanspruchbarkeit bei kombinierter Belastung wird durch die Größen der Nenner und Exponenten berücksichtigt, die Funktionen der Schlankheit des Querschnitts sind.

ANMERKUNG 3 Der Spannungsnachweis ist im Nachweis auf Biegeknicken und Biegedrillknicken enthalten, wenn die Verfahren in 6.3.3.1 und 6.3.3.5 verwendet werden.

**6.3.3.1 Biegeknicken**

(1) Bei einem Bauteil mit offenem, doppelt-symmetrischem Querschnitt (Vollquerschnitte, siehe (2)), sollte eines der folgenden Kriterien erfüllt werden:

— Für Biegung um die Hauptachse (x-Achse):

$$\left( \frac{N_{Ed}}{\chi_y \omega_x N_{Rd}} \right)^{\xi_{yc}} + \frac{M_{y,Ed}}{\omega_0 M_{y,Rd}} \leq 1,00 \tag{6.59}$$

— Für Biegung um die Nebenachse (z-Achse):

$$\left( \frac{N_{Ed}}{\chi_z \omega_x N_{Rd}} \right)^{\eta_c} + \left( \frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 M_{z,Rd}} \right)^{\xi_{zc}} \leq 1,00 \tag{6.60}$$

Dabei ist

$$\eta_c = 0,8 \text{ oder alternativ } \eta_c = \eta_0 \chi_z \text{ aber } \eta_c \geq 0,8 \tag{6.61a}$$

$$\xi_{yc} = 0,8 \text{ oder alternativ } \xi_{yc} = \xi_0 \chi_y \text{ aber } \xi_{yc} \geq 0,8 \tag{6.61b}$$

$$\xi_{zc} = 0,8 \text{ oder alternativ } \xi_{zc} = \xi_0 \chi_z \text{ aber } \xi_{zc} \geq 0,8 \tag{6.61c}$$

$$\eta_0 \text{ und } \xi_0 \text{ nach 6.2.9.1}$$

$\omega_x = \omega_0 = 1$  für Druckstäbe ohne örtliche Schweißungen und mit gleichen Endmomenten. Für andere Fälle siehe **A1** 6.3.3.3, 6.3.3.4 und 6.3.3.5 **A1**.

(2) Bei Vollquerschnitten kann die Bedingung (6.60) verwendet werden, indem dort die Exponenten 0,8 gesetzt werden oder die folgenden Werte erhalten:

$$\eta_c = 2\chi \text{ aber } \eta_c \geq 0,8 \tag{6.61d}$$

$$\xi_c = 1,56\chi \text{ aber } \xi_c \geq 0,8 \tag{6.61e}$$

(3) Hohlquerschnitte und Rohre sollten folgende Bedingung erfüllen:

$$\left( \frac{N_{Ed}}{\chi_{\min} \omega_x N_{Rd}} \right)^{\psi_c} + \frac{1}{\omega_0} \left[ \left( \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right)^{1,7} + \left( \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right)^{1,7} \right]^{0,6} \leq 1,00 \quad (6.62)$$

wobei  $\psi_c$  mit 0,8 oder alternativ mit  $1,3\chi_y$  oder  $1,3\chi_z$  je nach Ausweichrichtung beim Knicken aber  $\psi_c \geq 0,8$ .  $\chi_{\min} = \min(\chi_y, \chi_z)$  angesetzt werden kann.

(4) Für den Nachweis anderer offener einfachsymmetrischer Querschnitte bei Biegung um eine über der beiden Achsen kann (6.59) verwendet werden, wobei gegebenenfalls  $\xi_{yc}$ ,  $M_{y,Ed}$ ,  $M_{y,Rd}$  und  $\chi_y$  durch  $\xi_{zc}$ ,  $M_{z,Ed}$ ,  $M_{z,Rd}$  und  $\chi_z$  ersetzt werden.

(5) Die Bezeichnungen in (6.59) bis (6.62) haben folgende Bedeutungen:

$N_{Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Drucknormalkraft;
$M_{y,Ed}$ , $M_{z,Ed}$	Bemessungswerte der einwirkenden Biegemomente um die y- und z-Achse. Die Momente werden nach <i>Theorie 1. Ordnung</i> berechnet;
$N_{Rd} = Af_o / \gamma_{M1}$ oder $A_{eff} f_o / \gamma_{M1}$	für Querschnitte der Klasse 4. Für Bauteile mit Längsnähten aber ohne örtliche Begrenzung der Nähte $N_{Rd} = \kappa Af_o / \gamma_{M1}$ oder $\kappa A_{eff} f_o / \gamma_{M1}$ , siehe 6.3.1;
$\chi_y$ und $\chi_z$	Abminderungsbeiwerte für Knicken in der z-x-Ebene und der y-x-Ebene;
$M_{y,Rd} = \alpha_y W_y f_o / \gamma_{M1}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit um die y-Achse;
$M_{z,Rd} = \alpha_z W_z f_o / \gamma_{M1}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit um die z-Achse;
$\alpha_y, \alpha_z$	Formfaktoren, $\alpha_y$ und $\alpha_z$ sollten nicht größer als 1,25 angesetzt werden. Siehe 6.2.5 und 6.2.9.1(1).

### 6.3.3.2 Biegedrillknicken

(1) Bauteile mit offenem zur Hauptachse symmetrischem, zentralsymmetrischem oder doppelt-symmetrischem Querschnitt sollten folgende Bedingung erfüllen:

$$\left( \frac{N_{Ed}}{\chi_z \omega_x N_{Rd}} \right)^{\eta_c} + \left( \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \omega_{xLT} M_{y,Rd}} \right)^{\gamma_c} + \left( \frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 M_{z,Rd}} \right)^{\xi_{zc}} \leq 1,00 \quad (6.63)$$

Dabei ist

$N_{Ed}$	der Bemessungswert der einwirkenden Drucknormalkraft;
$M_{y,Ed}$	der Bemessungswert des einwirkenden Biegemomentes um die y-Achse. Bei gelenkig gelagerten Druckstäben und bei Bauteilen in seitlich unverschieblichen Rahmen ist $M_{y,Ed}$ das Biegemoment nach <i>Theorie 1. Ordnung</i> . Bei Bauteilen in seitlich verschieblichen Rahmen ist $M_{y,Ed}$ das Biegemoment nach <i>Theorie 2. Ordnung</i> ;

$M_{z,Ed}$  der Bemessungswert des einwirkenden Biegemomentes um die z-Achse.  $M_{z,Ed}$  ist das Biegemoment nach *Theorie 1. Ordnung*;

$N_{Rd} = Af_o / \gamma_{M1}$  oder  $A_{eff}f_o / \gamma_{M1}$  für Querschnitte der Klasse 4. Für Bauteile mit Längsnähten aber ohne örtliche Begrenzung der Nähte  $N_{Rd} = \kappa Af_o / \gamma_{M1}$  oder  $\kappa A_{eff}f_o / \gamma_{M1}$ , siehe 6.3.1;

$\chi_z$  der Abminderungsbeiwert für Knicken, wenn einer oder beide Gurte seitlich ausweichen (Knicken in der x-y-Ebene oder Biegedrillknicken) unter Berücksichtigung von (6.68a) bei Querschnitten mit örtlicher Schweißnaht;

$M_{y,Rd} = \alpha_y W_{y,el} f_o / \gamma_{M1}$  = Bemessungswert der Momententragfähigkeit um die y-Achse;

$M_{z,Rd} = \alpha_z W_{z,el} f_o / \gamma_{M1}$  = Bemessungswert der Momententragfähigkeit um die z-Achse;

$\alpha_y, \alpha_z$  Formfaktoren,  $\alpha_y$  und  $\alpha_z$  sollten nicht größer als 1,25 angesetzt werden. Siehe 6.2.5 und 6.2.9.1(1);

$\chi_{LT}$  der Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken;

$\eta_c = 0,8$  oder alternativ  $\eta_0 \chi_z$  aber  $\eta_c \geq 0,8$

$\gamma_c = \gamma_0$

$\xi_{zc} = 0,8$  oder alternativ  $\xi_0 \chi_z$  aber  $\xi_{zc} \geq 0,8$

wobei  $\eta_0, \gamma_0$  und  $\xi_0$  durch 6.2.9.1 festgelegt sind;

$\omega_x, \omega_0$  und  $\omega_{xLT}$  = Faktoren zur Berücksichtigung der Entfestigung in der WEZ, siehe 6.3.3.3 oder Faktoren für den Bemessungsquerschnitt, siehe 6.3.3.5.

(2) Die Bedingungen für Biegeknicken, siehe 6.3.3.1, müssen auch erfüllt werden.

### 6.3.3.3 Bauteile mit örtlichen Schweißnähten

(1) Bei Bauteilen mit Entfestigung in der WEZ sollten die Werte  $\omega_x, \omega_0$  und  $\omega_{xLT}$  in der Regel aus der Zugfestigkeit des entfestigten Werkstoffes in der WEZ abgeleitet werden. Dies kann für den ungünstigsten Querschnitt im betrachteten Feld geschehen. Wenn die Entfestigung nur örtlich begrenzt in der Länge auftritt, gilt für  $\omega_x, \omega_0$  und  $\omega_{xLT}$  in den Gleichungen in 6.3.3.1 und 6.3.3.2:

$$\omega_0 = \omega_x = \omega_{xLT} = \frac{\rho_{u,haz} f_u / \gamma_{M2}}{f_o / \gamma_{M1}} \text{ aber } \leq 1,00 \quad (6.64)$$

wobei  $\rho_{u,haz}$  der Abminderungsbeiwert nach 6.1.6.2 für den wärmebeeinflussten Werkstoff ist.

(2) Wenn eine Entfestigung, die sich längs des Bauteils auf keine größere Länge als die kleinste Querschnittsbreite (z. B. Gurtbreite) erstreckt, nahe der Feldenden oder der Wendepunkte der Knickbiegeline unter reiner Normalkraft auftritt, so können  $\omega_x$  für Biegeknicken und  $\omega_{xLT}$  für Biegedrillknicken wie folgt vergrößert werden.

$$\omega_x = \frac{\omega_0}{\chi + (1 - \chi) \sin \frac{\pi x_s}{l_c}} \quad (6.65)$$

$$\omega_{xLT} = \frac{\omega_0}{\chi_{LT} + (1 - \chi_{LT}) \sin \frac{\pi x_s}{l_c}} \quad (6.66)$$

$$\omega_0 = \frac{\rho_{u,haz} f_u / \gamma_{M2}}{f_o / \gamma_{M1}} \quad \text{but } \omega_0 \leq 1,00 \quad (6.67)$$

Dabei ist

$\chi = \chi_y$  oder  $\chi_z$  in Abhängigkeit von der Ausweichrichtung;

$\chi_{LT}$  der Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken unter reiner Biegung;

$x_s$  der Abstand von der örtlich begrenzten Schweißung zum Auflager oder zum Wendepunkt der elastischen Knickbiegeline unter reiner Normalkraft, siehe Bild 6.14;

$l_c$  die Knicklänge.

(3) Für die Berechnung von  $\chi$  ( $\chi_y$  oder  $\chi_z$ ) und  $\chi_{LT}$  im Querschnitt mit der örtlichen Schweißnaht sollte die mit der Zugfestigkeit des Werkstoffes in der Wärmeeinflusszone ermittelte bezogene Schlankheit verwendet werden.

$$\bar{\lambda}_{haz} = \bar{\lambda} \sqrt{\omega_0} \quad (6.68a)$$

$$\bar{\lambda}_{haz,LT} = \bar{\lambda}_{LT} \sqrt{\omega_0} \quad (6.68b)$$

(4) Ist die Länge des Entfestigungsbereiches größer als die kleinste Breite (z. B. Gurtbreite) des Querschnitts, dann sollte der Faktor  $\rho_{u,haz}$  für örtliches Versagen in den Ausdrücken  $\omega_x$ ,  $\omega_{xLT}$ ,  $\bar{\lambda}_{haz}$ ,  $\bar{\lambda}_{haz,LT}$  durch den Faktor  $\rho_{o,haz}$  für Fließen ersetzt werden.

(5) Umfasst der örtliche Entfestigungsbereich ein ganzes Querschnittsteil (z. B. ein Gurt), dann ist in der Regel für den gesamten Querschnitt die Entfestigung anzusetzen.

### 6.3.3.4 Bauteile mit örtlich reduziertem Querschnitt

(1) Bauteile mit örtlich reduziertem Querschnitt, z. B. an Schraubenlöchern oder Gurtausschnitte, sollten nach 6.3.3.3 nachgewiesen werden, indem  $\rho_{u,haz}$  in  $\omega_x$  und  $\omega_{xLT}$  durch  $A_{net} / A_g$  ersetzt wird, wobei  $A_{net}$  die Nettoquerschnittsfläche unter Berücksichtigung des Lochabzuges und  $A_g$  die Bruttoquerschnittsfläche ist.

6.3.3.5 Ungleiche Stabendmomente und/oder Querlasten

(1) Bei gleichzeitiger Wirkung von Normalkräften und ungleichen Stabendmomenten und/oder Querkräften, sollte der Nachweis für verschiedene Querschnitte längs des Bauteils geführt werden. In den Interaktionsformeln wird das Biegemoment an der Stelle des jeweils untersuchten Querschnittes verwendet. Für  $\omega_x$  und  $\omega_{xLT}$  gilt:

$$\omega_x = \frac{1}{\chi + (1 - \chi) \sin \frac{\pi x_s}{l_c}} \tag{6.69}$$

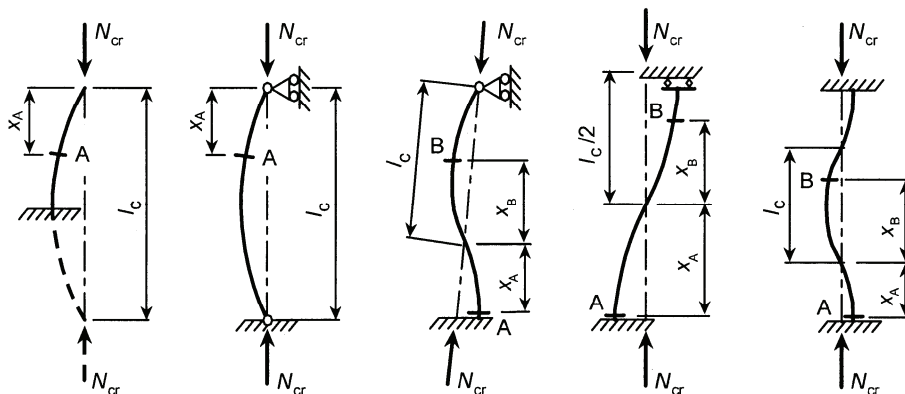
$$\omega_{xLT} = \frac{1}{\chi_{LT} + (1 - \chi_{LT}) \sin \frac{\pi x_s}{l_c}} \tag{6.70}$$

wobei  $x_s$  der Abstand vom untersuchten Querschnitt zum Auflager oder zum Wendepunkt der elastischen Knickbiegeline unter reiner Normalkraft ist, siehe Bild 6.14.

ⓘ

(2) Nur bei Stabendmomenten  $M_{Ed,1} > M_{Ed,2}$  kann der Abstand  $x_s$  wie folgt berechnet werden

$$\cos\left(\frac{x_s \pi}{l_c}\right) = \frac{(M_{Ed,1} - M_{Ed,2})}{M_{Rd}} \cdot \frac{N_{Rd}}{N_{Ed}} \cdot \frac{1}{\pi(1/\chi - 1)} \text{ aber } x_s \geq 0 \tag{6.71}$$



A und B sind Beispiele untersuchter Querschnitte, die mit Querstrichen gekennzeichnet sind. Siehe Tabelle 6.8 zu Knicklängen  $l_c = kL$ .

Bild 6.14 — Knicklänge  $l_c$  und Definition von  $x_s$  ( $= x_A$  oder  $x_B$ )

ⓘ

6.4 Mehrteilige druckbeanspruchte Bauteile

6.4.1 Allgemeines

(1) Regelmäßige, mehrteilige druckbeanspruchte Bauteile, die an ihren Enden gelenkig gelagert und seitlich gehalten sind, sollten mit folgendem Modell bemessen werden, siehe Bild 6.15.

1. Das Bauteil darf als eine Stütze mit einer Anfangsvorkrümmung mit einem Stichmaß von  $e_0 = L / 500$  angesehen werden.



2. Die elastischen Verformungen der Gitterstäbe und Bindebleche, siehe Bild 6.15, dürfen durch eine (verschmierte) kontinuierliche Schubsteifigkeit  $S_V$  des Stützenquerschnitts berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Für andere Randbedingungen dürfen entsprechende Anpassungen vorgenommen werden.

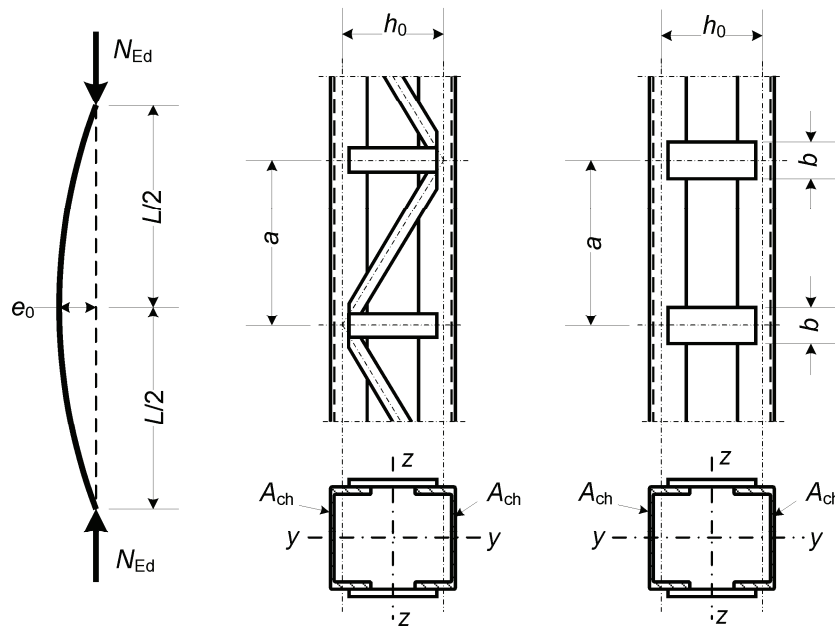
(2) Das Bemessungsmodell für mehrteilige druckbeanspruchte Bauteile ist anwendbar, wenn:

1. die Gitterstäbe und Bindebleche gleichartige wiederkehrende Felder bilden und die Gurtstäbe parallel sind;
2. eine Stütze aus mindestens 3 Feldern besteht.

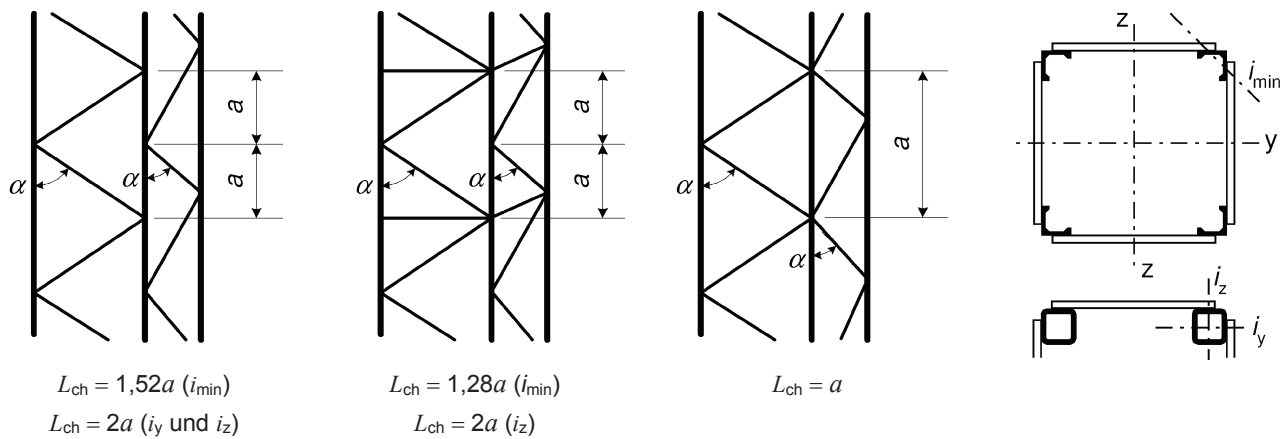
ANMERKUNG Diese Annahme erlaubt es, die Stütze als regelmäßig anzusehen und die diskrete Gitterstab- und Bindeblechstruktur zu einem Kontinuum zu verschmieren.

(3) Das Bemessungsverfahren ist für mehrteilige Querschnitte mit Gitterstäben oder Bindeblechen in zwei Tragebenen anwendbar, siehe Bild 6.16.

(4) Die Gurtstäbe können Vollquerschnitte sein oder selbst rechtwinklig zur betrachteten Ebene in mehrteilige Bauteile mit Gitterstäben und Bindeblechen aufgelöst sein.



**Bild 6.15 — Regelmäßige mehrteilige Stütze mit Gitterstäben (Gitterstützen) und Bindeblechen (Rahmenstützen)**



**Bild 6.16 — Gitterstützen mit Stäben auf vier Seiten und Knicklänge  $L_{ch}$  der Gurtstäbe**

(5) Die Nachweise für die Gitterstäbe sollten mit dem Bemessungswert  $N_{ch,Ed}$  der Gurtstabkraft infolgeder Druckkräfte  $N_{Ed}$  und der Momente  $M_{Ed}$  in der Mitte der mehrteiligen Stütze geführt werden.

(6) Bei Bauteilen mit zwei gleichen Gurtstäben sollte der Bemessungswert  $N_{ch,Ed}$  der Gurtstabkraft wie folgt ermittelt werden:

$$N_{ch,Ed} = 0,5N_{Ed} + \frac{M_{Ed}h_0A_{ch}}{2I_{eff}} \quad (6.72)$$

mit

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed}e_0 + M_{Ed}^1}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}}$$

Dabei ist

$N_{cr} = \pi^2 EI_{eff} / L^2$  effektive ideale Verzweigungslast für das mehrteilige Bauteil;

$N_{Ed}$  der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft auf das mehrteilige Bauteil;

$M_{Ed}$  der Bemessungswert des einwirkenden maximalen Moments in der Mitte des mehrteiligen Bauteils unter Berücksichtigung der Effekte aus der Theorie II. Ordnung;

$M_{Ed}^1$  der Bemessungswert des einwirkenden maximalen Moments in der Mitte des mehrteiligen Bauwerks nach Theorie I. Ordnung (ohne Effekte aus der Theorie II. Ordnung);

$h_0$  der Abstand zwischen den Schwerachsen der Gurtstäbe;

$A_{ch}$  die Querschnittsfläche eines Gurtstabes;

$I_{eff}$  das effektive Flächenträgheitsmoment des mehrteiligen Bauteils, siehe 6.4.2 und 6.4.3;

$S_v$  die Schubsteifigkeit infolge der Verformungen der Gitterstäbe und Bindebleche, siehe 6.4.2 und 6.4.3.

(7) Die Nachweise für die Gitterstäbe bei Gitterstützen oder für die lokalen Momente und Querkräfte bei Stützen mit Bindeblechen sollten für das Modell am Stützende mit den Querkräften an dieser Stelle der Stütze geführt werden:

$$V_{Ed} = \pi \frac{M_{Ed}}{L} \quad (6.73)$$

## 6.4.2 Gitterstützen

### 6.4.2.1 Tragfähigkeit von Elementen von Gitterstützen

(1) Für die druckbeanspruchten Gurtstäbe und für die Gitterstäbe von Gitterstützen sollten Knicknachweise geführt werden.

ANMERKUNG Sekundäre Biegemomente infolge der Knotensteifigkeit dürfen vernachlässigt werden.

(2)P Der Knicknachweis für die Gurtstäbe ist wie folgt zu führen:

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.74)$$

Dabei ist

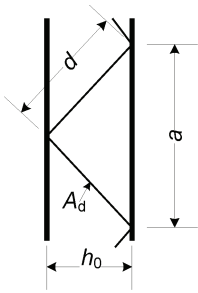
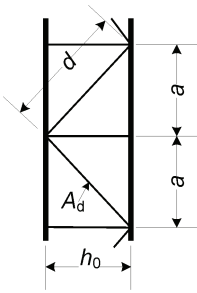
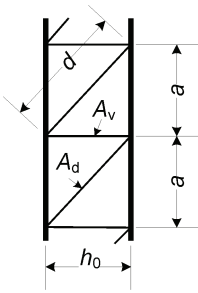
$N_{ch,Ed}$  der Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft im Gurtstab in der Mitte der mehrteiligen Stütze nach 6.4.1(6);

$N_{b,Rd}$  der Bemessungswert der Knicktragfähigkeit des Gurtstabes abhängig von der Knicklänge  $L_{ch}$  aus Bild 6.16.

(3) Die Schubsteifigkeit  $S_y$  der Gitterstäbe kann Bild 6.17 entnommen werden.

(4) Das effektive Flächenträgheitsmoment der Gitterstützen kann aus (6.77) entnommen werden mit  $\mu = 0$ . Daraus folgt:

$$I_{eff} = 0,5h_0^2 A_{ch} \quad (6.75)$$

System			
$S_v$	$\frac{nEA_d a h_0^2}{2d^3}$	$\frac{nEA_d a h_0^2}{d^3}$	$\frac{nEA_d a h_0^2}{d^3 \left( 1 + \frac{A_d h_0^3}{A_v d^3} \right)}$
$n$	ist die Anzahl der Ebenen der Gitterstäbe		
$A_d$ und $A_v$	sind die Querschnittsflächen der Gitterstäbe in einer Ebene		

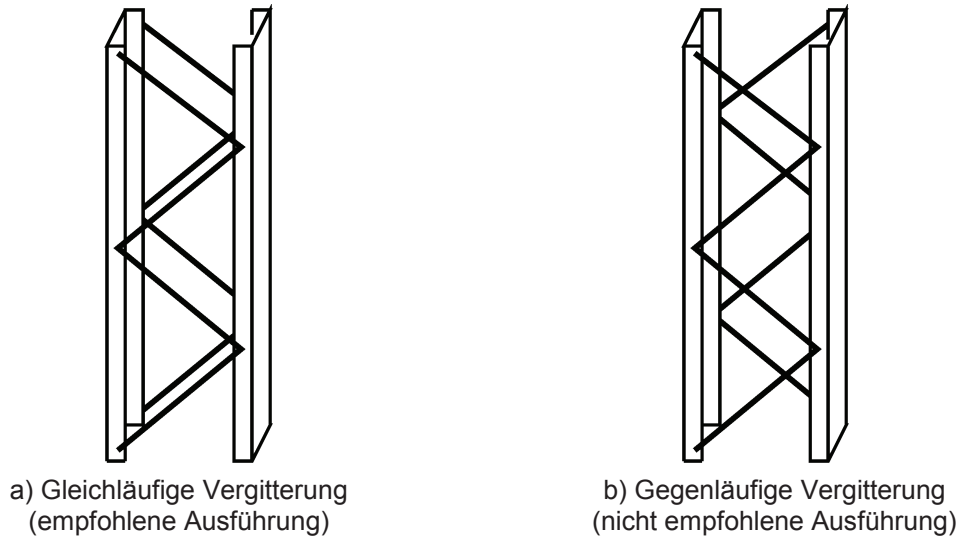
**Bild 6.17 — Schubsteifigkeit von Gitterstützen infolge der Verformungen der Gitterstäbe**

### 6.4.2.2 Konstruktive Durchbildung

(1) Einfache Vergitterungen auf gegenüberliegenden Seiten von Gitterstützen mit zwei parallelen Ebenen sollten in gleichläufiger Anordnung ausgeführt werden, siehe Bild 6.18(a), so dass eine Seite die Projektion der gegenüberliegenden Seite darstellt.

(2) Im Falle einer einfachen Vergitterung mit gegenläufiger Anordnung, siehe Bild 6.18(b), sollte die sich ergebende Torsion berücksichtigt werden.

(3) An den Enden von Gitterstützen und an Stellen, an denen die Vergitterung unterbrochen wird, sowie an Anschlüssen zu anderen Bauteilen sollten Querverbindungen zwischen den Gurtstäben vorgesehen werden.



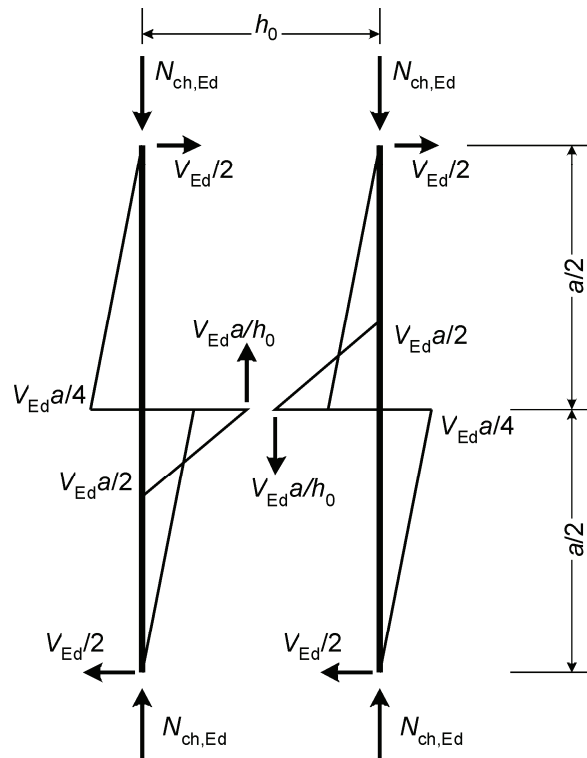
**Bild 6.18 — Einfache Vergitterung von gegenüberliegenden Seiten von Gitterstützen mit zwei parallelen Ebenen**

### 6.4.3 Stützen mit Bindeblechen (Rahmenstützen)

#### 6.4.3.1 Tragfähigkeit von Komponenten von Stützen mit Bindeblechen

(1) Für die Gurtstäbe und Bindebleche sowie deren Anschlüsse an die Gurtstäbe sollten die Tragfähigkeitsnachweise mit den tatsächlichen Momenten und Stabkräften im Endfeld und in Bauteilmitte der Stütze nach Bild 6.19 geführt werden.

ANMERKUNG Vereinfachend darf die einwirkende maximale Gurtstabkraft  $N_{ch.Ed}$  mit der maximalen Querkraft  $V_{Ed}$  kombiniert werden.



**Bild 6.19 — Stabkräfte im Endfeld von Stützen mit Bindeblechen**

- (2) Die Schubsteifigkeit  $S_V$  sollte wie folgt angenommen werden:

$$S_V = \frac{24EI_{ch}}{a^2 \left( 1 + \frac{2I_{ch} h_0}{nI_b a} \right)} \leq \frac{2\pi^2 EI_{ch}}{a^2} \quad (6.76)$$

- (3) Das effektive Flächenträgheitsmoment der Stütze mit Bindeblechen darf wie folgt angenommen werden:

$$I_{eff} = 0,5h_0^2 A_{ch} + 2\mu I_{ch} \quad (6.77)$$

Dabei ist

- $I_{ch}$  das Flächenträgheitsmoment eines Gurtstabes in der Nachweisebene;
- $I_b$  das Flächenträgheitsmoment eines Bindebleches in der Nachweisebene;
- $\mu$  der Wirkungsgrad nach Tabelle 6.9.

Tabelle 6.9 — Wirkungsgrad  $\mu$

Bedingung	Wirkungsgrad $\mu$
$\lambda \geq 150$	0
$75 < \lambda < 150$	$\mu = 2 - \lambda / 75$
$\lambda \leq 150$	1,0
Dabei ist $\lambda = \frac{L}{i_0}$ ; $i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2A_{ch}}}$ ; $I_1 = 0,5h_0^2 A_{ch} + 2I_{ch}$	

6.4.3.2 Konstruktive Durchbildung

- (1) Bindebleche sollten an jedem Ende der Stützen vorgesehen werden.
- (2) Bei Anordnung von Bindeblechen in mehreren Ebenen sollten diese gegenüberliegend angeordnet werden.
- (3) Bindebleche sollten auch an den Lasteinleitungsstellen und Punkten seitlicher Abstützung vorgesehen werden.

6.4.4 Mehrteilige Bauteile mit geringer Spreizung

(l) Mehrteilige druckbeanspruchte Bauteile nach Bild 6.20, bei denen die Teile Kontakt haben oder mit geringer Spreizung durch Futterstücke verbunden sind, sowie Bauteile aus über Eck gestellten Winkeln, die mit paarweise rechtwinklig zueinander angeordneten Bindeblechen nach Bild 6.21 verbunden sind, sollten als Einzelbauteile auf Knickversagen überprüft werden. Dabei kann die Wirkung der Schubsteifigkeit ( $S_v = \infty$ ) vernachlässigt werden, wenn die Voraussetzungen der Tabelle 6.10 eingehalten werden.

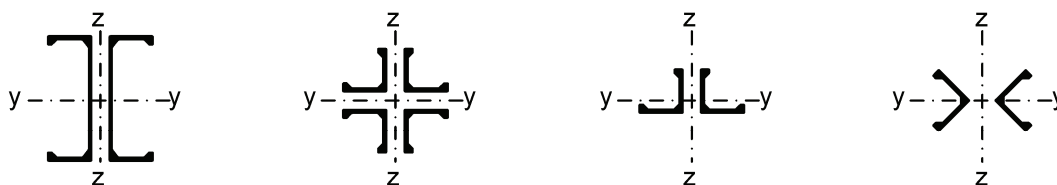


Bild 6.20 — Mehrteilige Bauteile mit geringer Spreizung

Tabelle 6.10 — Maximaler Abstand zwischen den Bindeblechen für mehrteilige Bauteile mit geringer Spreizung oder mehrteilige Bauteile aus über Eck gestellten Winkeln

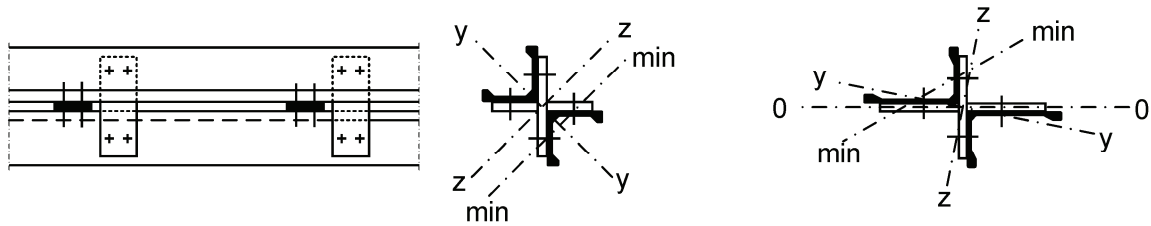
Art der mehrteiligen Querschnitte	Maximaler Abstand zwischen den Achsen von Bindeblechen <sup>*)</sup>
Bauteile nach Bild 6.20, die durch Schrauben oder Schweißnähte verbunden sind	$15i_{min}$
Bauteile nach Bild 6.21, die durch paarweise angeordnete Bindebleche und Schrauben oder Schweißnähte verbunden sind	$70i_{min}$
*) Abstand von Achse zu Achse der Bindebleche $i_{min}$ ist der kleinste Trägheitsradius eines Gurtstabes oder Winkels	

(2) Die durch die Bindebleche zu übertragende Querkraft sollte nach 6.4.3.1(1) ermittelt werden.

(3) Im Falle von ungleichschenkligen Winkeln, siehe Bild 6.21, darf der Nachweis gegen Beulen um die y-y-Achse mit:

$$i_y \cong 0,87 i_0 \quad (6.78)$$

geführt werden, wobei  $i_0$  der Trägheitsradius des mehrteiligen Bauteils um die 0-0-Achse ist.



**Bild 6.21 — Mehrteilige Bauteile aus über Eck gestellten Winkeln**

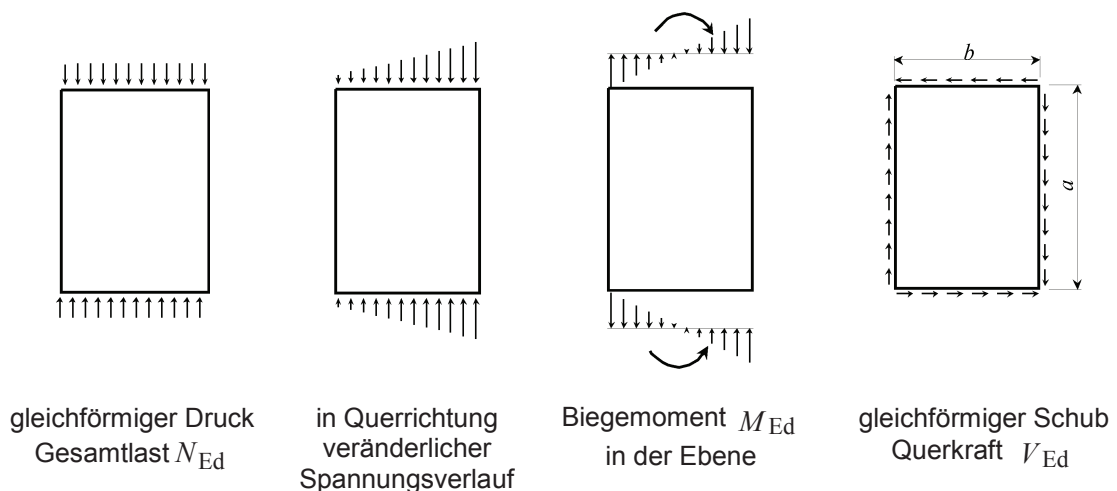
## 6.5 Unausgesteifte, in ihrer Ebene belastete Platten

### 6.5.1 Allgemeines

(1) Bei einigen Tragwerksarten können unausgesteifte Platten als separate Bauteile unter Normalspannung, Schubspannung oder einer Kombination aus beiden vorhanden sein. Die Platten werden durch Schweißen, Nieten, Schrauben oder Kleben mit dem Tragwerk verbunden, wobei die Art der Befestigung die Randbedingungen beeinflussen kann. Dünne Platten müssen für die Grenzzustände der Biegung unter Querlasten, Beulen unter Randspannungen in der Plattenebene und kombinierte Biege- und Beulbeanspruchung nachgewiesen werden. Die in diesem Abschnitt angegebenen Bemessungsregeln beziehen sich nur auf rechteckige Platten. Dünnwandige Stege werden in 6.7 behandelt.

### 6.5.2 Beanspruchbarkeit unter gleichförmigem Druck

(1) In Bild 6.22 ist eine rechteckige Platte mit gleichförmiger Druckrandspannung dargestellt. Die Plattenlänge in Richtung der Druckbeanspruchung ist  $a$  und die Plattenbreite ist  $b$ . Die Dicke wird als konstant angenommen und mit  $t$  bezeichnet. Die Platte kann an allen vier Rändern gelagert sein. Die Lagerung kann gelenkig, eine elastische oder starre Einspannung sein, oder ein Längsrand kann frei sein.



**Bild 6.22 — Unausgesteifte Platten**

(2) Die Beulgefahr unausgesteifter Platten wird durch den Parameter  $\beta = b/t$  bestimmt. Die Klassifizierung des Querschnittes erfolgt wie in 6.1.4 beschrieben, wobei Platten mit gelenkig gelagerten oder elastisch oder starr eingespannten Längsrändern als „Innenteile“ und Platten mit einem freien Längsrand als „außenliegende Teilflächen“ angesetzt werden. Somit gilt:

$\beta \leq \beta_2$	Klasse 1 oder 2
$\beta_2 \leq \beta \leq \beta_3$	Klasse 3
$\beta_3 < \beta$	Klasse 4

wobei die Werte von  $\beta_2$  und  $\beta_3$  in Tabelle 6.2 aufgeführt sind.

(3)P Der Bemessungswert  $N_{Ed}$  der einwirkenden Druckkraft muss die Bedingung

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1,0 \tag{6.79}$$

erfüllen, wobei  $N_{Rd}$  der kleinere Wert von

$$N_{o,Rd} = A_{eff} f_o / \gamma_{M1} \quad (\text{Fließen im Gesamtquerschnitt und örtliches Beulen}) \quad \text{und} \tag{6.80}$$

$$N_{u,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2} \quad (\text{örtliches Versagen, z. B. im Nettoquerschnitt}) \tag{6.81}$$

ist.

Dabei ist

- $A_{eff}$  die wirksame Querschnittsfläche unter Berücksichtigung des örtlichen Beulens bei Querschnitten der Klasse 4 und der Entfestigung in der WEZ von Längsnähten;
- $A_{net}$  die ungünstigste Querschnittsfläche unter Berücksichtigung von ungefüllten Löchern und der Entfestigung in der WEZ von Quer- oder Längsnähten, wenn nötig.

(4)  $A_{eff}$  bei Querschnitten der Klasse 4 ergibt sich, indem eine reduzierte Dicke zur Berücksichtigung des Beulens und der Entfestigung in der WEZ angesetzt wird aber vorhandene Löcher nicht berücksichtigt werden.  $A_{eff}$  wird im Allgemeinen für den ungünstigsten Querschnitt unter Berücksichtigung einer Dicke, für die der kleinere Wert von  $\rho_c t$  und  $\rho_{o,haz} t$  in Bereichen der WEZ angesetzt wird, berechnet. Wenn keine WEZ vorhanden ist, ist  $\rho_c t$  zu verwenden. Bei diesem Nachweis darf die Entfestigung in der WEZ infolge von Schweißnähten an den belasteten Rändern vernachlässigt werden.

Der Faktor  $\rho_c$  ist der günstigere der aus den folgenden Verfahren erhaltenen Werte:

- a) Berechne  $\rho_c$  aus 6.1.5(2) oder entnehme  $\rho_c$  aus Bild 6.5 unter Verwendung der Ausdrücke für Innenteile bei Platten mit gelenkig gelagerten, elastisch oder starr eingespannten Längsrändern und die Ausdrücke für außenliegende Teilflächen bei Platten mit einem freien Längsrand.
- b) Setze  $\rho_c = \chi$ , wobei  $\chi$  der Abminderungsfaktor für Knicken nach 6.3.1 ist. Bei der Berechnung von  $\chi$  ist eine Schlankheit  $\bar{\lambda} = \frac{A_1}{A_2}$  gleich 3,5  $a/t$  anzusetzen, die einer gelenkigen Lagerung an den belasteten Rändern entspricht. Bei eingespannten belasteten Rändern darf nach Ermessen des Entwurfsingenieurs ein geringerer Wert von  $\bar{\lambda} = \frac{A_1}{A_2}$  verwendet werden.



### 6.5.3 Beanspruchbarkeit bei Biegung in der Ebene

(1) Bei der Beanspruchung alleine durch ein an den Rändern (Breite =  $b$ ) einer rechteckigen unausgesteiften Platte (siehe Bild 6.22) angreifendes Moment in der Ebene wird die Beulgefahr durch den Parameter  $\beta = 0,40 b/t$  bestimmt. Die Klassifizierung des Querschnittes erfolgt wie in 6.5.2 beschrieben.

(2)P Der Bemessungswert  $M_{Ed}$  des einwirkenden Biegemomentes muss folgende Bedingung erfüllen:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,0 \quad (6.82)$$

wobei der Bemessungswert der Momententragfähigkeit der geringere Wert von  $M_{o,Rd}$  und  $M_{u,Rd}$  nach (3) und (4) ist.

(3) Der Bemessungswert  $M_{o,Rd}$  der Momententragfähigkeit für Fließen im Gesamtquerschnitt und örtliches Beule ist wie folgt zu berechnen:

Querschnitte der Klassen 1 und 2

$$M_{o,Rd} = W_{pl} f_o / \gamma_{M1} \quad (6.83)$$

Querschnitte der Klasse 3

$$M_{o,Rd} = \left[ W_{el} + \frac{\beta_3 - \beta}{\beta_3 - \beta_2} (W_{pl} - W_{el}) \right] f_o / \gamma_{M1} \quad (6.84)$$

Querschnitte der Klasse 4

$$M_{o,Rd} = W_{eff} f_o / \gamma_{M1} \quad (6.85)$$

Dabei ist

$W_{pl}$  und  $W_{el}$  plastische und elastische Widerstandsmomente des Bruttoquerschnittes oder eines zur Berücksichtigung der Entfestigung in der WEZ der Längsnähte reduzierten Querschnittes, bei dem die vorhandenen Löcher unberücksichtigt bleiben;

$W_{eff}$  elastisches Modul für den wirksamen Querschnitt, das man erhält, indem man eine verminderte Dicke nimmt, zur Berücksichtigung von Beulen als auch Entfestigung von Längsschweißnähten in der WEZ, aber mit vorhandenen Löchern, die unberücksichtigt bleiben. Siehe 6.2.5.2;

$\beta$  Schlankheit des kritischsten Teils im Querschnitt;

$\beta_2$  und  $\beta_3$  Grenzwerte von  $\beta$  für dieses kritischste Teil bei Querschnitten der Klassen 2 und 3.

$\text{A1}$  gestrichener Text  $\text{A1}$

(4) Der Bemessungswert  $M_{u,Rd}$  der Momententragfähigkeit bei örtlichem Versagen in Querschnitten mit Löchern oder Quernähten ist:

$$M_{u,Rd} = W_{net} f_u / \gamma_{M2} \quad (6.86)$$

Dabei ist

$W_{\text{net}}$  elastisches Widerstandsmoment unter Berücksichtigung von Löchern sowie einer reduzierten Dicke  $\rho_{\text{u,haz}} t$  in allen Bereichen, die durch die Entfestigung in der WEZ beeinflusst sind. Siehe 6.2.5.1(2).

**6.5.4 Beanspruchbarkeit bei in Quer- oder Längsrichtung veränderlichen Normalspannungen**

(1)  $\text{A1}$  Bei Beanspruchung einer rechteckigen Platte durch eine linear veränderliche Normalspannungen an ihren Querrändern werden Spannungen in eine Normalkraft und ein Biegemoment überführt, die nach 6.5.2 und 6.5.3 getrennt zu behandeln sind. Die Lastkombination ist nach 6.5.6 zu behandeln.  $\text{A1}$

(2) Wenn die aufgebrachte Druckkraft oder das in der Ebene wirkende Biegemoment längs der Platte (d. h. in Richtung der Abmessung  $a$ ) veränderlich sind, sollte für Querschnitte der Klasse 1, 2 oder 3 der Bemessungswert der Momententragfähigkeit an jedem beliebigen Querschnitt nicht geringer als die Beanspruchung unter der Bemessungslast sein.  $\text{A1}$  Bei Querschnitten der Klasse 4 sollte der Nachweis gegen Fließen für jeden Querschnitt geführt werden  $\text{A1}$ , aber bei der Beuluntersuchung genügt es, den Bemessungswert der Beanspruchbarkeit mit dem Bemessungswert der Beanspruchung in einem Abstand von dem stärker belasteten Plattenrand zu vergleichen, der das 0,4-fache der elastischen Beulhalbwellenlänge beträgt.

**6.5.5 Beanspruchbarkeit durch gleichförmige Schubspannungen**

(1) Bild 6.22 zeigt eine rechteckige Platte unter gleichförmiger Schubbeanspruchung. Die Dicke ist konstant, die Lagerung an allen vier Rändern ist entweder gelenkig oder elastisch oder starr eingespannt.

(2) Die Beulgefahr unter Schubbeanspruchung wird durch  $\beta = b/t$  bestimmt, wobei  $b$  die Länge der kürzeren Seite ist. Für alle Randbedingungen wird die schubbeanspruchte Platte wie folgt als schlank oder nicht schlank eingestuft, d. h. klassifiziert:

$\beta \leq 39\varepsilon$  Querschnitt der Klasse 1, 2 oder 3

$\beta > 39\varepsilon$  Querschnitt der Klasse 4

Dabei ist

$\varepsilon = \sqrt{250 / f_o}, f_o \text{ in N/mm}^2$

(3) Der Bemessungswert  $V_{\text{Ed}}$  der einwirkenden Querkraft sollte in jedem Querschnitt folgende Bedingung erfüllen:

$V_{\text{Ed}} \leq V_{\text{Rd}}$  (6.87)

wobei  $V_{\text{Rd}}$  sich als der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit des ungünstigsten Querschnittes wie folgt ergibt:

a) Querschnitte der Klassen 1, 2 und 3 ( $\beta \leq 39\varepsilon$ ):

$V_{\text{Rd}} = A_{\text{net}} f_o / (\sqrt{3} \gamma_{\text{M1}})$  (6.88)

wobei  $A_{\text{net}}$  die wirksame Nettoquerschnittsfläche unter Berücksichtigung von Löchern und einer reduzierten Dicke  $\text{A1}$   $\rho_{\text{o,haz}} t$   $\text{A1}$  in jeder durch Entfestigung in der WEZ beeinflussten Zone ist. Wenn die WEZ sich über den gesamten Rand der Platte erstreckt, wird angenommen, dass die reduzierte Dicke

für den gesamten Querschnitt gilt. Bei der Berücksichtigung von Löchern, können kleine Löcher vernachlässigt werden, wenn ihre Gesamtquerschnittsfläche kleiner als 20 % der Gesamtquerschnittsfläche  $bt$  ist.

b) Querschnitte der Klasse 4 ( $\beta > 39\varepsilon$ ):

Bei der Ermittlung von  $V_{Rd}$  sollten sowohl das Fließen als auch das Beulen berücksichtigt werden. Für den Nachweis gegen Fließen ist der voranstehende Absatz a) zu verwenden. Für den Beulnachweis gilt:

$$V_{Rd} = v_1 b t f_o / (\sqrt{3} \gamma_{M1}) \quad (6.89)$$

Dabei ist

$$v_1 = 17t\varepsilon\sqrt{k_\tau} / b \text{ aber nicht mehr als } v_1 = k_\tau \frac{430t^2\varepsilon^2}{b^2} \quad [A_1] \text{ und } v_1 \leq 1,0 \quad [A_1]$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00(b/a)^2 \text{ wenn } a/b \geq 1$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34(b/a)^2 \text{ wenn } a/b < 1$$

ANMERKUNG Diese Gleichungen berücksichtigen nicht die Zugfeldwirkung. Wenn jedoch die Randlagerungen der Platte die Ausbildung eines Zugfeldes ermöglichen, kann das in 6.7.3 angegebene Verfahren angewendet werden.

### 6.5.6 Beanspruchbarkeit bei kombinierten Einwirkungen

(1) Eine Platte, die unter der Bemessungslast eine kombinierte Beanspruchung durch eine Normalkraft und ein Biegemoment in der Ebene erfährt, sollte für die verschiedenen Schnittgrößen in Anlehnung an 6.5.2 den entsprechenden Klassifizierungen zugeordnet werden. Dementsprechend sollte der Wert  $\beta$  für die Randspannungsverläufe ermittelt werden, die bei alleiniger Wirkung der Kraft ( $N_{Ed}$ ) und des Momentes ( $M_{Ed}$ ) vorliegen.

(2) Bei Platten der Klasse 4, sollte jede der einzelnen Beanspruchbarkeiten  $N_{c,Rd}$  und  $[A_1] M_{o,Rd} [A_1]$  für die spezifische betrachtete Einwirkungsart berechnet werden.

(3) Bei gleichzeitiger Wirkung von Normalkraft und Biegemoment in der Ebene, sollte folgende Bedingung erfüllt werden:

$$[A_1] \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{o,Rd}} \leq 1,00 \quad (6.90a) [A_1]$$

(4)  $[A_1]$  Wenn bei der Einwirkungskombination auch eine Querkraft  $V_{Ed}$  auftritt, kann sie unberücksichtigt bleiben, wenn sie nicht größer ist als  $0,5V_{Rd}$  (siehe 6.5.8). Wenn  $V_{Ed} > 0,5 V_{Rd}$  ist, sollte folgende Bedingung erfüllt werden:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} + \left( \frac{2V_{Ed}}{V_{Rd}} - 1 \right)^2 \leq 1,00 \quad (6.90b) [A_1]$$

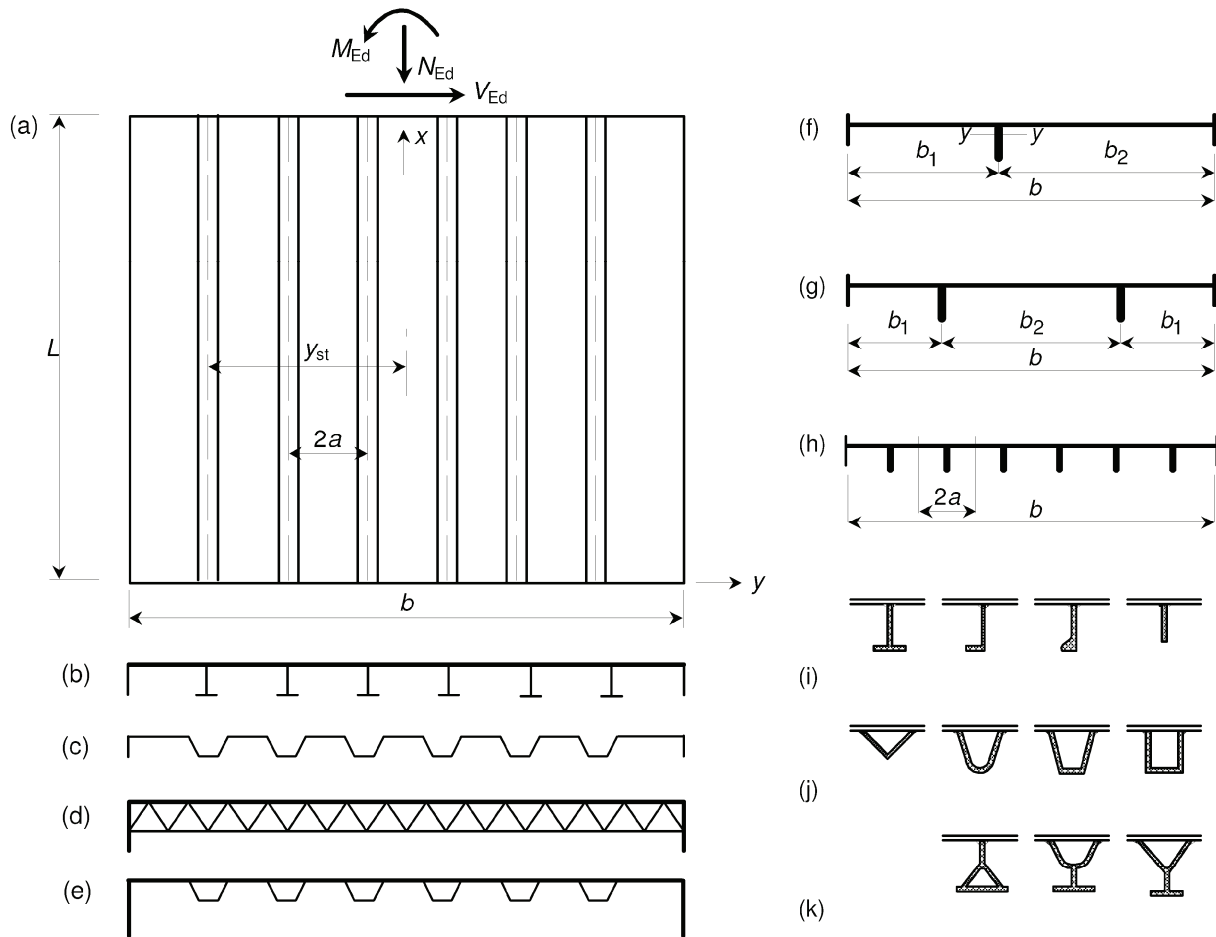
## 6.6 Ausgesteifte, in ihrer Ebene belastete Platten

### 6.6.1 Allgemeines

(1) Die folgenden Regeln betreffen Platten, die an allen vier Rändern gelagert und mit einer oder zwei mittigen oder außenmittigen Längssteifen oder drei oder mehr äquidistanten Längssteifen oder durch eine Profilierung (siehe Bild 6.23) verstärkt sind. Es werden auch Regeln für orthotrope Platten (Bild 6.23(c), (d) und (e)) und 6.6.6) angegeben. Regeln für stranggepresste Profile mit einer oder zwei offenen Steifen werden in 6.1.4.3 angegeben.

(2) Die Steifen können auf ihrer gesamten Länge ungestützt sein oder über Quersteifen durchlaufen. Für die Länge  $L$  sollte der Abstand zwischen den Auflagern der Steifen angenommen werden. Ein wesentliches Merkmal der Bemessung ist, dass die Längssteifen nicht aber die Quersteifen „unterkritisch“ sind, d. h. die Längssteifen, nicht aber die Quersteifen, sich mit dem Blech ausbeulen.

(3) Die Beanspruchbarkeit dieser Platten durch Normalspannungen in Richtung der Steifen ist in 6.6.2 bis 6.6.4 und die durch Schubspannungen ist in 6.6.5 angegeben. Die Interaktion zwischen unterschiedlichen Einwirkungen kann in der selben Art und Weise berücksichtigt werden, wie für unausgesteifte Platten (siehe 6.7.6). Die Verfahren gelten auch dann, wenn der Querschnitt Teile enthält, die als schlank eingestuft sind.



(i) offene Steifen, (j) geschlossene Steifen, (k) kombinierte Steifen

**Bild 6.23 — Ausgesteifte Platten und Steifenarten**

(4) Für die Beanspruchbarkeit ebener, durch Normalspannungen rechtwinklig zur Richtung der Längssteifen beanspruchter Platten mit Längssteifen, kann die Beanspruchbarkeit der unausgesteiften Platte angenommen werden. Bei profilierten Platten, die rechtwinklig zur Richtung der Profilierung durch Normalspannungen beansprucht werden, ist die Beanspruchbarkeit vernachlässigbar gering. Orthotrope Platten können eine beträchtliche Beanspruchbarkeit in Querrichtung besitzen.

### 6.6.2 Ausgesteifte Platten unter gleichförmigem Druck

(1)P Allgemeines

Bevor Nachweise geführt werden, ist der Querschnitt unter Berücksichtigung aller seiner Teile nach 6.1.4 als kompakt oder schlank einzustufen.

Der Bemessungswert  $N_{Ed}$  der Druckkraft muss folgende Bedingung erfüllen:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1,0 \quad (6.91)$$

wobei  $N_{Rd}$  der kleinere Wert von  $N_{u,Rd}$  und  $N_{c,Rd}$  nach (2) und (3) ist.

(2) Nachweis gegen Fließen

Der gesamte Querschnitt sollte in gleicher Weise wie eine Stütze (siehe 6.3) auf örtliches Fließen nachgewiesen werden. Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit  $N_{u,Rd}$  basiert in der Regel auf der Nettoquerschnittsfläche  $A_{net}$  für den ungünstigsten Querschnitt, **A1) gestrichener Text A1)** der gegebenenfalls Entfestigung in der WEZ und auch ungefüllte Löcher berücksichtigt.

$$N_{u,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2} \quad (6.92)$$

(3) Knicknachweis

Die Platte wird als Anordnung identischer Knickstäbe betrachtet, wobei jeder Knickstab in seiner Mitte eine Steife oder Profilierung enthält und eine Breite gleich dem Maß **A1) 2a A1)** nach Bild 6.23 hat. Der Bemessungswert der axialen Tragfähigkeit  $N_{c,Rd}$  wird dann angenommen als:

$$N_{c,Rd} = A_{eff} \chi f_o / \gamma_{M1} \quad (6.93)$$

Dabei ist

$\chi$  der Abminderungsbeiwert für Biegeknicken;

$A_{eff}$  die wirksame Querschnittsfläche der Platten unter Berücksichtigung von örtlichem Beulen und Entfestigung in der WEZ infolge von Längsschweißnähten. Eine Entfestigung in der WEZ infolge von Schweißnähten an den belasteten Rändern oder an Quersteifen kann bei der Ermittlung von  $A_{eff}$  unberücksichtigt bleiben. Ungefüllte Löcher können auch vernachlässigt werden.

Den Abminderungsbeiwert  $\chi$  erhält man in der Regel aus der maßgebenden Knicklinie, die für das Knicken aus der Blechebene der Längssteife als beidseitig gelenkig gelagerter Stab gilt.

(4) Die bezogene Schlankheit  $\bar{\lambda}$  zur Berechnung von  $\chi$  ist

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_o}{N_{\text{cr}}}} \quad (6.94)$$

Dabei ist

$N_{\text{cr}}$  die elastische, mit dem Bruttoquerschnitt ermittelte orthotrope Beullast.

(5) Für eine Platte mit *offenen Steifen*:

$$N_{\text{cr}} = \frac{\pi^2 EI_y}{L^2} + \frac{L^2 c}{\pi^2} \quad \text{wenn } L < \pi \sqrt[4]{\frac{EI_y}{c}} \quad (6.95)$$

$$N_{\text{cr}} = 2\sqrt{c EI_y} \quad \text{wenn } L \geq \pi \sqrt[4]{\frac{EI_y}{c}} \quad (6.96)$$

wobei  $c$  die elastische Bettung aus der Platte nach den Ausdrücken in (6.97), (6.98) oder (6.99) ist und  $I_y$  das Trägheitsmoment aller Steifen  $A_1$  und der Platte  $A_1$  innerhalb der Plattenbreite  $b$  ist.

(6) Für ein Querschnittsteil mit einer *mittigen oder außermittigen Steife* (Bild 6.23(f)) gilt:

$$c = \frac{0,27Et^3b}{b_1^2 b_2^2} \quad (6.97)$$

wobei  $t$  die Plattendicke,  $b$  die Gesamtbreite der Platte und  $b_1$  und  $b_2$  die Breite der Plattenteile an beiden Seiten der Steife ist.

(7) Für ein Querschnittsteil mit *zwei symmetrischen Steifen* mit einem Abstand  $b_1$  vom Längsrand (Bild 6.23(g)):

$$c = \frac{1,1Et^3}{b_1^2 (3b - 4b_1)} \quad (6.98)$$

(8) Für eine *mehrfach ausgesteifte Platte mit offenen Steifen* (Bild 6.23(c), (b) (h) und (i)) mit geringer Torsionssteifigkeit gilt

$$c = \frac{8,9 Et^3}{b^3} \quad (6.99)$$

(9) Für eine mehrfach ausgesteifte Platte mit geschlossenen oder teilweise geschlossenen Steifen (Bild 6.23 (e) und (j)) gilt

$N_{\text{cr}}$  ist die elastische orthotrope Beullast. Siehe 6.6.6.

(10) Die Halbwellenlänge, die bei elastischem Beulen verwendet wird, wenn die Einwirkungen in Richtung der Steifen oder Profilierung veränderlich ist (siehe 6.6.4(3)) ist

$$l_w = \pi \sqrt[4]{\frac{EI_y}{c}} \quad (6.100)$$

### 6.6.3 Ausgesteifte Platten unter Biegung in ihrer Ebene

#### (1) Allgemeines

Ein Nachweis für das Fließen (siehe 6.6.3(3)) und ein Nachweis für das Knicken (siehe 6.6.3(4)) sollten durchgeführt werden.

#### (2) Klassifizierung der Querschnitte und örtliches Beulen

Für jeden der beiden Nachweise sollte der Querschnitt als Klasse 2, 3 und 4 (siehe 6.1.5) eingestuft werden. Für die Klassifizierung einzelner Teile und auch zur Bestimmung der wirksamen Dicken für schlanke Teile  $\overline{\sigma}_{A1}$  sollte  $\overline{\sigma}_{A1}$  allgemein angenommen werden, dass jedes Teil gleichmäßig druckbeansprucht ist, indem in 6.1.4.3  $\eta = 1$  angesetzt wird. Im Falle des Nachweises gegen Fließen ist es jedoch zulässig,  $\eta$  für die tatsächliche Spannungsverteilung in Teilen zu berechnen, die die äußersten Bereiche der Platte umfassen und diesen Wert auch für die entsprechenden, weiter innen liegenden Teile zu verwenden. Dies kann vorteilhaft sein, wenn die Anzahl der Steifen oder Profilierungen gering ist.

#### (3) Nachweis gegen Fließen

Der gesamte Querschnitt der ausgesteiften Platte sollte wie ein Träger unter Biegebeanspruchung in der Ebene behandelt werden (siehe 6.2.5). Der Bemessungswert der Momentenbeanspruchbarkeit  $M_{Rd}$  sollte für den ungünstigsten Querschnitt unter Berücksichtigung örtlichen Beulen, gegebenenfalls Entfestigung in der WEZ und auch aller Löcher ermittelt werden.

#### (4) Knicknachweis

Die Platte wird in gleicher Weise wie für Axialdruck (siehe 6.6.2(3)) als Anordnung von Knickstäben betrachtet, wobei der Bemessungswert der Momentenbeanspruchbarkeit  $\overline{\sigma}_{A1} M_{o,Rd} \overline{\sigma}_{A1}$  wie folgt angesetzt wird:

$$\overline{\sigma}_{A1} M_{o,Rd} = \frac{\chi I_{eff} f_o}{y_{st} \gamma_{M1}} \overline{\sigma}_{A1} \quad (6.101)$$

Dabei ist

$\overline{\sigma}_{A1} \chi \overline{\sigma}_{A1}$  der Abminderungsbeiwert für Biegeknicken eines Einzelstabes;

$I_{eff}$  das Trägheitsmoment des wirksamen Querschnitts der Platte bei Biegung in der Plattenebene;

$y_{st}$  der Abstand von der Plattenmitte zur Mitte der äußersten Steife.

Der Abminderungsbeiwert  $\overline{\sigma}_{A1} \chi \overline{\sigma}_{A1}$  sollte auf die gleiche Weise bestimmt werden wie bei gleichförmigem Druck (siehe 6.6.2(3)).

### 6.6.4 Gleichförmig versteifte Platten mit in Längsrichtung veränderlichen Spannungen

#### (1) Allgemeines

Fälle, in denen die Einwirkung von  $N_{Ed}$  oder  $M_{Ed}$  auf eine gleichförmig versteifte Platte in Richtung der Steifen oder Profilierung veränderlich ist, werden in 6.6.4(2) und 6.6.4(3) beschrieben.

#### (2) Nachweis gegen Fließen

In jedem Querschnitt sollte der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit mindestens gleich dem Bemessungswert der Beanspruchung sein.

(3) Knicknachweis

Bei dem Knicknachweis genügt es, den Bemessungswert der Beanspruchbarkeit mit dem Bemessungswert der Beanspruchung in einem Abstand  $0,4l_w$  von dem stärker belasteten Plattenrand zu vergleichen, wobei  $l_w$  die Halbwellenlänge für elastisches Beulen nach 6.6.2(10) ist.

**6.6.5 Gleichförmig versteifte Platten unter Schubbeanspruchung**

(1) Ein Nachweis gegen Fließen (siehe (2)) und ein Beulnachweis (siehe (3)) sollten durchgeführt werden. Es gelten die in 6.6.5(2) und (3) angegebenen Regeln, wenn die Steifen oder Profilierungen sowie die Platte selbst:

- a) an beiden Querrändern wirksam mit dem Querrahmen verbunden und
- b) an jeder Quersteife durchlaufend ausgeführt sind.

(2) Nachweis gegen Fließen: Für den Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit  $V_{Rd}$  wird der Wert einer ebenen unausgesteiften Platte der selben Abmessungen ( $L \times b$ ) ~~gestrichener Text~~ nach 6.5.5(2) ermittelt.

(3) Beulnachweis: Der Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit wird nach 6.8.2 bestimmt. Zur Bestimmung der Beanspruchbarkeit sollten die folgenden Werte verwendet werden (Beachte den Unterschied im Koordinatensystem,  $x$  und  $y$  in Bild 6.23 sind  $z$  und  $x$  in Bild 6.33):

$B_y = Et^3 / 10,9$  für eine ebene Platte mit Steifen, andernfalls siehe 6.6.6(1)

$B_x = EI_y / b$  wobei  $I_y$  das Trägheitsmoment von Steifen und Platte innerhalb der Breite  $b$  um deren Schwerpunktsachse parallel zur Plattenebene ist.

$h_w$  Knicklänge  $l$ , die in vorsichtiger Näherung gleich der Spannweite  $L$  gesetzt werden kann (siehe Bild 6.23). Wenn  $L$  den Wert  $b$  erheblich überschreitet, darf der Nachweis mit der günstigeren Beanspruchbarkeit  $V_{o,cr}$  der elastischen Schubbeullast der orthotropen Platte geführt werden. Bei den Beulnachweisen darf die Entfestigung in der WEZ vernachlässigt werden.

**6.6.6 Beullasten orthotroper Platten**

(1) Für eine orthotrope Platte unter gleichförmiger Druckbeanspruchung kann der Nachweis nach 6.6.2 erfolgen. Die elastische Beullast  $N_{cr}$  für eine gelenkig gelagerte orthotrope Platte ist:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2}{b} \left[ \frac{B_x}{(L/b)^2} + 2H + B_y(L/b)^2 \right] \quad \text{wenn } \frac{L}{b} < 4 \sqrt{\frac{B_x}{B_y}} \quad (6.102)$$

$$N_{cr} = \frac{2\pi^2}{b} \left[ \sqrt{B_x B_y} + H \right] \quad \text{wenn } \frac{L}{b} \geq 4 \sqrt{\frac{B_x}{B_y}} \quad (6.103)$$

Die Ausdrücke für  $B_x$ ,  $B_y$  und  $H$  für verschiedene Querschnitte sind in Tabelle 6.11 angegeben, wozu die Ausdrücke ~~A1~~ (6.104) bis (6.110) ~~A1~~ folgend aufgeführt sind. (Die Indizes  $x$  und  $y$  bezeichnen die Steifigkeiten in den Querschnitten  $x = \text{constant}$  und  $y = \text{constant}$ ).



**Tabelle 6.11, Fall Nr. 2:**

$$B_y = \frac{2B a}{2a_4 + \frac{2a_1 a_3 t_1^3 (4a_2 t_3^3 + a_3 t_2^3)}{a_3 t_1^3 (4a_2 t_3^3 + a_3 t_2^3) + a_1 t_3^3 (12a_2 t_3^3 + 4a_3 t_2^3)}} \quad (6.104)$$

$$H = 2B + \frac{G I_t}{2a} \left[ 1 + \frac{3,3 G I_1 a_4^2}{L_b^2 a B} \left[ 1 + \frac{1}{\pi^4 C_1 / L^4 + C_2} \right] \right] \quad (6.105)$$

mit

$$L_b = L \text{ jedoch } L_b \leq \frac{b}{3} \sqrt[4]{\frac{B_x}{B_y}} \quad (6.105a)$$

$$C_1 = 4(1 - \nu^2) (a_2 + a_3) a_1^2 a_4^2 h^2 t_2 / (3a t_1^3) \quad (6.106)$$

$$B = \frac{E t_1^3}{12(1 - \nu^2)} \quad (6.107)$$

$$C_2 = \frac{4(a_1 + a_2)^2 a_1 a_4 (1 + a_1 / a_2 + a_2 / a_1 + a^2 / (a_1 a_3)) \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^3}{a_2^3 (3a_3 + 4a_2)} \quad (6.108)$$

**Tabelle 6.11, Fall Nr. 5:**

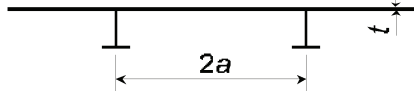
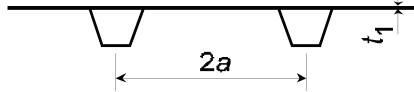
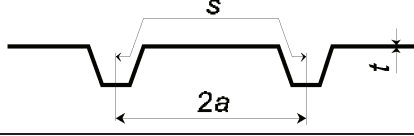
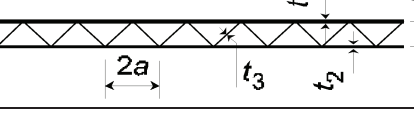
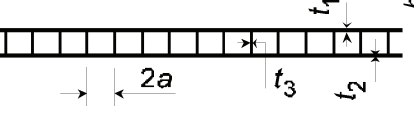
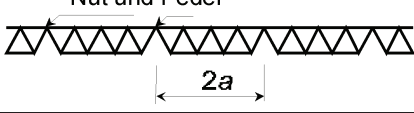
$$B_y = \frac{1}{\frac{1}{B_v} + \frac{t_1 + t_2}{E t_1 t_2 h^2}} \quad (6.109)$$

Dabei ist

$$B_v = \frac{E t_1^3}{12(1 - \nu^2)} \frac{10b^2}{32a^2} \frac{a t_3^3 + a t_2^3 t_3^3 / t_1^3 + 6h t_2^3}{a t_3^3 + 2h(t_1^3 + t_2^3) + 3h^2 t_1^3 t_2^3 / (a t_3^3)} \quad (6.109a)$$

$$H = \frac{2E}{3 \left( 1 - \frac{t_3}{2a} \right)^3} \left[ \frac{t_1^3}{1 + \frac{6t_1}{2a - t_3}} + \frac{t_2^3}{1 + \frac{6t_2}{2a - t_3}} \right] \quad (6.110)$$

Tabelle 6.11 — Biege- und Torsionssteifigkeit orthotroper Platten

Fall Nr.	Querschnitt	$B_x$ (entsprechend zu $EI_y$ )	$B_y$ (entsprechend zu $EI_x$ )	$H$
1		$\frac{EI_L}{2a}$	$\frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$	$\frac{Gt^3}{6}$
2		$\frac{EI_L}{2a}$	Gleichung (6.104)	Gleichung (6.105)
3		$\frac{EI_L}{2a}$	$\frac{2a}{s} \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$	$\frac{2a}{s} \frac{Gt^3}{6}$
4		$\frac{EI_L}{2a}$	$\frac{Et_1 t_2 h^2}{t_1 + t_2}$	$\frac{GI_t}{2a}$
5		$\frac{EI_L}{2a}$	Gleichung (6.109)	Gleichung (6.110)
6		$\frac{EI_L}{2a}$	0	$\frac{GI_t}{2a}$

$I_L$  Trägheitsmoment einer Steife und der anschließenden Platte innerhalb der Breite  $2a$

$I_T$  Torsionsträgheitsmoment des gleichen Querschnittes

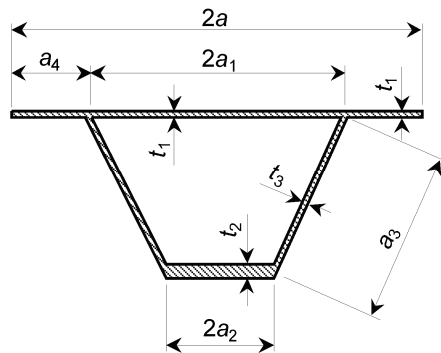


Bild 6.24 — Bezeichnungen beim Querschnitt einer geschlossenen Steife

(2) Die Querkraftbeanspruchbarkeit einer orthotropen Platte im Hinblick auf globales Beulen kann für  $\phi \leq 1$  nach 6.8.2(3) berechnet werden, mit:

$$\tau_{cr,g} = \frac{k_\tau \pi^2}{LA} \sqrt[4]{B_y B_x^3} \tag{6.111}$$

$$k_{\tau} = 3,25 - 0,567\phi + 1,92\phi^2 + (1,95 + 0,1\phi + 2,75\phi^2)\eta_h \quad (6.112)$$

$$\phi = \frac{L}{b} \sqrt[4]{\frac{B_y}{B_x}} \quad (6.113)$$

$$\eta_h = \frac{H}{\sqrt{B_x B_y}} \quad (\text{gilt für } \eta_h < 1,5) \quad (6.114)$$

$B_x$ ,  $B_y$  und  $H$  werden in Tabelle 6.11 angegeben und  $A$  ist die Querschnittsfläche im kleinsten Querschnitt für  $y = \text{constant}$  (In Tabelle 6.11:  $A = Lt$  für die Fälle 1, 2 und 3 sowie  $A = L(t_1 + t_2)$  für die Fälle 4 und 5, für Fall 6 nicht anwendbar).

Wenn sich  $\phi > 1$  ergibt, sind die Breiten  $L$  und  $b$  und die Indizes  $x$  und  $y$  in (6.111) und (6.113) zu vertauschen, und es ist  $A = b \sum t$ .

## 6.7 Vollwandträger mit schlanken Stegen

### 6.7.1 Allgemeines

(1) Ein Vollwandträger mit schlankem Steg ist ein Träger mit Zuggurt, Druckgurt und einem hohen Steg. Der Steg ist gewöhnlich schlank und kann in Querrichtung mit Lasteinleitungssteifen und Zwischensteifen versteift sein. Er kann auch durch Längssteifen ausgesteift sein.

(2) Schubbeanspruchte Stege beulen bei relativ gering Schubbeanspruchungen, aber infolge der Zugfeldwirkung kann im Nachbeulbereich eine beträchtliche Tragfähigkeitssteigerung erreicht werden. Schlanke Vollwandträger haben manchmal Querversteifungen in Form von gewellten oder trapezförmigen Stegen oder eng angeordneten Quersteifen.

(3) Schlanke Vollwandträger können durch eine Kombination aus Momenten-, Schub- und Längsbelastung und örtlicher Belastung auf den Gurten beansprucht werden. Wegen ihrer Schlankheit können sie durch Biegedrillknicken gefährdet werden, wenn sie nicht entlang ihrer Länge ausreichend seitlich gehalten werden.

(4) Die in dieser Norm angegebenen Regeln für schlanke Vollwandträger können im Allgemeinen auch für die Stege von Kastenträgern verwendet werden.

Versagensarten und Hinweise auf Abschnitte mit Gleichungen zur Berechnung der Beanspruchbarkeit sind in Tabelle 6.12 angegeben.

**Tabelle 6.12 — Beulformen und zugehörige Abschnitte für die Berechnung der Beanspruchbarkeit**

Beulform	Abschnitt
Stegbeulen infolge Druckspannungen	6.7.2 und 6.7.3
Schubbeulen	6.7.4 und 6.8
Interaktion von Querkraft und Biegemoment	6.7.6
Stegbeulen infolge örtlicher Belastung auf den Gurten	6.7.5
Gurtinduziertes Stegbeulen	6.7.7
Drillknicken der Gurte (örtliches Beulen)	6.1.5
Biegedrillknicken	6.3.2

### 6.7.2 Beanspruchbarkeit bei Biegung in der Trägerebene

(1) Ein Nachweis gegen Fließen und ein Nachweis gegen Beulen sollten durchgeführt werden, wobei bei Stegen mit durchlaufenden Längsnähten der Einfluss der WEZ berücksichtigt werden sollte. Der durch Schweißnahtanschlüsse von Quersteifen verursachte Einfluss der WEZ und kleine Löcher im Steg, die den Stegquerschnitt um nicht mehr als 20 % vermindern, können vernachlässigt werden. Die Steghöhe zwischen den Gurten ist  $h_w$  und der Abstand zwischen den Schweißnahtübergängen an den Gurten ist  $b_w$  (siehe Bild 6.25).

(2)P Für den Nachweis gegen Fließen muss der Bemessungswert  $M_{Ed}$  des Momentes in jedem Querschnitt die folgende Bedingung erfüllen:

$$M_{Ed} \leq M_{o,Rd} \quad (6.115)$$

wobei  $M_{o,Rd}$ , der Bemessungswert der Momentenbeanspruchbarkeit des Querschnitts ist, der hätte, wenn der Querschnitt in Klasse 3 eingestuft wäre. Somit gilt:

$$M_{o,Rd} = W_{net} f_o / \gamma_{M1} \quad (6.116)$$

wobei  $W_{net}$  das elastische Widerstandsmoment ist, bei dem Löcher und in den an die Gurte angrenzenden Bereichen, die durch die Entfestigung des Materials in der WEZ beeinflusst sein könnten, eine reduzierte Dicke  $\rho_{o,haz}t$  berücksichtigt ist (siehe 6.1.6.2).

(3) Für den Beulnachweis wird angenommen, dass die Quersteifen die Anforderungen in 6.7.8 an wirksame Steifenquerschnitte erfüllen. Es wird ferner angenommen, dass der Abstand zwischen benachbarten Quersteifen größer ist als die Hälfte der lichten Höhe des Stegs zwischen den Gurten. Wenn dies nicht der Fall ist, so sind die Regelungen in 6.8 zu profilierten oder eng ausgesteiften Stegen zu beachten.

(4) Für jedes Feld der Länge  $a$  zwischen den Quersteifen eines Trägers sollte das Biegemoment unter der Bemessungslast in einem Abstand  $0,4 a$  vom stärker beanspruchten Rand den Bemessungswert der Momentenbeanspruchbarkeit  $\boxed{A1}$   $M_{o,Rd}$   $\boxed{A1}$  dieses Feldes nicht überschreiten, mit:

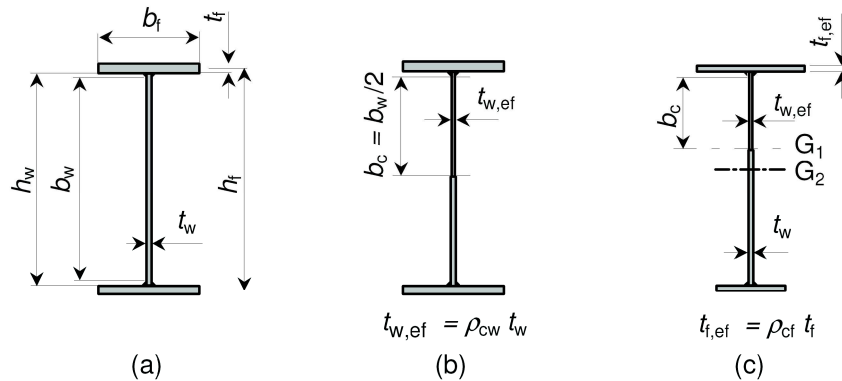
$$\boxed{A1} M_{o,Rd} = W_{eff} f_o / \gamma_{M1} \boxed{A1} \quad (6.117)$$

$W_{eff}$  ist das wirksame elastische Widerstandsmoment, bei dem durch eine reduzierte Dicke sowohl das Beulen als auch eine Entfestigung in der WEZ berücksichtigt wird, aber vorhandene Löcher unberücksichtigt bleiben. Für die reduzierte Dicke ist in Bereichen der WEZ der kleinere Wert von  $\rho_{o,haz}t$  und  $\rho_c t$  und im übrigen  $\rho_c t$  anzusetzen, siehe 6.2.5.

(5) Die Dicke wird in jedem Teil der Klasse 4, das völlig oder teilweise druckbeansprucht ist ( $b_c$  in Bild 6.25), reduziert. Das in 6.1.4.3 verwendete Spannungsverhältnis  $\psi$  und die entsprechende Breite  $b_c$  kann mit der wirksamen Fläche des Druckgurtes und der Bruttoquerschnittsfläche des Steges erhalten, siehe Bild 6.25(c), Schwerpunkt  $G_1$ .

(6) Liegt die gedrückte Randfaser des Stegs näher an der neutralen Faser des Trägers als die gezogene Randfaser, siehe Bild 6.25(c), so kann das Verfahren in 6.1.4.3 verwendet werden.

Dieses Verfahren erfordert im Allgemeinen eine iterative Berechnung, in der  $\psi$  bei jedem Schritt aufs neue aus den Spannungen ermittelt wird, die sich mit dem am Ende des vorangegangenen Schrittes festgelegten wirksamen Querschnitt ergeben.



### Legende

- (a) Querschnittsbezeichnungen.
- (b) wirksamer Querschnitt für einen symmetrischen Vollwandträger mit Gurten der Klasse 1, 2 und 3.
- (c) wirksamer Querschnitt für einen Träger mit kleinerem Zug (Unter-)Gurt und einem Druck (Ober-)Gurt der Klasse 4

**Bild 6.25 — Biegebeanspruchter Vollwandträger mit schlankem Steg**

### 6.7.3 Beanspruchbarkeit von Trägern mit Längssteifen am Steg

- (1) Das Stegbeulen infolge von Längsdruckspannungen kann dadurch berücksichtigt werden, dass der wirksame Querschnitt der Klasse 4 angesetzt wird.
- (2) Die Querschnittswerte des wirksamen Querschnittes sollten mit den wirksamen Flächen der druckbeanspruchten Teile unter Berücksichtigung ihrer Lage innerhalb des wirksamen Querschnittes ermittelt werden.
- (3) In einem ersten Schritt sollten die wirksamen Flächen von druckbeanspruchten Teilfeldern zwischen den Steifen in der Regel aus den wirksamen Dicken nach 6.1.5 berechnet werden. Siehe Bild 6.26.
- (4) Gesamtfeldbeulen einschließlich Ausknicken der Steifen wird als das Biegeknicken eines Druckstabes betrachtet, der aus den Steifen und der Hälfte des angrenzenden Stegteils besteht. Wechseln die Spannungen über die Höhe des Teilfeldes von Druck nach Zug, so wird ein Drittel des druckbeanspruchten Bereiches des Teilfeldes als wie ein fiktiver Druckstab behandelt. Siehe Bild 6.26(c).
- (5) Die wirksamen Dicken der einzelnen Teile des fiktiven Druckstabes werden in einem zweiten Schritt mit einem Abminderungsbeiwert  $\chi$ , der sich für den beiderseits gelenkig gelagerten Stab mit der für das Ausweichen rechtwinklig zur Stegebene maßgebenden Knickkurve ergibt, weiter reduziert.
- (6) Die bezogene Schlankheit  $\bar{\lambda}$  zur Berechnung von  $\chi$  ist

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{st,eff} f_o}{N_{cr}}} \quad (6.118)$$

Dabei ist

$A_{st,eff}$  die wirksame Fläche des fiktiven Druckstabes im ersten Schritt, siehe Bild 6.26e, und  $N_{cr}$  die elastische Knicklast ist, die durch den folgenden Ausdruck angegeben wird:

$$N_{cr} = 1,05 E \frac{\sqrt{I_{st} t_w^3 b_w}}{b_1 b_2} \quad \text{wenn} \quad a > a_c \quad (6.119)$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{st}}{a^2} + \frac{E t_w^3 b_w a^2}{4\pi^2(1-\nu^2) b_1^2 b_2^2} \quad \text{wenn} \quad a \leq a_c \quad (6.120)$$

$$a_c = 4,33 \sqrt[4]{\frac{I_{st} b_1^2 b_2^2}{t_w^3 b_w}} \quad (6.121)$$

Dabei ist

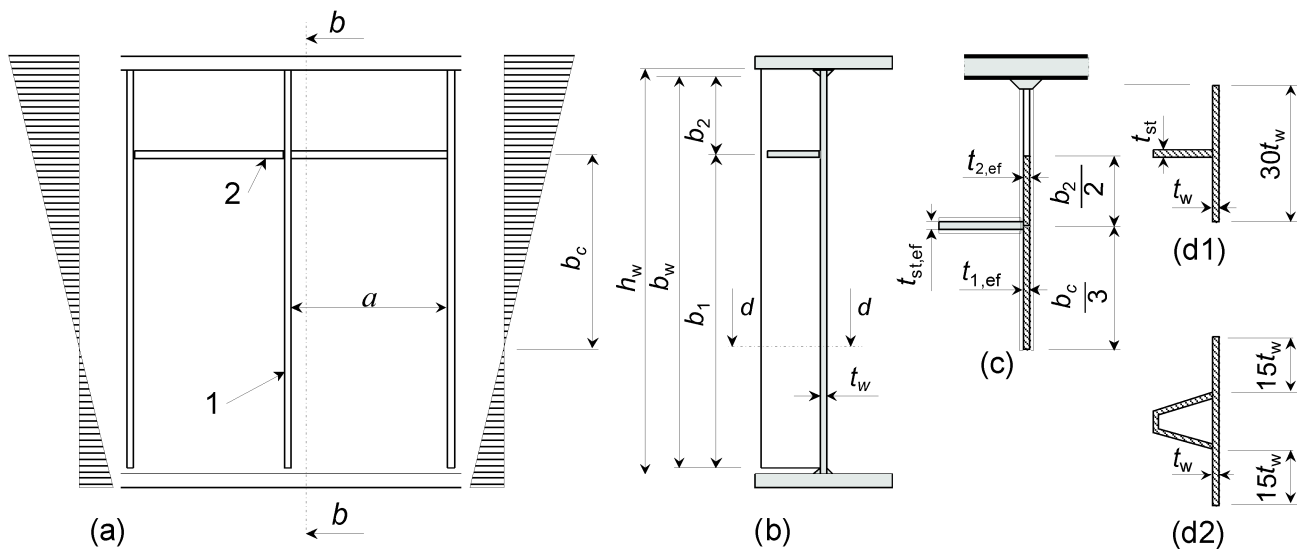
$I_{st}$  das Trägheitsmoment des Bruttoquerschnitts der Steife und des angrenzender Teil des Stegs (siehe (7)) um die zur Ebene des Stegs parallele Achse durch seinen Schwerpunkt;

$b_1$  und  $b_2$  die Abstände der Längsränder von der Steife ( $b_1 + b_2 = b_w$ );

$a_c$  die elastische Knicklänge der Steife.

(7) Bei der Berechnung von  $I_{st}$  besteht der fiktive Druckstab aus der Steife selbst und einer wirksamen Breite  $15t_w$  des Stegbleches beiderseits Seiten der Steife. Siehe Bild 6.26(d1) und (d2).

(8) Im Fall von zwei druckbeanspruchten Längssteifen werden die beiden Steifen zu einer Einheit zusammengefasst, mit einer wirksamen Fläche und einem Trägheitsmoment, die gleich der Summe dieser Werte für die einzelnen Steifen sind. Diese zusammengefasste Steife liegt an der Stelle der Resultierenden der Längskräfte in den beiden Steifen. Ist eine der beiden Steifen zugbeansprucht, so liegt das Verfahren auf der sicheren Seite.



**Legende**

- (a) Ausgesteifter Steg
- (b) Querschnitt
- (c) wirksame Querschnittsfläche eines fiktiven Druckstabes
- (d1), (d2) fiktiver Querschnitt eines fiktiven Druckstabes zur Berechnung von  $I_{st}$
- 1 Quersteife
- 2 Längssteife

**Bild 6.26 — Ausgesteifter Steg eines biegebeanspruchten schlanken Vollwandträgers**

#### 6.7.4 Schubbeanspruchbarkeit

(1) Dieser Abschnitt enthält Regeln für das Plattenbeulen infolge Querkräften, wenn folgende Kriterien erfüllt sind:

- a) Die Abweichung der Felder von der Rechtwinkligkeit und der Gurte von der Parallelität ist nicht größer als  $10^\circ$ .
- b) Wenn überhaupt, werden Steifen in Längs- und/oder Querrichtung vorgesehen.
- c) Offene Löcher oder Ausschnitte sind klein und auf Durchmesser  $d$  begrenzt, die die Bedingung  $d/h_w \leq 0,05$  erfüllen, wobei  $h_w$  die Plattenbreite ist.
- d) Die Bauteile sind gleichförmig.

(2)P Ein schubbeanspruchter Vollwandträger muss gegen Beulen wie folgt nachgewiesen werden:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1,0$$

Dabei ist

$V_{Ed}$  der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft;

$V_{Rd}$  der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit, siehe 6.7.4.1 oder 6.7.4.2.

##### 6.7.4.1 Vollwandträger mit Stegassteifungen an den Auflagern

(1) Dieser Abschnitt enthält Regeln für das Plattenbeulen infolge Querkräften für den Fall, dass nur an den Auflagern Steifen vorhanden sind.

(2) Platten mit  $h_w/t_w > (2,37/\eta)\sqrt{E/f_0}$  sollten auf Schubbeulen untersucht werden.

ANMERKUNG Für  $\eta$  siehe Tabelle 6.13, für  $h_w$  und  $t_w$  siehe Bild 6.27.

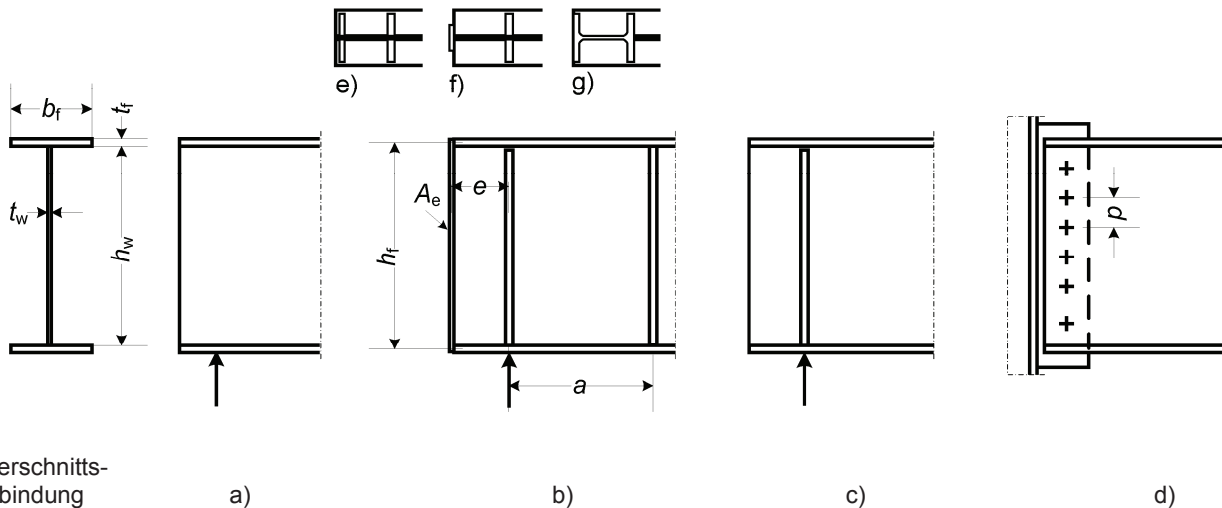
(3) Für Stege, die nur an den Auflagern Quersteifen haben, ist der Bemessungswert  $V_{Rd}$  der Querkrafttragfähigkeit in der Regel:

$$V_{Rd} = \rho_v t_w h_w \frac{f_0}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad (6.122)$$

wobei  $\rho_v$  ein Faktor für das Schubbeulen ist, den man aus Tabelle 6.13 oder Bild 6.28 entnehmen kann.

**Tabelle 6.13 — Faktor  $\rho_v$  für Schubbeulen**

Bereiche von $\lambda_w$	Steife Endsteife	Nachgiebige Endsteife
$\lambda_w \leq 0,83/\eta$	$\eta$	$\eta$
$0,83/\eta < \lambda_w < 0,937$	$0,83/\lambda_w$	$0,83/\lambda_w$
$0,937 \leq \lambda_w$	$2,3/(1,66 + \lambda_w)$	$0,83/\lambda_w$
$\square_{A1}$ $\eta = 0,7 + 0,35 f_{uW} / f_{oW}$ $\square_{A1}$ aber nicht größer als 1,2, wobei $f_{oW}$ die Fließgrenze bei Plastizieren des Steges und $\square_{A1}$ $f_{uW}$ $\square_{A1}$ die Zugfestigkeit des Stegmaterials ist.		



Querschnitts-  
 verbindung

**Legende**

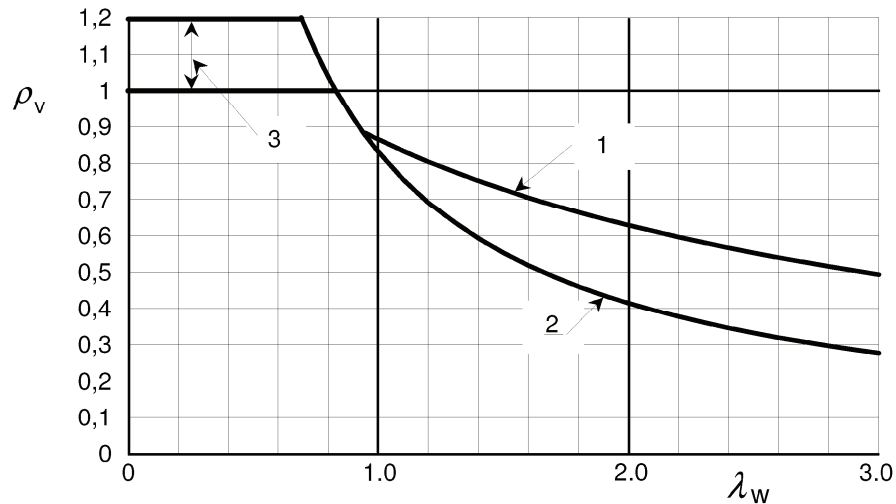
- a) Keine Endsteife
- b) Steife Endsteife
- c) Nachgiebige Endsteife
- d) Schraubenbezeichnungen
- e), f), g) Alternative steife Endstreben

**Bild 6.27 — Endsteifen**

Bild 6.27 zeigt unterschiedliche Endauflager für Träger:

- a) keine Endsteife, siehe 6.7.5, Typ c);
- b) steife Endsteifen, siehe 6.7.8.1. Dieser Fall kann auch auf Felder angewendet werden, die nicht am Ende des Trägers liegen, und solche, die an einem Zwischenauflager eines Durchlaufträgers liegen;
- c) nachgiebige Endsteifen, siehe 6.7.8.2;
- d) Schraubenverbindungen, siehe 6.7.8.2, sind bei der Berechnung der Beanspruchbarkeit als nachgiebig einzustufen.





### Legende

- 1 Steife Endsteife,
- 2 Nachgiebige Endsteife,
- 3 Bereich von  $\eta$

**Bild 6.28 — Faktor  $\rho_v$  für Schubbeulen**

(3) Die Schlankheit  $\lambda_w$  in Tabelle 6.13 und Bild 6.28 ist wie folgt zu ermitteln:

$$\lambda_w = 0,35 \frac{b_w}{t_w} \sqrt{\frac{f_o}{E}} \quad (6.123)$$

#### 6.7.4.2 Vollwandträger mit Zwischenaussteifungen am Steg

(1) Dieser Abschnitt enthält Regeln für das Plattenbeulen infolge Querkräften für den Fall, dass Steifen in Längs- und/oder Querrichtung vorhanden sind.

(2) Platten mit  $h_w / t_w > (1,02 / \eta) \sqrt{k_\tau E / f_o}$  sollten auf Schubbeulen untersucht werden und mit Quersteifen an den Auflagern versehen werden.

ANMERKUNG Für  $\eta$  siehe Tabelle 6.13, für  $h_w$  und  $t_w$  siehe Bild 6.29 und für  $k_\tau$  siehe (6)

(3) Für Träger mit Quer- und Längssteifen ist der Bemessungswert  $V_{Rd}$  der Querkrafttragfähigkeit die Summe des Steganteils  $V_{w,Rd}$  und des Gurtanteils  $V_{f,Rd}$ .

$$V_{Rd} = V_{w,Rd} + V_{f,Rd} \quad (6.124)$$

wobei  $V_{w,Rd}$  teilweise die Zugfeldwirkung nach (4) erfasst und  $V_{f,Rd}$  eine durch den örtlichen Biege widerstand der Gurte verursachte Verstärkung der Zugfeldwirkung nach (10) ist.

(4) Der Beitrag des Steges zum Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit ist in der Regel:

$$\boxed{A1} V_{w,Rd} = \rho_v t_w h_w \frac{f_o}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad \boxed{A1} \quad (6.125)$$

wobei  $\rho_v$  der Faktor für Schubbeulen ist, den man aus Tabelle 6.13 oder Bild 6.28 entnehmen kann.

(5) Die Schlankheit  $\lambda_w$  wird wie folgt ermittelt:

$$\lambda_w = \frac{0,81}{\sqrt{k_\tau}} \frac{b_w}{t_w} \sqrt{\frac{f_o}{E}} \quad (6.126)$$

wobei  $k_\tau$  der kleinste Beulwert für Schub für das Stegfeld ist. Starre Ränder können angenommen werden, wenn Gurte und Quersteifen steif sind, siehe 6.7.8.3. Das Stegfeld ist dann das Feld zwischen zwei angrenzenden Quersteifen.

(6) Bei der Berechnung von  $k_\tau$  sollte das Trägheitsmoment der Längssteifen auf ein Drittel ihres **A1** gestrichener Text **A1** Wertes reduziert werden. Gleichungen für  $k_\tau$ , die dies berücksichtigen, sind in (7) und (8) angegeben.

(7) Für Platten mit steifen Quersteifen und ohne Längssteifen oder mit mehr als zwei Längssteifen lautet der Beulwert  $k_\tau$  für Schub in (5) wie folgt:

$$k_\tau = 5,34 + 4,00(b_w/a)^2 + k_{\tau st} \quad \text{wenn } a/b_w \geq 1 \quad (6.127)$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34(b_w/a)^2 + k_{\tau st} \quad \text{wenn } a/b_w < 1 \quad (6.128)$$

Dabei ist

$$k_{\tau st} = 9 \left( \frac{b_w}{a} \right)^2 \left( \frac{I_{st}}{t_w^3 b_w} \right)^{\frac{3}{4}} \quad \text{aber nicht weniger als } \frac{2,1}{t_w} \left( \frac{I_{st}}{b_w} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6.129)$$

$a$  der Abstand zwischen den Quersteifen. Siehe Bild 6.29;

$I_{st}$  das Trägheitsmoment der Längsstiefe in Bezug auf die z-Achse. Siehe Bild 6.29(b). Für Stege mit zwei oder mehreren gleichen Steifen, auch mit ungleichen Abständen, ist  $I_{st}$  **A1** das Flächenträgheitsmoment **A1** der einzelnen Steifen.

(8) Der Ausdruck (6.129) gilt auch für Platten mit ein oder zwei Längssteifen, wenn das Längenverhältnis  $a/b_w \geq 3$  ist. Für Platten mit einer oder zwei Längssteifen und einem Längenverhältnis  $a/b_w < 3$  sollte der Schubbeulwert wie folgt angesetzt werden:

$$k_\tau = 4,1 + \frac{6,3 + 0,18 I_{st} / (t_w^3 b_w)}{a^2} + 2,2 \left( \frac{I_{st}}{t_w^3 b_w} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6.129a)$$

(9) Für Stege mit Längssteifen wird die relative Schlankheit  $\lambda_w$  in der Regel mit nicht weniger als

$$\lambda_w = \frac{0,81}{\sqrt{k_{\tau 1}}} \frac{b_{w1}}{t_w} \sqrt{\frac{f_o}{E}} \quad (6.130)$$

angesetzt,

wobei sich  $k_{\tau 1}$  und  $b_{w1}$  auf das Teilfeld mit der größten Schlankheit  $\lambda_w$  aller Teilfelder innerhalb des betrachteten Stegfeldes beziehen. Zur Berechnung von  $k_{\tau 1}$  kann der Ausdruck in 6.7.4.2(7) mit  $k_{\tau st} = 0$  verwendet werden.

(10) Wenn die Beanspruchbarkeit der Gurte durch das Biegemoment nicht ausgenutzt ist ( $M_{Ed} < M_{f,Rd}$ , Kurve (1) in Bild 6.32), kann deren Beitrag  $V_{f,Rd}$  zum Schubbeulwiderstand wie folgt angesetzt werden:

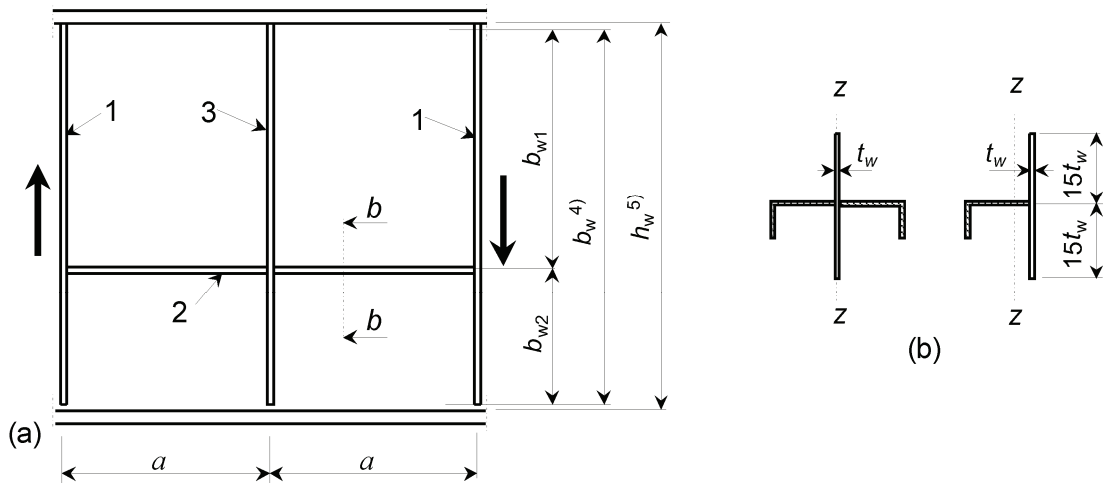
$$V_{f,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{of}}{c \gamma_{M1}} \left( 1 - \left( \frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) \quad (6.131)$$

wobei  $b_f$  und  $t_f$  für die Gurte angesetzt werden, die zur geringsten Beanspruchbarkeit führen;

$b_f$  wird an jeder Seite des Stegs nicht größer als  $15t_f$  angesetzt;

$M_{f,Rd}$  der Bemessungswert der Momentenbeanspruchbarkeit des Querschnittes, der nur die wirk-samen Gurte berücksichtigt ist;

$$c = a \left( 0,08 + \frac{4,4b_f t_f^2 f_{of}}{t_w b_w^2 f_{ow}} \right) \quad (6.131a)$$



### Legende

- 1 Starre Quersteife
- 2 Längssteife
- 3 Nachgiebige Quersteife
- 4) Abstand zwischen Kehlnähten
- 5) zwischen Gurten

Bild 6.29 — Steg mit Quer- und Längssteifen

(11) Zur Berücksichtigung einer Normalkraft  $N_{Ed}$  sollte der Wert  $M_{f,Rd}$  mit einem Faktor verringert werden:

$$\left( 1 - \frac{N_{Ed}}{(A_{f1} + A_{f2}) f_{of} / \gamma_{M1}} \right) \quad (6.132)$$

wobei  $A_{f1}$  und  $A_{f2}$  die Flächen von Ober- und Untergurt sind.

$\square$  (12)  $\square$  Ist  $M_{Ed} \geq M_{f,Rd}$  dann ist  $V_{f,Rd} = 0$ . Hinsichtlich weiterer Interaktionen, siehe 6.7.6.

## 6.7.5 Beanspruchbarkeit unter Querlasten

### 6.7.5.1 Grundlage

(1) Die Beanspruchbarkeit des Stegs von geschweißten Trägern und solchen aus stranggepressten Profilen unter Querlasten, die über einen Gurt aufgebracht werden, kann mit den folgenden Regeln ermittelt werden, wenn ein seitliches Ausweichen der Gurte durch ihre eigene Steifigkeit oder durch Abstützungen verhindert wird.

(2) Folgende Fälle der Lastabtragung werden unterschieden :

- a) Die Belastung eines Gurtes wird durch Querkräfte im Steg abgetragen, siehe Bild 6.30(a).
- b) Die Belastung eines Gurtes wird durch den Steg zum anderen Gurt übertragen, siehe Bild 6.30(b).
- c) Die Belastung eines Gurtes erfolgt in der Nähe eines unausgesteiften Endes, siehe Bild 6.30(c).

(3) Für Kastenträger mit geneigten Stegen sollten sowohl die Beanspruchbarkeit des Stegs als auch die des Gurtes nachgeprüft werden. Als Kräfte sind für Steg und Gurt die Komponenten der äußeren Last in der jeweiligen Ebene anzusetzen.

(4)P Die Beanspruchbarkeit des für Querlasten, die über einen Gurt aufgebracht werden, ist wie folgt nachzuweisen:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1,0 \quad (6.133)$$

Dabei ist

$F_{Ed}$  der Bemessungswert der Querlast;

$F_{Rd}$  der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit durch Querlasten, siehe 6.7.5.2.

(5) Die Wechselwirkung von Querlast, Biegemoment und Normalkraft sollte unter Verwendung von 6.7.6.2 nachgewiesen werden.

### 6.7.5.2 Bemessungswert der Beanspruchbarkeit

(1) Für unausgesteifte oder ausgesteifte Stege sollte der Bemessungswert  $F_{Rd}$  der Beanspruchbarkeit durch örtliches Beulen unter Querlasten wie folgt angesetzt werden:

$$F_{Rd} = L_{eff} t_w f_{ow} / \gamma_{M1} \quad (6.134)$$

Dabei ist

$f_{ow}$  der charakteristische Wert der Streckgrenze des Stegmaterials;

$L_{eff}$  die wirksame Länge für die Beanspruchbarkeit durch Querlasten, die aus folgender Gleichung bestimmt werden sollte:

$$L_{eff} = \chi_F l_y \quad (6.135)$$

mit

$l_y$  wirksame durch die Querlast belastete Länge, siehe 6.7.5.5, entsprechend der Länge der steifen Auflagerungen  $s_s$ , siehe 6.7.5.3;

$\chi_F$  Abminderungsfaktor für Beulen infolge Querlast, siehe 6.7.5.4.

### 6.7.5.3 Lasteinleitungslänge

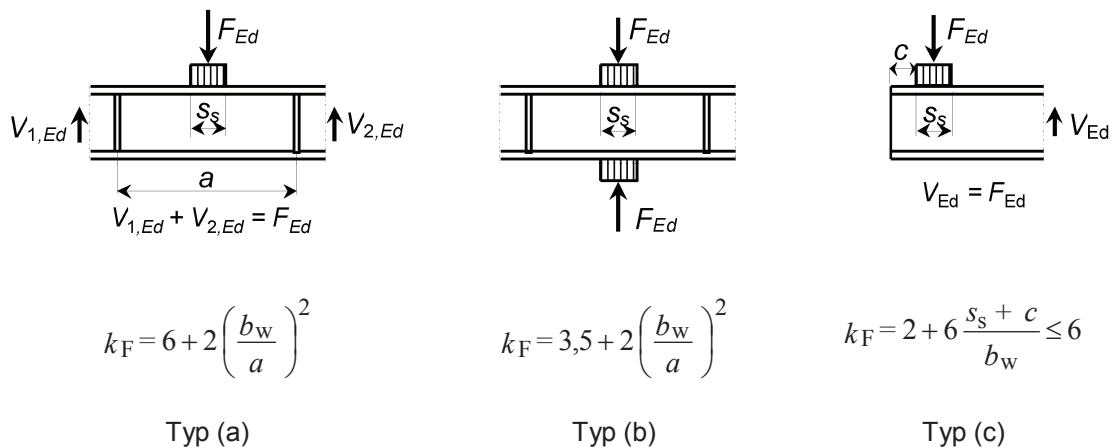


Bild 6.30 — Einleitung von Querlasten und zugehörige Beulwerte

(1) Die Lasteinleitungslänge  $s_s$  ist die Belastungslänge auf dem Gurt. Sie darf entsprechend Bild 6.31 unter Berücksichtigung einer Lastausbreitung unter  $45^\circ$  durch massive Teile (Gurt, aufliegende Gurte) vergrößert werden. Jedoch sollte  $s_s$  nicht größer als  $b_w$  angesetzt werden.

(2) Wenn mehrere konzentrierte Einzellasten in dichtem Abstand angreifen ( $s_s$  für Einzellasten > Abstand zwischen den Einzellasten), ist die Beanspruchbarkeit in der Regel sowohl für jede Einzellast als auch für die Gesamtlast mit  $s_s$  als Mittenabstand zwischen den äußeren Lasten nachzuweisen.

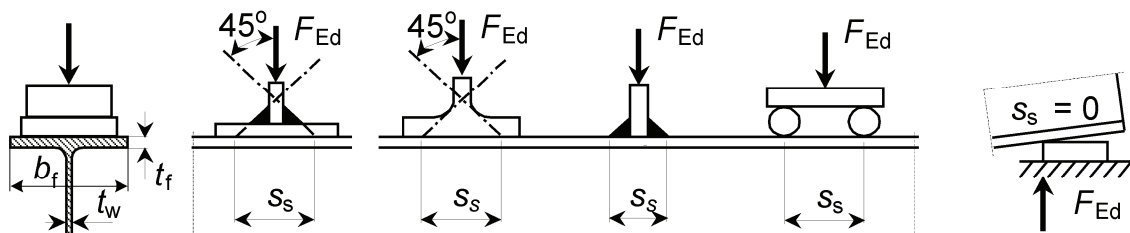


Bild 6.31 — Lasteinleitungslänge

#### 6.7.5.4 Abminderungsfaktor $\chi_F$ für die Beanspruchbarkeit

(1) Der Abminderungsfaktor  $\chi_F$  für die Beanspruchbarkeit sollte nach folgender Gleichung bestimmt werden:

$$\chi_F = \frac{0,5}{\lambda_F} \text{ aber nicht größer als } 1,0 \quad (6.136)$$

mit

$$\lambda_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{ow}}{F_{cr}}} \quad (6.137)$$

$$F_{cr} = 0,9 k_F E t_w^3 / h_w \quad (6.138)$$

$l_y$  wirksame durch die Querlast belastete Länge, die man aus 6.7.5.5 erhält.

(2) Für Stege ohne Längssteifen sollte der Faktor  $k_F$  aus Bild 6.30 ermittelt werden.

(3) Für Stege mit Längssteifen sollte  $k_F$  wie folgt angesetzt werden.

$$k_F = 6 + 2(h_w / a)^2 + (5,44 b_1 / a - 0,21) \sqrt{\gamma_s} \quad (6.139)$$

Dabei ist

$b_1$  die Höhe des belasteten Teilfeldes ist, die als lichter Abstand zwischen dem belasteten Flansch und der Steife angesetzt wird;

$$\gamma_s = 10,9 I_{sl} / (h_w t_w^3) \leq 13(a / h_w)^3 + 210(0,3 - b_1 / h_w). \quad (6.140)$$

wobei  $I_{sl}$  das Trägheitsmoment (um die z-z-Achse) der dem belasteten Flansch am nächsten liegenden Steife, einschließlich mitwirkender Teile des Stegs nach Bild 6.29 ist. Gleichung (6.140) gilt für  $0,05 \leq b_1 / h_w \leq 0,3$  und eine Belastung nach Typ (a) in Bild 6.30.

#### 6.7.5.5 Wirksame belastete Länge

(1) Die wirksame belastete Länge  $l_y$  sollte mit zwei dimensionslosen Parametern  $m_1$  und  $m_2$  berechnet werden, die mit folgender Gleichung bestimmt werden:

$$m_1 = \frac{f_{of} b_f}{f_{ow} t_w} \quad (6.141)$$

$$m_2 = 0,02 \left( \frac{h_w}{t_f} \right)^2 \text{ wenn } \lambda_F > 0,5 \text{ dann } m_2 = 0 \quad (6.142)$$

Für Kastenträger wird  $b_f$  im Ausdruck (6.141) auf  $15t_f$  auf jeder Seite des Stegs begrenzt.

(2) Für die Fälle (a) und (b) in Bild 6.30 sollte  $l_y$  nach folgender Gleichung bestimmt werden:

$$l_y = s_s + 2t_f \left( 1 + \sqrt{m_1 + m_2} \right), \text{ aber } l_y \leq \text{Abstand zwischen angrenzenden Quersteifen} \quad (6.143)$$

(3) Für den Fall (c) in Bild 6.30 sollte  $l_y$  der kleinere Wert der mit den Gleichungen (6.143), (6.144) und (6.145) ermittelten Werte sein. In (6.143) sollte  $s_s$  jedoch mit Null angesetzt werden, wenn das lasteinleitende Teil sich nicht der Neigung des Trägers anpasst, siehe Bild 6.31.

$$l_y = l_e + t_f \sqrt{\frac{m_1}{2} + \left( \frac{l_e}{t_f} \right)^2 + m_2} \quad (6.144)$$

$$l_y = l_e + t_f \sqrt{m_1 + m_2} \quad (6.145)$$

$$l_e = \frac{k_F E t_w^2}{2 f_{ow} h_w} \leq s_s + c \quad (6.146)$$

## 6.7.6 Interaktion

### 6.7.6.1 Interaktion zwischen Querkraft, Biegemoment und Normalkraft

(1) Wenn die Gurte die Bemessungswerte von Biegemoment und Normalkraft des Bauteils ganz aufnehmen, muss der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit des Steges nur in dem in 6.7.4.2 (10) beschriebenen Fall vermindert werden.

(2) Wenn  $M_{Ed} > M_{f,Rd}$  ist, sollten die folgenden beiden Bedingungen (entsprechend den Kurven (2) und (3) in Bild 6.32) erfüllt werden:

$$\frac{M_{Ed} + M_{f,Rd}}{2M_{pl,Rd}} + \frac{V_{Ed}}{V_{w,Rd}} \left( 1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right) \leq 1,00 \quad (6.147)$$

$$\boxed{A1} \quad M_{Ed} \leq M_{o,Rd} \quad \boxed{A1}$$

Dabei ist

$\boxed{A1} \quad M_{o,Rd} \quad \boxed{A1}$  der Bemessungswert der Momententragfähigkeit nach 6.7.2 (4);

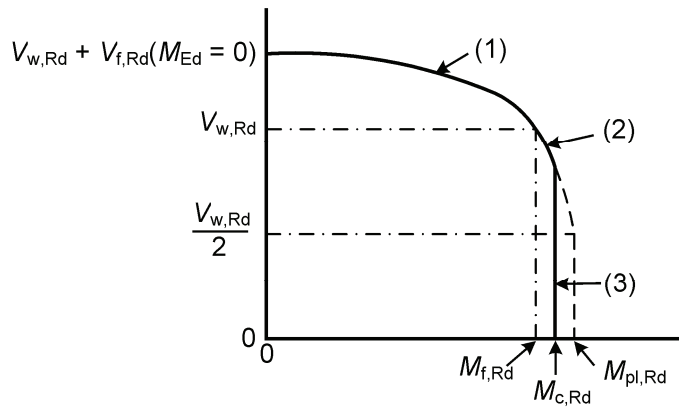
$M_{f,Rd}$  der Bemessungswert der Momententragfähigkeit bei ausschließlicher Wirkung der Gurte,  $\boxed{A1}$  ( $= \min(A_{f1} \cdot h_f f_o / \gamma_{M1}, A_{f2} \cdot h_f f_o / \gamma_{M1}) \quad \boxed{A1}$ );

$M_{pl,Rd}$  der Bemessungswert der plastischen Momententragfähigkeit.

(3) Wird auch eine Normalkraft  $N_{Ed}$  aufgebracht, so sollte  $M_{pl,Rd}$  durch eine verminderte plastische Momententragfähigkeit  $M_{N,Rd}$  ersetzt werden, die angegeben wird durch:

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \left( 1 - \left( \frac{N_{Ed}}{(A_{f1} + A_{f2}) f_o / \gamma_{M1}} \right)^2 \right) \quad (6.148)$$

wobei  $A_{f1}$ ,  $A_{f2}$  die Flächen der Gurte sind.



**Bild 6.32 — Interaktion von Querkraft- und Biegemomentenbeanspruchbarkeit**

### 6.7.6.2 Interaktion zwischen Querlast, Biegemoment und Normalkraft

(1) Wirkt auf den Druckgurt des durch Biegemoment und Normalkraft beanspruchten Trägers eine konzentrierte Last, so sollte die Beanspruchbarkeit unter Verwendung von 6.2.9, 6.7.5.1 und der folgenden Interaktionsbedingung nachgewiesen werden:

$$\boxed{A1} \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} + 0,8 \left( \frac{M_{Ed}}{M_{o,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \right) \leq 1,4 \quad \boxed{A1} \quad (6.149)$$

Dabei ist

$\boxed{A1} M_{o,Rd} \quad \boxed{A1}$  der Bemessungswert der Biegemomenten Tragfähigkeit nach 6.7.2 (4);

$N_{c,Rd}$  der Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit, siehe 6.3.1.1.

(2) Wirkt die konzentrierte Last auf den Zuggurt, so sollte die Beanspruchbarkeit nach 6.7.5 und zusätzlich auch 6.2.1(5) nachgewiesen werden.

### 6.7.7 Gurtinduziertes Stegblechbeulen

(1) Um zu verhindern, dass der gedrückte Gurt in den Steg hineinbeult, sollte nachgewiesen werden, dass das Verhältnis  $b_w / t_w$  des Stegs die folgende Bedingung erfüllt:

$$\frac{b_w}{t_w} \leq \frac{k E}{f_{of}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}} \quad (6.150)$$

Dabei ist

$A_w$  die Querschnittsfläche des Stegs;

$A_{fc}$  die Querschnittsfläche des gedrückten Gurtes;

$\boxed{A1} f_{of} \quad \boxed{A1}$  die 0,2%-Dehngrenze des Flanschwerkstoffs.  $\boxed{A1}$

Der Faktor  $k$  sollte wie folgt angesetzt werden:



- Bei Nutzung der plastischen Rotation  $k = 0,3$
- Bei Nutzung der plastischen Momententragfähigkeit  $k = 0,4$
- Bei Nutzung der elastischen Momententragfähigkeit  $k = 0,55$

(2) Ist der Träger in der seitlichen Ansicht gekrümmt und der Druckgurt liegt auf der konkaven Seite, so sollte das Verhältnis  $b_w / t_w$  für den Steg die folgende Bedingung erfüllen:

$$\frac{b_w}{t_w} \leq \frac{kE}{f_{of}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{b_w E}{3 r f_{of}}}} \quad (6.151)$$

wobei  $r$  der Krümmungsradius des Druckgurtes ist.

(3) Bei Trägern mit Querstegsteifen kann der Grenzwert von  $b_w / t_w$  mit dem Faktor  $1 + (b_w / a)^2$  vergrößert werden.

## 6.7.8 Stegblechsteifen

### 6.7.8.1 Steife Endsteifen

(1) Die steife Endsteife (siehe Bild 6.27) sollte als lastabtragende Aussteifung wirken, die die Auflagerreaktion an der Unterstützung des Trägers aufnimmt, und als kurzer Balken der die Längsmembran- spannungen in der Ebene des Steges aufnimmt.

(2) Eine steife Endsteife kann aus einer Steife am Trägerende und einer beidseitigen Quersteife bestehen, die zusammen die Gurte eines kurzen Balkens der Länge  $h_f$  bilden, siehe Bild 6.27(b). Der Stegblechstreifen zwischen diesen Steifen bildet den Steg des kurzen Balkens. Alternativ, kann eine Endsteife als Profil eingefügt werden, das mit dem Ende des Stegblechs verbunden ist.

(A1) 3 (A1) Die beidseitige Quersteife kann als lastabtragende Steife wirken, die die Auflagerreaktion an der Unterstützung des Trägers aufnimmt (siehe 6.2.11).

(A1) 4 (A1) Die Steife am Trägerende sollte eine Querschnittsfläche von mindestens  $4h_f t_w^2 / e$  haben, wobei  $e$  der Mittenabstand der Steifen und  $e > 0,1h_f$  ist, siehe Bild 6.27(b).

(A1) 5 (A1) Wenn nur die Endsteife eine Verdrehung am Trägerende verhindern kann, sollte das Trägheitsmoment ( $I_{ep}$ ) des Endsteifenquerschnittes um die Stegmittelfläche die folgende Bedingung erfüllen:

$$I_{ep} \leq b_w^3 t_f R_{Ed} / (250 W_{Ed}) \quad (6.152)$$

Dabei ist

$t_f$  der Höchstwert der Gurtstärke des Trägers;

$R_{Ed}$  die Auflagerkraft am Trägerende unter Bemessungslast;

$W_{Ed}$  die gesamte Bemessungslast auf der angrenzenden Spannweite.

### 6.7.8.2 Nachgiebige Endsteife und Schraubenverbindungen

(1) Eine nachgiebige Endsteife kann ein einzelne beidseitige Steife sein, wie in Bild 6.27(c) gezeigt wird. Sie kann als lastabtragende Steife wirken, die die Auflagerreaktion an der Unterstützung des Trägers aufnimmt (siehe Bild 6.2.11).

(2) Für die Querkraftbeanspruchbarkeit einer Schraubenverbindung nach Bild 6.27(c) kann der gleiche Wert angenommen werden wie für den Träger mit nachgiebiger Endsteife, wenn der Abstand zwischen den Schrauben  $p < 40t_w$  beträgt.

### 6.7.8.3 Quersteifen als Zwischensteifen

(1) Für Zwischensteifen, die als starre Auflager von Innenfeldern des Stegbleches wirken, sollten die Tragfähigkeit und die Steifigkeit nachgewiesen werden.

(2) Andere Quersteifen, die Zwischensteifen sind, können nachgiebig ausgeführt werden, wobei ihre Steifigkeit in der Berechnung von  $k_\tau$  in 6.7.4.2 berücksichtigt wird.

(3) Bei Quersteifen, die als Zwischensteifen als starre Auflager für Stegblechfelder wirken, sollte das Trägheitsmoment  $I_{st}$  den folgenden Bedingungen genügen:

$$\text{wenn } a/h_w < \sqrt{2}: \quad I_{st} \geq 1,5h_w^3 t_w^3 / a^2 \quad (6.153)$$

$$\text{wenn } a/h_w \geq \sqrt{2}: \quad I_{st} \geq 0,75h_w t_w^3 \quad (6.154)$$

Die Tragfähigkeit solcher Zwischensteifen sollte für eine Normalkraft der Größe  $V_{Ed} - \rho_v b_w t_w f_v / \gamma_{M1}$  nachgewiesen werden. Dazu wird  $\rho_v$  für das Stegblechfeld berechnet, das sich zwischen den benachbarten Steifen ergibt, wenn die betrachtete Steife außer acht bleibt. Bei veränderlichen Querkraften erfolgt der Nachweis für die Querkraft in einem Abstand  $0,5h_w$  von dem Rand mit der größten Querkraft.

### 6.7.8.4 Längssteifen

(1) Längssteifen können entweder steif oder nachgiebig sein. In beiden Fällen sollte ihre Steifigkeit berücksichtigt werden, wenn man die bezogene Schlankheit  $\lambda_w$  in 6.7.4.2(5) bestimmt.

(2) Wird der Wert von  $\lambda_w$  durch das Teilfeld bestimmt, so kann die Steife als steif betrachtet werden. .

(3) Die Tragfähigkeit sollte für Normalspannungen nachgewiesen werden, wenn die Steifen bei der Antragung der Normalspannungen in Rechnung gesetzt wurden.

### 6.7.8.5 Schweißnähte

(1) Die Halsnähte können für den Nennwert  $V_{Ed} / h_w$  des Schubflusses bemessen werden, wenn  $V_{Ed}$  den Wert  $\rho_v h_w t_w f_o / (\sqrt{3} \gamma_{M1})$  nicht überschreitet. Bei größeren Werten sollte, sofern der Spannungszustand nicht genauer ermittelt wird, die Halsnaht für den Schubfluss  $\eta t_w f_o / (\sqrt{3} \gamma_{M1})$  bemessen werden.

## 6.8 Bauteile mit Trapezblechstegen

(1) Für Vollwandträger mit Stegen aus Trapezblech, siehe Bild 6.33, wird die Beanspruchbarkeit durch Biegemomente in 6.8.1 und die durch Querkraften in 6.8.2 angegeben.

ANMERKUNG 1 Ausschnitte werden mit den Regeln für Trapezblechstege nicht erfasst.

ANMERKUNG 2 Für Querlasten können die Regeln in 6.7.7 als vorsichtige Näherung verwendet werden.

### 6.8.1 Beanspruchbarkeit durch Biegemomente

(1) Die Beanspruchbarkeit durch Biegemomente ergibt sich aus:

$$M_{Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} b_2 t_2 h_f f_{o,r} / \gamma_{M1} \\ b_1 t_1 h_f f_{o,r} / \gamma_{M1} \\ b_1 t_1 h_f \chi_{LT} f_{o,r} / \gamma_{M1} \end{array} \right. \begin{array}{l} \text{Zuggurt} \\ \text{Druckgurt} \\ \text{Druckgurt} \end{array} \quad (6.155)$$

wobei  $f_{o,r} = \rho_z f_o$  die Abminderung infolge von Quermomenten in den Gurten einschließt.

$$\rho_z = 1 - 0,4 \sqrt{\frac{\sigma_x(M_z)}{f_o / \gamma_{M1}}} \quad (6.156)$$

$M_z$  Querbiegemoment im Gurt

$\chi_{LT}$  Abminderungsfaktor für Biegedrillknicken nach 6.3.2.

ANMERKUNG Das Quermoment  $M_z$  kann sich aus der Schubflusseinleitung in die Gurte ergeben, wie in Bild 6.33(d) angegeben.

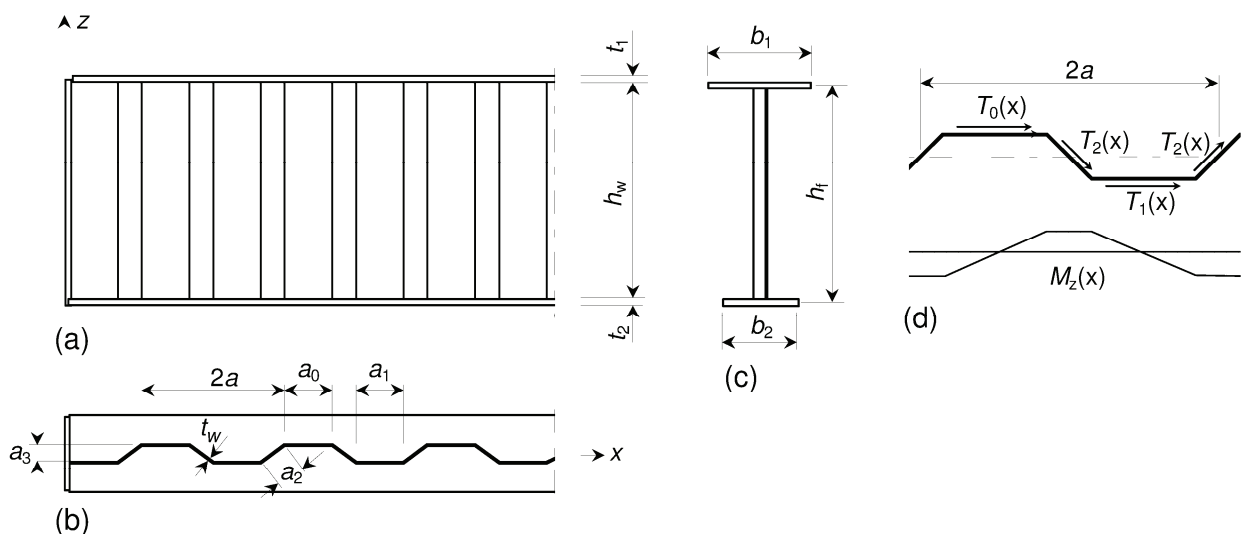


Bild 6.33 — Steg aus Trapezblech

### 6.8.2 Schubkraftbeanspruchbarkeit

(1) Die Schubkraftbeanspruchbarkeit  $V_{Rd}$  kann wie folgt angesetzt werden:

$$V_{Rd} = \rho_c t_w h_w \frac{f_o}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad (6.157)$$

wobei  $\rho_c$  der kleinste der Abminderungsfaktoren für örtliches Beulen ist;  $\rho_{c,1}$  ist der Abminderungsfaktor für globales Beulen  $\rho_{c,g}$  und der Faktor für Entfestigung des Materials in der WEZ ist  $\rho_{o,haz}$  :

(2) Der Abminderungsfaktor  $\rho_{c,1}$  für örtliches Beulen kann berechnet werden aus:

$$\rho_{c,1} = \frac{1,15}{0,9 + \lambda_{c,1}} \leq 1,0 \quad (6.158)$$

wobei der relative Schlankheitsgrad  $\lambda_{c,1}$  für trapezförmige gewellte Stegbleche wie folgt angesetzt werden kann:

$$\lambda_{c,1} = 0,35 \frac{a_{\max}}{t_w} \sqrt{\frac{f_o}{E}} \quad (6.159)$$

mit  $a_{\max}$  als größte Breite des gewellten Stegblechfeldes  $a_0, a_1$  oder  $a_2$ , siehe Bild 6.33.

(3) Der Abminderungsfaktor  $\rho_{c,g}$  für globales Beulen sollte wie folgt angesetzt werden:

$$\rho_{c,g} = \frac{1,5}{0,5 + \lambda_{c,g}^2} \leq 1,0 \quad (6.160)$$

wobei der relative Schlankheitsgrad  $\lambda_{c,g}$  wie folgt angesetzt wird:

$$\lambda_{c,g} = \sqrt{\frac{f_o}{\sqrt{3} \tau_{cr,g}}} \quad (6.161)$$

wobei der Wert  $\tau_{cr,g}$  entnommen wird aus:

$$\tau_{cr,g} = \frac{32,4 E}{t_w h_w^2} \sqrt[4]{B_x B_z^3} \quad (6.162)$$

Dabei ist

$$B_x = \frac{2a}{a_0 + a_1 + 2a_2} \frac{Et_w^3}{10,9}$$

$$B_z = \frac{EI_x}{2a}$$

$2a$  Länge der Wellen, siehe Bild 6.33;

$a_0, a_1$  sind  $a_2$  die Breiten der gefalteten Stegblechfelder, siehe Bild 6.33;

$I_x$  Trägheitsmoment einer Welle der Länge  $w$ , siehe Bild 6.33.

ANMERKUNG Gleichung (6.162) gilt für Platten mit gelenkigen Kanten.

(4) Der Abminderungsfaktor  $\rho_{o,haz}$  in der WEZ wird in 6.1.6 aufgeführt.

## 7 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

### 7.1 Allgemeines

(1)P Eine Aluminiumkonstruktion muss so entworfen und ausgeführt sein, dass sie alle maßgebenden Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit erfüllt.

(2) Die grundlegenden Anforderungen an die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit sind in EN 1990, 3.4 angegeben.

(3) Für ein Bauwerk sollten alle Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit in Verbindung mit den zugehörigen Lasten und Berechnungsverfahren festgelegt werden.

(4) Wird für den Grenzzustand der Tragfähigkeit eine plastische Tragwerksberechnung durchgeführt, können plastische Umlagerungen der Kräfte und Momente bereits im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit auftreten. Falls dies der Fall ist, sollten diese Einflüsse berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf weitere Anleitungen geben.

### 7.2 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für den Hochbau

#### 7.2.1 Vertikale Durchbiegungen

(1) Die Grenzwerte der horizontalen Verformung nach EN 1990, A.1.4, Bild A.1.1, sollten für jedes Projekt festgelegt und mit dem Bauherrn abgestimmt sein.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann die Grenzwerte festlegen.

#### 7.2.2 Horizontale Verformungen

(1) Die Grenzwerte der horizontalen Verformung nach EN 1990, A.1.4, Bild A.1.2, sollten für jedes Projekt festgelegt und mit dem Bauherrn abgestimmt sein.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf die Grenzwerte festlegen.

#### 7.2.3 Dynamische Einflüsse

(1) Mit Bezug auf EN 1990, A.1.4.4, sollten Schwingungen in Tragwerken mit öffentlicher Nutzung so begrenzt werden, dass eine starke Beeinträchtigung für den Benutzer vermieden wird. Die Grenzwerte sollten für jedes Projekt individuell festgelegt und mit dem Bauherrn abgestimmt werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf die Grenzwerte für die Schwingungen von Böden festlegen.

#### 7.2.4 Berechnung von elastischen Verformungen

(1) Im Allgemeinen beruht die Berechnung der elastischen Verformung auf den Werten des Bruttoquerschnitts des Bauteils. Für schlanke Querschnitte kann es jedoch erforderlich sein, verminderte Querschnittswerte zu nehmen, um lokales Beulen (siehe 6.7.5) zu berücksichtigen. Ebenso sollten Einflüsse der Raumunterteilung und andere Aussteifungseinflüsse, Einflüsse zweiter Ordnung und Änderungen in der Geometrie berücksichtigt werden.

(2) Für Querschnitte der Klasse 4 kann  $I_{\text{ser}}$  als wirksames Trägheitsmoment konstant entlang des Trägers angesetzt werden

$$I_{\text{ser}} = I_{\text{gr}} - \frac{\sigma_{\text{gr}}}{f_o} (I_{\text{gr}} - I_{\text{eff}}) \quad (7.1)$$

Dabei ist

$I_{gr}$  das Trägheitsmoment des Bruttoquerschnitts;

$I_{eff}$  das Trägheitsmoment des wirksamen Querschnitts im Grenzzustand der Tragfähigkeit mit Berücksichtigung örtlichen Beulens, siehe **A1** 6.2.5.2 **A1**;

$\sigma_{gr}$  die maximale Druckbiegespannung am Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, die auf dem Bruttoquerschnitt beruht (in der Formel positiv).

(3) Durchbiegungen sollten unter Berücksichtigung der Rotationssteifigkeit von halbstarren Knoten und möglichem wiederholten Auftreten von örtlichen plastischen Verformungen am Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit berechnet werden.

## 8 Bemessung von Anschlüssen

### 8.1 Bemessungsgrundlagen

#### 8.1.1 Einführung

(1)P Die Bemessungswerte der Beanspruchbarkeiten aller Anschlüsse sind so zu wählen, dass die Konstruktion tragfähig bleibt und die in 2 angegebenen Anforderungen erfüllt.

(2) Die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_M$  für Anschlüsse sollten auf die charakteristische Tragfähigkeit der verschiedenen Arten von Anschlüssen angewendet werden.

ANMERKUNG Zahlenwerte für  $\gamma_M$  dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden. In Tabelle 8.1 sind empfohlene Werte angegeben.

**A1**

**Tabelle 8.1 — Empfohlene Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_M$  für Anschlüsse**

Beanspruchbarkeit von Bauteilen und Querschnitten	$\gamma_{M1}$ und $\gamma_{M2}$ siehe 6.1.3
Beanspruchbarkeit von Schraubenverbindungen	$\gamma_{M2} = 1,25$
Beanspruchbarkeit von Nietverbindungen	
Beanspruchbarkeit von Lochleibung	
Beanspruchbarkeit von Bolzenverbindungen	$\gamma_{Mp} = 1,25$
Beanspruchbarkeit von Schweißverbindungen	$\gamma_{Mw} = 1,25$
Gleitwiderstand, siehe 8.5.9.3	$\gamma_{Ms,ser} = 1,1$ $\gamma_{Ms,ult} = 1,25$
— im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	
— im Grenzzustand der Tragfähigkeit	
Beanspruchbarkeit von geklebten Verbindungen	$\gamma_{Ma} \geq 3,0$
Beanspruchbarkeit von Bolzen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	$\gamma_{Mp,ser} = 1,0$

**A1**

(3) Für ermüdungsbeanspruchte Anschlüsse gelten zusätzlich die Regeln in EN 1999-1-3.

### 8.1.2 Schnittgrößen

(1) Die für den Tragsicherheitsnachweis von Verbindungen erforderlichen Schnittgrößen sollten nach 5 in einer Untersuchung am Gesamttragwerk ermittelt werden.

(2) Diese Schnittgrößen enthalten in der Regel:

- Einflüsse aus Theorie II. Ordnung;
- Einflüsse aus Imperfektionen (siehe 5.3);
- Einflüsse aus der Nachgiebigkeit der Verbindungen.

ANMERKUNG Für die Einflüsse aus der Nachgiebigkeit der Verbindungen siehe Anhang L.

### 8.1.3 Beanspruchbarkeit von Anschlüssen

(1) Die Beanspruchbarkeit eines Anschlusses sollte auf der Grundlage der Beanspruchbarkeiten der einzelnen Verbindungsmittel, der Schweißnähte und weiterer vorhandener Komponenten des Anschlusses bestimmt werden.

(2) Bei der Bemessung von Anschlüssen sollte in der Regel die lineare Elastizitätstheorie angewendet werden. Alternativ hierzu darf die nichtlineare Theorie angewendet werden, wenn die Last-Verschiebungseigenschaften aller Komponenten des Anschlusses berücksichtigt werden.

(3) Wenn das Bemessungsmodell Fließlinien, wie z. B. beim Block-Versagen zur Grundlage hat, sollte die Richtigkeit dieses Modells durch experimentelle Versuche nachgewiesen werden.

### 8.1.4 Bemessungsannahmen

(1) Bei der Bemessung von Anschlüssen darf jede zweckmäßige Aufteilung der Schnittgrößen angenommen werden, vorausgesetzt dass:

- a) die angenommenen inneren Kräfte und Momente im Gleichgewicht mit den angreifenden Kräften und Momenten stehen,
- b) jede Komponente des Anschlusses die ihm zugewiesenen Kräfte und Spannungen übertragen kann;
- c) die mit dieser Aufteilung verbundenen Verformungen das Verformungsvermögen der Verbindungsmittel, der Schweißnähte und der Anlussteile nicht überschreiten und
- d) die im Bemessungsmodell auf der Annahme von Fließlinien beruhenden Verformungen auf physikalisch möglichen Starrkörperverdrehungen (und Verformungen in der Ebene) beruhen.

(2) Zusätzlich sollte die angenommene Verteilung der Schnittgrößen bezüglich der Steifigkeitsverhältnisse im Anschluss wirklichkeitsnah sein. Der Kraftfluss wird sich immer den Weg der größten Steifigkeit suchen. Bei der Bemessung von Anschlüssen sollte dieser Kraftfluss eindeutig geklärt und konsequent verfolgt werden.

(3) Eigenspannungen und Spannungen infolge des Anziehens von Verbindungsmitteln und der üblichen Passungenauigkeiten brauchen in der Regel nicht berücksichtigt zu werden.

### 8.1.5 Herstellung und Ausführung

(1) Bei der Dimensionierung von Anschlüssen und Stößen sollte auf eine leichte Herstellung und Ausführung geachtet werden.

(2) Auf Folgendes sollte geachtet werden:

- auf ausreichenden Platz für eine sichere Ausführung;
- auf ausreichenden Platz für das Anziehen von Verbindungsmitteln;
- auf ausreichende Zugänglichkeit für Schweißarbeiten;
- auf die Anforderungen des Schweißverfahrens und
- auf die Auswirkungen von Winkel- und Längentoleranzen auf die Passgenauigkeit.

(3) Außerdem sollten auch die folgenden Anforderungen beachtet werden:

- Nachträgliche Qualitätsprüfung;
- Oberflächenbehandlung und
- Instandhaltung.


Anforderungen an die Ausführung von Aluminiumtragwerken sind in  EN 1090-3  angegeben.

## **8.2 Schnittpunkte in geschraubten, genieteten und geschweißten Anschlüssen**

(1) In Anschlüssen sollten die Bauteile so angeordnet werden, dass sich ihre Schwerlinien in einem Punkt schneiden.

(2) Exzentrizitäten in Schnittpunkten von Anschlüssen sollten bei der Bemessung berücksichtigt werden. Davon ausgenommen sind Konstruktionen, für die nachgewiesen wurde, dass dies nicht notwendig ist.

## **8.3 Schubbeanspruchte Anschlüsse mit Stoßbeanspruchung, Schwingungsbeanspruchung oder Lastumkehr**

 (1) Bei schubbeanspruchten Anschlüssen, die häufigen Stoßbelastungen oder erheblichen Belastungen aus Schwingungen ausgesetzt sind, sollten entweder Schweißnähte, vorgespannte Schrauben, Injektionschrauben oder andere Schrauben verwendet werden, die eine Bewegung und das Lösen von Befestigungen wirksam verhindern.

(2) Darf in einem Anschluss kein Schlupf auftreten, weil er Lastumkehr ausgesetzt ist (oder aus anderen Gründen), sollten entweder gleitfeste Verbindungen mit vorgespannten Schrauben (Kategorie B oder C, siehe 8.5.3), Passschrauben oder Schweißverbindungen verwendet werden.

(3) In Windverbänden und/oder Stabilisierungsverbänden dürfen Scher-/Lochleibungsverbindungen mit Schrauben (Kategorie A, 8.5.3) verwendet werden.



## **8.4 Klassifizierung von Anschlüssen**

ANMERKUNG Empfehlungen für die Klassifizierung von Anschlüssen werden in Anhang L gegeben.



## 8.5 Schrauben-, Niet- und Bolzenverbindungen

### 8.5.1 Rand- und Lochabstände für Schrauben und Niete

(1) Die Rand- und Lochabstände für Schrauben und Niete sollten so gewählt werden, dass Korrosion und örtliches Beulen verhindert werden und einen leichten Einbau der Schrauben und Niete erlauben.

(2) Bei minimalen Rand- und Lochabständen sind keine Minustoleranzen zulässig, durch die diese Abstände weiter verringert werden können.

(3) Die Rand- und Lochabstände sollten auch die Gültigkeitsgrenzen der Regeln einhalten, mit denen der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit der Schrauben und Niete bestimmt wird.

(4) Grenzwerte für Rand- und Lochabstände sind in Tabelle 8.2 angegeben.

**Tabelle 8.2 — Grenzwerte und planmäßige Werte für Rand- und Lochabstände**

1	2	3	4	5
<b>Rand- und Lochabstände siehe Bilder 8.1 und 8.2</b>	<b>Mini- mum</b>	<b>Regel- abstand</b>	<b>Maximum<sup>1) 2) 3)</sup></b>	
			<b>Tragwerke aus Aluminiumwerkstoffen nach Tabelle 3.1a</b>	
			Aluminium, das dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzt ist.	Aluminium, das nicht dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzt ist.
Randabstand $e_1$	$1,2d_0$ <sup>6)</sup>	$2,0d_0$	$4t + 40$ mm	Der größte Wert von: $12t$ oder 150 mm
Randabstand $e_2$	$1,2d_0$ <sup>6)</sup>	$1,5d_0$	$4t + 40$ mm	Der größte Wert von: $12t$ oder 150 mm
Randabstand $e_3$ für Langlöcher <sup>4)</sup>	Langlöcher werden nicht empfohlen Langlöcher der Kategorie A, siehe 8.5.1( $\text{A}_1$ ) 5 ( $\text{A}_1$ ) — (10)			
Randabstand $e_4$ für Langlöcher <sup>4)</sup>	Langlöcher werden nicht empfohlen Langlöcher der Kategorie A, siehe 8.5.1( $\text{A}_1$ ) 5 ( $\text{A}_1$ ) — (10)			
Druckstäbe (siehe Bild 8.2): Lochabstand $p_1$	$2,2d_0$	$2,5d_0$	Druckstäbe: der kleinste Wert von: $14t$ oder 200 mm	Druckstäbe: Der kleinste Wert von: $14t$ oder 200 mm
Zugstäbe (siehe Bild 8.3): Lochabstände $p_1$ , $p_{1,0}$ , $p_{1,l}$	$2,2d_0$	$2,5d_0$	für die außen liegende Reihe von Verbindungsmitteln: Der kleinste Wert von: $14t$ oder 200 mm  Für die innen liegende Reihe von Verbindungsmitteln: Der kleinste Wert von: $28t$ oder 400 mm	1,5-faches der Werte von Spalte 4
Abstand $p_2$ <sup>5)</sup>	$2,4d_0$	$3,0d_0$	Der kleinste Wert von: $14t$ oder 200 mm	Der kleinste Wert von: $14t$ oder 200 mm

Tabelle 8.2 (fortgesetzt)

- 1) Keine Beschränkung der Maximalwerte für Rand- und Lochabstände, außer:  
 bei druckbeanspruchten Bauteilen zur Vermeidung von örtlichem Beulen und Korrosion von dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzten Bauteilen  
 bei zugbeanspruchten Bauteilen zur Vermeidung von Korrosion von dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzten Bauteilen.
- 2) Der Widerstand druckbeanspruchter Bleche gegen lokales Beulen zwischen den Verbindungsmitteln sollte  $\frac{A_1}{A_2}$  nach 6.3  $\frac{A_1}{A_2}$   $\frac{A_1}{A_2}$  gestrichener Text  $\frac{A_1}{A_2}$  unter Verwendung der Knicklänge  $0,6 p_1$  berechnet werden. Lokales Beulen zwischen den Verbindungsmitteln braucht nicht nachgewiesen zu werden, wenn  $p_1/t$  kleiner als  $9\varepsilon$  ist. Der Randabstand quer zur Krafrichtung sollte das Maximum nicht überschreiten, um die Anforderungen gegen lokales Beulen von druckbeanspruchten einseitig gestützten Gurten nicht zu überschreiten, siehe 6.4.2 – 6.4.5.  $\frac{A_1}{A_2}$  gestrichener Text  $\frac{A_1}{A_2}$
- 3)  $t$  ist die Dicke des dünnsten, außenliegenden Blechs.
- 4) Langlöcher werden nicht empfohlen, für Langlöcher der Kategorie A siehe 8.5.1(5)
- 5) Bei versetzt angeordneten Schraubenreihen kann der minimale Lochabstand mit  $p_2 = 1,2 d_0$  angenommen werden, wenn der Abstand zwischen den Verbindungsmitteln einer Reihe mindestens  $p_1 = 2,4 d_0$  beträgt (siehe Bild 8.2).
- 6) Für die Mindestwerte von  $e_1$  und  $e_2$  sollten keine Minustoleranzen sondern nur Plustoleranzen festgelegt werden.

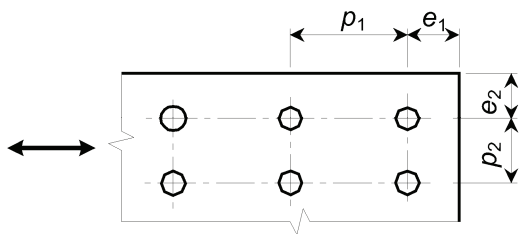


Bild 8.1 — Bezeichnungen der Abstände

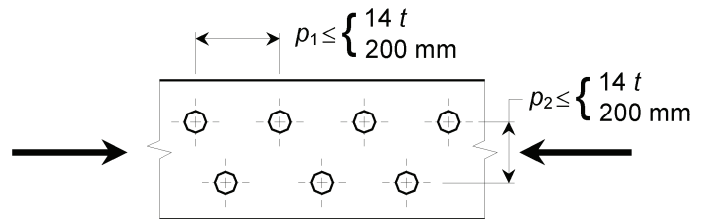
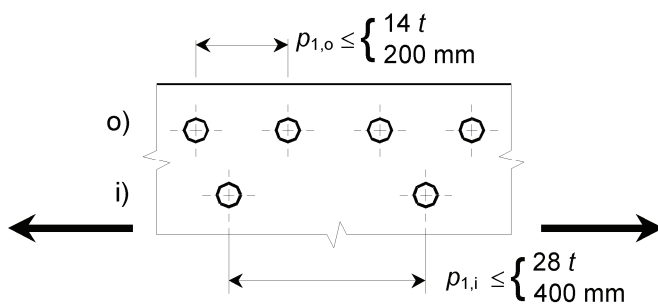


Bild 8.2 — Versetzte Lochanordnung bei druckbeanspruchten Bauteilen



Legende

- o) außen liegende Reihe von Verbindungsmitteln
- i) innen liegende Reihe von Verbindungsmitteln

Bild 8.3 — Lochabstände bei zugbeanspruchten Bauteilen

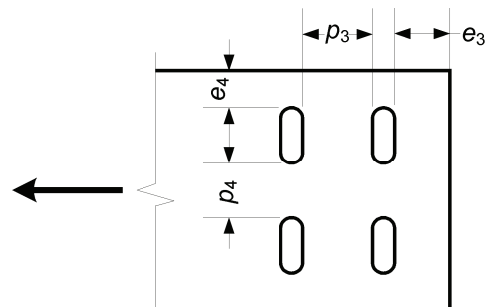


Bild 8.4 — Langlöcher

(5) Langlöcher werden nicht empfohlen. Langlöcher können jedoch in Verbindungen der Kategorie A mit rechtwinklig zur Richtung des Langlochs wirkenden Kräften verwendet werden.

(6) Die maximale Länge eines Langlochs sollte bei einem kurzen Langloch  $1,5(d + 1 \text{ mm})$  und bei einem langen Langloch  $2,5(d + 1 \text{ mm})$  betragen.

- (7) Die maximale Lochbreite, d. h. die Abmessung in Krafrichtung sollte  $d + 1$  mm betragen.
- (8) Der in Krafrichtung liegende Abstand  $e_3$  zwischen Lochrand und Bauteilende sollte größer als  $1,5(d + 1)$  mm, der rechtwinklig zur Krafrichtung liegende Abstand  $e_4$  zwischen Lochrand und Bauteilrand sollte größer als  $d + 1$  mm sein.
- (9) Der in Krafrichtung liegende Abstand  $p_3$  zwischen den Rändern zweier benachbarter Löcher und der rechtwinklig zur Krafrichtung liegende Abstand  $p_4$  zwischen den Rändern zweier benachbarter Löcher sollte größer als  $2(d + 1)$  mm sein.
- (10) Schrauben in Langlöchern nach Kategorie A sollten nach Tabelle 8.5 nachgewiesen werden, siehe 8.5.5.
- (11) Für übergroße Löcher gelten die Regeln in (8), (9) und (10).

**A1** (12) Übergroße Löcher dürfen in Schraubverbindungen der Kategorie A dürfen verwendet werden, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- ein möglicherweise auftretendes größeres Setzen des Tragwerks oder des Bauteils ist zulässig;
- es tritt keine Lastumkehr auf;
- übergroße Löcher werden auf einer Seite einer Verbindung verwendet, wobei sie im zu befestigenden Bauteil oder in den Befestigungsvorrichtungen (Deckplatten, Knotenblechen) verwendet werden sollten;
- die Bestimmungen für geometrische Toleranzen für übergroße Löcher nach EN 1090-3 werden eingehalten;
- bei Schrauben mit einem Durchmesser  $d \leq 10$  mm ist der Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit der Schraubengruppe geringer als der Bemessungswert der Abschertragfähigkeit der Schraubengruppe. Siehe auch 8.5.5 (7). **A1**

## 8.5.2 Lochabminderungen

### 8.5.2.1 Allgemeines

- (1) Ausführliche Regeln für die Bemessung von Bauteilen mit Löchern siehe 6.3.4.

### 8.5.2.2 Blockversagen von Schraubengruppen

(1) Das Blockversagen einer Schraubengruppe besteht aus einem Schubversagen des Blechs entlang der Schraubenreihe am schubbeanspruchten Rand der Schraubengruppe in Kombination mit einem Zugversagen des Blechs entlang der Schraubenreihe am zugbeanspruchten Rand der Schraubengruppe. Bild 8.5 stellt Blockversagen dar.

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

$$V_{\text{eff},1,\text{Rd}} = f_u A_{\text{nt}} / \gamma_{\text{M}2} + (1 / \sqrt{3}) f_o A_{\text{nv}} / \gamma_{\text{M}1} \quad (8.1)$$

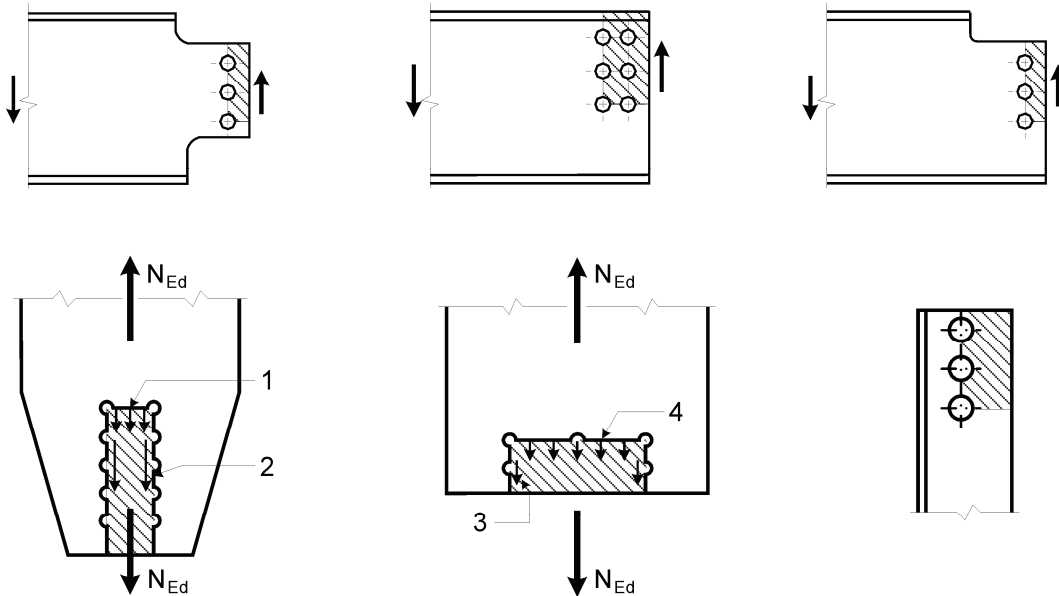
Dabei ist

$A_{\text{nt}}$  der zugbeanspruchte Nettoquerschnitt;

$A_{\text{nv}}$  der schubbeanspruchte Nettoquerschnitt.

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

$$V_{eff,2,Rd} = 0,5 f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + (1 / \sqrt{3}) f_o A_{nv} / \gamma_{M1} \quad (8.2)$$



**Legende**

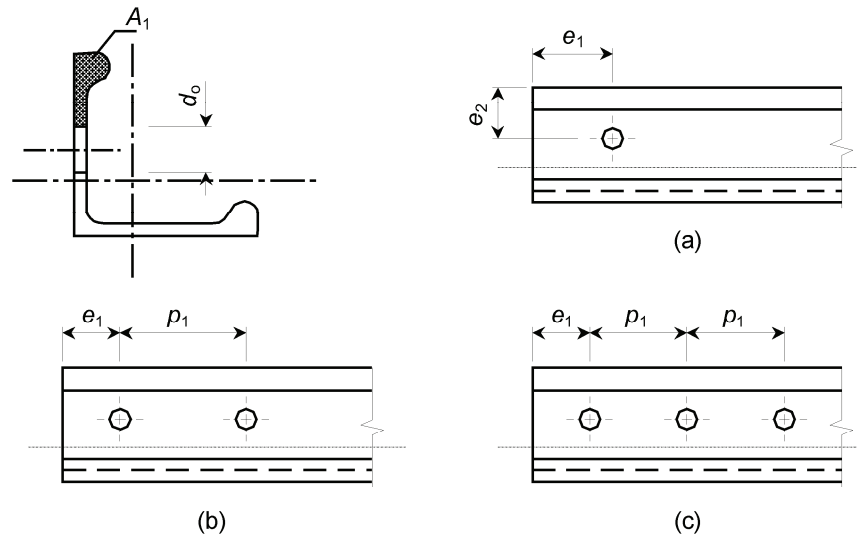
- 1 kleine Zugkraft
- 2 große Schubkraft
- 3 kleine Schubkraft
- 4 große Zugkraft

**Bild 8.5 — Blockversagen von Schraubengruppen**

**8.5.2.3 Winkelprofile und Winkelprofile mit Randverstärkungen (Wulstprofile)**

(1) Bei unsymmetrischen Bauteilen und bei unsymmetrisch angeschlossenen  $A_1$  Zug- und Druckbauteilen  $A_1$ , wie z. B. bei Winkelprofilen oder Winkelprofilen mit Randverstärkungen (Wulstprofilen), sollten die Exzentrizität der Schrauben und die Auswirkung der Loch- und Randabstände der Schrauben bei der Ermittlung der Beanspruchbarkeit der Anschlüsse beachtet werden.

(2) Winkelprofile und Winkelprofile mit Randverstärkungen, die nach Bild 8.6 mit einer einzigen Schraubenreihe angeschlossen sind, dürfen als zentrisch belastet berechnet werden. Die Beanspruchbarkeit des Nettoquerschnitts ist wie folgt zu ermitteln:



### Legende

- (a) eine Schraube,
- (b) zwei Schrauben
- (c) drei Schrauben

**Bild 8.6 —  $\overline{A_1}$  Anschlüsse von Winkelprofilen  $\overline{A_1}$**

$$\text{mit 1 Schraube: } N_{u,Rd} = \frac{2A_1 f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.3)$$

$$\text{mit 2 Schrauben: } N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.4)$$

$$\text{mit 3 Schrauben: } N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.5)$$

wobei

$\beta_2$  und  $\beta_3$  vom Lochabstand  $p_1$  abhängige Abminderungsbeiwerte nach Tabelle 8.3 sind. Für Zwischenwerte von  $p_1$  darf der Wert  $\beta$  durch lineare Interpolation ermittelt werden.

$A_{net}$  ist die Nettoquerschnittsfläche des Winkels. Für Winkel mit ungleichen Schenkellängen, die an dem kleineren Schenkel angeschlossen sind, sollte  $A_{net}$  wie die Nettoquerschnittsfläche eines äquivalenten gleichschenkligen Winkelprofils mit den Maßen der kurzen Schenkellänge bemessen werden.

$\overline{A_1}$  gestrichener Text  $\overline{A_1}$

**Tabelle 8.3 — Abminderungsbeiwerte  $\beta_2$  und  $\beta_3$**

Lochabstand $p_1$	$\leq 2,5 d_0$	$\geq 5,0 d_0$
$\beta_2$ für 2 Schrauben	0,4	0,7
$\beta_3$ für 3 oder mehr Schrauben	0,5	0,7

8.5.3 Kategorien von Schraubenverbindungen

8.5.3.1 Scherverbindungen

(1) Schraubenverbindungen mit Scherbeanspruchung sollten einer der in Tabelle 8.4 aufgeführten Kategorien entsprechen.

Tabelle 8.4 — Kategorien von Schraubenverbindungen

Scherbeanspruchte Verbindungen		
Kategorie	Nachweise	Bemerkungen
A; Scher-/Lochleibungsverbindung	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\Sigma F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Keine Vorspannung erforderlich. Alle Festigkeitsklassen von 4.6 bis 10.9. $N_{net,Rd} = 0,9 A_{net} f_u / \gamma_{M2}$
B; Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\Sigma F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$ $\Sigma F_{v,Ed,ser} \leq N_{net,Rd,ser}$	Hochfeste vorgespannte Schrauben. Kein Gleiten im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. $N_{net,Rd} = 0,9 A_{net} f_u / \gamma_{M2}$ $N_{net,Rd,ser} = A_{net} f_o / \gamma_{M1}$
C; Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Tragfähigkeit	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\Sigma F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$ $\boxed{A_1} \Sigma F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd,ser} \quad \boxed{A_1}$	Hochfeste vorgespannte Schrauben. Kein Gleiten im Grenzzustand der Tragfähigkeit. $N_{net,Rd} = 0,9 A_{net} f_u / \gamma_{M2}$ $N_{net,Rd,ser} = A_{net} f_o / \gamma_{M1}$
Zugbeanspruchte Verbindungen		
Kategorie	Nachweis	Bemerkungen
D; nicht vorgespannt	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Alle Festigkeitsklassen von 4.6 bis 10.9.
E; vorgespannt	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Hochfeste vorgespannte Schrauben. (8.8- oder 10.9-Schrauben)
<b>Legende</b>		
$F_{v,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Abscherkraft auf eine Schraube im Grenzzustand der Tragfähigkeit	
$F_{v,Ed,ser}$	Bemessungswert der einwirkenden Abscherkraft auf eine Schraube im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	
$F_{v,Rd}$	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	
$F_{t,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft auf eine Schraube im Grenzzustand der Tragfähigkeit	
$F_{t,Rd}$	Bemessungswert der Zugtragfähigkeit einer Schraube	
$A_{net}$	Nettfläche, siehe 6.2.2.2 (nur Bauteile unter Zug)	
$B_{p,Rd}$	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit auf Durchstanzen, siehe Tabelle 8.5	

(2) Kategorie A: Scher-/Lochleibungsverbindungen

In dieser Kategorie sollten korrosionsgeschützte Stahlschrauben (gewöhnliche oder hochfeste Schrauben), Schrauben aus nichtrostendem Stahl, Aluminiumschrauben oder Aluminiumniete verwendet werden. Eine Vorspannung oder spezielle Schutzmaßnahmen für die Kontaktflächen sind nicht erforderlich. *A1 gestrichener Text A1*

(3) Kategorie B: Gleitfeste Verbindungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

In dieser Kategorie sollten hochfeste vorgespannte Schrauben, die in Übereinstimmung mit A1 EN 1090-3 A1 kontrolliert vorgespannt werden, verwendet werden. Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sollte kein Gleiten auftreten. Die zu betrachtende Kombination der Einwirkungen sollte 2.3.4 für die Lastfälle entnommen werden, in denen kein Gleiten auftreten darf. Der Bemessungswert der einwirkenden Abscherkraft im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sollte den Bemessungswert des Gleitwiderstandes im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nach 8.5.9 nicht überschreiten. *A1 gestrichener Text A1*

(4) Kategorie C: Gleitfeste Verbindungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

In dieser Kategorie sollten hochfeste vorgespannte Schrauben, die in Übereinstimmung mit A1 EN 1090-3 A1 kontrolliert vorgespannt werden, verwendet werden. Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sollte kein Gleiten auftreten. *A1 gestrichener Text A1*

(5) Zusätzlich sollte der Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit im Nettoquerschnitt an Schraubenlöchern  $N_{\text{net,Rd}}$  im Grenzzustand der Tragfähigkeit wie folgt angenommen werden:

$$N_{\text{net,Rd}} = 0,9 A_{\text{net}} f_u / \gamma_{M2} \quad (8.6)$$

### 8.5.3.2 Zugbeanspruchte Verbindungen

(1) Auf Zug beanspruchte Schraubenverbindungen sollten einer der in Tabelle 8.4 aufgeführten Kategorien entsprechen.

(2) **Kategorie D: Verbindungen mit nichtvorgespannten Schrauben**

In dieser Kategorie sollten Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6 bis einschließlich 10.9, Aluminiumschrauben oder Schrauben aus nichtrostendem Stahl verwendet werden. Eine Vorspannung ist nicht erforderlich. Verbindungen dieser Kategorie sollten nicht ausgeführt werden, wenn sie häufig wechselnden Zugspannungen ausgesetzt sind. Sie können jedoch als Verbindungen bei normalen Windbeanspruchungen verwendet werden.

(3) **Kategorie E: Verbindungen mit hochfesten vorgespannten Schrauben**

In dieser Kategorie sollten hochfeste vorgespannte Schrauben, die in Übereinstimmung mit A1 EN 1090-3 A1 kontrolliert vorgespannt werden, verwendet werden. Die Vorspannung verbessert die Ermüdungsfestigkeit. Das Ausmaß der Verbesserung hängt jedoch von der konstruktiven Ausbildung und den Toleranzen ab.

(4) Für auf Zug beanspruchte Schraubenverbindungen der Kategorien D und E ist keine spezielle Behandlung der Kontaktfläche erforderlich. Ausgenommen hiervon sind Verbindungen der Kategorie E, die sowohl einer Zug- als auch einer Scherbeanspruchung unterliegen (Kombination E-B oder E-C).

### 8.5.4 Kräfteverteilung auf Verbindungsmittel

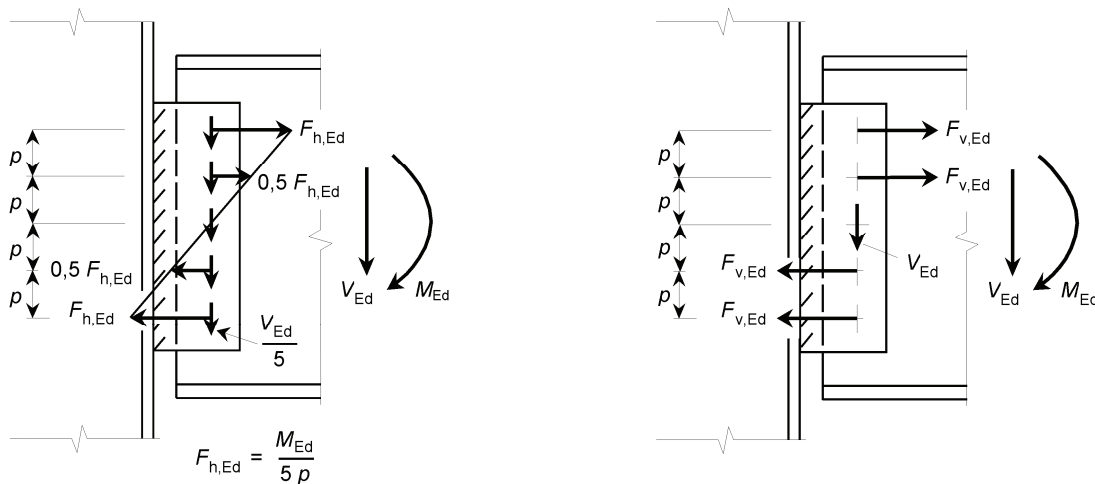
(1) Die Verteilung der Bemessungsschnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit auf die Verbindungsmittel sollte in den folgenden Fällen für ein Biegemoment proportional zur Entfernung zum Drehmittelpunkt und für eine Querkraft gleichmäßig erfolgen (siehe Bild 8.7(a)):

— gleitfeste Verbindungen der Kategorie C;

— Scher-/Lochleibungsverbindungen, bei denen der Bemessungswert der Abschertragfähigkeit  $F_{v,Rd}$  eines Verbindungsmittels kleiner als der Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd}$  ist.

(2) In anderen Fällen darf die Verteilung der Schnittgrößen infolge eines Biegemomentes im Grenzzustand der Tragfähigkeit auf die Verbindungsmittel plastisch und die Aufteilung der Querkraft gleichmäßig angenommen werden (siehe Bild 8.7(b)).

(3) In Überlappungsverbindungen sollte in jeder Richtung die Lochleibungstragfähigkeit jedes Verbindungsmittels bis zu einer maximalen Länge von max.  $L = 15 d$  gleich groß angesetzt werden. Hierbei ist  $d$  der Nenndurchmesser der Schraube oder des Niets. Für  $L > 15 d$  siehe 8.5.11.



(a) Elastische Lastverteilung

(b) Plastische Lastverteilung

Verteilung proportional zum Abstand vom Drehpunkt

Mögliche plastische Verteilung mit einer Schraube zur Aufnahme der Querkraft  $V_{Ed}$  und 4 Schrauben zur Aufnahme des Momentes  $M_{Ed}$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{\left(\frac{M_{Ed}}{5p}\right)^2 + \left(\frac{V_{Ed}}{5}\right)^2} \quad (8.7)$$

$$F_{v,Ed} = \frac{M_{Ed}}{6p} \quad (8.8)$$

**Bild 8.7 — Beispiel für die Verteilung von Kräften auf die Verbindungsmittel (fünf Schrauben)**

### 8.5.5 Bemessungswerte der Tragfähigkeit von Schrauben

(1) Die in diesem Abschnitt aufgeführten Bemessungswerte der Tragfähigkeit gelten für normgerecht hergestellte Stahlschrauben, nichtrostende Schrauben und Aluminiumschrauben nach Tabelle 3.4, die einschließlich der entsprechenden Muttern und Scheiben den Bezugsnormen in  $\boxed{A1}$  EN 1090-3  $\boxed{A1}$  entsprechen. Für Aluminiumschrauben sollten die zusätzlichen Anforderungen von C.4.1 beachtet werden.

(2)P Der Bemessungswert der einwirkenden Abscherkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit  $F_{v,Ed}$  darf den kleineren der beiden folgenden Werte nicht überschreiten:

- den Bemessungswert der Abschertragfähigkeit  $F_{v,Rd}$ ;
- den Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd}$  der Schraube mit der geringsten Lochleibungstragfähigkeit der Verbindung.

Beide Bemessungswerte sind in Tabelle 8.5 angegeben.



(3)P Der Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit  $F_{t,Ed}$  einschließlich zusätzlicher Anteile aus Abstützkräften darf den Bemessungswert  $B_{t,Rd}$  der Zugtragfähigkeit der Schrauben-Blechkombination nicht überschreiten.

**Tabelle 8.5 — Beanspruchbarkeiten für Schrauben und Niete**

Versagensart	Schrauben	Niete
Beanspruchbarkeit auf Abscheren je Scherfuge	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} \quad (8.9)$ <p>wenn das Gewinde der Schraube in der Scherfuge liegt (<math>A</math> ist die Spannungsquerschnittsfläche <math>A_s</math> der Schraube):</p> <p>— für Stahlschrauben der Festigkeitsklassen 4.6, 5.6 und 8.8: <math>\alpha_v = 0,6</math></p> <p>Für Stahlschrauben der Festigkeitsklassen 4.8, 5.8, 6.8 und 10.9, Schrauben aus nichtrostendem Stahl und Aluminiumschrauben: <math>\alpha_v = 0,5</math></p> <p>— wenn der Schaft der Schraube in der Scherfuge liegt (<math>A</math> ist die Schaftquerschnittsfläche der Schraube): <math>\alpha_v = 0,6</math></p> <p><math>f_{ub}</math> = charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffes</p>	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}} \quad (8.10)$ <p><math>f_{ur}</math> = charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Nietwerkstoffes</p> <p><math>A_0</math> = Querschnittsfläche des Lochs</p>
Beanspruchbarkeit auf Lochleibung 1) 2) 3) 4) 5) 6)	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.11)$ <p>Dabei ist <math>\alpha_b</math> der kleinste Wert ist von <math>\alpha_d</math>, <math>\frac{f_{ub}}{f_u}</math> und 1,0; aber <math>\leq 0,66</math> für Langlöcher</p> <p>(8.12)</p> <p>in Krafrichtung:</p> <p>— für am Rand liegende Schrauben: <math>\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}</math>; (8.13)</p> <p>— für innen liegende Schrauben: <math>\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}</math>; (8.14)</p> <p>rechtwinklig zur Krafrichtung:</p> <p>— für am Rand liegende Schrauben:</p> <p><math>k_1</math> ist der kleinere Werte von <math>2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7</math> oder 2,5 (8.15)</p> <p>— für innen liegende Schrauben:</p> <p><math>k_1</math> ist der kleinste Werte von <math>1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7</math> oder 2,5 (8.16)</p> <p><math>f_u</math> charakteristischer Wert der Zugfestigkeit der Werkstoffe der verbundenen Teile</p> <p><math>f_{ub}</math> charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffes</p> <p><math>d</math> Durchmesser des Verbindungsmittels</p> <p><math>d_0</math> Lochdurchmesser</p> <p><math>e_1, e_2, p_1, p_2</math> siehe Bild 8.1 <sup>5)</sup></p>	

Tabelle 8.5 (fortgesetzt)

Versagensart	Schrauben	Niete
Beanspruchbarkeit auf Zug	$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.17)$ Dabei ist $k_2 = 0,9$ für Schrauben, $k_2 = 0,50$ für Aluminiumschrauben und $k_2 = 0,63$ für Senkschrauben aus Stahl,	$F_{t,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}} \quad (8.18)$ Für Vollniete mit Kopfabmessungen, die auf beiden Seiten mindestens Bild C.1 in Anhang C entsprechen.
Beanspruchbarkeit auf Durchstanzen	$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2} \quad (8.19)$ Dabei ist $d_m$ kleinster Wert aus dem Mittelwert aus dem Eckmaß und der Schlüsselweite des Schraubenkopfes, der Schraubenmutter und dem Außendurchmesser der Unterlegscheibe; $t_p$ Dicke des Bleches unter dem Schraubenkopf oder der Schraubenmutter; $f_u$ charakteristische Zugfestigkeit des angeschlossenen Bauteils.	
Beanspruchbarkeit bei Kombination aus Abscheren und Zug	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (8.20)$	
1) Der Bemessungswert $F_{b,Rd}$ der Lochleibungstragfähigkeit einer Schraube <ul style="list-style-type: none"> <li>— wird bei <math>A_1</math> EN 1090-3 <math>A_1</math> entsprechenden übergroßen Löchern im Vergleich zum Wert bei normalen Löchern mit dem Faktor 0,8 abgemindert,</li> <li>— wird in kurzen Langlöchern, die rechtwinklig zu ihrer Längsachse belastet werden und deren Langlochlänge kleiner als der 1,5-fache Durchmesser des runden Lochteils ist, im Vergleich zum Wert bei einem normalen, runden Loch mit dem Faktor 0,8 abgemindert.</li> <li>— wird in langen Langlöchern, die rechtwinklig zu ihrer Längsachse belastet werden und bei und deren Langlochlänge größer als der 1,5-fache und kleiner als der 2,5fache Lochdurchmesser des runden Lochteils ist, im Vergleich zum Wert bei einem normalen, runden Loch mit dem Faktor 0,65 abgemindert.</li> </ul> 2) Bei Senkschrauben: <ul style="list-style-type: none"> <li>— sollte der Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit der Schraube <math>F_{b,Rd}</math> in der Regel auf der Blechdicke <math>t</math> beruhen, die der Dicke des verbundenen Bleches minus der halben Höhe der Senkung entspricht,</li> </ul> 3) Außer der Lochleibungsbeanspruchung ist auch die Tragfähigkeit des Nettoquerschnittes nachzuweisen. 4) Ist die Krafrichtung nicht parallel zum Rand, kann die Lochleibungstragfähigkeit für die parallel und normal zum Rand verlaufenden Kraftkomponenten getrennt nachgewiesen werden. 5) Aluminiumschrauben sollten nicht in Verbindungen mit Langlöchern verwendet werden. 6) Für Langlöcher ist $d_0$ durch $(d + 1 \text{ mm})$ , $e_1$ durch $(e_3 + d/2)$ , $e_2$ durch $(e_4 + d/2)$ , $p_1$ durch $(p_3 + d)$ und $p_2$ durch $(p_4 + d)$ zu ersetzen, wobei $p_3$ , $p_4$ , $e_3$ und $e_4$ aus Bild 8.4 entnommen werden können.		

(4) Schrauben, die sowohl durch eine Scherkraft als auch durch eine Zugkraft beansprucht sind, sollten zusätzlich wie in Tabelle 8.5 dargestellt nachgewiesen werden.

(5)P Der Bemessungswert  $B_{t,Rd}$  der Zugtragfähigkeit der Schrauben-Blechkombination muss der kleinere Wert aus dem Bemessungswert der Zugtragfähigkeit der Schraube  $F_{t,Rd}$  nach Tabelle 8.5 und dem

Bemessungswert des Durchstanzwiderstandes des Schraubenkopfes und der Schraubenmutter im Blech  $B_{p,Rd}$  nach Tabelle 8.5 sein.

(6) Der Bemessungswert der Zugtragfähigkeit und der Bemessungswert der Abschertragfähigkeit im Gewindeteil des Schaftes nach Tabelle 8.5 ist auf Schrauben mit gewalzten Gewinden beschränkt.  $\overline{A1}$  Für geschnittene Gewinde sollten die maßgebenden Werte der Tabelle 8.5 durch Multiplikation mit dem Faktor 0,85 verringert werden.  $\overline{A1}$

(7)  $\overline{A1}$  Die in Tabelle 8.5 angegebenen Werte für die Abschertragfähigkeit,  $F_{v,Rd}$ , gelten nur, wenn Schrauben in Löchern eingesetzt werden, deren Lochspiel das von Standardlöchern nach EN 1090-3 nicht überschreitet. Bei übergroßen Löchern und Langlöchern wird der Wert für  $F_{v,Rd}$  durch Multiplikation mit dem Faktor 0,7 verringert.  $\overline{A1}$

### 8.5.6 Beanspruchbarkeit von Nieten

(1) Genietete Verbindungen müssen für die Übertragung von Abscher- und Lochleibungskräfte bemessen werden. Die Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit in diesem Abschnitt gelten für Aluminiumniete nach Tabelle 3.4. Die zusätzlichen Anforderungen von C.4.2 sollten beachtet werden.

(2)P Der Bemessungswert der einwirkenden Abscherkraft auf einen Niet im Grenzzustand der Tragfähigkeit  $F_{v,Ed}$  darf den kleineren der beiden nachfolgenden, nach Tabelle 8.5 ermittelten Werte nicht überschreiten:

- Bemessungswert der Abschertragfähigkeit  $F_{v,Rd}$ ;
- Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd}$ .

(3) Aluminiumniete sollten nur in Ausnahmefällen auf Zug beansprucht werden (siehe Tabelle 8.5).

(4)P Der Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft auf einen Niet im Grenzzustand der Tragfähigkeit  $F_{t,Ed}$  darf den in Tabelle 8.5 angegebenen Bemessungswert der Zugtragfähigkeit des Niets  $F_{t,Rd}$  nicht überschreiten.

(5) Niete, die sowohl auf Abscheren als auch auf Zug beansprucht werden, sollten zusätzlich die in Tabelle 8.5 angegebenen Anforderung für eine kombinierte Beanspruchung auf Abscheren und Zug erfüllen.

$\overline{A1}$  gestrichener Text  $\overline{A1}$

$\overline{A1}$  (6)  $\overline{A1}$  In der Regel sollte die Klemmlänge eines Niets den Wert  $4,5d$  für geschlagene Niete und  $6,5d$  für gepresste Niete nicht überschreiten.

$\overline{A1}$  (7)  $\overline{A1}$  Nietverbindungen in einschnittigen Überlappungsstößen sollten in der Regel mit mehr als einem Niet ausgeführt werden.

### 8.5.7 Senkschrauben und Senkniete

(1) Verbindungen mit Senkschrauben und Senknieten aus Stahl sollten als Scher-/Lochleibungsverbindung bemessen werden.

(2)P Der Bemessungswert der einwirkenden Abscherkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit  $F_{v,Ed}$  auf eine Senkschraube oder auf einen Senkniet aus Stahl darf den kleineren der beiden nachfolgenden Werte nicht überschreiten:

- der 0,7-fache Bemessungswert der Abschertragfähigkeit  $F_{v,Rd}$  nach Tabelle 8.5 und

— der Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd}$ , der nach 8.5.5 oder 8.5.6 mit der um die halbe Höhe der Senkung reduzierten Dicke  $t$  des maßgebenden verbundenen Teils berechnet wird.

(3) Die Zugtragfähigkeit in einer Senkschraube aus Stahl sollte so bemessen werden, dass sie den Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit  $F_{t,Ed}$  übertragen kann. Die Beanspruchung auf Zug sollte auf Ausnahmefälle begrenzt werden (siehe Tabelle 8.5).

(4)P Der Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit  $F_{t,Ed}$  auf eine Senkschraube aus Stahl darf den in Tabelle 8.5 angegebenen Bemessungswert der Zugtragfähigkeit  $F_{t,Rd}$  nicht überschreiten.

(5) Schrauben und Niete, die sowohl auf Abscheren als auch auf Zug beansprucht werden, sollten zusätzlich die in Tabelle 8.5 angegebenen Anforderungen für eine kombinierte Beanspruchung auf Abscheren und Zug erfüllen.

(6) Der Winkel und die Tiefe der Senkung sollten mit  $\text{A1}$  EN 1090-3  $\text{A1}$  übereinstimmen.

$\text{A1}$  gestrichener Text  $\text{A1}$

$\text{A1}$  (7)  $\text{A1}$  In der Regel sollte die Klemmlänge einer Senkschraube und die eines geschlagenen Senkniets den Wert von  $4,5 d$  und die eines gepressten Senkniets den Wert von  $6,5 d$  nicht überschreiten.

$\text{A1}$  (8)  $\text{A1}$  Verbindungen mit Senkschrauben und Senknieten in einschnittigen Überlappungsstößen sollten in der Regel mit mehr als einer Senkschraube oder einem Senknie auszuführen werden.

### **8.5.8 Hohlniete und Blindniete**

(1) Die Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit von Hohlnieten und Blindnieten sind EN 1999-1-4 zu entnehmen.

### **8.5.9 Hochfeste Schrauben in gleitfesten Verbindungen**

#### **8.5.9.1 Allgemeines**

(1) Gleitfeste Verbindungen sollten nur verwendet werden, wenn die Dehngrenze des Materials der angeschlossenen Bauteile größer als  $200 \text{ N/mm}^2$  ist.

(2) Die Auswirkung extremer Temperaturänderungen und/oder großer Klemmlängen, durch die wegen der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen Aluminium- und Stahlschrauben eine Minderung oder Erhöhung der durch Reibung aufnehmbaren Last auftreten kann, muss berücksichtigt werden.

#### **8.5.9.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit**

(1)P Der Gleitwiderstand kann für den Grenzzustand der Tragfähigkeit oder für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nach 8.5.3.1 angesetzt werden. Dabei darf im Grenzzustand der Tragfähigkeit der Bemessungswert  $F_{v,Ed}$  der einwirkenden Abscherkraft bei einer hochfesten Schraube den kleineren der nachfolgenden Werte nicht überschreiten:

— den Bemessungswert der Abschertragfähigkeit  $F_{v,Rd}$

— den Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd}$

— den Bemessungswert der Tragfähigkeit auf Druck, Zug oder Biegung des angeschlossenen Bauteils im Netto- und Bruttoquerschnitt.

### 8.5.9.3 Gleitwiderstand / Abscherwiderstand

(1) Der Bemessungswert des Gleitwiderstandes einer vorgespannten hochfesten Schraube sollte wie folgt ermittelt werden:

$$F_{s,Rd} = \frac{n\mu}{\gamma_{Ms}} F_{p,C} \quad (8.21)$$

Dabei ist

$F_{p,C}$  die Vorspannkraft nach 8.5.9.4;

$\mu$  der Reibbeiwert, nach 8.5.9.5 und

$n$  die Anzahl der Reibflächen.

(2) Bei Schraubenlöchern mit normalem Lochspiel sollte der Teilsicherheitsbeiwert für den Gleitwiderstand  $\gamma_{Ms}$  im Grenzzustand der Tragfähigkeit mit  $\gamma_{Ms,ult}$  und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit mit  $\gamma_{Ms,ser}$  angesetzt werden, wobei  $\gamma_{Ms,ult}$  und  $\gamma_{Ms,ser}$  in 8.1.1 angegeben werden.

Wenn der Reibbeiwert  $\mu$  durch Versuche ermittelt wird, dann kann der Teilsicherheitsbeiwert für den Grenzzustand der Tragfähigkeit um 0,1 reduziert werden.

(3) Langlöcher oder übergroße Löcher sind durch diese Regelungen nicht abgedeckt.

### 8.5.9.4 Vorspannung

(1) Bei hochfesten Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 mit kontrollierter Vorspannung sollte in der Bemessung die Vorspannkraft  $F_{p,C}$  wie folgt angesetzt werden:

$$F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s \quad (8.22)$$

### 8.5.9.5 Reibbeiwert

(1) Der Bemessungswert des Reibbeiwertes  $\mu$  hängt von der festgelegten Klasse der Oberflächenbehandlung ab. Der Reibbeiwert  $\mu$  für die leicht gestrahlte Standardoberfläche mit einem Rauigkeitswert  $R_a$  von 12,5, siehe EN ISO 1302 und EN ISO 4288, ohne Oberflächenschutzbehandlung sollte der Tabelle 8.6 entnommen werden.

**Tabelle 8.6 — Reibbeiwert vorbehandelter Gleitflächen**

Summe aller Blechdicken mm	Reibbeiwert $\mu$
$12 \leq \Sigma t < 18$	0,27
$18 \leq \Sigma t < 24$	0,33
$24 \leq \Sigma t < 30$	0,37
$30 \leq \Sigma t$	0,40

ANMERKUNG Die Erfahrung zeigt, dass Oberflächenschutzmaßnahmen vor dem Strahlen zu niedrigeren Reibbeiwerten führt.

(2) Den Berechnungen, die auf Reibbeiwerten anderer Oberflächenschutzmaßnahmen oder auf der Verwendung höherer Reibbeiwerte beruhen, sollten Versuche nach dem in  $\boxed{A_1}$  EN 1090-3  $\boxed{A_1}$  beschriebenen Verfahren mit repräsentativen, dem Einbauzustand entsprechenden Oberflächen zugrunde liegen.

**8.5.9.6 Kombinierte Beanspruchung auf Zug und Abscheren**

(1) Wenn eine gleitfeste Verbindung mit einer kombinierten Beanspruchung aus einer Zugkraft  $F_t$  und einer Abscherkraft  $F_v$  beansprucht wird und als gleitfeste Verbindung ausgelegt ist, sollte der Bemessungswert des Gleitwiderstandes je Schraube wie folgt berechnet werden:

Kategorie B: Bemessungswert des Gleitwiderstandes im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

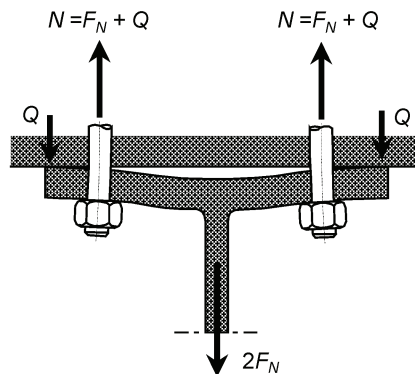
$$F_{s,Rd,ser} = \frac{n \mu (F_{p,C} - 0,8 F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{Ms,ser}} \tag{8.23}$$

Kategorie C: Bemessungswert des Gleitwiderstandes im Grenzzustand der Tragfähigkeit

$$F_{s,Rd} = \frac{n \mu (F_{p,C} - 0,8 F_{t,Ed})}{\gamma_{Ms,ult}} \tag{8.24}$$

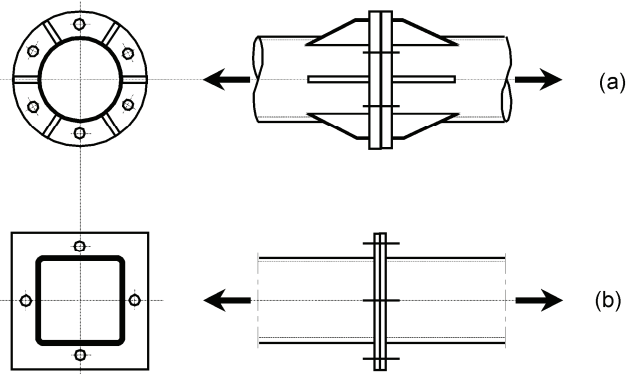
**8.5.10 Abstützkräfte**

(1) Wenn Verbindungsmittel Zugkräfte übernehmen, sollten sie auf eine zusätzliche axiale Kraft infolge von Abstützkräften ausgelegt werden, sofern diese auftreten können, siehe Bild 8.8.



**Bild 8.8 — Abstützkräfte (Q)**

(2) Die Abstützkräfte hängen von den Steifigkeitsverhältnissen und den geometrischen Verhältnissen der Verbindung ab, siehe Bild 8.9.



### Legende

- (a) Dicke Stirnplatte, kleine Abstützkräfte
- (b) Dünne Stirnplatte, große Abstützkräfte

**Bild 8.9 — Auswirkung von Konstruktionsdetails auf die Kontaktkräfte**

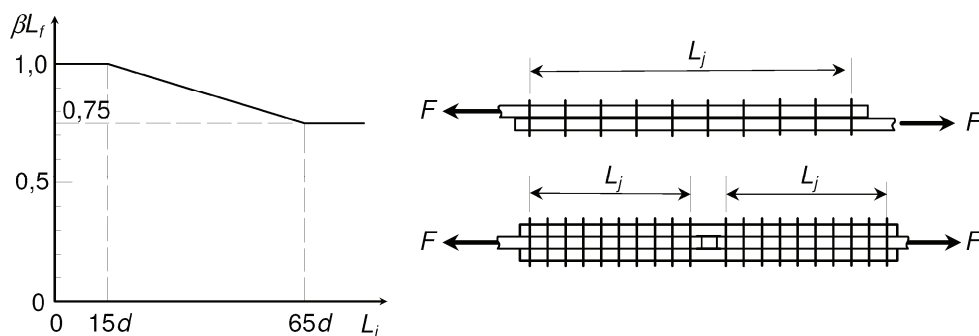
(3) Wenn Abstützkräfte bei der Bemessung von Stirnplatten als die Beanspruchbarkeit erhöhend angesetzt werden, sollten sie bei der Berechnung berücksichtigt werden (siehe Anhang B).

### 8.5.11 Lange Anschlüsse

(1) Wenn der größte Abstand  $L_j$  zwischen zwei Schrauben eines Anschlusses in Richtung der Kraftübertragung (siehe Bild 8.10), größer als  $15d$  ist, sollte der Bemessungswert der Abschertragfähigkeit  $F_{V,Rd}$  aller Verbindungsmittel nach 8.5.5 oder 8.5.6 mit dem nachfolgenden Abminderungsbeiwert  $\beta_{Lf}$  multipliziert werden:

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} \quad (8.25)$$

jedoch gilt  $0,75 \leq \beta_{Lf} \leq 1,0$ .



**Bild 8.10 — Lange Anschlüsse**

(2) Diese Vorschrift gilt nicht für Anschlüsse mit über der Länge gleichmäßig verteilter Lasteinleitung, z. B. bei der Übertragung einer Schubkraft vom Steg in den Gurt.

### 8.5.12 Einschnittige Verbindungen mit einer Schraubenreihe

- (1) Ein einzelner Niet oder eine einzige Nietreihe sollte nicht in einer einschnittigen Überlappungsverbindung verwendet werden.
- (2) Der Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd}$  nach 8.5.5 sollte wie folgt begrenzt werden:

$$F_{b,Rd} \leq 1,5 f_u d t / \gamma_{M2} \quad (8.26)$$

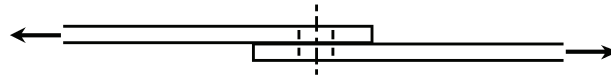


Bild 8.11 — Einschnittige Verbindung mit einer Schraubenreihe

- (3) Bei der Verwendung hochfester Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9 sollten für einschnittige Verbindungen mit einer Schraube oder einer Schraubenreihe rechtwinklig zur Belastungsrichtung auch dann geeignete Unterlegscheiben verwendet werden, wenn die Schrauben nicht vorgespannt werden.

### 8.5.13 Verbindungsmittel durch Futterbleche

- (1) Übertragen Schrauben oder Niete Scher- und Lochleibungskräfte über Futterbleche mit einer Gesamtdicke  $t_p$ , die größer als ein Drittel des Schraubennendurchmessers  $d$  ist, so sollte der Bemessungswert der Abschertragfähigkeit  $F_{v,Rd}$  nach 8.5.5 oder 8.5.6 mit dem Beiwert  $\beta_p$  wie folgt abgemindert werden:

$$\beta_p = \frac{9d}{8d + 3t_p} \text{ aber } \beta_p \leq 1,0 \quad (8.27)$$

- (2) Bei zweischnittigen Scher-/Lochleibungsverbindungen mit Futterblechen auf beiden Seiten des Stoßes sollte für den Wert  $t_p$  die Dicke des dickeren Futters angesetzt werden.
- (3) Alle zusätzlichen Verbindungsmittel, die durch die Abminderung durch den Beiwert  $\beta_p$  erforderlich werden, dürfen wahlweise in der Verlängerung des Futterbleches angeordnet werden.

### 8.5.14 Bolzenverbindungen

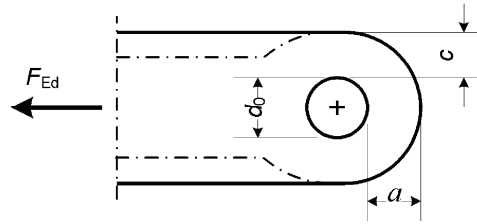
#### 8.5.14.1 $\square_{A1}$ Allgemeines $\square_{A1}$

- (1)  $\square_{A1}$  Bolzenverbindungen, für die Drehbarkeit verlangt wird, sollten nach 8.5.14.2–8.5.14.3 bemessen werden.
- (2) Bolzenverbindungen, für die Drehbarkeit nicht verlangt wird, dürfen als einzelne Schraubverbindungen bemessen werden, vorausgesetzt, die Länge der Bolzen ist kürzer als das 3-fache des Bolzendurchmessers, siehe 8.5.3. In allen anderen Fällen sollte nach 8.5.14.3 vorgegangen werden.  $\square_{A1}$

#### 8.5.14.2 Bolzenlöcher und Anschlussbleche

- (1)  $\square_{A1}$  Die Geometrie der Anschlussbleche in Bolzenverbindungen sollte mit den maßlichen Anforderungen von Bild 8.12 übereinstimmen.

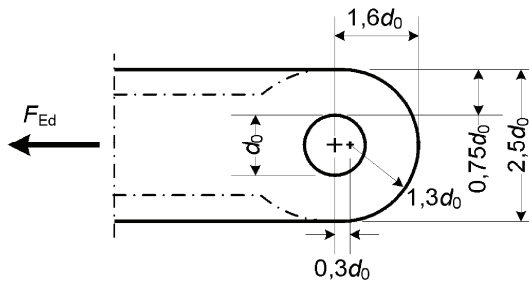




$$a \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M1}}{2t f_0} + \frac{2d_0}{3}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M1}}{2t f_0} + \frac{d_0}{3}$$

a) Lochdurchmesser und Dicke vorgegeben



$$t \geq 0,7 \sqrt{\frac{F_{Ed} \gamma_{M1}}{f_0}}$$

$$d_0 \geq 1,75 \sqrt{\frac{F_{Ed} \gamma_{M1}}{f_0}}$$

$t$  = Dicke des Bauteils (Blech)  
 $d_0$  = Lochdurchmesser

b) Geometrie vorgegeben

Bild 8.12 — Maßliche Anforderungen für Bolzenverbindungen

(2)P Unter dem Bemessungswert der einwirkenden Kraft,  $F_{Ed}$ , im Anschlussblech dürfen im Grenzzustand der Tragfähigkeit die in Tabelle 8.7 angegebenen Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit nicht überschritten werden.

(3) Anschlussbleche, die zur Vergrößerung der Nettoquerschnittsfläche des Bauteils oder der Grenzlochleibungskraft eines Bolzens vorgesehen sind, sollten ausreichend dimensioniert werden, um die Bemessungskraft vom Bolzen in das Bauteil übertragen zu können; sie sollten so angeordnet werden, dass Exzentrizitäten vermieden werden.  $\text{A1}$

### 8.5.14.3 Bemessung der Bolzen

(1)  $\text{A1}$  Bolzen sollten nicht einschnittig belastet werden; daher sollte eines der zu verbindenden Bauteile wie eine Gabel oder ein Schäkel ausgebildet sein. Die Sicherung des Bolzens, z. B. durch einen Federring, sollte so bemessen werden, dass sie einer in Richtung der Bolzenachse wirkenden Kraft von mindestens 10 % der auf den Bolzen einwirkenden Abscherkraft widersteht.

(2) Die Biegemomente in einem Bolzen sollten nach Bild 8.13 berechnet werden.

(3) Die Bemessungswerte der Einwirkungen auf einen Bolzen sollten die Beanspruchbarkeiten im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach Tabelle 8.7 nicht überschreiten.

(4) Ist Austauschbarkeit des Bolzens vorgesehen (mehrfache Montage und Demontage eines Tragwerks), sollten zusätzlich zu den Bestimmungen nach 8.5.14.2 und 8.5.14.3 hinsichtlich Kontaktbeanspruchung folgende Bedingungen erfüllt werden:

$$\sigma_{h,Ed} \leq f_{h,Rd} \tag{8.28a}$$

Dabei ist

$$\sigma_{h,Ed} = 0,591 \sqrt{\frac{F_{Ed,ser}(d_0 - d)}{d^2 t}} \sqrt{\frac{2E_p E_{pl}}{E_p + E_{pl}}} \tag{8.28b}$$

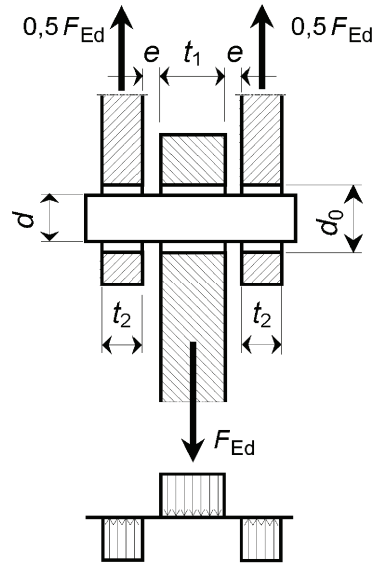
$$f_{h,Rd} = 2,5 f_0 / \gamma_{M6,ser}$$

Dabei ist

- $d$  der Durchmesser des Bolzens;
- $d_0$  der Durchmesser des Bolzenloches;
- $F_{Ed,ser}$  der Bemessungswert der Kraft, die bei der Beanspruchung mit den typischen Lastkombinationen für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit übertragen wird;
- $E_p, E_{pl}$  der Elastizitätsmodul des Bolzens bzw. des Blechwerkstoffs.

**Tabelle 8.7 — Bemessungswerte der Beanspruchbarkeiten von Bolzenverbindungen**

Kriterium	Beanspruchbarkeit
Abscheren des Bolzens	$F_{v,Rd} = 0,6 A f_{up} / \gamma_{Mp} \geq F_{v,Ed}$
Ist die Austauschbarkeit des Bolzens vorgesehen, sollte diese Anforderungen ebenfalls erfüllt sein	$F_{v,Rd,ser} = 0,6 A f_{op} / \gamma_{M6,ser} \geq F_{v,Ed,ser}$
Lochleibung von Blech und Bolzen	$F_{b,Rd} = 1,5 t d f_{o,min} / \gamma_{M1} \geq F_{b,Ed}$
Ist die Austauschbarkeit des Bolzens vorgesehen, sollte diese Anforderungen ebenfalls erfüllt sein	$F_{b,Rd} = 0,6 t d f_o' / \gamma_{M6,ser} \geq F_{b,Ed,ser}$
Biegung des Bolzens	$M_{Rd} = 1,5 W_{el} f_{op} / \gamma_{M1} \geq M_{Rd}$
Ist die Austauschbarkeit des Bolzens vorgesehen, sollte diese Anforderungen ebenfalls erfüllt sein	$M_{Rd} = 0,8 W_{el} f_{op} / \gamma_{M6,ser} \geq M_{Ed,ser}$
Interaktion von Abscheren und Biegung	$(M_{Ed} / M_{Rd})^2 + (F_{v,Ed} / F_{v,Rd})^2 \leq 1,0$
Dabei ist	
$d$	der Durchmesser des Bolzens;
$f_{o,min}$	der niedrigere Bemessungswert der Festigkeiten von Bolzen und verbundenem Bauteil;
$f_{up}$	die maximale Zugfestigkeit (Bruchfestigkeit) des Bolzens;
$f_{op}$	die Streckgrenze des Bolzens;
$t$	die Dicke des verbundenen Bauteils;
$A$	die Querschnittsfläche eines Bolzens.



**Bild 8.13 — Einwirkungen und Reaktionen bei einer Bolzenverbindung**

$$M_{Ed} = F_{Ed} (2t_2 + 4e + t_1)/8$$

(8.28c)  $\square$

## 8.6 Schweißverbindungen

### 8.6.1 Allgemeines

(1) Bei der Bemessung von Schweißverbindungen sollten sowohl die Festigkeit der Schweißnähte als auch die Festigkeit der Wärmeeinflusszone berücksichtigt werden.

(2) Die hier angegebenen Bemessungsvorschriften gelten für:

- MIG-Schweißungen und WIG-Schweißungen für Bauteildicken nach Tabelle 3.2a und Tabelle 3.2b  $\square$  gestrichener Text  $\square$ ;
- Bewertungsgruppe nach  $\square$  EN 1090-3  $\square$ ;
- Bei Kombinationen von Grundwerkstoff und Schweißzusatzwerkstoff nach 3.3.4;
- In Bauwerken unter vorwiegend ruhenden Belastungen.

(3) Werden im Falle von tragenden Primärbauteilen die oben aufgeführten Anforderung nicht erfüllt, so sollten Regel spezielle, unter den Vertragspartnern abgestimmte Versuchsstücke geschweißt und geprüft werden.

(4) Falls bei tragenden Sekundärbauteilen oder unbelasteten Bauteilen ein niedrigeres Qualitätsniveau festgelegt wurde, sollten in der Regel niedrigere Bemessungswerte der Festigkeiten verwendet werden.

### 8.6.2 Wärmeeinflusszone (WEZ)

(1) Bei den folgenden Legierungsklassen sollte die Wärmeeinflusszone berücksichtigt werden (siehe auch  $\square$  6.1.6  $\square$ ).

- Aushärtbare Legierungen im Zustand T4 und darüber (Legierungen der Serien 6xxx und 7xxx);
- Nicht aushärtbare Legierungen in kaltverfestigtem Zustand (Legierungen der Serien 3xxx, 5xxx und 8xxx).

(2) Die Größe und die Reichweite (Breitenmaß) der Entfestigung in der Wärmeeinflusszone nach **A1** 6.1.6 **A1** sollten beachtet werden. Sowohl die Größe als auch die Reichweite sind für WIG-Schweißungen und MIG-Schweißungen unterschiedlich. Bei WIG-Schweißungen sollte wegen des größeren Wärmeintrags eine größere Reichweite (größere WEZ-Querschnittsfläche) und eine größere Entfestigung angesetzt werden.

(3) Die charakteristischen Festigkeiten  $f_{u,haz}$  für den Werkstoff in der WEZ sind in Tabelle 3.2 angegeben. Die charakteristische Schubfestigkeit in der WEZ ist festgelegt mit:  $f_{v,haz} = f_{u,haz} / \sqrt{3}$ .

**8.6.3 Bemessung von Schweißverbindungen**

(1) Bei der Bemessung von Schweißverbindungen sollten folgende Nachweise geführt werden:

- Bemessung der Schweißnähte, siehe 8.6.3.2 und 8.6.3.3;
- Beanspruchbarkeit der WEZ der Naht, siehe 8.6.3.4;
- Bemessung von Verbindungen mit kombinierten Schweißnähten, siehe 8.6.3.5.

(2) Das Verformungsvermögen einer Schweißverbindung kann verbessert werden, wenn der Bemessungswert der Festigkeit der Schweißnähte größer als der in der WEZ ist.

**8.6.3.1 Charakteristische Festigkeit von Schweißnähten**

(1) Für die charakteristische Festigkeit der Schweißnaht ( $f_w$ ), sollten, unter der Voraussetzung, dass die Kombinationen von Grundwerkstoff und Schweißzusatzwerkstoff 3.3.4 entsprechen, die Werte nach Tabelle 8.8 verwendet werden.

(2) In Schweißverbindungen ist die Festigkeit des Schweißguts gewöhnlich niedriger als die Festigkeit des Grundwerkstoffs außerhalb der WEZ.

**Tabelle 8.8 — Charakteristische Werte der Festigkeit von Schweißnähten  $f_w$**

Charakteristische Festigkeit	Schweißzusatzwerkstoff	Legierung								
		3103	5052	5083	5454	6060	6005A	6061	6082	7020
$f_w$ in N/mm <sup>2</sup>	5356	—	170	240	220	160	180	190	210	260
	4043A	95	—	—	—	150	160	170	190	210

- 1 Für die Legierungen
  - EN AW-5754 und EN AW-5049 können die Werte der Legierung 5454
  - EN AW-6063, EN AW-3005 und EN AW-5005 können die Werte der Legierung 6060
  - EN AW-6106 können die Werte der Legierung 6005A
  - EN AW-3004 können die Werte der Legierung 6082
  - EN AW-8011A kann für die Schweißzusatzwerkstoffe Typ 4 und Typ 5 ein Wert von 100 N/mm<sup>2</sup> verwendet werden.
- 2 **A1** Wenn die Schweißzusatzwerkstoffe 5056, 5356A, 5556A/5556B, 5183/5183A verwendet werden, dann gelten die Werte des Schweißzusatzwerkstoffes 5356. **A1**
- 3 Wenn die Schweißzusatzwerkstoffe 4047A oder 3103 verwendet werden, dann gelten die Werte des Schweißzusatzwerkstoffes 4043A.
- 4 Bei Kombinationen unterschiedlicher Legierungen muss die niedrigste charakteristische Festigkeit der Schweißnaht verwendet werden.

(3) Die charakteristische Festigkeit der Schweißnaht richtet sich nach dem verwendeten Schweißzusatzwerkstoff. Die Wahl des Schweißzusatzwerkstoffs hat einen bedeutenden Einfluss auf die Festigkeit der Schweißnaht.

### 8.6.3.2 Bemessung von Stumpfnähten

#### 8.6.3.2.1 Durchgeschweißte Stumpfnähte

(1) Bei tragenden Primärbauteilen sollten in der Regel voll durchgeschweißte Stumpfnähte verwendet werden.

(2) Die wirksame Dicke einer durchgeschweißten Stumpfnahnt sollte mit der Dicke der verbundenen Bauteile angesetzt werden. Bei unterschiedlichen Dicken der zu verschweißenden Bauteile sollte die kleinste Bauteildicke als Schweißnahtdicke angesetzt werden.

(3) Überhöhungen oder Unterschreitungen der Nahtdicke innerhalb der festgelegten Grenzen sollten bei der Bemessung in der Regel vernachlässigt werden.

(4) Die effektive Länge ist gleich der gesamten Nahtlänge, wenn An- und Auslaufbleche verwendet werden. Andernfalls sollte die Gesamtlänge um das Zweifache der Dicke  $t$  reduziert werden.

#### 8.6.3.2.2 Nicht durchgeschweißte Stumpfnähte

(1) Nicht durchgeschweißte Stumpfnähte sollten nur in Sekundärbauteilen und unbelasteten Bauteilen verwendet werden.

(2) Bei nicht durchgeschweißten Stumpfnähten sollte eine wirksame Nahtfläche  $t_e$  festgelegt werden (siehe Bild 8.21):

#### 8.6.3.2.3 Bemessungswerte für Stumpfnähte

(1) Für die Bemessungswerte der Spannungen gilt Folgendes:

— Zug- oder Drucknormalspannung rechtwinklig zur Schweißnahtachse, siehe Bild 8.14:

$$\sigma_{\perp Ed} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}} \quad (8.29)$$

— Schubspannung, siehe Bild 8.15:

$$\tau_{Ed} \leq \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{f_w}{\gamma_{Mw}} \quad (8.30)$$

— kombinierte Normal- und Schubspannungen:

$$\sqrt{\sigma_{\perp Ed}^2 + 3 \tau_{Ed}^2} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}} \quad (8.31)$$

Dabei ist

$f_w$  die charakteristische Festigkeit der Schweißnaht nach Tabelle 8.8;

$\sigma_{\perp Ed}$  die Normalspannung, rechtwinklig zur Schweißnahtachse;

$\tau_{Ed}$  die Schubspannung, parallel zur Schweißnahtachse;

$\gamma_{Mw}$  der Teilsicherheitsbeiwert für Schweißverbindungen, siehe 8.1.1.

(2) Eigenspannungen und Spannungen, die nicht an der Lastübertragung beteiligt sind, müssen beim Nachweis der Beanspruchbarkeit der Schweißnaht nicht berücksichtigt werden. A1 gestrichener Text A1.

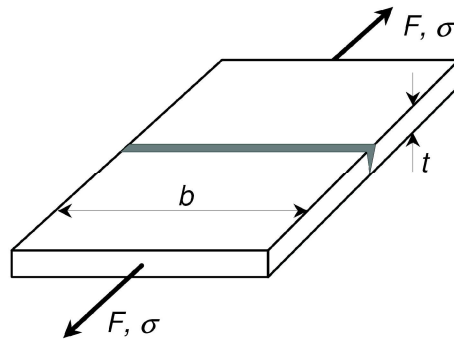


Bild 8.14 — Stumpfnah mit Normalspannungen

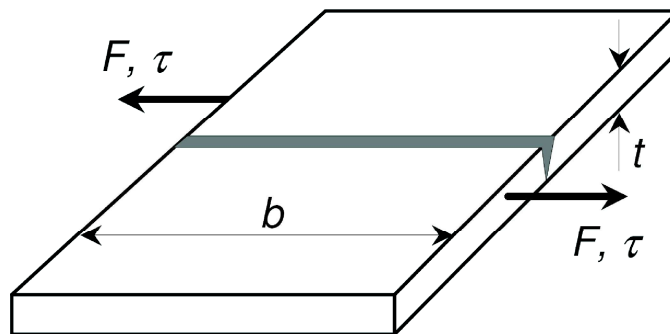


Bild 8.15 — Stumpfnah mit Schubspannungen

### 8.6.3.3 Bemessung von Kehlnähten

(1) Für die Bemessung von Kehlnähten sollte die Nahtfläche als maßgebende Querschnittsgröße angesetzt werden

(2) Die Nahtfläche sollte mit der wirksamen Nahtlänge und der wirksamen Nahtdicke bestimmt werden.

(3) Die wirksame Nahtlänge sollte als Gesamtlänge der Schweißnaht angesetzt werden, wenn:

- die Nahtlänge mindestens der 8-fachen Nahtdicke entspricht;
- bei ungleichmäßiger Spannungsverteilung entlang der Naht die Nahtlänge die 100-fache Nahtdicke nicht überschreitet;
- die Spannungsverteilung entlang der Naht konstant ist, wie z. B. in einer Überlappungsverbindung nach Bild 8.16a.

A1 (4) Entspricht die Nahtlänge nicht mindestens der 8-fachen Nahtdicke, sollte die Tragwirkung der Naht nicht berücksichtigt werden. Bei ungleichmäßiger Spannungsverteilung entlang der Naht, siehe Bild 8.16b), sollte bei Nähten, deren Länge das 100-fache ihrer Nahtdicke überschreitet, die wirksame Nahtlänge der Schweißnaht angesetzt werden mit:

$$L_{w,eff} = (1,2 - 0,2 L_w/100 a) L_w \text{ mit } L_w \geq 100 a \tag{8.32}$$

Dabei ist

$L_{w,eff}$  die wirksame Länge der Flankenkehlnähte;

$L_w$  die Gesamtlänge der Flankenkehlnähte;

$a$  die wirksame Nahtdicke, siehe Bild 8.17.

ANMERKUNG Bei ungleichmäßiger Spannungsverteilung und dünnen, langen Nähten kann das Verformungsvermögen an den Nahtenden erschöpft sein, bevor der mittlere Bereich der Naht zum Fließen kommt; in diesem Fall versagt die Verbindung in einer Art Reißverschluss effekt.



a) Beispiel einer gleichmäßigen Spannungsverteilung

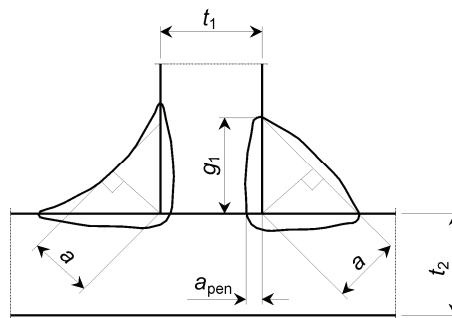
b) Beispiel einer ungleichmäßigen Spannungsverteilung

**Bild 8.16 — Spannungsverteilungen in Verbindungen mit Kehlnähten** A1

(5) Die wirksame Nahtdicke  $a$  ist nach Bild 8.17 zu ermitteln ( $a$  ist die Höhe des größten in den Schweißnahtquerschnitt einbeschreibbaren Dreiecks).

(6) Wenn in der Verfahrensprüfung ein durchgehend über den theoretischen Wurzelpunkt hinausgehender Einbrand der Kehlnaht nachgewiesen wird, darf für Bemessungszwecke Folgendes angenommen werden:

- Die Nahtdicke darf unter der Voraussetzung, dass Überwachungsregeln zur Qualitätssicherung festgelegt wurden, um den kleineren Wert von 20 % und 2 mm vergrößert werden. Somit gilt:  $a = 1,2 a$  oder  $a = a + 2 \text{ mm}$ .
- Bei Kehlnähten mit planmäßigem Einbrand kann der zusätzliche Nahtdickenanteil berücksichtigt werden, vorausgesetzt, dass in einer Verfahrensprüfung nachgewiesen wurde, dass der Einbrand über die gesamte Länge sicher erreicht wird. Somit gilt:  $a = a + a_{pen}$ , siehe Bild 8.17.

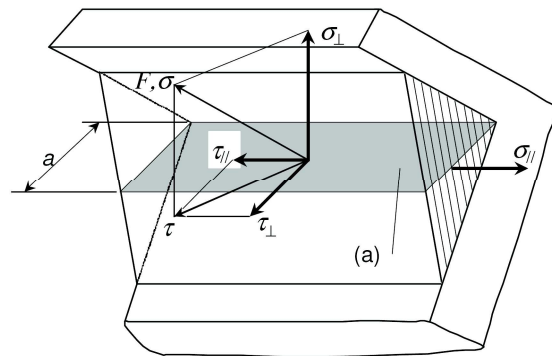


**Bild 8.17 — Wirksame Nahtdicke  $a$ ; über den theoretischen Wurzelpunkt hinausgehender Einbrand  $a_{pen}$**

(7) Die auf eine Kehlnaht wirkenden Kräfte sollten bezüglich der Nahtfläche in Spannungskomponenten zerlegt werden, siehe Bild 8.18. Diese Komponenten sind:

- die Normalspannung  $\sigma_{\perp}$  rechtwinklig zur Nahtfläche;
- die Normalspannung  $\eta_{\parallel}$  parallel zur maßgebenden Nahtachse;
- die Schubspannung  $\tau_{\perp}$  in der Nahtfläche rechtwinklig zur maßgebenden Nahtachse;
- die Schubspannung  $\tau_{\parallel}$  in der Nahtfläche parallel zur maßgebenden Nahtachse.

(8) Eigenspannungen und Spannungen, die nicht an der Lastübertragung beteiligt sind, müssen beim Nachweis der Schweißnahtbeanspruchbarkeit nicht berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere für Normalspannungen  $\sigma_{\parallel}$  parallel zur Schweißnahtachse.



(a) Nahtquerschnitt

**Bild 8.18 — Spannungen  $\sigma_{\perp}$ ,  $\tau_{\perp}$  und  $\tau_{\parallel}$  in der Nahtfläche einer Kehlnaht.**

(9) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit einer Kehlnaht sollte folgende Bedingung erfüllen:

$$\sqrt{\sigma_{\perp Ed}^2 + 3(\tau_{\perp Ed}^2 + \tau_{\parallel Ed}^2)} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}} \quad (8.33)$$

Dabei ist

$f_w$  die charakteristische Festigkeit der Schweißnaht nach Tabelle 8.8;

$\gamma_{Mw}$  der Teilsicherheitsbeiwert für Schweißverbindungen, siehe 8.1.1.

(10) Bei zwei häufig vorkommenden Fällen sollten die Nachweise nach den folgenden von Beziehung 8.33 abgeleiteten Gleichungen geführt werden:

- Doppelkehlnahtanschluss mit Beanspruchung rechtwinklig zur Schweißnahtachse (siehe Bild 8.19). Die Nahtdicke  $a$  muss in der Regel folgende Bedingung erfüllen:

$$\boxed{A1} \quad a \geq \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\sigma_{Ed} t}{f_w / \gamma_{Mw}} \quad \boxed{A1} \quad (8.34)$$

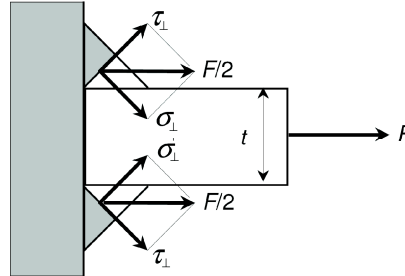
Dabei ist

$$\sigma_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{tb} \quad \text{die Normalspannung im angeschlossenen Bauteil;} \quad (8.35)$$

$F_{Ed}$  die Bemessungslast im angeschlossenen Bauteil;



- $f_w$  die charakteristische Festigkeit der Schweißnaht nach Tabelle 8.8;
- $t$  die Dicke des angeschlossenen Bauteils, siehe Bild 8.19;
- $b$  die Breite des angeschlossenen Bauteils.



**Bild 8.19 — Doppelkehlnahtanschluss mit Beanspruchung rechtwinklig zur Schweißnahtachse**

- Doppelkehlnahtanschluss mit Beanspruchung parallel zur Schweißnahtachse (siehe Bild 8.20). Für die Nahtdicke  $a$  sollte Folgendes nachgewiesen werden:

$$\boxed{A1} \ a \geq \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{\tau_{Ed} t}{f_w / \gamma_{Mw}} \quad \boxed{A1} \quad (8.36)$$

Dabei ist

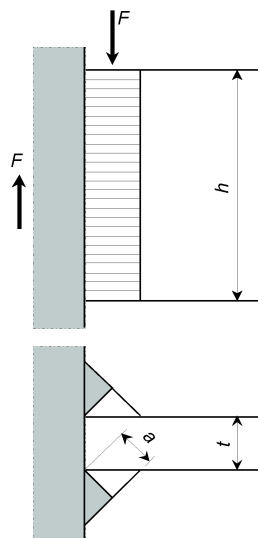
$$\tau_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{t h} \quad \text{die Schubspannung im angeschlossenen Bauteil;} \quad (8.37)$$

$F_{Ed}$  die Bemessungslast im angeschlossenen Bauteil;

$f_w$  die charakteristische Festigkeit der Schweißnaht nach Tabelle 8.8;

$t$  die Dicke des angeschlossenen Bauteils, siehe Bild 8.20;

$h$  die Höhe des angeschlossenen Bauteils, siehe Bild 8.20.



**Bild 8.20 — Doppelkehlnahtanschluss mit Beanspruchung parallel zur Schweißnahtachse**

8.6.3.4 Tragfähigkeitsnachweis für die WEZ

(1) Der Tragfähigkeitsnachweis für die WEZ sollte wie folgt vorgenommen werden:

a) Zugkraft rechtwinklig zur Versagensebene (siehe Bild 8.21):

— WEZ von Stumpfnähten:

$$\sigma_{\text{haz,Ed}} \leq \frac{f_{\text{u,haz}}}{\gamma_{\text{Mw}}} \quad \text{am Schweißnahtübergang (voller Querschnitt) } \boxed{\text{A1}} \text{ für Schweißnähte mit vollständigem Einbrand und am wirksamen Nahtdickenquerschnitt für Schweißnähte mit unvollständigem Einbrand } \boxed{\text{A1}}; \quad (8.38)$$

— WEZ von Kehlnähten:

$$\sigma_{\text{haz,Ed}} \leq \frac{f_{\text{u,haz}}}{\gamma_{\text{Mw}}} \quad \text{an der Schmelzlinie und im Schweißnahtübergang (voller Querschnitt)}. \quad (8.39)$$

Dabei ist

$\sigma_{\text{haz,Ed}}$  der Bemessungswert der Normalspannung rechtwinklig zur Schweißnahtachse;

$\boxed{\text{A1}}$  gestrichener Text  $\boxed{\text{A1}}$

$f_{\text{u,haz}}$  die charakteristische Festigkeit in der WEZ, siehe 8.6.2;

$\gamma_{\text{Mw}}$  der Teilsicherheitsbeiwert für geschweißte Verbindungen, siehe 8.1.1.

b) Schubkraft in der Versagensebene:

— WEZ von Stumpfnähten:

$$\tau_{\text{haz,Ed}} \leq \frac{f_{\text{v,haz}}}{\gamma_{\text{Mw}}} \quad \text{am Schweißnahtübergang (voller Querschnitt) } \boxed{\text{A1}} \text{ für Schweißnähte mit vollständigem Einbrand und am wirksamen Nahtdickenquerschnitt für Schweißnähte mit unvollständigem Einbrand } \boxed{\text{A1}} \quad (8.40)$$

— WEZ von Kehlnähten:

$$\tau_{\text{haz,Ed}} \leq \frac{f_{\text{v,haz}}}{\gamma_{\text{Mw}}} \quad \boxed{\text{A1}} \text{ an der Schweißlinie und } \boxed{\text{A1}} \text{ am Schweißnahtübergang voller Querschnitt) } \quad (8.41)$$

Dabei ist

$\tau_{\text{haz,Ed}}$  die Schubspannung parallel zur Schweißnahtachse;

$f_{\text{v,haz}}$  die charakteristische Schubfestigkeit in der WEZ, siehe 8.6.2;

$\gamma_{\text{Mw}}$  der Teilsicherheitsbeiwert für Schweißverbindungen, siehe 8.1.1.

c) Schub und Zug:

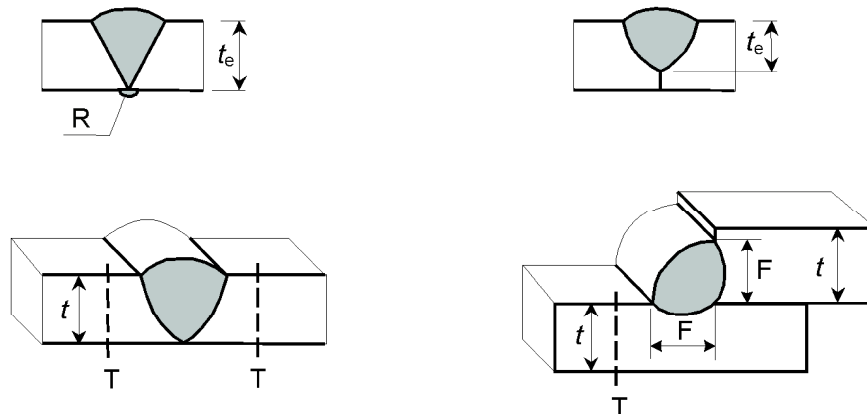
— WEZ von Stumpfnähten:

$$\sqrt{\sigma_{\text{haz,Ed}}^2 + 3\tau_{\text{haz,Ed}}^2} \leq \frac{f_{u,\text{haz}}}{\gamma_{\text{Mw}}} \quad \begin{array}{l} \text{am Schweißnahtübergang (voller Querschnitt) } \boxed{A_1} \text{ für Schweißnähte mit} \\ \text{vollständigem Einbrand und am wirksamen Nahtdickenquerschnitt für} \\ \text{Schweißnähte mit unvollständigem Einbrand } \boxed{A_1} \end{array} \quad (8.42)$$

— WEZ von Kehlnähten:

$$\sqrt{\sigma_{\text{haz,Ed}}^2 + 3\tau_{\text{haz,Ed}}^2} \leq \frac{f_{u,\text{haz}}}{\gamma_{\text{Mw}}} \quad \begin{array}{l} \boxed{A_1} \text{ an der Schweißlinie und } \boxed{A_1} \text{ am Schweißnahtübergang} \\ \text{(voller Querschnitt)} \end{array} \quad (8.43)$$

Symbole siehe 8.6.3.4a) und b).



Linie F = WEZ in der Schmelzlinie; Linie T = WEZ am Schweißnahtübergang, voller Querschnitt,  $t_e$  = wirksame Nahtfläche, R = Wurzeldurchhang oder Wurzelüberhöhung

**Bild 8.21 — Versagensebenen in der WEZ einer Schweißnaht**

(2) Die oben aufgeführten Regeln zur Bemessung der WEZ betreffen nur die Schweißverbindungen. In 6.3 und 6.5 werden Hinweise für die Auswirkungen der WEZ auf das Tragverhalten von Bauteilen gegeben.

### 8.6.3.5 Bemessung von Verbindungen mit kombinierten Schweißnähten

(1) Für die Bemessung von Verbindungen mit kombinierten Schweißnähten sollte eines der folgenden Verfahren angewendet werden (siehe auch 8.1.4):

Verfahren 1: Die auf den Anschluss einwirkenden Belastungen werden auf die Schweißnähte verteilt, die sie am besten tragen können.

Verfahren 2: Die Schweißnähte werden nach den Spannungen im Grundwerkstoff der angeschlossenen Bauteile bemessen.

(2) Wendet man eines der beiden oben genannten Verfahren an, so wird die Bemessung der Verbindungen mit kombinierten Schweißnähten auf die Bemessung von Schweißnahtkomponenten zurückgeführt.

(3) Bei Verfahren 1 ist nachzuprüfen, ob die Schweißnaht genügend Verformungsvermögen für die vereinfachte Lastverteilung besitzt. Es ist zu beachten, dass die angenommene Lastverteilung auf die Schweißnähte nicht zu einer Überbeanspruchung der angeschlossenen Bauteile führen darf.

(4) Bei Verfahren 2 existieren die zuvor genannten Probleme nicht, aber es kann schwierig werden, die Spannungen im Grundwerkstoff in den einzelnen Elementen des Anschlusses zu ermitteln.

(5) Die Annahme der in Verfahren 1 beschriebenen vereinfachten Lastverteilung ist das gängigste Verfahren. Da die tatsächliche Verteilung der Lasten zwischen den Schweißnähten mehrfach statisch unbestimmt ist wurden solche Annahmen als eine akzeptable und ausreichende Bemessungspraxis befunden. Diese Annahmen beruhen jedoch auf der nachgewiesenen Fähigkeit von Schweißnähten, Lasten durch Fließen zu verteilen.

(6) Eigenspannungen und andere Spannungen, die an der Lastübertragung nicht beteiligt sind, brauchen bei der Bemessung nicht berücksichtigt zu werden. Zum Beispiel ist es nicht notwendig, Spannungen infolge kleiner Exzentrizitäten im Stoß zu berücksichtigen.

## **8.7 Hybride Verbindungen**

(1) Wenn unterschiedliche Verbindungsmittel zur Übertragung von Schubkräften verwendet werden oder wenn Schweißnähte mit anderen Verbindungsmitteln kombiniert werden, sollte der Tragwerksplaner nachweisen, dass sie zusammenwirken.

(2) Im Allgemeinen wird der Grad des Zusammenwirkens durch die Betrachtung von Last-Verschiebungskurven der in Frage stehenden Verbindung mit der individuellen Verbindungsart oder auch durch zutreffende Versuche mit der vollständigen hybriden Verbindung ermittelt.

(3) Insbesondere sollten rohe Schrauben mit Lochspiel nicht gemeinsam mit Schweißverbindungen verwendet werden.

(4) Bei hochfesten vorgespannten Schrauben in gleitfesten Verbindungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Kategorie C in 8.5.3.1) darf angenommen werden, dass Schrauben und Schweißnähte zusammenwirken, wenn das abschließende Anziehen der Schrauben nach dem Schweißen erfolgt. In diesem Falle sollten die Bemessungswerte der Tragfähigkeiten dieser beiden Verbindungsarten gemeinsam in vollem Umfang zur Lastabtragung angesetzt werden.

## **8.8 Geklebte Verbindungen**

ANMERKUNG Empfehlungen für geklebte Verbindungen werden in Anhang M gegeben.

## **8.9 Andere Verbindungsverfahren**

(1) EN1999-1-4 enthält Regeln für die Bemessung mechanischer Verbindungsmittel.

(2) Andere Verbindungsverfahren, die nicht durch die Bemessungsregeln dieser Norm abgedeckt sind, können verwendet werden, wenn entsprechende Versuche in Übereinstimmung mit EN 1090 durchgeführt werden, um:

- die Eignung des Verfahrens für Tragkonstruktionen aufzuzeigen;
- den Bemessungswert der Beanspruchbarkeit für das verwendete Verfahren herzuleiten.

(3) Beispiele anderer Verfahren zur Verbindung sind:

- Schweißverfahren wie z. B. Rührreibschweißen und Laserschweißen;
- mechanische Befestigungsverfahren wie Schrauben in Schraubkanälen und selbstbohrende Niete.

ANMERKUNG Regeln für andere Verfahren zur Verbindung dürfen im Nationalen Anhang angegeben werden.

## Anhang A (informativ)

### **A1** Differenzierung der Zuverlässigkeit

#### **A.1 Einleitung**

(1) In EN 1990, Abschnitt 2, sind grundlegende Anforderungen enthalten, um sicherzustellen, dass das Tragwerk die erforderliche Zuverlässigkeit erreicht. Anhang B der angegebenen Norm behandelt Schadensfolgeklassen und Zuverlässigkeitsklassen und enthält Leitlinien für die Auswahl der Schadensfolgeklasse zum Zweck der Differenzierung der Zuverlässigkeit. Drei mit CCI ( $i = 1, 2$  oder  $3$ ) bezeichnete Schadensfolgeklassen für Tragwerkbauteile werden unterschieden.

(2) Die Schadensfolgeklasse und die damit verknüpfte Zuverlässigkeitsklasse eines Tragwerks oder eines Bauteils haben Auswirkung auf die Anforderungen an deren Bemessung und deren Ausführung, und im Besonderen auf den Umfang der Überwachungsmaßnahmen bei der Planung und der Ausführung des Tragwerks.

(3) Dieser Anhang ist Leitlinie für die Anwendung der verschiedenen Teile von EN 1999 sowie für die Abfassung der nach EN 1090-3 erforderlichen Ausführungsunterlagen.

#### **A.2 Vorschriften für die Planung zur Differenzierung der Zuverlässigkeit — Planungsüberwachungsstufen**

(1) Die Leitlinien in EN 1990, Anhang B, zur Differenzierung der Zuverlässigkeit enthalten:

- Regeln für die Planungsüberwachung und Prüfung der Tragwerksdokumentation, ausgedrückt durch die Planungsüberwachungsstufe DSL;
- Regeln für die Bestimmung der Bemessungswerte der Einwirkungen und die Kombination der Einwirkungen, ausgedrückt durch die Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen.

**ANMERKUNG** Der Nationale Anhang darf Regeln für die Anwendung der Schadensfolgeklassen und Zuverlässigkeitsklassen und deren Verknüpfung miteinander, sowie die Anforderungen an die Planungsüberwachung festlegen. Empfehlungen sind EN 1990, Anhang B zu entnehmen.

#### **A.3 Vorschriften für die Ausführung zur Differenzierung der Zuverlässigkeit — Ausführungsklassen**

(1) Zur Differenzierung der Anforderungen an Tragwerke und ihre Bauteile hinsichtlich Zuverlässigkeitsmanagement in Bezug auf Herstellung und Ausführung werden in Übereinstimmung mit EN 1990, 2.2 und dessen informativen Anhang B Ausführungsklassen eingeführt.

(2) Bei Aluminiumtragwerken wird zwischen 4 mit EXC1, 2, 3 und 4 bezeichneten Ausführungsklassen unterschieden, wobei mit Klasse 4 die strengsten Anforderungen gestellt werden.

**ANMERKUNG** EN 1990 empfiehlt drei Schadensfolgeklassen und drei Zuverlässigkeitsklassen. EN 1990 erfasst jedoch nicht in EN 1999-1-3 behandelte, ermüdungsbeanspruchte Tragwerke.

(3) Eine Ausführungsklasse kann für das gesamte Tragwerk oder Teile davon, für ein Bauteil oder mehrere Bauteile oder für spezielle Details gelten. Ein Tragwerk kann mehr als eine Ausführungsklasse umfassen.

(4) Die Ausführung von Tragwerken und Bauteilen muss nach EN 1090-3 unter Beachtung der dort für die verschiedenen Ausführungsklassen angegebenen Regeln erfolgen.

#### A.4 Maßgebende Faktoren für die Auswahl der Ausführungsklassen

- (1) Die Ausführungsklasse sollte auf der Grundlage der folgenden drei Bedingungen bestimmt werden, d. h.:
- a) auf den Menschen betreffende Folgen, den ökonomischen oder den die Umwelt betreffenden Folgen bei Versagen des Tragwerks;
  - b) auf der Art der Belastung, d. h., ob das Tragwerk vorwiegend ruhender Belastung oder signifikanter Ermüdungsbeanspruchung unterworfen ist ;
  - c) auf den für die Ausführung der Arbeiten angewendeten Technologien und Verfahren in Verbindung mit den Anforderungen an das Qualitätsniveau des Bauteils.
- (2) Zur Bewertung der unter a) aufgeführten Punkte unter dem Gesichtspunkt der Schadensfolgeklasse, siehe A.1.
- (3) Unsicherheiten hinsichtlich Umgebungsbedingungen und Einwirkungen (b)) sowie mit Hinsicht auf die Komplexität der Ausführung (c)) stellen Risiken dar, die das Tragwerk schädigen und somit zu Fehlfunktionen während des Einsatzes führen können. Zur Berücksichtigung dieser Risiken werden Beanspruchungskategorien und Herstellungskategorien eingeführt, siehe Tabellen A.1 und A.2.

**Tabelle A.1 — Kriterien für die Beanspruchungskategorie**

Kategorie	Kriterium
SC1	Tragwerke, die quasi ruhenden Lasten ausgesetzt sind <sup>a</sup>
SC2	Tragwerke, die wiederholten Einwirkungen in einem solchen Maß ausgesetzt sind, dass die Anwendung der Regeln für ermüdungsbeanspruchte Bauteile angezeigt ist <sup>b</sup>
<sup>a</sup> Leitlinien dazu, ob ein Bauteil oder Tragwerk quasi ruhenden Lasten ausgesetzt und damit der Kategorie SC1 zuzuordnen ist, sind EN 1999-1-3 zu entnehmen. <sup>b</sup> In Beanspruchungskategorie SC2 sollte jene Fälle eingestuft werden, für die SC1 nicht zutrifft.	

**Tabelle A.2 — Kriterien für Herstellungskategorie**

Kategorie	Kriterium
PC1	Nicht geschweißte Bauteile
PC2	Geschweißte Bauteile

ANMERKUNG 1 Die Ausführungsklasse eines Tragwerks/Bauteils sollte gemeinsam vom Tragwerksplaner und vom Bauherrn unter Berücksichtigung der für den Einsatzort geltenden nationalen Bestimmungen festgelegt werden. EN 1090-3 verlangt die Angabe der Ausführungsklasse in den Ausführungsunterlagen.

ANMERKUNG 2 EN 1090-3 enthält Regeln für die Ausführung der Arbeiten und deren Prüfung. Die Prüfung umfasst abhängig von der Ausführungsklasse insbesondere Regeln für geschweißte Tragwerke mit Anforderungen an das Qualitätsniveau, die Art und Größe zulässiger Schweißnahtfehler, Art und Umfang der Prüfungen/Inspektionen, Anforderungen an die Überwachung und Kompetenz der Schweißaufsichtspersonen und des Schweißpersonals.

Tabelle A.3 enthält Empfehlungen für die Auswahl der Ausführungsklasse auf der Grundlage der oben angegebenen Kriterien. Für den Fall, dass keine Ausführungsklasse angegeben ist, wird empfohlen, die Ausführungsklasse EXC2 zu Grunde zu legen.

## A.5 Festlegung der Ausführungsklasse

- (1) Zur Festlegung der Ausführungsklasse wird folgendes Vorgehen empfohlen:
- Festlegung der Schadensfolgeklasse; ausgedrückt durch das Ausmaß der vorhersehbaren Folgen von Versagen/Bruch eines Bauteils, siehe EN 1990;
  - Festlegung der Beanspruchungskategorie und der Herstellungskategorie, siehe Tabellen A.1 und A.2;
  - Festlegung der Ausführungsklasse aufgrund der Festlegungen nach a) und b) entsprechend der empfohlenen Matrix von Tabelle A.3.

**Tabelle A.3 — Festlegung der Ausführungsklasse**

Schadensfolgeklasse		CC1		CC2		CC3	
Beanspruchungskategorie		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Herstellungskategorie	PC1	EXC1	EXC1	EXC2	EXC3	EXC3 <sup>a</sup>	EXC3 <sup>a</sup>
	PC2	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 <sup>a</sup>	EXC4

<sup>a</sup> Spezielle Tragwerke oder Tragwerke mit extremen Folgen im Versagensfall sollten hier entsprechend Nationaler Festlegungen in EXC4 eingestuft werden.

## A.6 Ausnutzungsgrade

- (1) Ausnutzungsgrade sind dazu da, um die Anforderungen an den Prüfumfang und die Abnahmekriterien für Schweißnähte festzulegen, siehe EN 1090-3.
- (2) Der Ausnutzungsgrad  $U$  ist für Tragwerke und Bauteile unter vorwiegend ruhender Belastung ist definiert durch

$$U = \frac{E_k \gamma_F}{R_k / \gamma_M} \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist

$E_k$  der charakteristische Wert der Beanspruchung;

$R_k$  der charakteristische Wert der Beanspruchbarkeit.

Für kombinierte Einwirkungen wird  $U$  über die Interaktionsgleichung bestimmt.

- (3) Die Bestimmung des Ausnutzungsgrads für ermüdungsbeanspruchte Tragwerke und Bauteile ist in EN 1999-1-3 festgelegt.

## Anhang B (normativ)

### Äquivalenter T-Stummel mit Zugbeanspruchung

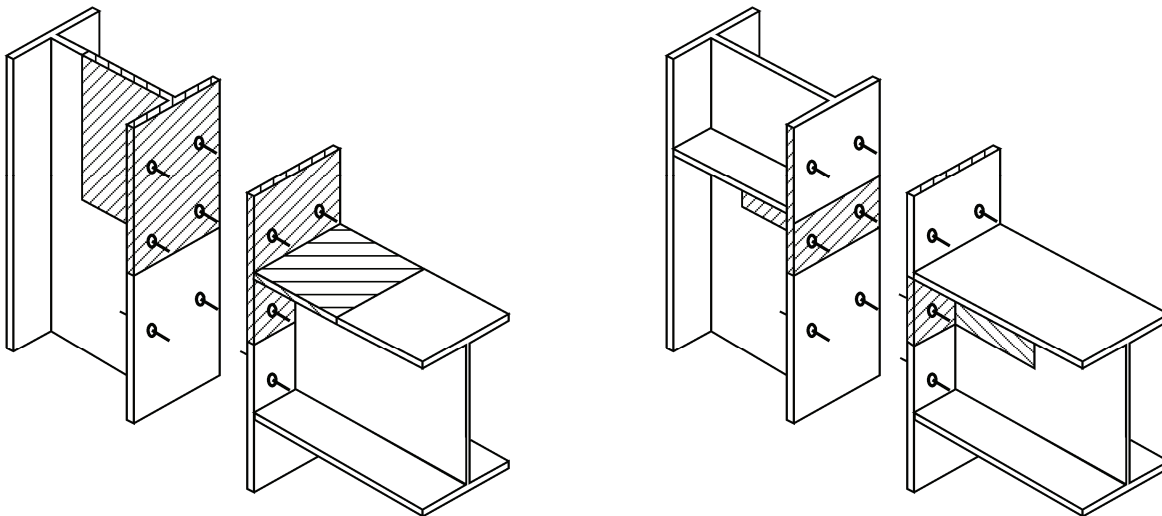
#### B.1 Allgemeine Regeln zur Bewertung der Tragfähigkeit

(1) Bei geschraubten Verbindungen wird das Modell eines äquivalenten T-Stummels eher zur Berechnung der Tragfähigkeit der Grundkomponenten verschiedener Tragsysteme (z. B. Riegel-Stützenverbindungen) verwendet als für die der in Bild 8.8 abgebildeten ausschließlichen T-Stummelverbindung.

(2) 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, siehe Bild B.1.

(3) Die wirksame Länge  $\Sigma l_{eff}$  eines äquivalenten T-Stummels ist so anzusetzen, dass die Tragfähigkeiten der Grundkomponente des Anschlusses und des äquivalenten T-Stummelflansches, welcher durch den T-Stummel abgebildet wird, gleich groß sind, siehe Bild B.5.

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



a) Unausgesteifte Riegel-Stützenverbindung

b) Ausgesteifte Riegel-Stützenverbindung

**Bild B.1 — T-Stummel als Grundkomponente anderer Tragsysteme**

(4) Wenn Kontaktkräfte auftreten können, siehe EN 1999-1-1, 8.5.10, ist die Zugtragfähigkeit  $F_{u,Rd}$  eines T-Stummelflansches als der kleinste der Werte für die vier möglichen Versagensarten (siehe Bild B.2) anzusetzen und auf die folgende Weise zu bestimmen (Es kann davon ausgegangen werden, dass in geschraubten Riegel-Stützenverbindungen oder Trägerstöße im allgemeinen Kontaktkräfte entstehen):



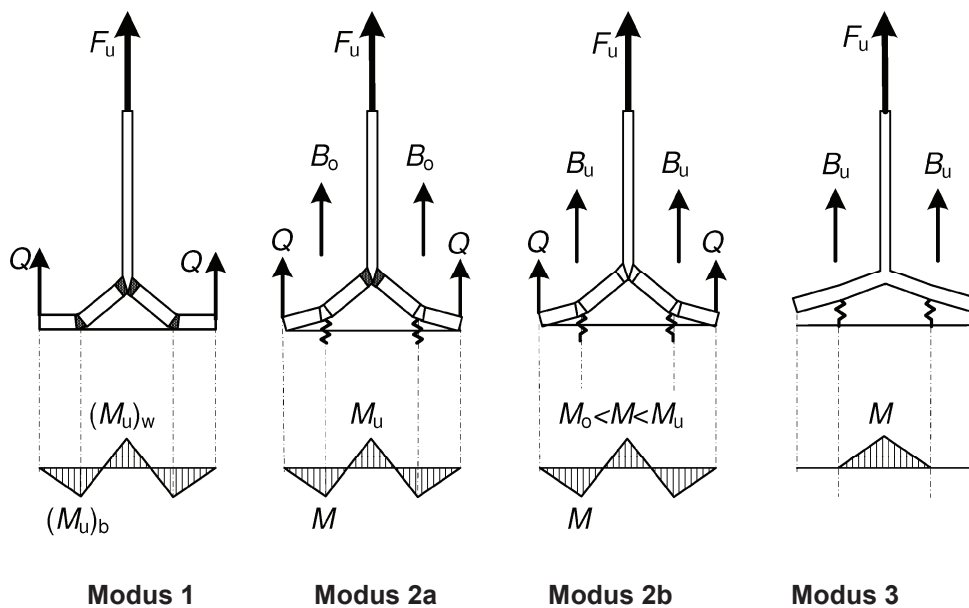
- Modus 1: Flanschversagen durch Ausbildung von vier Fließlinien. Zwei dieser Linien befinden sich am Steg/Gurt-Anschluss ( $w$ ) und zwei an den Schrauben ( $b$ ):

$$F_{u,Rd} = \frac{2(M_{u,1})_w + 2(M_{u,1})_b}{m} \quad (B.1)$$

In der Gleichung sollten  $(M_{u,1})_w$  mit  $\rho_{u,haz} < 1$  und  $(M_{u,1})_b$  mit  $\rho_{u,haz} = 1$  unter Berücksichtigung der Nettfläche nach B.5 bewertet werden.

- Modus 2a: Flanschversagen durch Ausbildung von zwei Fließlinien und Schraubenkräfte an der elastischen Grenze:

$$F_{u,Rd} = \frac{2M_{u,2} + n \sum B_o}{m + n} \quad (B.2)$$



**Bild B.2 — Versagensarten des äquivalenten T-Stummels**

- Modus 2b: Schraubenversagen bei Fließen des Flansches an der Elastizitätsgrenze:

$$F_{u,Rd} = \frac{2M_{o,2} + n \sum B_u}{m + n} \quad (B.3)$$

- Modus 3: Schraubenversagen:

$$F_{u,Rd} = \sum B_u \quad (B.4)$$

mit

$$M_{u,1} = 0,25 \cdot t_f^2 \cdot \sum (l_{\text{eff},1} \rho_{u,haz} f_u) \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{\gamma_{M1}} \quad (B.5)$$

Wenn der Querschnitt keine Schweißnaht enthält, ist  $\rho_{u,haz}$  mit 1 anzusetzen.

$$M_{u,2} = 0,25 \cdot t_f^2 \cdot \sum (l_{\text{eff},2} \rho_{u,\text{haz}} f_u) \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{\gamma_{M1}} \quad (\text{B.6})$$

Wenn der Querschnitt keine Schweißnaht enthält, ist  $\rho_{u,\text{haz}}$  mit 1 anzusetzen.

$$M_{o,2} = 0,25 \cdot t_f^2 \cdot \sum (l_{\text{eff},2} \rho_{o,\text{haz}} f_o) \cdot \frac{1}{\gamma_{M1}} \quad (\text{B.7})$$

Wenn der Querschnitt keine Schweißnaht enthält, ist  $\rho_{o,\text{haz}}$  mit 1 anzusetzen.

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

$$\frac{1}{k} = \frac{f_o}{f_u} \left( 1 + \psi \frac{f_u - f_o}{f_o} \right) \quad (\text{B.8})$$

$$\psi = \frac{\varepsilon_u - 1,5 \cdot \varepsilon_o}{1,5 \cdot (\varepsilon_u - \varepsilon_o)} \quad (\text{B.9})$$

$$\varepsilon_o = \frac{f_o}{E}$$

Dabei ist

$\varepsilon_u$  die Bruchdehnung des Flanschwerkstoffes;

$B_u$  die in 8.5.5 angegebene Zugtragfähigkeit  $B_{t,Rd}$  oder Schraubenverbindung mit Blech;

$B_o$  die übliche elastische Tragfähigkeit der Schraube:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{0,9 \cdot f_y \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad \text{für Stahlschrauben} \\ \frac{0,6 \cdot f_o \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad \text{für Aluminiumschrauben} \end{array} \right. \quad (\text{B.10})$$

Dabei ist

$A_s$  der Spannungsquerschnitt der Schraube;

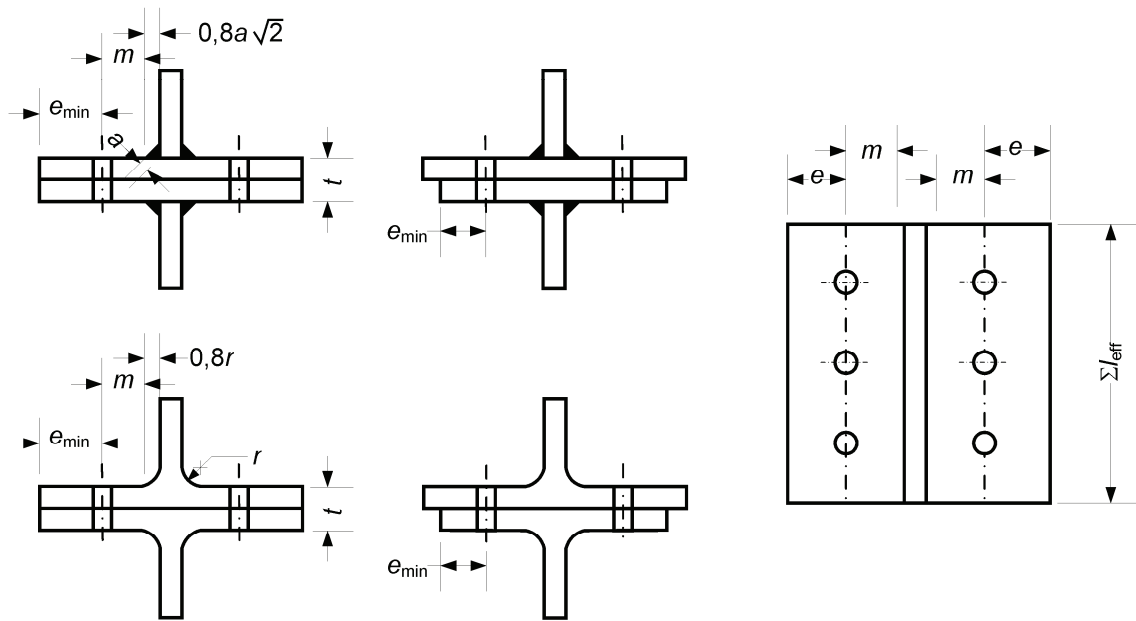
$\Sigma B_u$  der Gesamtwert von  $B_u$  für alle Schrauben in dem T-Stummel;

$l_{\text{eff},1}$  der Wert von  $l_{\text{eff}}$  für Modus 1;

$l_{\text{eff},2}$  der Wert von  $l_{\text{eff}}$  für Modus 2;

$e_{\text{min}}$  und  $m$  sind in Bild B.3 beschrieben.

ANMERKUNG Wenn keine genaueren Angaben vorliegen, ist für  $\varepsilon_u$  der in Abschnitt 3 angegebene garantierte Mindestwert  $A_{50}$  zu verwenden.



**Bild B.3 — Abmessungen eines äquivalenten T-Stummels**

(5) Treten keine Kontaktkräfte auf (Versagensart Modus 3), ist die Zugtragfähigkeit  $F_{u,Rd}$  eines T-Stummelflansches als der kleinste der auf die folgende Weise bestimmten Werte anzusetzen:

— Modus 1: Flanschversagen:

$$F_{u,Rd} = \frac{2M_{u,1}}{m} \quad (\text{B.11})$$

— Modus 3: Schraubenversagen:

$$F_{u,Rd} = \sum B_u \quad (\text{B.12})$$

wobei:  $M_{u,1}$ ,  $m$  und  $\sum B_u$  in (4) definiert sind.

(6) Verfahren zur Bestimmung der wirksamen Längen  $l_{\text{eff}}$  für einzelne Schraubenreihen und die Schrauben-  
gruppe für die Berechnung der Grundkomponenten einer Verbindung als äquivalente T-Stummelflansche  
werden angegeben in:

- Tabelle B.1 für einen T-Stummel mit unausgesteiften Flanschen.
- Tabelle B.2 für einen T-Stummel mit ausgesteiften Flanschen.

Die Abmessungen  $e_{\text{min}}$  und  $m$  werden in Bild B.3 beschrieben, und der Faktor  $\alpha$  von Tabelle B.2 wird in  
Bild B.4 angegeben.

Tabelle B.1 — Wirksame Länge für unausgesteifte Flansche


Lage der Schraubenreihe	Alleine betrachtete Schraubenreihe		Als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen betrachtete Schraubenreihe	
	Kreisförmige Anordnungen $l_{eff,cp}$	Andere Anordnungen $l_{eff,np}$	Kreisförmige Anordnungen $l_{eff,cp}$	Andere Anordnungen $l_{eff,np}$
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:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ aber $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$ aber $\Sigma l_{eff,1} \leq \Sigma l_{eff,cp}$	
Modus 2:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$	
ANMERKUNG Siehe Bilder 8.1 bis 8.4. 				

Tabelle B.2 — Wirksame Länge für ausgesteifte Flansche

Lage der Schraubenreihe	Alleine betrachtete Schraubenreihe		Als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen betrachtete Schraubenreihe	
	Kreisförmige Anordnungen $l_{eff,cp}$	Andere Anordnungen $l_{eff,np}$	Kreisförmige Anordnungen $l_{eff,cp}$	Andere Anordnungen $l_{eff,np}$
Schraubenreihe neben einer Steife	$2\pi m$	$\alpha m$	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m$ $-(2m + 0,625e)$
Andere innere Schraubenreihen	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	$p$
Andere äußere Schraubenreihen	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 maßgebend	nicht maßgebend
Modus 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ aber $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$ aber $\Sigma l_{eff,1} \leq \Sigma l_{eff,cp}$	
Modus 2:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$	

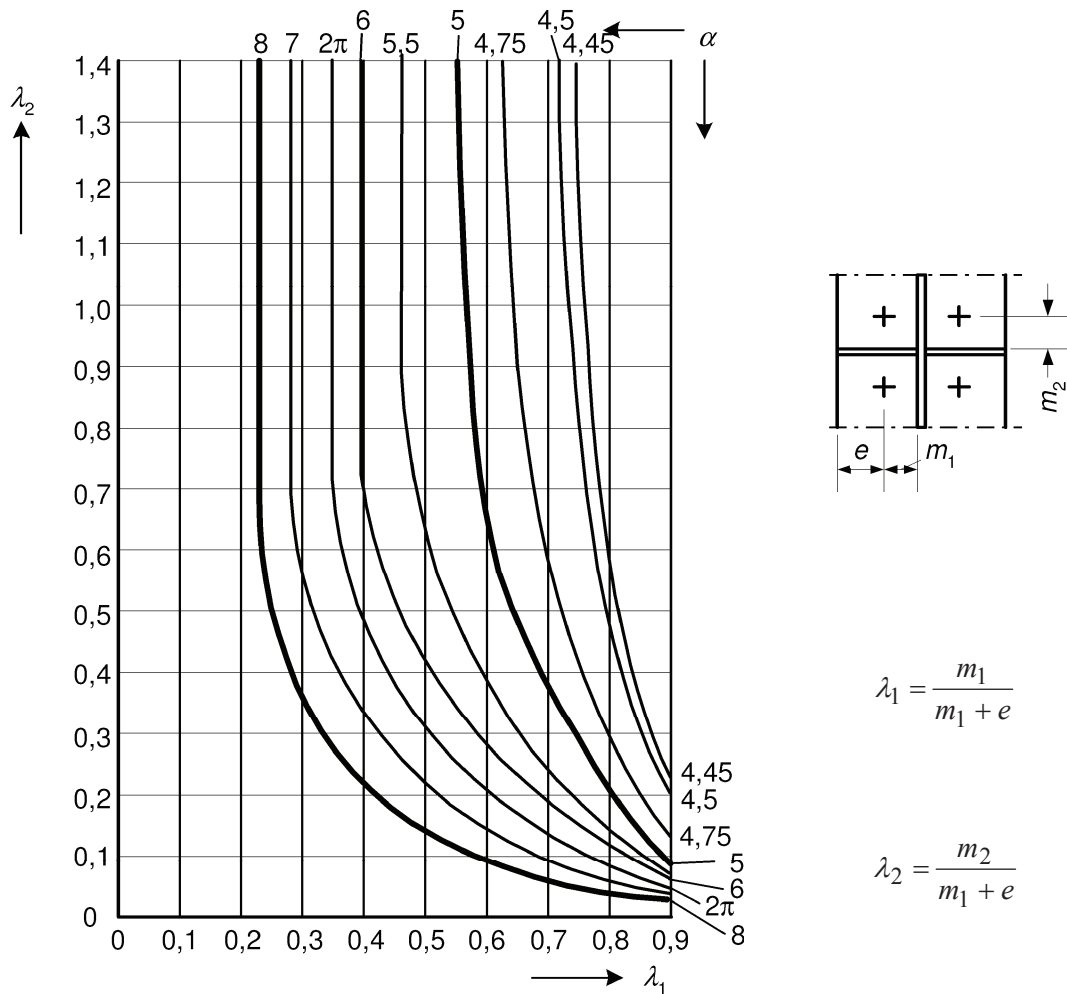


Bild B.4 — Werte des Faktors  $\alpha$  für die wirksame Länge von ausgesteiften Flanschen

## B.2 Einzelne Schraubenreihen, Schraubengruppen und Gruppen von Schraubenreihen

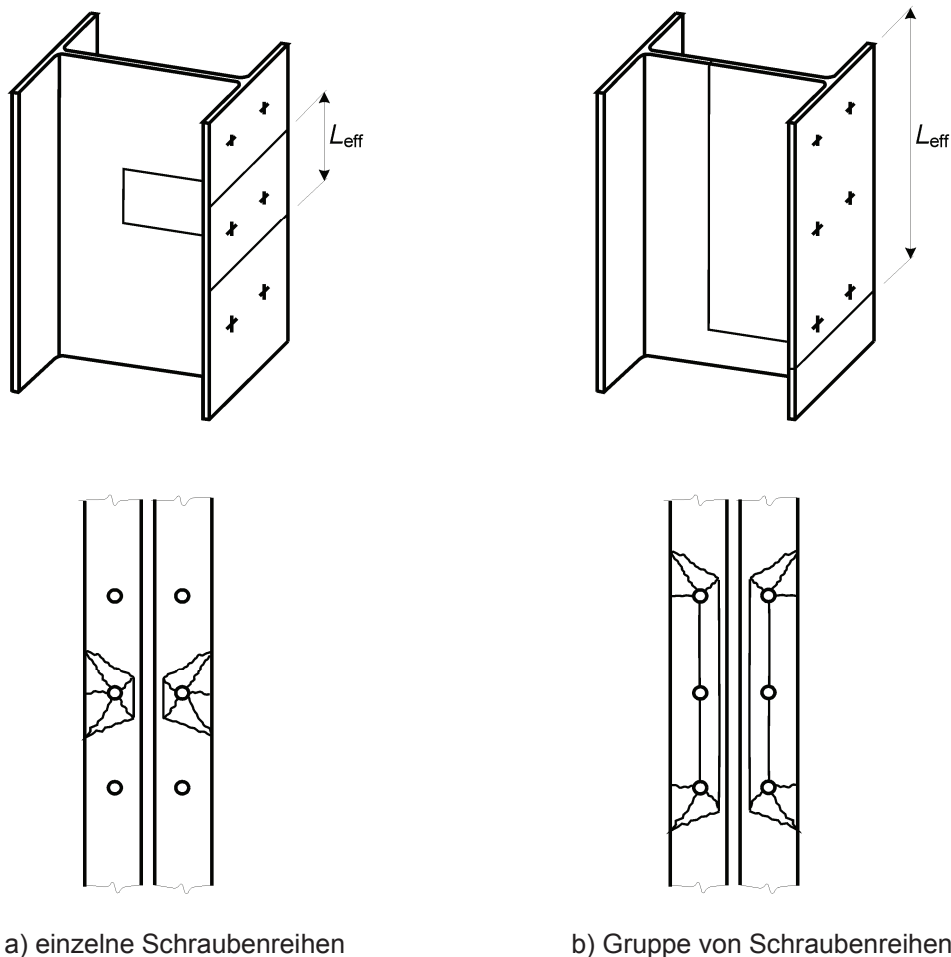
Obwohl bei Verwendung eines äquivalenten T-Stummels zur Berechnung der Grundkomponenten eines Anschlusses die Kräfte in jeder Schraubenreihe des T-Stummelflansches allgemein gleich groß sind, sollte berücksichtigt werden, dass unterschiedliche Kräfte in den verschiedenen Schraubenreihen auftreten können.

Bei der Abbildung einer Grundkomponente einer Verbindung durch äquivalente T-Stummelflansche können erforderlichenfalls mehrere äquivalente T-Stummel verwendet werden, wobei die Schraubenreihen entsprechend jedem äquivalenten T-Stummelflansch in verschiedene Gruppen unterteilt werden (siehe Bild B.1).

(1) Die folgenden Bedingungen sollten 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.
- (2) Bei der Ermittlung der Zugtragfähigkeit einer Grundkomponente mit dem Modell des äquivalenten T-Stummelflansches sollten im Allgemeinen die folgenden Parameter berechnet werden:
- a) die maximale Tragfähigkeit einer einzelnen Schraubenreihe, die sich ergibt, wenn nur diese Schraubenreihe betrachtet wird, siehe Bild B.5(a);
- b) der Beitrag jeder einzelnen Schraubenreihe zu der maximalen Tragfähigkeit von zwei oder mehr benachbarten Schraubenreihen innerhalb einer Schraubengruppe, der sich ergibt, wenn nur diese Schraubenreihen betrachtet werden, siehe Bild B.5(b).
- (3) Im Falle einer einzelnen Schraubenreihe sollte  $\Sigma l_{eff}$  gleich der wirksamen Länge  $l_{eff}$  angesetzt werden, die in Tabelle B.1 und Tabelle B.2 für diese einzelne Schraubenreihe tabelliert ist.
- (4) Im Falle einer Gruppe von Schraubenreihen sollte  $\Sigma l_{eff}$  als Summe der wirksamen Längen  $l_{eff}$  angesetzt werden, die in Tabelle B.1 und Tabelle B.2 für jede einzelne Schraubenreihe als Teil der Schraubengruppe tabelliert sind.



**Bild B.5 — Äquivalente T-Stummel für einzelne Schraubenreihen und Gruppen von Schraubenreihen**

## Anhang C (informativ)

### Werkstoffauswahl

#### C.1 Allgemeines

(1) Die Wahl eines geeigneten Aluminiumwerkstoffes oder Halbzeugs für die Anwendung in einem Tragwerk oder einer Tragstruktur ist durch eine Kombination von Faktoren bestimmt; Festigkeit, Dauerhaftigkeit, physikalische Eigenschaften, Schweißbarkeit, Formbarkeit und die Verfügbarkeit sowohl der Legierung als auch der spezieller Halbzeuge und Querschnittsform, die benötigt werden. Die Knetlegierungen und die Gusslegierungen sind nachfolgend beschrieben und in aushärtbare und nichtaushärtbare Legierungen unterteilt.

(2) Die Merkmale und Eigenschaften dieser Legierungen können für Aluminiumknetlegierungen in Tabelle C.1 und für Gusslegierungen in Tabelle C.2 miteinander verglichen werden. Merkmale und Eigenschaften können sich mit dem Zustand der Legierung ändern.

(3) Wenn Verbindungen mit anderen Metallen hergestellt werden sollen, sollte zur Erzielung der erforderlichen Schutzmaßnahmen zur Vermeidung von Kontaktkorrosion fachmännischer Rat eingeholt werden.

#### C.2 Knehalbzeuge

##### C.2.1 Aushärtbare Knetlegierungen

(1) Unter den 6xxx-er Legierungen sind die Legierungen EN AW-6082, EN AW-6061, EN AW-6005A, EN AW-6106, EN AW-6063 und EN AW-6060 für konstruktive Anwendungen geeignet. Diese Legierungen gehören zur Beständigkeitsklasse B. Innerhalb der 7xxx-er Aluminiumlegierungen ist die Legierung EN AW-7020 für konstruktive Anwendungen geeignet und gehört zur Beständigkeitsklasse C.

##### C.2.1.1 Legierungen EN AW-6082 und EN AW-6061

(1) EN AW-6082 ist eine der meist verwendeten, aushärtbaren Legierungen und oft die wichtigste Konstruktionslegierung für geschweißte und nicht geschweißte Anwendungen. Sie ist eine hochfeste Legierung und in den meisten Halbzeugformen erhältlich; Strangpressprofile mit Voll- oder Hohlquerschnitt, Rohre, Bleche, Platten und Schmiedeteile, sie findet zunehmend Verwendung bei Bauteilen in maritimer Umgebung. EN AW-6061 ist ebenfalls eine weitverbreitete, aushärtbare Legierung für geschweißte und nicht geschweißte Anwendungen. Sie ist in Form von offenen und hohlen Strangpressprofilen sowie Rohren erhältlich. Beide Legierungen werden gewöhnlich in voll warmausgehärtetem Zustand mit der Bezeichnung EN AW-6082-T6 und EN AW-6061-T6 verwendet.

(2) Die Wahl dieser beiden Legierungen als Konstruktionsmaterial ist durch die günstige Kombination folgender Eigenschaften begründet: hohe Festigkeit nach der Warmaushärtung, gute Korrosionsbeständigkeit, gute Schweißbarkeit sowohl beim MIG- als auch beim WIG-Schweißen, gute Formbarkeit im Zustand T4 und gute Eigenschaften zur maschinellen Bearbeitung. Bei Schweißverbindungen sollte die Verminderung der Festigkeit in der Wärmeeinflusszone (WEZ) beachtet werden. Die Festigkeit kann bis zu einem gewissen Grad durch Warmauslagerung nach dem Schweißen zurückerlangt werden. Die Verwendung als Strangpressprofile ist im Allgemeinen auf dickere, weniger komplizierte Querschnittsformen als bei anderen 6xxx-er Legierungen beschränkt. EN AW-6082 ist eine häufig verwendete Legierung für auf Lager gehaltene Strangpressprofile, Platten und Bleche. Der Werkstoff darf mit den Legierungen EN AW-6082, EN AW-5754 oder EN AW-5019 im Zustand O oder härter vernietet werden, Angaben über Schweißzusätze befinden sich in prEN 1011-4.

**C.2.1.2 Legierung EN AW-6005A**

(1) Die Legierung EN AW-6005A wird auch für konstruktive Anwendungen empfohlen, sie ist nur in Form von Strangpressprofilen erhältlich und vereint mittlere Festigkeit mit der Eigenschaft, komplexere Querschnitte als mit EN AW-6082 oder EN AW-6061 zu ermöglichen. Dies gilt speziell für dünnwandige Hohlquerschnitte. Wie EN AW-6082 und EN AW-6061 kann die Legierung anstandslos mit WIG- und MIG-Verfahren verschweißt werden, sie hat einen ähnlichen Festigkeitsabfall in der WEZ. Schweißzusätze für diese Legierung sind in prEN 1011-4 spezifiziert.

(2) Die Korrosionsbeständigkeit von geschweißten und ungeschweißten Bauteilen ist ähnlich oder besser wie bei der Legierung EN AW-6082. Die Eigenschaften für die maschinelle Bearbeitung sind ähnlich denjenigen von EN AW-6082.

**Tabelle C.1 — Vergleich allgemeiner Merkmale und anderer Eigenschaften für Konstruktionslegierungen**

Legierung EN- Bezeichnung	Form und Zustand genormt für					Festigkeit	Beständigkeits- klasse <sup>a</sup>	Schweißbarkeit	Dekorative Anodisation	
	Bleche, Bänder und Platten	Strangpressprodukte			Kaltgezogene Produkte					Schmiedeteile
		Stab / Stange	Rohr	Profile						
EN AW-3004	○	–	–	–	–		III/IV	A	I	I
EN AW-3005	○	–	–	–	–		III/IV	A	I	I
EN AW-3103	○	○	○	○	○		III/IV	A	I	II
EN AW-5005	○	○	○	○	○		III/IV	A	I	I
EN AW-5049	○	–	–	–	–		II/III	A	I	I/II
EN AW-5052	○	○	○ x)	○ x)	○		II/III	A	I	I/II
EN AW-5083	○	○	○ x)	○ x)	○	○	I/II	A	I	I/II
EN AW-5454	○	○	○ x)	○ x)	–		II/III	A	I	I/II
EN AW-5754	○	○	○ x)	○ x)	○	○	II/III	A	I	I/II
EN AW-6060	–	○	○	○	○		II/III	B	I	I
EN AW-6061	–	○	○	○	○		II/III	B	I	II/III
EN AW-6063	–	○	○	○	○		II/III	B	I	I/II
EN AW-6005A	–	○	○	○	–		II	B	I	II/III



Tabelle C.1 (fortgesetzt)

Legierung EN- Bezeichnung	Form und Zustand genormt für					Festigkeit	Beständigkeits- klasse <sup>a</sup>	Schweißbarkeit	Dekorative Anodisation	
	Bleche, Bänder und Platten	Strangpressprodukte			Kaltgezogene Produkte					Schmiedeteile
		Stab / Stange	Rohr	Profile	Rohr					
EN AW-6106	–	–	–	○	–		II/III	B	I	I/II
EN AW-6082	○	○	○	○	○	○	I/II	B	I	II/III
EN AW-7020	○	○	○	○	○		I	C	I	II/III
EN AW-8011A	○	–	–	–	–	–	III/IV	B	II	III/IV

**Legende**

- In verschiedenen Zuständen genormt. Die Lieferbarkeit von Halbzeugen ab Händlerlager ist für jedes Erzeugnis und jede Abmessung zu prüfen
- nicht genormt
- x) nur einfache Vollquerschnitte (nahtlose Erzeugnisse über Dorn)
- I sehr gut
- II gut
- III befriedigend
- IV mäßig

ANMERKUNG Diese Hinweise gelten nur als Leitlinie, jede Einstufung gilt nur für die betrachtete Spalte und kann sich mit dem Zustand ändern.

<sup>a</sup> Siehe Tabelle 3.1a.

Tabelle C.2 — Vergleich allgemeiner Merkmale von Gusslegierungen

Guss- legierung	Gießverfahren		Gießbar- keit	Festig- keit	Beständig- keitsklasse	Dekorative Anodi- sation	Schweiß- barkeit
	Sand- guss	Kokillen- guss					
EN AC-42100		●	II	II/III	B	IV	II
EN AC-42200		●	II	II	B	IV	II
EN AC-43300	●	●	I	II	B	V	II
EN AC-43000		●	I/II	IV	B	V	II
EN AC-44200	●	●	I	IV	B	V	II
EN AC-51300	●	●	III	IV	A	I	II

**Legende**

I sehr gut  
 II gut  
 III befriedigend  
 IV mäßig  
 V nicht empfohlen

● Kennzeichnung der für das Gießen lastabtragender Teile für die jeweilige Legierung empfohlene Gießverfahren

ANMERKUNG 1 Diese Hinweise sind nur als Leitlinie gedacht, und jede Einstufung gilt nur für die betreffende Spalte.

ANMERKUNG 2 Die Eigenschaften können sich mit den Gussbedingungen ändern.

### C.2.1.3 Legierungen EN AW-6060, EN AW-6063 und EN AW 6106

(1) Die Legierungen EN AW-6060, EN AW-6063 und EN AW-6106 werden für konstruktive Anwendungen empfohlen und sind nur als Strangpressprodukte und kaltgezogene Produkte verfügbar. Sie werden dann verwendet, wenn die Festigkeit nicht die wichtigste Anforderung ist und mit gutem Aussehen gepaart werden muss. Sie bieten gute Dauerhaftigkeit, gute Oberflächen und die Eigenschaft, sich in dünnwandige und komplizierte Querschnittsformen strangpressen zu lassen. Diese Legierungen sind insbesondere zum Eloxieren und ähnlichen Oberflächenverfahren geeignet. Wie andere 6xxx-er Legierungen sind sie ohne weiteres mit MIG- und WIG-Verfahren schweißbar und verlieren Festigkeit in der WEZ. Schweißzusätze für diese Legierungen sind in prEN 1011-4 aufgeführt.

### C.2.1.4 Legierung EN AW-7020

(1) Die Legierung EN AW-7020 wird für geschweißte und nicht geschweißte Konstruktionen empfohlen. Es handelt sich um eine hochfeste Legierung, die in Form von offenen und hohlen Strangpressquerschnitten, Platten, Blechen und Rohren geliefert wird. Diese Legierung lässt sich nicht so leicht zu komplizierten Strangpressprodukten wie die 6xxx-er Legierungen verarbeiten und ist nicht ab Lager erhältlich. Die Legierung wird üblicherweise im voll ausgehärteten Zustand als EN AW-7020 T6 verwendet. Sie hat wegen ihrer guten Kaltaushärtbarkeit eine höhere Festigkeit nach dem Schweißen als die 6xxx-er Legierungen. Diese Legierung und andere 7xxx-er Legierungen reagieren jedoch empfindlicher auf Umgebungsbedingungen und ihr zufriedenstellendes Verhalten ist ebenso abhängig von einer fachgerechten Herstellung und Verarbeitung wie auch von der ausgewogenen chemischen Zusammensetzung. Wegen der Neigung zur Schichtkorrosion sollte der Werkstoff im Zustand T4 nur für Werkstattarbeiten so bestellt werden, wenn vorausgesetzt werden kann, dass die Konstruktion nach der Fertigstellung warmausgelagert werden kann.

Wenn nach dem Schweißen keine Warmaushärtung vorgenommen wird, sollte die Notwendigkeit eines Korrosionsschutzes der WEZ nach D.3.2 geprüft werden. Wenn der Werkstoff im Zustand T6 irgendeiner Bearbeitung unterworfen wird, die Kaltverformung bewirkt, wie z. B. Biegen, Scheren oder Stanzen usw., kann die Legierung zur Spannungsrissskorrosion neigen. Es ist deshalb wichtig, dass zwischen dem planenden Ingenieur und dem Hersteller eine direkte Zusammenarbeit hinsichtlich der beabsichtigten Verwendung und den wahrscheinlichen Nutzungsbedingungen besteht.

## **C.2.2 Nichtaushärtbare Knetlegierungen**

(1) Von den 5xxx-er Legierungen werden die Legierungen EN AW-5049, EN AW-5052, EN AW-5454 und EN AW-5754 und EN AW-5083 für die konstruktive Anwendung empfohlen. Sie alle gehören der Beständigkeitsklasse A an. Andere nichtaushärtbare Legierungen für weniger hohe Beanspruchungen sind EN AW-3004, EN AW-3005, EN A-3103 und EN AW-5005. Sie gehören ebenfalls zur Beständigkeitsklasse A.

### **C.2.2.1 EN AW- 5049, EN AW-5052, EN AW-5454 and EN AW-5754**

(1) Die Legierungen EN AW-5049; EN AW-5052, EN AW-5454 und EN AW-5754 sind für geschweißte und mechanisch zu verbindende Bauteile mit mäßigen Beanspruchungen geeignet. Diese Legierungen sind im weichen Zustand gut verformbar, verlieren aber ihre Duktilität schnell mit zunehmendem Kaltumformgrad. Sie sind ohne weiteres mit MIG- und WIG-Verfahren unter Verwendung von Schweißzusätzen nach prEN 1011-4 schweißbar. Sie haben eine sehr gute Korrosionsbeständigkeit insbesondere in mariner Atmosphäre. Sie werden hauptsächlich als Walzprodukte geliefert. Ihr relativ hoher Magnesiumgehalt erlaubt für das Strangpressen nur einfache Vollquerschnitte.

(2) Diese Legierungen können in den härteren Zuständen gut spanend bearbeitet werden. EN AW-5754 hat von den 5xxx-er Legierungen, die unempfindlich gegen interkristalliner Korrosion und Spannungsrissskorrosion sind, die größte Festigkeit.

### **C.2.2.2 EN AW-5083**

(1) Die Legierung EN AW-5083 ist unter den nichtaushärtbaren, im Handel allgemein verfügbaren Konstruktionslegierungen die mit der größten Festigkeit und guten Eigenschaften in geschweißten Bauteilen sowie einer guten Korrosionsbeständigkeit. Im weichen Zustand ist sie duktil und besitzt gute Formgebungseigenschaften, verliert aber ihre Formbarkeit mit zunehmendem Kaltumformgrad und wird hart bei geringem Verformungsvermögen.

(2) Die Legierung EN AW-5083 kann in allen Zuständen (Hx), besonders in den Zuständen H32 und H34 zu interkristalliner Korrosion neigen, die unter gewissen Umständen unter Dauerstandlasten in Spannungsrissskorrosion übergeht. Zur Verringerung dieser Erscheinung wurden spezielle Zustände wie H116 entwickelt. Dennoch wird die Verwendung dieser Legierung nicht empfohlen, wenn der Werkstoff größerer Kaltumformung unterzogen und/oder eine Betriebstemperatur über 65 °C zu erwarten ist. In solchen Fällen sollte stattdessen die Legierung EN AW-5754 verwendet werden.

(3) Wenn bei den Einsatzbedingungen der Legierungs-Zustandskombination Spannungsrissskorrosion auftreten kann, so sollte vor der Lieferung der Werkstoff einer Spannungsrissskorrosionsprüfung unterzogen werden. Die Prüfbedingungen sollten zwischen den Beteiligten unter Beachtung der maßgebenden Einsatzbedingungen und der Legierungs-Zustandskombination vereinbart werden.

(4) Die Legierung EN AW-5083 kann mit Zusatzwerkstoffen nach prEN 1011-4 gut mit dem MIG- und dem WIG-Verfahren geschweißt werden. Wenn kaltverfestigte Werkstoffe geschweißt werden, nehmen die Eigenschaften in der WEZ die Werte des weichen Zustandes an. Die Legierung ist in Form von Blechen, Platten, einfachen, stranggepressten Vollquerschnitten, nahtlosen Rohren und Schmiedeteilen lieferbar. Wegen des großen Gehaltes an Magnesium treten Schwierigkeiten beim Strangpressen auf. Deshalb sind die Lieferformen auf relativ dickwandige, einfache offene Querschnitte und Hohlprofile mit einem Hohlraum (Rohre) beschränkt.

(5) Die Legierung lässt sich in allen Zuständen gut spanend bearbeiten.

### **C.2.2.3 EN AW-3004, EN AW-3005, EN AW-3103 and EN AW 5005**

(1) Die Legierungen EN AW-3004, EN AW-3005, EN AW-3103 und EN AW-5005 sind als Bleche und Platten verfügbar und in dieser Form vorzugsweise verwendet. Diese Legierungen sind geringfügig fester und härter als „Rein-Aluminium“ und besitzen eine große Zähigkeit, gute Schweißbeignung und einen guten Korrosionswiderstand.

### **C.2.2.4 EN AW-8011A**

(1) Die Legierung EN AW-8011A gehört zur AlFeSi Gruppe und wird seit langem vorzugsweise für Verpackungen verwendet. Wegen ihrer Vorzüge bei der Verarbeitung findet die Legierung EN AW-8011A zunehmend Anwendung in der Bauindustrie, insbesondere für Fassaden.

## **C.3 Gussprodukte**

### **C.3.1 Allgemeines**

(1) Die Gusswerkstoffe nach Tabelle 3.3 können für tragende Teile unter der Voraussetzung verwendet werden, dass die besonderen Bemessungsregeln und Qualitätsanforderungen, die in C.3.4 angegeben werden, beachtet werden.

(2) Sechs Legierungen werden für konstruktive Anwendungen empfohlen: die vier aushärtbaren Legierungen EN AC-42100, EN AC-42200, EN AC-43000 und EN AC-43300 sowie die zwei nichtaushärtbaren Legierungen EN AC-44200 und EN AC-51300. Diese Legierungen werden im Folgenden beschrieben. Diese Legierungen genügen üblicherweise den in C.3.4.3 an die Bruchdehnung gestellten Anforderungen. Wegen des geringen Kupfergehaltes haben sie auch einen guten Korrosionswiderstand.

### **C.3.2 Aushärtbare Gusslegierungen EN AC-42100, EN AC-42200, EN AC-43000 und EN AC-43300**

(1) Die Legierungen EN AC-42100, EN AC-42200, EN AC-43000 und EN AC-43300 gehören der Al-Si-Mg-Familie an und reagieren auf Wärmebehandlungen. Sie sind alle für Sand- und Kokillenguss geeignet, werden aber üblicherweise nicht für Druckguss verwendet, außer bei Anwendung fortschrittlicher Gießverfahren. Die größte Festigkeit wird mit der Legierung EN AC-42200-T6 erzielt, jedoch bei geringerer Duktilität als mit EN AC-42100.

(2) Die Legierung EN AC-43300 besitzt die beste Gießbarkeit, befriedigenden Korrosionswiderstand, ist gut spanend zu bearbeiten und gut schweißbar. Die Gießbarkeit der Legierungen EN AC-42100 und EN AC-42200 ist gut, sie besitzen einen guten Korrosionswiderstand und sind gut spanend zu bearbeiten.

### **C.3.3 Nichtaushärtbare Gusslegierungen EN AC-44200 und EN AC-51300**

(1) Die Legierungen EN AC-44200 und EN AC-51300 sind für Sand- und Kokillenguss geeignet, werden aber nicht für Druckguss empfohlen. Die Legierung  $A_1$  EN AC-44200  $A_1$  ist sehr gut gießbar, während die Legierung EN AC-51300 nur eine befriedigende Gießbarkeit hat und nur für einfache Formen geeignet ist. Die Legierung EN AC-51300 hat die größte Festigkeit, einen sehr guten Korrosionswiderstand und kann spanend bearbeitet werden. Die Legierung EN AC-51300 kann dekorativ anodisiert werden.

### **C.3.4 Besondere Bemessungsregeln für Gussstücke**

#### **C.3.4.1 Allgemeine Vorschriften für die Bemessung**

(1) Die besonderen Bemessungsregeln gelten für Gussstücke, bei denen infolge Geometrie und Einwirkungen Instabilitäten ausgeschlossen sind. Das Gussstück sollte nicht durch Biegen geformt und an ihm nicht geschweißt werden und bei spanender Bearbeitung keine scharfen einspringenden Ecken erhalten.

(2) Die Bemessung tragender Teile mit den in Tabelle 3.3 angegebenen Zuständen und Gießverfahren sollte nach der linearen Elastizitätstheorie durch Vergleich des Bemessungswertes der Vergleichsspannung

$$\sigma_{\text{eq,Ed}} = \sqrt{\sigma_{x,\text{Ed}}^2 + \sigma_{y,\text{Ed}}^2 - \sigma_{x,\text{Ed}} \sigma_{y,\text{Ed}} + 3\tau_{xy,\text{Ed}}^2} \quad (\text{C.1})$$

mit dem Bemessungswert  $\sigma_{\text{Rd}}$  der Festigkeit erfolgen, wobei  $\sigma_{\text{Rd}}$  der kleinere der beiden Werte  $f_{\text{oc}} / \gamma_{\text{Mo,c}}$  und  $f_{\text{uc}} / \gamma_{\text{Mu,c}}$  ist.

ANMERKUNG Die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{\text{Mo,c}}$  und  $\gamma_{\text{Mu,c}}$  dürfen im Nationalen Anhang definiert werden. Für den Hochbau werden die folgenden Werte empfohlen:

$$\gamma_{\text{Mo,c}} = 1,1 \text{ und } \gamma_{\text{Mu,c}} = 2,0$$

(3) Der Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit bei Schrauben und Nieten sollte als der kleinere der beiden folgenden auf Gleichung (8.11) von Tabelle 8.5 basierenden Werte angesetzt werden:

$$F_{\text{b,Rd}} = k_1 \alpha_b f_{\text{uc}} dt / \gamma_{\text{M2,cu}} \quad (\text{C.2})$$

$$F_{\text{b,Rd}} = k_1 \alpha_b f_{\text{oc}} dt / \gamma_{\text{M2,co}} \quad (\text{C.3})$$

ANMERKUNG Die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{\text{M2,cu}}$  und  $\gamma_{\text{M2,co}}$  dürfen im Nationalen Anhang definiert werden. Für den Hochbau werden die folgenden Werte empfohlen:

$$\gamma_{\text{M2,cu}} = \gamma_{\text{Mu,c}} = 2,0 \text{ und } \gamma_{\text{M2,co}} = \gamma_{\text{Mo,c}} = 1,1$$

(4) Der Bemessungswert  $F_{\text{b,Rd}}$  der Lochleibungstragfähigkeit bei Bolzen sollte als der kleinere der Werte nach den beiden folgenden auf Tabelle 8.7 basierenden Werte angesetzt werden:

$$F_{\text{b,Rd}} = 1,5 f_{\text{uc}} dt / \gamma_{\text{Mp,cu}} \quad (\text{C.4})$$

$$F_{\text{b,Rd}} = 1,5 f_{\text{oc}} dt / \gamma_{\text{Mp,co}} \quad (\text{C.5})$$

ANMERKUNG Die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{\text{Mp,co}}$  und  $\gamma_{\text{Mp,cu}}$  dürfen im Nationalen Anhang definiert werden. Für den Hochbau werden die folgenden Werte empfohlen:

$$\gamma_{\text{Mp,co}} = \gamma_{\text{Mp}} = 1,25 \text{ und } \gamma_{\text{Mp,cu}} = \gamma_{\text{Mu,c}} = 2,0$$

(5) Die Spezifikation für das Gussstück sollte die folgenden Informationen enthalten:

- Bereiche mit Zugspannungen und Ausnutzungen des Bemessungswertes der Festigkeit von mehr als 70% (Bereiche H);
- Bereiche mit Zugspannungen und Ausnutzungen des Bemessungswertes der Festigkeit zwischen 70 % und 30 % (Bereiche M);
- Bereiche mit Druckspannungen und Ausnutzungen des Bemessungswertes der Festigkeit zwischen 100 % und 30 % (Bereiche M);
- Bereiche, in denen Ausnutzung des Bemessungswertes der Festigkeit kleiner als 30 % ist (Bereiche N);
- die Stelle, an der Proben für Werkstoffprüfungen entnommen werden sollten, und die Richtung der Proben. Diese Stelle sollte mit der übereinstimmen oder nahe bei der liegen, wo die größten Spannungen auftreten. Wenn verschiedene Stellen mit hohen Spannungen auftreten, sollten Proben an mehreren Stellen entnommen werden;

- f) alle durchzuführenden Versuche und die von EN 1706 abweichenden Versuchbedingungen, Qualifikationsverfahren und Qualifikationsanforderungen;
- g) die geforderten Mindestwerte für die Festigkeit und die Bruchdehnung.

#### **C.3.4.2 Qualitätsanforderungen, Prüfungen und Dokumentation der Qualität**

(1) Zur Überprüfung der mechanischen Eigenschaften jedes Bereiches, für den große Dehnungen ausgewiesen werden, sollten je Fertigungslos zwei Proben entnommen werden. In einigen Fällen sollten auch Bereiche mit schwierigen Gießbedingungen als zu prüfende Bereiche festgelegt werden. Die Prüfergebnisse für die Zugfestigkeit und für die Streckgrenze sollten nicht kleiner sein als die Werte in Tabelle 3.3. Abweichend von Tabelle 3.3 sollte die Bruchdehnung  $A_5 (= A_{5,65\sqrt{A_0}})$  mindestens 2 % betragen. Bei

Sandguss ist es erlaubt, dem Gussstück in den Bereichen mit den größten Spannungen oder dort, wo die Prüfungen durchzuführen sind, Aufdickungen anzugießen, so dass dort die Probe entnommen werden kann, ohne dass das Gussstück zerstört wird (angegossene Proben).

(2) Folgende Anforderungen gelten hinsichtlich der Beschränkung innerer Fehler:

- a) Risse in den Gussstücken sind nicht zulässig.
- b) Hinsichtlich der Porosität gelten die folgenden Beschränkungen:

- H-Bereiche: 4 %
- M-Bereiche: 6 %
- N-Bereiche: 8 %

Der Porendurchmesser sollte kleiner als 2 mm sein.

c) Jedes Gussstück sollte hinsichtlich äußerer Risse einer Eindringprüfung und hinsichtlich innerer Fehler einer Durchstrahlungsprüfung unter Verwendung von Bildverstärkern unterzogen werden, sofern nichts anderes festgelegt ist. Der Prüfumfang kann vermindert werden, wenn die Gussstücke nur Druckbeanspruchungen erfahren. Die folgenden Normen legen die Prüfverfahren fest: EN 1371-1 in Verbindung mit EN 571 gilt für die Eindringprüfung und prEN 13068 (Durchstrahlungsprüfung) oder **EN 12681 (A1)** (radioskopische Prüfung) in Verbindung mit EN 444 gilt für die Durchführung der Durchstrahlungsprüfung.

(3) Die Prüfverfahren und Details der Lieferbedingungen, die die Prüf- und Qualitätsanforderungen von EN 1559-1 und EN 1559-4 betreffen sollten vereinbart werden und in schriftlichen Anweisungen für die Prüfungen angegeben werden. Reparaturschweißungen sind nur zur Beseitigung geringfügiger Gießfehler erlaubt. Der Hersteller sollte über jede Notwendigkeit einer solchen Reparaturschweißung und ihr Ergebnis informieren.

(4) Der Lieferant von Gussstücken sollte alle geforderten Werkstoffeigenschaften und Prüfungen, die zur Erfüllung der spezifizierten Anforderung durchzuführen sind, durch ein Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B nach EN 10204 bestätigen.

### **C.4 Verbindungsmittel**

#### **C.4.1 Aluminiumschrauben**

(1) Mangels eigener EN-Normen für Aluminiumschrauben sollten die in Tabelle 3.4 aufgeführten Aluminiumschrauben nur verwendet werden, wenn der Hersteller bescheinigt, dass die Schrauben hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften entsprechend EN 28839 hergestellt und geprüft wurden und dass die Geometrie und die Toleranzen denen von Stahlschrauben nach EN 24014 oder EN 24017 entsprechen.

Wenn die Verwendung von Schrauben mit geschnittenem Gewinde ausgeschlossen werden soll, sollte dies in der Spezifikation angegeben werden. Alle Anforderungen an die Schrauben sollten in der Spezifikation angegeben werden. Der Schraubenhersteller sollte mit einem Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B nach EN 10204 bestätigen, dass alle geforderten Werkstoffeigenschaften und auszuführenden Prüfungen die gestellten Anforderungen erfüllen.

#### C.4.2 Aluminiumniete

(1) Mangels eigener EN-Normen für Aluminiumniete sollten die in Tabelle 3.4 aufgeführten Aluminiumvollniete nur verwendet werden, wenn der Hersteller bescheinigt, dass sie aus gezogenem Rundstabmaterial nach EN 754 oder gezogenem Runddraht nach EN 1301 hergestellt sind und dabei ausdrücklich feststellt, dass die Festigkeitswerte des Niets auch die Werte nach diesen Normen erfüllen.

(2) Hinsichtlich der Geometrie sollten die folgenden Anforderungen beachtet werden: Höhe des Kopfes  $\geq 0,6d$ ; Kopfdurchmesser  $\geq 1,6d$ , Radius  $\geq 0,75d$ , keine Ansenkung ( $d$  = Nenndurchmesser des massiven Schaftes; siehe auch Bild C.1). Die hier definierten Anforderungen sollten in der Entwurfsspezifikation und in allen Zeichnungen mit der Bemerkung aufgeführt werden, dass alle Beschaffungen entsprechend zu erfolgen haben.

(3) Der Niethersteller muss mit einem Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B nach EN 10204 bestätigen, dass alle geforderten Werkstoffeigenschaften und auszuführenden Prüfungen die gestellten Anforderungen erfüllen.

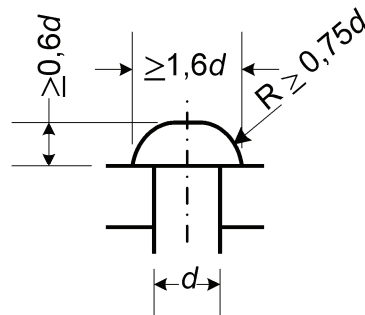


Bild C.1 — Mindestabmessungen des Kopfes von Massivnieten (ohne Ansenkung)



## Anhang D (informativ)

### Korrosion und Oberflächenschutz

#### D.1 Korrosion von Aluminium unter verschiedenen Umgebungsbedingungen

(1) Dieser Anhang enthält Informationen über die Neigung von Aluminium zur Korrosion sowie Empfehlungen für Auswahl und Schutz von Aluminiumlegierungen in Abhängigkeit von verschiedenen Umgebungsbedingungen.

(2) Die Korrosionsbeständigkeit von Aluminium und seinen Legierungen beruht auf der schützenden Oxidschicht, die sich bei Luftzutritt auf der Oberfläche bildet. Diese Schicht ist üblicherweise nicht sichtbar und verhältnismäßig reaktionsträge. Da sie sich von Natur aus in Verbindung mit Luft bzw. Sauerstoff bildet und daher auch in anderen sauerstoffhaltigen Medien, ist die Schutzschicht selbstaushilend.

(3) In milder Umgebung behält eine Aluminiumoberfläche ihr ursprüngliches Aussehen und bei den meisten Legierungen ist kein Oberflächenschutz erforderlich. In gemäßigter Industrielatmosphäre wird die Oberfläche dunkler und rauer. In aggressiverer Umgebung, wie beispielsweise in saurer oder alkalischer Atmosphäre, werden das Nachdunkeln und die Oberflächenrauheit intensiver, es entstehen weiße und pulverige Pusteln und die Oxidschicht kann löslich werden. Das Metall schützt sich dann nicht mehr völlig selber und ein zusätzlicher Oberflächenschutz wird notwendig. Derartige Verhältnisse können sich auch in Fugen infolge örtlich erhöhter saurer oder alkalischer Bedingungen einstellen. Jedoch sind Agenzien, die dies bewirken, eher selten.

(4) In Küsten- und Meeresatmosphäre wird die Oberfläche rau und nimmt ein graues, steinfarbenes Aussehen an und ein Oberflächenschutz ist bei bestimmten Legierungen erforderlich. Wird Aluminium unter Wasser eingesetzt können besondere Schutzmaßnahmen angezeigt sein.

(5) Wo ein Oberflächenangriff stattfindet, ähneln die Korrosion-Zeit-Kurven bei Aluminium und seinen Legierungen in der Regel einer logarithmischen Funktion. Dabei wird bereits nach leichter Anwitterung das Reflektionsvermögen beeinträchtigt. Danach verändert sich über sehr lange Zeit nur sehr wenig. In Atmosphäre kann diese Anfangsphase wenige Monate, aber auch zwei bis drei Jahre dauern. Danach folgt, wenn überhaupt, eine Zeit von zwanzig, dreißig oder auch achtzig Jahren, in der sich nur sehr wenig ändert. Dieses Verhalten ist typisch für Oberflächen an freier Außenluft, im Innern oder in geschützten Bereichen, es sei denn, es liegen dort ausgesprochen saure oder alkalische Bedingungen vor. Tropische Umgebungsbedingungen haben im Allgemeinen genauso wenig schädlichen Einfluss wie erhöhte Temperaturen, ausgenommen einige 5xxx-Legierungen, insbesondere in Meeresatmosphäre, da sie durch langfristig einwirkende höhere Temperaturen ungünstig beeinflusst werden.

(6) Konstruktionen sollten korrosionsschutzgerecht entworfen werden. Die Möglichkeit von Korrosion durch Elementbildung oder Spaltkorrosion sollte abgeschätzt und entsprechend konstruktiv vermieden werden. Wasser sollte überall ablaufen können.

(7) Wenn von Aluminium ein dekoratives Aussehen für lange Zeit gefordert wird, bestehen geeignete Oberflächenbehandlungen in organischen Beschichtungen (Nasslackierung, Pulverbeschichtung) und anodischer Oxidation. In der Ausführungsspezifikation sollten die Einzelheiten hierfür festgelegt werden. Mögliche Farbabweichungen sollten miteinbezogen, vereinbart und z. B. über Grenzmuster definiert werden. Unterschiede im Erscheinungsbild können ihre Ursache haben in verschiedenen Fertigungslosen des Halbzeug, des Beschichtungsmaterials und in verschiedenen Beschichtungsbetrieben. Die Auswahl einer geeigneten Oberflächenbehandlung sollte auch unter Berücksichtigung von Reparaturfähigkeit, Wetterbeständigkeit und Reinigungsfähigkeit erfolgen. Spezifikationen für die anodische Oxidation siehe EN 12373-1.



## D.2 Dauerhaftigkeit von Aluminiumlegierungen

- (1) Die in den Tabellen 3.1a und 3.1b aufgeführten Aluminiumlegierungen werden in drei Beständigkeitsklassen eingeteilt: A, B und C mit absteigendem Grad an Beständigkeit. Diese Klasseneinteilung dient dazu, die Notwendigkeit und den Umfang von Schutzmaßnahmen zu bestimmen. Wird bei Konstruktionen mehr als eine Legierung verwendet, dazu zählt auch das Schweißzusatzmaterial, sollte die Einstufung nach der niedrigsten Beständigkeitsklasse erfolgen.
- (2) Einzelheiten zur Dauerhaftigkeit von Aluminiumlegierungen finden sich im Anhang C.
- (3) Tafel D.1 enthält Empfehlungen zum Korrosionsschutz bezüglich der drei Beständigkeitsklassen.

## D.3 Korrosionsschutz

### D.3.1 Allgemeines

- (1) In der Ausführungsspezifikation sollten Art und Umfang des Korrosionsschutzes beschrieben sein. Dabei sollte der Korrosionsschutz an die Korrosionsmechanismen, wie Oberflächenkorrosion, Elementbildung, Spaltkorrosion und Korrosion durch andere Baumaterialien angepasst sein. Spaltkorrosion kann in jeder Art von Spalten auftreten, also auch zwischen Metall und Kunststoff. Korrosion kann auch durch rein bauliche konstruktive Bedingungen begünstigt werden, z. B. wenn ein Kupferdach über Aluminiumbauteilen angebracht ist.
- (2) Bei der Auswahl eines geeigneten Korrosionsschutzes sollte nicht vergessen werden, dass Schäden an organischen Beschichtungen bis zu einem gewissen Grad ausgebessert werden können. Anodisierte Teile müssen bei Transport und Montage viel vorsichtiger behandelt werden, daher sollten sie mit Schutzfolien versehen werden.
- (3) Anodische Oxidation und organische Beschichtungen sind in vielen Fällen gleichwertige Schutzverfahren. Unter speziellen Bedingungen ist aber eines davon vorzuziehen. Dies hängt von den korrosiv wirkenden Agenzien und der Umgebung ab, da meist erst deren Kombination die Auswirkungen bestimmen. Bezüglich des Korrosionsschutzes in Verbindung mit dekorativen Anforderungen, siehe D.1(7). Spezifikationen für anodische Oxidation sollten auf EN 12373-1 beruhen.
- (4) Passivierung ist ein nur kürzere Zeit wirkender Schutz bei milden Umgebungsbedingungen.

### D.3.2 Vollflächiger Schutz von Aluminiumbauteilen

- (1) Die Notwendigkeit eines vollflächigen Schutzes von Aluminiumbauteilen aus den Legierungen nach Tabellen 3.1.a und 3.1.b ist Tabelle D.1 zu entnehmen. Das Aufbringen des Korrosionsschutzes selbst ist in **EN 1090-3** geregelt. Bezüglich des Korrosionsschutzes von Blechen für Dach und Wand, siehe **EN 508-2**.
- (2) Bei der Auswahl der zutreffenden Spalte von Tabelle D.1 für eine bestimmte Region sollte auch geprüft und ggf. berücksichtigt werden, dass es innerhalb einer Region auch Örtlichkeiten mit „Mikroklimaten“ geben kann, die sich von dem der Region wesentlich unterscheiden. So kann es in einer „ländlichen“ Gegend geben Stellen geben, die eher eine Industrielatmosphäre aufweisen, z. B. in der Nähe oder im Windschatten von Fabriken. Entsprechend kann eine Örtlichkeit an der Küste in der Nähe von Industrieanlagen, je nach vorherrschender Windrichtung, eher eine Industrielatmosphäre denn eine Meeresatmosphäre aufweisen, und die maßgebenden Umgebungsbedingungen sind innerhalb eines Bauwerks nicht unbedingt die gleichen wie außerhalb.
- (3) Das Auftreten von Korrosion hängt in der Praxis nicht nur von der Empfindlichkeit des Materials und den Umgebungsbedingungen ab, sondern vielmehr davon, wie lange Feuchtigkeit einwirkt und ob dies in Verbindung mit abgelagertem Schmutz und korrosiven Agenzien geschieht. Bauglieder oder konstruktive Ecken, wo Schmutz zurückgehalten wird oder sich ansammelt sind problematischer als Stellen, die durch

Regen oder Regenböen gereinigt werden und die rasch abtrocknen. Abgeschirmte Simse sollten daher vermieden werden, ebenso Wassersäcke, die keine wirksame Entwässerung aufweisen.

(4) Bei der Beurteilung von Notwendigkeit und Umfang eines Korrosionsschutzes sollte die vorgesehene Lebensdauer des Tragwerks berücksichtigt werden. So können bei kurzlebigen Konstruktionen auch weniger dauerhafte oder auch gar kein Schutzmaßnahmen akzeptiert werden. Wo planmäßige Inspektion und Unterhaltmaßnahmen das Auftreten von Korrosion in einem frühen Stadium entdecken lassen und Abhilfen möglich sind, kann ebenfalls ein weniger hochwertiger Korrosionsschutz zugelassen werden. Sind indessen Inspektionen nur schwer möglich und können auftretende Korrosion nicht entdeckt werden, muss der Korrosionsschutz von höherer Qualität sein. Daher sollte in jenen Fällen, die in Tabelle D.1 durch (P) gekennzeichnet sind, die Notwendigkeit eines Korrosionsschutzes zwischen Planer, Hersteller und gegebenenfalls einem Korrosionsfachmann abgestimmt werden.

(5) Wie oben ausgeführt, können örtlich besondere, verschärfte Bedingungen bestehen. Es ist daher ratsam vor der Wahl der maßgebenden Spalte für die Umgebungsbedingungen nach Tabelle D.1, die tatsächlichen örtlichen Bedingungen zu prüfen.

**Tabelle D.1 — Empfehlungen zum Korrosionsschutz in Abhängigkeit von Umgebungsbedingungen und Beständigkeitsklasse**

Beständigkeitsklasse	Materialdicke mm	Schutzmaßnahmen in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen							
		in Atmosphäre						unter Wasser	
		ländlich	Industrie/Stadt		Meer/Küste			Süßwasser	Meerwasser
			gemäßigt	ausgeprägt	ländlich	gemäßigt	ausgeprägt		
A	alle	0	0	(Pr)	0	0	(Pr)	0	(Pr)
B	< 3	0	0	(Pr)	(Pr)	(Pr)	(Pr)	Pr	Pr
	≥ 3	0	0	0	0	0	(Pr)	(Pr)	Pr
C	alle	0	0 <sup>2)</sup>	(Pr) <sup>2)</sup>	0 <sup>2)</sup>	0 <sup>2)</sup>	(Pr) <sup>2)</sup>	(Pr) <sup>1)</sup>	NR

0 In der Regel kein Korrosionsschutz erforderlich.  
 Pr Korrosionsschutz im Allgemeinen erforderlich. Ausnahmen in speziellen Fällen, siehe D.3.2.  
 (Pr) Die Notwendigkeit eines Korrosionsschutzes hängt von den speziellen baulichen Bedingungen ab, siehe D.3.2. Gegebenenfalls sollte diese in der Projektspezifikation festgelegt werden.  
 NR Der Einsatz in Meerwasser wird nicht empfohlen.

1) Bei EN AW-7020 braucht ein Korrosionsschutz der wärmebeeinflussten Zone (HAZ) nur verlangt werden, wenn nach dem Schweißen keine Wärmebehandlung vorgenommen wird.  
 2) Falls nach dem Schweißen von EN AW-7020 keine Wärmebehandlung durchgeführt wird, sollte die Notwendigkeit eines Korrosionsschutzes der HAZ im Hinblick auf die gegebenen Einsatzbedingungen geprüft werden, siehe D.3.2.

ANMERKUNG Bezüglich des Korrosionsschutzes von Blechen für Dach und Wand, siehe [A1](#) EN 508-2 [A1](#).

(6) Bei der Verwendung von Hohlprofilen sollte die Notwendigkeit geprüft werden, den Innenraum gegen Korrosion durch eindringende Agenzien zu schützen. Da solche Bereiche schwierig zu beschichten sind, sollte die Applikation chemischer Umwandlungsschichten in Erwägung gezogen werden. Sind derartige Innenräume wirksam abgeschlossen oder kann sich in diesen kein Wasser sammeln, ist ein Innenschutz nicht notwendig.

### D.3.3 Aluminium bei Kontakt mit Aluminium und anderen Metallen

(1) Acht zu geben ist auf Kontaktflächen in Verbindung mit Spalten, auf Kontakt mit bestimmten anderen Metallen oder auf von diesen ausgehenden Auswaschungen, weil dadurch ein elektrochemischer Angriff begünstigt werden kann. Solche Gegebenheiten bestehen vor allem an den Verbindungsstellen von Konstruktionen. Entsprechend Tabelle D.2 sollte bei Kontaktflächen, bei Verbindungen von Aluminium mit Aluminium oder anderen Metallen, bei Kontaktflächen in geschraubten, genieteten, geschweißten und hochfesten gleitfesten Verbindungen ein über die Anforderungen von Tabelle D.1 hinausgehender Schutz vorgesehen werden. Einzelheiten über die Ausführung des Korrosionsschutzes siehe <sup>(A1)</sup> EN 1090-3 <sup>(A1)</sup>. Bezüglich des Schutzes der Kontaktflächen Metall zu Metall sowie den Befestigungsmitteln bei Blechen für Dach und Wand siehe <sup>(A1)</sup> EN 508-2 <sup>(A1)</sup>.

(2) Wenn Bauteile zusammengefügt werden, die bereits beschichtet oder anders geschützt sind, sollte ein zusätzliches Verschließen von Kontaktflächen ausdrücklich in der Ausführungsspezifikation vorgeschrieben werden, einschließlich deren Art und Durchführung. Diesbezügliche Forderungen sollten die erwartete Lebensdauer der Konstruktion, die Umgebungsbedingungen und die Qualität des Oberflächenschutzes der vorbehandelten Teile berücksichtigen.

### D.3.4 Aluminiumoberflächen in Kontakt mit Nichtmetallen

#### D.3.4.1 Kontakt mit Beton, Mauerwerk und Mörtel

(1) Ist Aluminium in dauerndem Kontakt mit Beton, Mauerziegeln oder Mörtel unter trockenen, schadstofffrei oder milden Umgebungsbedingungen sollten die Kontaktflächen mit einer bituminösen oder gleichwertigen Beschichtung versehen werden. In Industrie- oder Meeresatmosphäre sollten die Aluminium-Kontaktflächen mindestens zwei Beschichtungen auf Dickschichtbasis erhalten, nach Möglichkeit auch die Gegenflächen. Im Unterwasserbereich wird ein Dauerkontakt mit den o. a. Materialien nicht empfohlen, falls jedoch unvermeidbar, sollten die beiden Partner durch geeignete, dampfdichte Dickbeschichtungen getrennt werden.

(2) Leichtbeton und ähnliche Produkte erfordern besondere Maßnahmen, wenn Wasser oder Dampf in der Lage sind ständig aggressive Alkalien herauszulösen. Das alkalische Wasser kann dann die Aluminiumoberfläche über einen anderen Mechanismus angreifen, als dies bei direktem Kontakt der Fall ist.

#### D.3.4.2 Einbetonierte Teile

(1) Die Aluminiumoberflächen sollten mit mindestens zwei Schichten auf bituminöser Basis oder mit Heißbitumen geschützt werden, wobei der Schutz mindestens 75 mm über die Betonoberfläche hinausgehen sollte.

(2) Enthält Beton Chloride (z. B. durch Betonzusatzstoffe oder bei Verwendung von meergebaggertem Kies), sollten mindestens zwei Lagen Steinkohlenteerpechbeschichtung nach Herstellerangaben aufgebracht werden. Danach, nach völliger Härtung des Betons und um die Oberfläche zu verschließen, sollte auch noch örtlich an der Baugruppe die gleiche Beschichtung aufgebracht werden. Besondere Vorsicht ist geboten, wenn metallischer Kontakt zwischen den einbetonierten Aluminiumteilen und der Bewehrung besteht.

#### D.3.4.3 Kontakt mit Holz

(1) In Industrie- feuchter oder Meeresatmosphäre sollte Holz vorbehandelt und gestrichen werden.

(2) Gewisse Holzschutzmittel können Aluminium angreifen. Die nachstehenden, allgemein gebräuchlichen Mittel sind ohne weitere Maßnahmen zusammen mit Aluminium verwendbar:

— Steinkohlenteeröle, Zinknaphtenate und Zinkkarboxylate; Zubereitungen auf Basis organischer Biozide (wasserunlöslich), z. B. Triazole, Carbendazim, ebenso Schutzmittel auf Basis organischer Lösemittel.

(3) Die nachfolgenden Holzschutzmittel dürfen nur in trockener Umgebung verwendet werden bzw. nur dann, wenn die Kontaktflächen aluminiumseitigen ausreichend beschichtet sind.

— Kupfernaphtenat, fixierende Holzschutzmittel wie CC-, CKA- und CKB-Salze, Zubereitungen, die quaternäre Ammoniumverbindungen gegebenfalls Bor enthalten.

(4) Nachfolgende Holzschutzmitte sollten nicht in Verbindung mit Aluminium eingesetzt werden.

— nicht fixierende anorganische Zubereitungen, die wasserlösliche Kupfer- und Zinkverbindungen enthalten, ebenso Zubereitungen mit niedrigen (< 5) und hohen (> 8) pH-Werten aufgrund von sauren oder alkalischen Rezeptbestandteilen.

(5) Eiche, Kastanie und Riesen-Lebensbaum (*Thuja plicata*), falls nicht gut abgelagert, können auf Aluminium schädigend einwirken, insbesondere im Bereich von Verbindungen,

#### **D.3.4.4 Kontakt mit Erdreich**

(1) Die Metalloberflächen sollten mit mindestens zwei Schichten bituminöser Farbe, mit Heißbitumen oder zähem Steinkohlenteerpech geschützt werden. Mit zusätzlicher Bandumwicklung kann die Beschichtung gegen mechanische Beschädigung geschützt werden.

#### **D.3.4.5 Anwendungen unter Wasser**

(1) Werden Aluminiumteile in Süßwasser, Meerwasser und verschmutztem Wasser verwendet, sollten diese vorzugsweise aus Legierungen der Beständigkeitsklasse A bestehen und mittels Aluminiumschrauben, Schrauben aus korrosionsbeständigem Stahl oder mittels Schweißen befestigt bzw. verbunden werden. Die Tabellen D.1 und D.2 enthalten Angaben zum Korrosionsschutz für den Einsatz in Süßwasser und Meerwasser.

(2) Angaben über Sauerstoffgehalt, pH-Wert, gelöste chemische und metallische Stoffe, insbesondere Kupfer, sollten vorliegen, sowie über den Wasseraustausch, weil diese Faktoren die Anforderungen an den Korrosionsschutz beeinflussen können.

#### **D.3.4.6 Kontakt mit bauüblichen Chemikalien**

(1) Fungizide und schimmelhemmende Stoffe können Metallverbindungen auf Kupfer, Quecksilber-, Zinn- und Bleibasis enthalten, die unter dem Einfluss von Feuchtigkeit das Aluminium angreifen können. Diese schädigende Wirkung kann durch den Schutz jener Oberflächen verhindert werden, die von Auswaschungen solcher Chemikalien betroffen werden können.

(2) Reinigungsmittel mit  $\text{pH} < 5$  und  $\text{pH} > 8$  können Aluminiumoberflächen angreifen. Werden solche Mittel zur Reinigung von Aluminium oder anderer Baukomponenten benutzt, ist darauf zu achten, dass durch sie keine Schäden auf dem Aluminium entstehen. Oft reicht ein unverzügliches Abwaschen mit ausreichend Wasser. In anderen Fällen können vorübergehend Maßnahmen erforderlich sein, damit Aluminium nicht mit diesen Reinigungsmitteln in Kontakt kommt.

#### **D.3.4.7 Kontakt mit bauüblichem Isolierstoffen**

(1) Produkte wie Glasfasern, Polyurethan und andere Isolierstoffe können korrosive Agenzien enthalten, die ggf. bei Feuchte gelöst werden und sich dann nachteilig auf das Aluminium auswirken können. Isoliermaterialien sollten daher auf ihre Verträglichkeit mit Aluminium unter Salz- und Feuchteinfluss geprüft und im Zweifel die diesen Stoffen zugekehrten Flächen geschützt werden.

Tabelle D.2 — Zusätzliche Schutzmaßnahmen bei Metall-Metall-Kontakt zum Schutz gegen Spalt- und Kontaktkorrosion

Mit Aluminium zu verbindendes Metall	Schrauben- oder Nietmaterial	Schutzmaßnahmen in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen																	
		Landatmosphäre								Meer-/Küstenatmosphäre						Unter Wasser			
		ländlich				Industrie/Stadt				ländlich		unter Industrieinfluss				Süßwasser		Meerwasser	
		trocken, ohne Luftverunreinigungen		mild		gemäßigt		ausgeprägt				gemäßigt		ausgeprägt					
M	B/R	M	B/R	M	B/R	M	B/R	M	B/R			M	B/R	M	B/R	M	B/R	M	B/R
Aluminium	Aluminium		0		0		0		1		(1)		(1)	X	1		1		1
	Nichtrostender Stahl	0	0	0	0	0/X	0	X	1	0/X	(1)	0/X	1	a	1	X	1	X	1 2
	Stahl verzinkt		0		(2)		(1) (2)		1 (2)		(1) (2)		(1) (2)	z	1 (2)		1 2		1 2
Verzinkter Stahl	Aluminium		0		0		0		1		(1)		(1)	X	1		1		1 2
	Nichtrostender Stahl	0	0	0	0	0/X	0	X	1	0/X	0	0/X	(1)	a	1	X	1 (2)	Y	1 2
Beschichteter Stahl	Stahl verzinkt		0		(2)		(2)	z	1 (2)		(1) (2)		1 (2)	z	1 (2)		1 2	z	1 2
Nichtrostender Stahl	Aluminium		0		0		0		1		(1)		(1)	X	1		1 2		1 2
	Nichtrostender Stahl	0	0	0	0	0/X	0	X	1	0/X	0	0/X	(1)	a	1	Y (X)	1	Y	1 2
	Stahl verzinkt		0		(2)		(2)	z	1 (2)		(1) (2)		(1) (2)		1 (2)	(Z)	1 2		1 2

Tabelle D.2 (fortgesetzt)

ANMERKUNG 1 Über den vollflächigen Schutz von Aluminiumteilen sollte nach Tabelle D.1 entschieden werden.

ANMERKUNG 2 Über Maßnahmen in ( ) sollte nach Abklärung des Einzelfalls unter Berücksichtigung von D.3.2 entschieden werden.

ANMERKUNG 3 Bezüglich des Schutzes von Blechen für Dach und Wand siehe **A1** EN 508-2 **A1**.

ANMERKUNG 4 Bezüglich nichtrostender Stähle siehe EN 1993-1-4.

**A1** Erläuterungen:

M = Metall, B = Schraube, R = Niet,

**Schutzmaßnahmen bezüglich Kontaktflächen von Bauteilen **A1****

**Maßnahme 0**

In der Regel sind aus Korrosionsgründen keine Schutzmaßnahmen erforderlich

**Maßnahme 0/X**

Schutzmaßnahmen hängen von baulichen Bedingungen ab. Kleine Kontaktflächen, rasch trocknende Flächen können auch ohne Abdichtung zusammengebaut werden (siehe X)

**Maßnahme X**

Kontaktflächen sollten so zusammengebaut werden, dass keine Spalten vorhanden sind in die Wasser eindringen kann. Beide Kontaktflächen, einschließlich Schrauben bzw. Nieten sollten vor dem Zusammenbau gereinigt, vorbehandelt und einen Grundanstrich erhalten, der über die reinen Kontaktflächen hinausragt, siehe **A1** EN 1090-3 **A1**, oder mittels Dichtmassen abgedichtet werden. Die Teile sollten mit noch feuchten Oberflächen zusammengebaut werden. Werden vorbeschichtete oder auf andere Weise geschützte Teile zusammengebaut, so kann abhängig von der Art des Schutzsystems, von der erwarteten Lebensdauer und den Umgebungsbedingungen ein Abdichten der Spalten auch entfallen.

**Maßnahme Y**

Es sollte eine vollständige elektrische Trennung zwischen den beiden Metallen erreicht werden. Durch Verwendung nichtsaugender, nichtleitender Folien/Platten, Isolierhülsen und Unterlegscheiben sollte jeglicher leitende Kontakt zwischen den Bauteilen unterbunden werden. Zusätzliche Beschichtungen und ein Abdichten von Spalten können außerdem erforderlich sein.

**Procedure Z**

Wird Maßnahme Y verlangt, ist jedoch die Kraftübertragung wegen der Isolierstoffe nicht sichergestellt, so sollte die Verbindung ohne Isolierelemente ausgeführt werden, jedoch sollte dann die gesamte Verbindung von außen her so versiegelt werden, dass jeder Zutritt von Feuchtigkeit ausgeschlossen ist. Die Vorgehensweise sollte in Abstimmung zwischen den Beteiligten festgelegt werden.

Tabelle D.2 (fortgesetzt)

### Schutzmaßnahmen bezüglich Schrauben und Nieten

#### Maßnahme 0

Zusätzliche Schutzmaßnahmen sind in der Regel nicht erforderlich.

#### Maßnahme 1

Zwischen Schraubenköpfen, Muttern Unterlegscheiben und dem zu verbindenden Material sollten weiche, abdichtende Unterlegscheiben oder Dichtpasten angeordnet werden, um die Verbindung abzudichten und um den Zutritt von Feuchtigkeit zu verhindern. Es sollte darauf geachtet werden, dass die Kraftübertragung durch die Unterlegscheiben und Dichtmassen nicht beeinträchtigt wird.

#### Maßnahme 2

(1) Falls eine Verbindung nicht bereits aus anderen Gründen beschichtet oder sonst geschützt ist, sollten Schraubenköpfe, Muttern und die unmittelbare Umgebung mindestens mit einem Grundanstrich geschützt werden (siehe [A1](#) EN 1090-3 [A1](#)), dabei sollten alle Spalte verschlossen werden.

(2) Werden verzinkte Schrauben eingesetzt, ist ein derartiger Schutz auf der Aluminiumseite nicht erforderlich.

(3) Werden Aluminiumschrauben oder Aluminiumniete verwendet, ist ein derartiger Schutz auf der Aluminiumseite nicht erforderlich.

(4) Falls Schrauben aus nichtrostendem Stahl bei Verbindungen von Aluminium mit verzinktem Stahl eingesetzt werden, sollte die verzinkte Seite wie bei (1) geschützt werden.

#### Sonstige Maßnahmen

#### Maßnahme a

Falls nicht bereits aus anderen Gründen beschichtet, kann es notwendig werden, die Umgebung von Kontaktflächen mit einer geeigneten Beschichtung zu versehen, falls dort Schmutz angelagert wird oder sich Feuchtigkeit halten kann.

#### Maßnahme z

Der vollflächige Schutz verzinkter Teile kann sich als notwendig erweisen.

## Anhang E (informativ)

### Analytische Modelle für das Spannungs-Dehnungsgesetz

#### E.1 Anwendungsbereich

(1) Dieser Anhang enthält Modelle für die Idealisierung des Spannungs-Dehnungsgesetzes von Aluminiumlegierungen. Diese Modelle wurden erarbeitet, um dem aktuellen elastisch-verfestigenden Verhalten solcher Werkstoffe Rechnung zu tragen.

(2) Die vorgeschlagenen Modelle sind von unterschiedlicher Komplexität, je nach der für die Berechnung geforderten Genauigkeit.

ANMERKUNG Die Bezeichnungen in diesem Anhang E sind spezifisch für die verschiedenen Modelle und stimmen nicht notwendigerweise mit denen in 1.6 überein.

#### E.2 Analytische Modelle

(1) Die analytische Formulierung des Spannungs ( $\sigma$ ) — Dehnungs ( $\varepsilon$ ) Gesetzes einer Aluminiumlegierung kann mit einem der folgenden Modelle erfolgen:

- Modelle mit abschnittsweiser Beschreibung
- Modelle mit kontinuierlicher Beschreibung

(2) Die Zahlenwerte eines jeden Modells sollten auf der Grundlage der wirklichen mechanischen Werkstoffkennwerte festgelegt werden. Diese sollten durch geeignete Zugversuche oder alternativ auf der Grundlage der in Abschnitt 3 für jede Legierung gegebenen Nennwerte ermittelt werden.

##### E.2.1 Modelle mit abschnittsweiser linearer Beschreibung

(1) Diese Modelle beruhen auf der Annahme, dass das Werkstoffgesetz ( $\sigma$ - $\varepsilon$ )-Gesetz durch einen Geradenzug beschrieben wird, bei dem jeder Geradenabschnitt den elastischen, inelastischen und plastischen Bereich mit oder ohne Verfestigung erfasst.

(2) Aufgrund dieser Annahme kann die Formulierung der Spannungs-Dehnungsbeziehung allgemein beschrieben werden entweder durch

- ein bi-lineares Modell mit oder ohne Verfestigung (Bild E.1) oder durch
- ein tri-lineares Modell mit oder ohne Verfestigung (Bild E.2)

##### E.2.1.1 Bi-lineares Modell

(1) Bei einem bi-linearen Modell mit Verfestigung (Bild E.1a) können die folgenden Beziehungen angesetzt werden:

$$\sigma = E\varepsilon \quad \text{für} \quad \boxed{A_1} \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_p \quad \boxed{A_1} \quad \text{(E.1)}$$



$$\sigma = f_p + E_1 (\varepsilon - \varepsilon_p) \quad \text{für} \quad \varepsilon_p < \varepsilon \leq \varepsilon_{\max} \quad (\text{E.2})$$

Dabei ist

$f_p$  die konventionelle elastische Proportionalitätsgrenze;

$\varepsilon_p$  die zu  $f_p$  gehörende Dehnung;

$\varepsilon_{\max}$  die zur Zugfestigkeit  $f_{\max}$  gehörende Dehnung;

$E$  Elastizitätsmodul;

$E_1$  Verfestigungsmodul.

(2) Bei dem „idealelastischen-idealplastischen“ Modell (Bild E.1b) bleibt der Werkstoff vollkommen elastisch bis zur elastischen Grenzspannung  $f_p$ . Plastische Verformungen ohne Verfestigung ( $E_1 = 0$ ) sollten bis zu  $\varepsilon_{\max}$  betrachtet werden.

(3) Wenn die oben genannten Parameter nicht genauer ermittelt wurden, dürfen die folgenden Werte für die beiden Modelle in den Bildern E.1a) und b) angenommen werden:

$f_p$  Nennwert von  $f_0$  (siehe Abschnitt 3)

$f_{\max}$  Nennwert von  $f_u$   $\langle A_1 \rangle$  (siehe Bild E.1a und Abschnitt 3) oder  $f_p$  (siehe Bild E.1b)  $\langle A_1 \rangle$

$\varepsilon_{\max}$   $0,5 \varepsilon_u$

$\varepsilon_u$  Nennwert der Bruchdehnung  $\langle A_1 \rangle$  (siehe E.3)  $\langle A_1 \rangle$

$\varepsilon_p$   $f_0/E$

$E_1$   $(f_u - f_0)/(0,5 \varepsilon_u - \varepsilon_p)$

### E.2.1.2 Tri-lineares Modell

(1) Bei einem tri-linearen Modell mit Verfestigung (Bild E.2a) können die folgenden Beziehungen angesetzt werden:

$$\sigma = E\varepsilon \quad \text{für} \quad \langle A_1 \rangle 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_p \langle A_1 \rangle \quad (\text{E.3})$$

$$\sigma = f_p + E_1 (\varepsilon - \varepsilon_p) \quad \text{für} \quad \varepsilon_p < \varepsilon \leq \varepsilon_e \quad (\text{E.4})$$

$$\sigma = f_e + E_2 (\varepsilon - \varepsilon_e) \quad \text{für} \quad \varepsilon_e < \varepsilon \leq \varepsilon_{\max} \quad (\text{E.5})$$

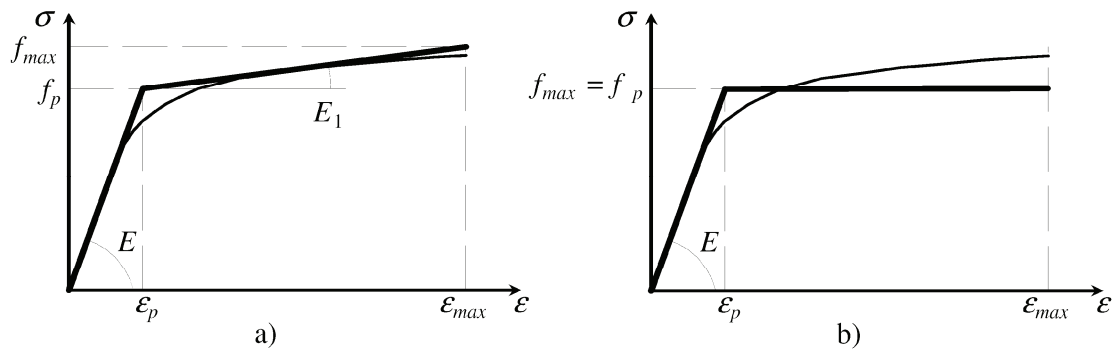
Dabei ist

$f_p$   $\langle A_1 \rangle$  die konventionelle elastische Proportionalitätsgrenze (siehe E.2.1.2 (3));  $\langle A_1 \rangle$

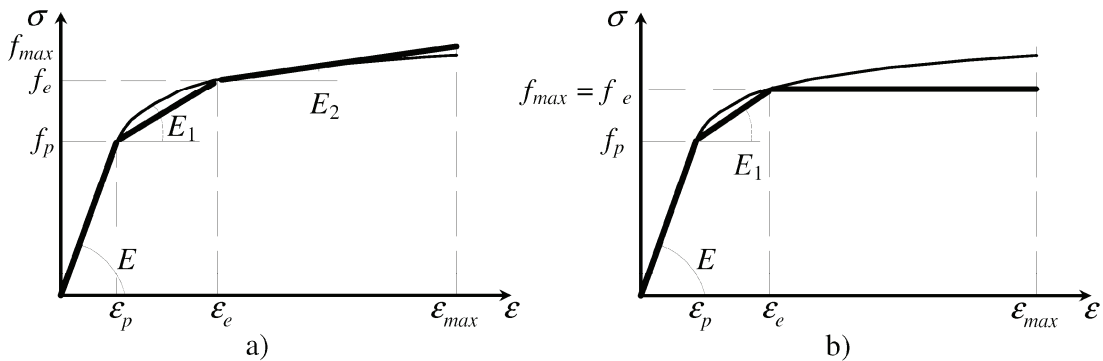
$f_e$   $\langle A_1 \rangle$  die konventionelle Elastizitätsgrenze (siehe E.2.1.2 (3));  $\langle A_1 \rangle$

- $\epsilon_p$  die zu  $f_p$  gehörende Dehnung;
- $\epsilon_e$  die zu  $f_e$  gehörende Dehnung;
- $\epsilon_{max}$  die zu  $f_{max}$  gehörende Dehnung;
- $E$  der Elastizitätsmodul;
- $E_1$  der Verfestigungsmodul im ersten Verfestigungsbereich;
- $E_2$  der Verfestigungsmodul im zweiten Verfestigungsbereich.

(2) Bei dem „idealplastischen“ Modell (Bild E.2 b)) sollten plastische Verformungen ohne Verfestigung ( $E_2 = 0$ ) im Dehnungsbereich von  $\epsilon_e$  bis  $\epsilon_{max}$  betrachtet werden.



**Bild E.1 — Bi-lineare Modelle**



**Bild E.2 — Tri-lineare Modelle**

**[A1]** (3) Wenn die oben genannten Parameter nicht exakter bestimmt werden können, dürfen für die beiden in den Bildern E.2a) und E.2b) dargestellten Modelle folgende Werte angenommen werden:

- $f_p = f_{0,01}$
- $f_e =$  Nennwert von  $f_o$  (siehe Abschnitt 3)
- $f_{max} =$  Nennwert von  $f_u$  (siehe Bilder E.2a und Abschnitt 3) oder  $f_e$  (Siehe Bild E.2b)
- $\epsilon_u =$  Nennwert der Bruchdehnung (siehe E.3)

$$\varepsilon_{\max} = 0,5\varepsilon_u$$

$$\varepsilon_p = f_{0,01}/E$$

$$E_1 = (f_e - f_p)/(\varepsilon_e - \varepsilon_p)$$

$$E_2 = (f_{\max} - f_e)/(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_e) \text{ in Bild E.2 a) } \text{A1}$$

## E.2.2 Kontinuierliche Modelle

(1) Diese Modelle beruhen auf der Annahme, dass das Werkstoffgesetz ( $\sigma$ - $\varepsilon$ -Gesetz) durch eine stetige Kurve beschrieben wird, die den elastischen, den inelastischen und den plastischen Bereich mit oder ohne Verfestigung erfasst.

(2) Dieser Annahme entsprechend kann die Spannungs-Dehnungsbeziehung allgemein in einer der folgenden Weisen beschrieben werden:

— kontinuierliche Modelle in der Form  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$

— kontinuierliche Modelle in der Form  $\varepsilon = \varepsilon(\sigma)$

### E.2.2.1 Kontinuierliche Modelle der Form $\sigma = \sigma(\varepsilon)$

(1) Wenn das Werkstoffgesetz  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$  angesetzt wird, ist es hilfreich, drei getrennte Bereiche zu identifizieren, die auf folgende Weise definiert werden können (siehe Bild E.3a):

— Bereich 1: elastisches Verhalten

— Bereich 2: inelastisches Verhalten

— Bereich 3: verfestigendes Verhalten

(2) In jedem der drei Bereiche wird das Werkstoffverhalten durch andere Spannungs-Dehnungsbeziehungen dargestellt, mit denen sich an den Übergangsstellen ein stetiger Verlauf ergeben muss. Entsprechend dieser Annahme kann die Spannungs-Dehnungsbeziehung folgendermaßen dargestellt werden (Bild E.3b):

Bereich 1: für  $\text{A1} \ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_p \text{A1}$  mit  $\varepsilon_p = 0,5\bar{\varepsilon}_e$  und  $\bar{\varepsilon}_e = f_e / E$

$$\sigma = E \varepsilon \tag{E.6}$$

Bereich 2: für  $\varepsilon_p < \varepsilon \leq 1,5\bar{\varepsilon}_e$   $\text{A1}$  gestrichener Text  $\text{A1}$

$$\sigma = f_e \left[ -0,2 + 1,85 \frac{\varepsilon}{\bar{\varepsilon}_e} - \left( \frac{\varepsilon}{\bar{\varepsilon}_e} \right)^2 + 0,2 \left( \frac{\varepsilon}{\bar{\varepsilon}_e} \right)^3 \right] \tag{E.7}$$

Bereich 3: für  $1,5\bar{\varepsilon}_e < \varepsilon \leq \varepsilon_{\max}$

$$\sigma = f_e \left[ \frac{f_{\max}}{f_e} - 1,5 \left( \frac{f_{\max}}{f_e} - 1 \right) \frac{\bar{\varepsilon}_e}{\varepsilon} \right] \tag{E.8}$$

Dabei ist

- $f_e$  die konventionelle Elastizitätsgrenze;
- $f_{max}$  die Zugspannung bei dem Maximum der  $\sigma - \epsilon$  Kurve;
- $\epsilon_e$  die zu  $f_e$  gehörende Dehnung ( $\epsilon_e = 1,5 \bar{\epsilon}_e$ );
- $\epsilon_{max}$  die zur Spannung  $f_{max}$  gehörende Dehnung;
- $E$  der Elastizitätsmodul.

(3) Wenn die oben genannten Parameter nicht genauer ermittelt wurden, dürfen die folgenden Werte angenommen werden:

- $f_e$  Nennwert von  $f_o$  (siehe Abschnitt 3);
- $f_{max}$  Nennwert von  $f_u$  (siehe Abschnitt 3);
- $\epsilon_{max}$   $0,5 \epsilon_u$ ;
- $\epsilon_u$  Nennwert der Bruchdehnung (siehe E.3);
- $E$  Nennwert des Elastizitätsmodul (siehe Abschnitt 3).

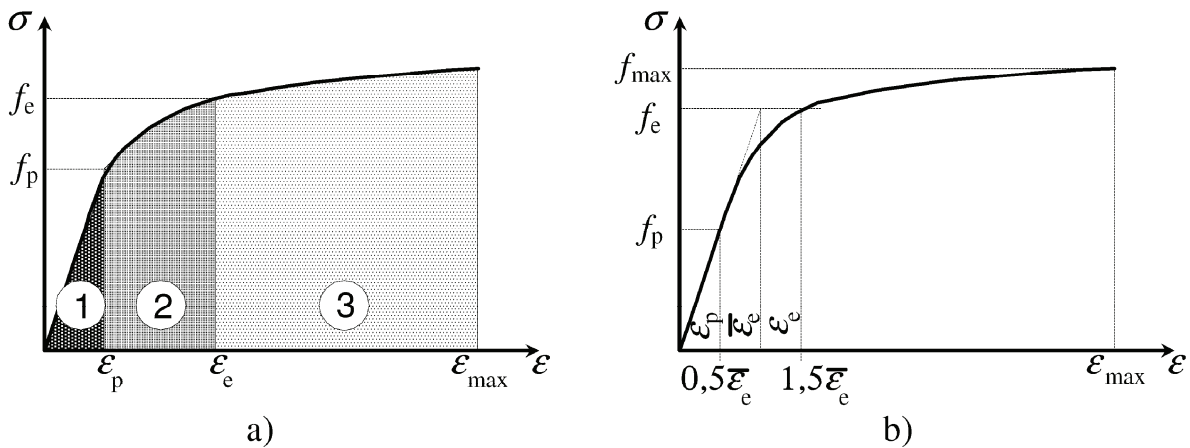


Bild E.3 — Kontinuierliche Modelle der Form  $\sigma = \sigma(\epsilon)$

### E.2.2.2 Kontinuierliche Modelle der Form $\epsilon = \epsilon(\sigma)$

(1) Für Aluminiumlegierungen kann die Spannungs-Dehnungsbeziehung in der Form  $\epsilon = \epsilon(\sigma)$  durch das Ramberg-Osgood-Modell beschrieben werden. Dieses Modell kann in folgender allgemeinen Form angegeben werden (siehe Bild E.4a):

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} + \epsilon_{0,e} \left( \frac{\sigma}{f_e} \right)^n \quad (E. A1) 9 (A1)$$

Dabei ist

- $f_e$  die konventionelle Elastizitätsgrenze;
- $\varepsilon_{0,e}$  die zur Spannung  $f_e$  gehörende bleibende Dehnung;
- $n$  der Exponent zur Charakterisierung des Verfestigungsgrades.

(2) Zur Ermittlung des Exponenten  $n$  ist zusätzlich zur konventionellen Elastizitätsgrenze  $f_e$  eine zweite Bezugsspannung  $f_x$  erforderlich. Wenn man nach Bild E.4b:

- $f_x$  als zweite Bezugsspannung
- $\varepsilon_{0,x}$  als zu  $f_x$  gehörende bleibende Dehnung

annimmt, ergibt sich der Exponent  $n$  aus:

$$n = \frac{\ln(\varepsilon_{0,e} / \varepsilon_{0,x})}{\ln(f_e / f_x)} \quad (\text{E. A}_1 \text{ 10 A}_1)$$

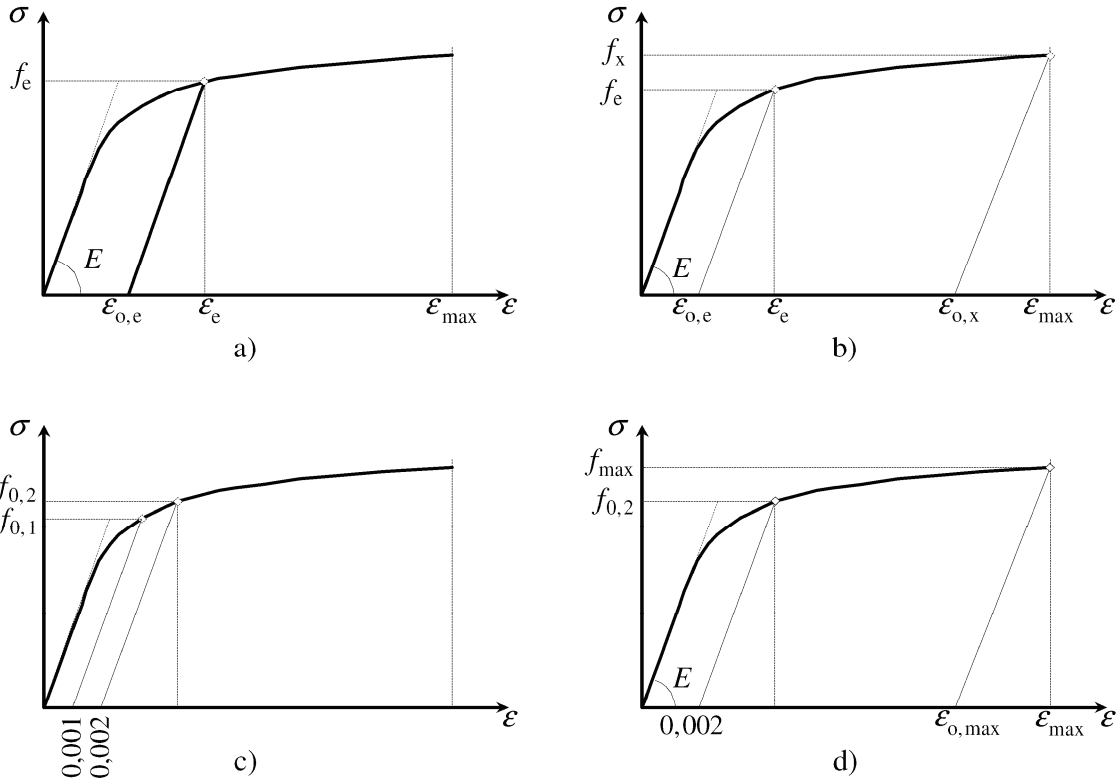
(3) Als konventionelle Elastizitätsgrenze kann die Streckgrenze  $f_o$  angesetzt werden, die sich als der Wert bei einer bleibenden Dehnung von 0,2 % ergibt, d. h.:

$$f_e = f_o$$

$$\varepsilon_{0,e} = 0,002$$

und die Gleichung für das Modell lautet:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + 0,002 \left( \frac{\sigma}{f_o} \right)^n \quad \text{und} \quad n = \frac{\ln(0,002 / \varepsilon_{0,x})}{\ln(f_o / f_x)} \quad (\text{E. A}_1 \text{ 11 A}_1)$$



**Bild E.4 — Kontinuierliche Modelle der Form  $\varepsilon = \varepsilon(\sigma)$**

(4) Der zweite Bezugspunkt ( $f_x - \varepsilon_{0,x}$ ) sollte entsprechend dem Dehnungsbereich gewählt werden, der dem untersuchten Verhalten entspricht. Die folgenden Grenzfälle können betrachtet werden:

- a) Wenn die Berechnung den Bereich elastischer Verformungen betrifft, kann die zu einer bleibenden Dehnung von 0,1 % ermittelte Streckgrenze als zweiter Bezugspunkt angenommen werden (siehe Bild E.4c), so dass:

$$f_x = f_{0,1}$$

$$\varepsilon_{0,x} = 0,001$$

und deshalb

$$\boxed{A_1} \quad n = \frac{\ln 2}{\ln(f_0 / f_{0,1})} \quad \boxed{A_1} \quad \text{(E. } \boxed{A_1} \text{ 12 } \boxed{A_1} \text{)}$$

- b) Wenn die Berechnung den Bereich plastischer Verformungen betrifft, kann die Zugspannung beim Maximum der  $\sigma$ - $\varepsilon$ -Kurve als zweiter Bezugspunkt angenommen werden (siehe Bild E.4d), so dass:

$$f_x = f_{\max}$$

$$\varepsilon_{0,x} = \varepsilon_{0,\max} = \text{ZU } f_{\max} \text{ gehörende bleibende Dehnung}$$

und deshalb

$$\boxed{A_1} n = \frac{\ln(0,002 / \varepsilon_{o,max})}{\ln(f_o / f_{max})} \boxed{A_1} \quad (\text{E. } \boxed{A_1} \text{ 13 } \boxed{A_1})$$

$\boxed{A_1}$  (5) Aufgrund von umfangreichen Versuchen können anstatt der in E.2.2.2 (4) angegebenen Werte die folgenden Werte angenommen werden:  $\boxed{A_1}$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + 0,002 \left( \frac{\sigma}{f_o} \right)^n \quad (\text{E. } \boxed{A_1} \text{ 14 } \boxed{A_1})$$

Dabei ist

a) elastischer Bereich ( $f_x = f_p$ ,  $\varepsilon_p = 0,000\ 001$ )

$$n = \frac{\ln(0,000\ 001 / 0,002)}{\ln(f_p / f_o)} \quad (\text{E. } \boxed{A_1} \text{ 15 } \boxed{A_1})$$

wobei die Proportionalitätsgrenze  $f_p$  nur vom Wert der Streckgrenze  $f_o$  abhängt:

$$f_p = f_{0,2} - 2\sqrt{10f_{0,2}(\text{N/mm}^2)} \quad \text{wenn } f_{0,2} > 160 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{E. } \boxed{A_1} \text{ 16 } \boxed{A_1})$$

$$f_p = f_{0,2} / 2 \quad \text{wenn } f_{0,2} \leq 160 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{E. } \boxed{A_1} \text{ 17 } \boxed{A_1})$$

b) plastischer Bereich ( $f_x = f_u$ )

$$n = n_p = \frac{\ln(0,002 / \varepsilon_u)}{\ln(f_o / f_u)} \quad (\text{E. } \boxed{A_1} \text{ 18 } \boxed{A_1})$$

### E.3 Näherungsweise Ermittlung von $\varepsilon_u$

Aufgrund von experimentellen Ergebnissen können die Werte von  $\varepsilon_u$  für mehrere Legierungen mit einer analytischen Beziehung berechnet werden, die aus der Interpolation verfügbarer Ergebnisse folgte. Diese Beziehung, die einen oberen Grenzwert für die Bruchdehnung angibt, kann durch die folgenden Ausdrücke beschrieben werden:

$$\varepsilon_u = 0,30 - 0,22 \frac{f_o (\text{N/mm}^2)}{400} \quad \text{wenn } f_o < 400 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{E. } \boxed{A_1} \text{ 19 } \boxed{A_1})$$

$$\varepsilon_u = 0,08 \quad \text{wenn } f_o \geq 400 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{E. } \boxed{A_1} \text{ 20 } \boxed{A_1})$$

ANMERKUNG Diese Formulierung kann zur quantitativen Beschreibung der Spannungs-Dehnungsbeziehung oberhalb der Elastizitätsgrenze bei plastischen Berechnungen verwendet werden, gilt aber nicht für die Beurteilung der Zähigkeit des Werkstoffes.

## Anhang F (informativ)

### Tragverhalten von Querschnitten oberhalb der Elastizitätsgrenze

#### F.1 Allgemeines

(1) Dieser Anhang enthält die Anweisungen, die das Tragverhaltens von Querschnitten oberhalb der Elastizitätsgrenze entsprechend den mechanischen Eigenschaften des Werkstoffes und den geometrischen Merkmalen des Querschnittes beurteilen.

(2) Das tatsächliche Verhalten von Querschnitten oberhalb der Elastizitätsgrenze sollte in jeglicher inelastischen Berechnung einschließlich der einfachen elastischen Berechnung, bei der Schnittkraftumlagerungen vorgenommen werden (siehe 5.4), berücksichtigt werden. Zusätzlich sollte eine geeignete Begrenzung der elastischen Tragfähigkeit auch bei einer elastischen Berechnung berücksichtigt werden, wenn dünnwandige Querschnitte verwendet werden.

(3) Die Wahl der verallgemeinerten Kraft-Verschiebungsbeziehung für die Querschnitte sollte mit den Annahmen für das Werkstoffgesetz und den geometrischen Querschnittsmerkmalen selbst verträglich sein (siehe F.3).

(4) Die Zuverlässigkeit der Annahmen über das Tragverhalten von Querschnitten kann durch Versuche geprüft werden.

#### F.2 Definition der Querschnittsgrenzzustände

(1) Das Tragverhalten der Querschnitte und die zugehörigen Idealisierungen für die Tragwerksberechnung sollte auf die Fähigkeit abgestimmt sein, einen der unten aufgeführten Tragzustände zu erreichen, von denen jeder zu einer besonderen Annahme über den Spannungszustand im Querschnitt gehört.

(2) Hinsichtlich des globalen Tragverhaltens eines Querschnittes können unabhängig von den Schnittgrößen (Normalkraft, Biegemoment oder Querkraft) folgende Grenzzustände definiert werden:

- Grenzzustand mit elastischem Beulen;
- elastischer Grenzzustand;
- plastischer Grenzzustand;
- Grenzzustand des Versagens.

(3) Der Grenzzustand des elastischen Beulens ist die Beanspruchbarkeit, bei der örtliche elastische Instabilitäterscheinungen in den gedrückten Teilen des Querschnitts eintreten.

(4) Der elastische Grenzzustand ist die Beanspruchbarkeit, bei der in den am stärksten beanspruchten Teilen des Querschnitts die konventionelle Elastizitätsgrenze  $f_0$  erreicht wird.

(5) Der plastische Grenzzustand ist die Beanspruchbarkeit des Querschnittes, die sich mit der Annahme eines idealplastischen Werkstoffverhaltens mit dem Grenzwert der konventionellen Elastizitätsgrenze  $f_0$  ohne Berücksichtigung einer Verfestigung ergibt.

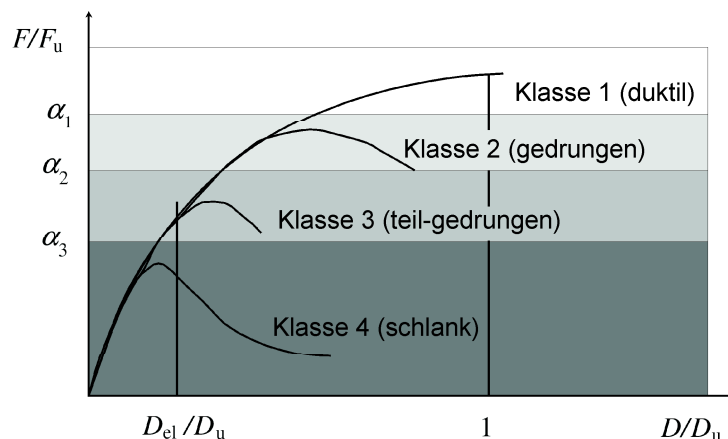


(6) Der Grenzzustand des Versagens ist die wirkliche größte Beanspruchbarkeit des Querschnittes. Sie ergibt sich mit dem Ansatz einer Spannungsverteilung, bei der das wirkliche Verfestigungsverhalten des Werkstoffes berücksichtigt wird. Da bei dieser Hypothese die verallgemeinerte Kraft-Verschiebungsbeziehung immer weiter ansteigt, wird der Zustand des Versagens durch eine Grenze der verallgemeinerten Verschiebung festgelegt (siehe F.5).

### F.3 Klassifizierung von Querschnitten nach Grenzzuständen

(1) Die Querschnitte können danach klassifiziert werden, welchen der oben definierten Grenzzustände sie erreichen können. Diese Klassifikation ergänzt die in 6.1.4 vorgenommene und kann verwendet werden, wenn die Fähigkeiten festgelegt werden müssen, die erforderlich sind, dass der Querschnitt in den plastischen Bereich kommt. In diesem Sinne können Querschnitte mit Bezug zu einer verallgemeinerten Kraft  $F$  — Verschiebung  $D$  — Beziehung wie folgt eingeteilt werden (siehe Bild F.1):

- duktile Querschnitte (Klasse 1);
- gedrungene Querschnitte (Klasse 2);
- teil-gedrungene Querschnitte (Klasse 3);
- schlanke (dünnwandige) Querschnitte (Klasse 4).



**Bild F.1 — Klassifizierung von Querschnitten**

(2) Duktile Querschnitte (Klasse 1) erreichen den in F.2(6) definierten Versagenswiderstand ohne örtliches Beulen im Querschnitt. Bei ihnen ist die volle Ausnutzung der Werkstoffverfestigung bis zu dem von der Legierung abhängigen Maximalwert der Verformung erlaubt.

(3) Gedrungene Querschnitte (Klasse 2) erreichen die in F.2(5) definierte plastische Grenztragfähigkeit. Bei ihnen ist die volle Ausnutzung der Werkstoffverfestigung durch den Beginn plastischer Instabilitäten ausgeschlossen.

(4) Teilgedrungene Querschnitte (Klasse 3) erreichen nur die in F.2(4) definierte elastische Grenztragfähigkeit, da sie andernfalls wegen Instabilitäten in den inelastischen Bereich kommen. Es treten nur kleine plastische Verformungen im Querschnitt auf, dessen Verhalten im Wesentlichen spröde bleibt.

(5) Bei schlanken Querschnitten (Klasse 4) wird sowohl die Gebrauchstauglichkeit als auch die Tragfähigkeit durch das Auftreten örtlicher Beulen bestimmt, wegen dessen die Tragfähigkeit des Querschnittes mit dem in F.2(3) definierten Grenzzustand des elastischen Beulens zu ermitteln ist. Im Querschnitt, dessen Verhalten bemerkenswert spröde ist, sind keine plastischen Verformungen zulässig.

### F.4 Ermittlung der Traglast unter Normalkraft

(1) Die Tragfähigkeit von Querschnitten unter Normalkraft kann hinsichtlich der oben genannten Grenzzustände mit folgenden besonderen Regeln ermittelt werden.

(2) Die Normalkraft für einen bestimmten Grenzzustand kann durch die allgemeine Gleichung:

$$N_{Ed} = \alpha_{N,j} A f_d \tag{F.1}$$

ausgedrückt werden.

Dabei ist

$f_d = f_o / \gamma_{M1}$  der Bemessungswert der 0,2%-Dehngrenze, siehe 6.1.2;

$A$  die Nettoquerschnittsfläche;

$\alpha_{N,j}$  der Korrekturbeiwert nach Tabelle F.1, abhängig von dem angenommenen Grenzzustand.

**Tabelle F.1 — Traglast unter Normalkraft**

Normalkraft	Grenzzustand	Klassifikation des Querschnittes	Korrekturbeiwert
$N_u$	Versagen	Klasse 1	$\alpha_{N,1} = f_t / f_d$
$N_{pl}$	Plastisch	Klasse 2	$\alpha_{N,2} = 1$
$N_{el}$	Elastisch	Klasse 3	$\alpha_{N,3} = 1$
$N_{red}$	Elastisches Beulen	Klasse 4	$\alpha_{N,4} = A_{eff} / A$
Dabei ist			
$A_{eff}$	die wirksame Querschnittsfläche unter Berücksichtigung örtlichen Beulens (siehe 6.2.4).		
$f_t = f_u / \gamma_{M2}$	der Bemessungswert der Zugfestigkeit, siehe 6.1.2.		

(3) Die mit dem voranstehenden Verfahren ermittelte Normalkrafttragfähigkeit eines Querschnittes erfasst nicht das Knicken, das nach 6.3.1 untersucht werden sollte.

(4) Bei geschweißten Querschnitten sollte der unter Berücksichtigung der WEZ nach 6.3.1 ermittelte, reduzierte Wert  $A_{red}$  der Nettoquerschnittsfläche verwendet werden.

### F.5 Ermittlung des Tragmomentes

(1) Die Tragfähigkeit biegebeanspruchter Querschnitte kann hinsichtlich der oben erwähnten Grenzzustände mit folgenden Regeln ermittelt werden.

(2) Das Biegemoment für einen bestimmten Grenzzustand kann durch die allgemeine Gleichung:

$$M_{Rd} = \alpha_{M,j} W_{el} f_d \tag{F.2}$$

ausgedrückt werden.

Dabei ist

$f_d = f_o / \gamma_{M1}$  der Bemessungswert der 0,2%-Dehngrenze, siehe 6.1.2;

$W_{el}$  das elastische Widerstandsmoment;

$\alpha_{M,j}$  der Korrekturbeiwert nach Tabelle F.2, abhängig von dem angenommenen Grenzzustand.

Tabelle F.2 — Tragmoment

Biegemoment	Grenzzustand	Querschnittsklasse	Korrekturbeiwert
$M_u$	Versagen	Klasse 1	$\alpha_{M,1} = \alpha_5 = 5 - (3,89 + 0,00190n) \alpha_0^{(0,270 + 0,0014n)}$ $\alpha_{M,1} = \alpha_{10} = \alpha_0^{[0,21 \log(1000n)]} 10^{[7,96 \cdot 10^{-2} - 8,09 \cdot 10^{-2} \log(n/10)]}$ (abhängig von der Legierung — siehe Anhang G)
$M_{pl}$	Plastisch	Klasse 2	$\alpha_{M,2} = \alpha_0 = W_{pl} / W_{el}$
$M_{el}$	Elastisch	Klasse 3	$\alpha_{M,3} = 1$
$M_{red}$	Elastisches Beulen	Klasse 4	$\alpha_{M,4} = W_{eff} / W_{el}$ (siehe 6.2.5)
Dabei ist $n = n_p$ der Exponent des Ramberg-Osgood-Gesetzes, das das Werkstoffverhalten im plastischen Bereich darstellt (siehe Anhang E); $\alpha_5$ und $\alpha_{10}$ , die verallgemeinerten Formbeiwerte des Querschnittes, die jeweils zur maximalen Krümmung $\chi_u = 5\chi_{el}$ und $10\chi_{el}$ gehören, wobei $\chi_{el}$ die elastische Grenzkrümmung ist (siehe Anhang G); $\alpha_0$ der geometrische Formbeiwert; $W_{pl}$ das plastische Widerstandsmoment; $W_{eff}$ das wirksame Widerstandsmoment, das unter Berücksichtigung des örtlichen Beulens ermittelt wurde (siehe 6.2.5).			

(3) Bei geschweißten Querschnitten sollten die unter Berücksichtigung der WEZ ermittelten, reduzierten Werte  $W_{eff,haz}$  und  $W_{pl,haz}$  des elastischen und des plastischen Widerstandsmomentes verwendet werden (siehe 6.2.5).

(4) Der Korrekturbeiwert  $\alpha_{M,j}$  für einen geschweißten Querschnitt der Klasse 1 kann mit der folgenden Gleichung ermittelt werden:

$$\alpha_{M,red} = \psi \left( \frac{W_{pl,haz}}{W_{el}} \right) \quad (F.3)$$

Dabei ist

$\psi = \alpha_{M,1} / \alpha_{M,2}$ ,  $\alpha_{M,1}$  und  $\alpha_{M,2}$  die Korrekturbeiwerte für nicht geschweißte Querschnitte der Klassen 1 und 2.

## Anhang G (informativ)

### Rotationskapazität

(1) Die Angaben in diesem Anhang G gelten für die Bestimmung der nominellen Tragfähigkeit von Querschnitten der Klasse 1. Die Angaben können auch für die Ermittlung der Tragfähigkeit von Querschnitten der Klassen 2 und 3 verwendet werden, wenn gezeigt wird, dass die Rotationskapazität ohne örtliches Beulen der Querschnitte erreicht wird.

(2) Wenn kein Vertrauen in die Verformungsfähigkeit besteht oder wenn keine spezifischen Versuche mit dem Werkstoff durchgeführt werden können, sollte das Tragmoment  $M_U$  auf einen konventionellen Maximalwert der Biegekrümmung nach folgender Gleichung bezogen werden:

$$\chi_U = \xi \chi_{el} \tag{G.1}$$

Dabei ist

$\xi$  ein vom Legierungstyp abhängiger Duktilitätsbeiwert;

$\chi_{el}$  konventionellerweise angenommen als elastische Biegekrümmung  $\chi_{0,2}$ , die dem Erreichen der Dehngrenze  $f_0$  in der am stärksten beanspruchten Randfaser entspricht.

(3) Die üblichen Aluminiumlegierungen können hinsichtlich der Duktilität in zwei Gruppen unterteilt werden (siehe auch Anhang H):

- spröde Legierungen mit  $4 \% \leq \epsilon_U \leq 8 \%$ , für die  $\xi = 5$  angenommen werden kann;
- duktile Legierungen mit  $\epsilon_U \geq 8 \%$ , für die  $\xi = 10$  angenommen werden kann.

(4) Das elastische und überelastische Tragverhalten des Querschnittes kann mit der in der Ramberg-Osgood-Form beschriebenen Momenten-Krümmungsbeziehung:

$$\frac{\chi}{\chi_{0,2}} = \frac{M}{M_{0,2}} + k \left[ \frac{M}{M_{0,2}} \right]^m \tag{G.2}$$

ermittelt werden.

Dabei ist

- $M_{0,2}$  und  $\chi_{0,2}$  die konventionellen elastischen Grenzwerte bei Erreichen der Dehngrenze  $f_0$ ;
- $m$  und  $k$  die numerischen Parameter, für die die für Querschnitte unter reiner Biegung gilt:

$$m = \frac{\ln[(10 - \alpha_{10})(5 - \alpha_5)]}{\ln(\alpha_{10} / \alpha_5)} \tag{G.3}$$

$$k = \frac{5 - \alpha_5}{\alpha_5 m} = \frac{10 - \alpha_{10}}{\alpha_{10} m} \tag{G.4}$$

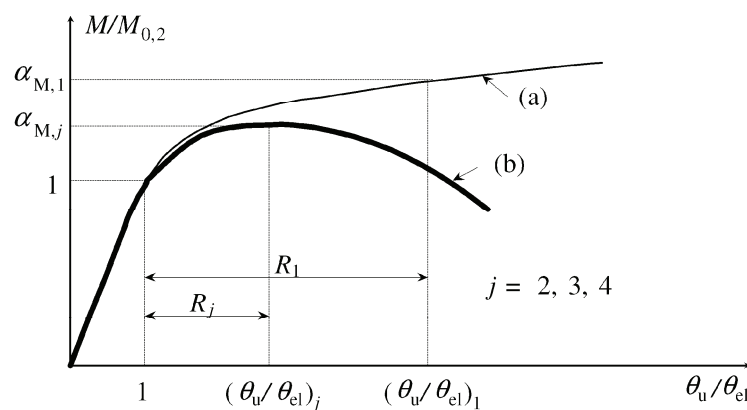
—  $\alpha_5$  und  $\alpha_{10}$  sind die verallgemeinerten Formbeiwerte, die den Krümmungswerten entsprechen, die das 5- oder 10-fache der elastischen Krümmung betragen.

(5) Der stabile Teil der Rotationskapazität  $R$  ist das Verhältnis der plastischen Rotation im Versagenszustand  $\theta_p = \theta_u - \theta_{el}$  zum Grenzwert  $\theta_{el}$  der elastischen Rotation (Bild G.1):

$$R = \frac{\theta_p}{\theta_{el}} = \frac{\theta_u - \theta_{el}}{\theta_{el}} = \frac{\theta_u}{\theta_{el}} - 1 \quad (G.5)$$

Dabei ist

$\theta_u$  die zur maximalen Krümmung  $\chi_u$  gehörende maximale plastische Rotation.



#### Legende

- (a) Klasse 1 Querschnitte;  
(b) Klasse 2, 3 und 4 Querschnitte

**Bild G.1 — Definition der Rotationskapazität**

(6) Die Rotationskapazität  $R$  kann mit folgender Näherungsgleichung berechnet werden:

$$R = \alpha_{M,j} \left( 1 + 2 \frac{k \alpha_{M,j}^{m-1}}{m+1} \right) - 1 \quad (G.6)$$

mit  $m$  und  $k$  wie oben definiert.

Der Wert  $\alpha_{M,j}$  ist für die verschiedenen Querschnittsklassen in Tabelle F.2 angegeben.

(7) Bei bekanntem Exponenten  $n$  (siehe Anhang H) können die Werte  $\alpha_5$  und  $\alpha_{10}$  näherungsweise mit folgenden Gleichungen ermittelt werden:

$$\alpha_5 = 5 - (3,89 + 0,00190n) / \alpha_0^{(0,270 + 0,0014n)} \quad (G.7)$$

$$\alpha_{10} = \alpha_0^{[0,21 \log(1000n)]} \times 10^{[7,96 \times 10^{-2} - 8,09 \times 10^{-2} \log(n/10)]} \quad (G.8)$$

$\alpha_0 = W_{pl}/W$  geometrischer Formbeiwert.

Wenn keine genauere Bestimmung erfolgt, sollte  $n = n_p$  angenommen werden (siehe Anhang H).

## Anhang H (informativ)

### Fließgelenkverfahren bei Durchlaufträgern

(1) Die Angaben in diesem Anhang H gelten bei Querschnitten der Klasse 1 in Tragwerken, bei denen das Versagen durch Erreichen einer Grenzdehnung in mehreren Querschnitten bestimmt wird. Die Angaben können auch für Tragwerke mit Querschnitten der Klassen 2 und 3 verwendet werden, wenn das örtliche Beulen der Querschnitte bei der Ermittlung der Tragfähigkeit und der verfügbaren Duktilität der Bauteile berücksichtigt wird. Siehe auch Anhang G.

(2) Die im Folgenden als „Fließgelenkverfahren“ bezeichnete Strukturberechnung mit konzentrierter Plastizität, die üblicherweise für Stahltragwerke verwendet wird, kann ebenso für Aluminiumtragwerke verwendet werden, wenn die Duktilität des Tragwerkes für die volle Ausbildung plastischer Mechanismen ausreicht. Siehe (3), (4) und (5).

(3) Das Fließgelenkverfahren sollte nicht bei Bauteilen mit Quernähten auf der Zugseite an der Stelle des Fließgelenkes angewendet werden.

(4) In der Nachbarschaft der Fließgelenke sollte mit allen im Zugflansch angeordneten Löchern für Verbindungsmittel die folgende Bedingung erfüllt werden

$$A_{f,net} 0,9 f_u / \gamma_{M2} \geq A_f f_o / \gamma_{M1} \quad (\text{H.1})$$

Dies gilt für Querschnitte innerhalb eines Abstandes in Richtung der Bauteilachse zu beiden des Fließgelenkes von mindestens dem größeren der folgenden Werte:

- $2h_w$ , wobei  $h_w$  die lichte Steghöhe an der Stelle des Fließgelenkes ist,
- Abstand zu dem Nachbarquerschnitt, bei dem das Biegemoment im Bauteil auf das 0,8-fache der Momentenragfähigkeit im betroffenen Querschnitt abgenommen hat,
- $A_f$  ist die Querschnittsfläche des Zugflansches und  $A_{f,net}$  ist die Nettoquerschnittsfläche im Querschnitt mit den Löchern für die Verbindungsmittel.

(5) Diese Regeln gelten nicht für Träger mit längs ihrer Achse veränderlichem Querschnitt.

(6) Bei Anwendung des Fließgelenkverfahrens auf Aluminiumtragwerke sind sowohl die Duktilität als auch das Verfestigungsverhalten der Legierung zu berücksichtigen. Dies führt zu einem Korrekturbeiwert  $\eta$  für die konventionelle Fließspannung, siehe (10).

(7) Hinsichtlich der Duktilität sind zwei Gruppen von Legierungen definiert, die sich darin unterscheiden ob die konventionellen Grenzwerte der Krümmung  $5\chi_e$  und  $10\chi_e$  erreicht werden oder nicht (siehe auch Anhang G):

- spröde Legierungen (für welche  $4 \% \leq \varepsilon_u \leq 8 \%$ ),  
wenn die maximale Zugdehnung ausreicht, eine maximale konventionelle Biegekrümmung  $\chi_u$  von wenigstens  $5\chi_e$  entstehen zu lassen;
- duktile Legierungen (für welche  $\varepsilon_u > 8 \%$ ),  
wenn die maximale Zugdehnung ausreicht, eine maximale konventionelle Biegekrümmung  $\chi_u$  von wenigstens  $\chi_u$  von  $10\chi_e$  oder mehr entstehen zu lassen.

(8) Wenn man elastisch- (oder -starr-) idealplastisches Werkstoffgesetz annimmt (siehe Anhang G), wird das maximale Biegemoment eines an der Stelle des Fließgelenkes vorliegenden Querschnittes vereinbarungsgemäß als vollplastisches Moment berechnet mit:

$$M_u = \alpha_0 \eta f_o W_{el} \quad (\text{H.2})$$

Dabei ist

$\eta$  der zuvor definierte Korrekturbeiwert;

$W_{el}$  das elastische Widerstandsmoment.

(9) Wenn man ein Verfestigungsgesetz für den Werkstoff annimmt (siehe Anhang), wird das maximale Biegemoment eines an der Stelle des Fließgelenkes vorliegenden Querschnittes vereinbarungsgemäß auf folgende Weise berechnet:

$$M_u = \alpha_\xi \eta f_o W_{el} \quad (\text{H.3})$$

Wobei zusätzlich zu den zuvor definierten Werten  $\eta$  und  $W_{el}$  der Index  $\xi$  gleich 5 oder 10 ist je nach den in (4) behandelten Zähigkeitseigenschaften der Legierung (zur Definition von  $\alpha_5$  und  $\alpha_{10}$  siehe Anhänge F und G):

(10) Der Korrekturbeiwert  $\eta$  ist in der Weise angepasst, dass die Fließgelenkberechnung die der vorhandenen Duktilität der Legierung entsprechende wirkliche maximale Tragfähigkeit des Tragwerkes ergibt. Im Allgemeinen wird  $\eta$  ausgedrückt durch:

$$\eta = \frac{1}{a - b/n_p^c}, \text{ aber } \eta \leq \frac{f_u / \gamma_{M2}}{f_o / \gamma_{M1}} \quad (\text{H.4})$$

Dabei ist  $n_p$  der im plastischen Bereich bestimmte Ramberg-Osgood-Verfestigungsexponent der Legierung (siehe 3.2.2). Für Tragwerke aus biegebeanspruchten Trägern sind die Koeffizienten  $a$ ,  $b$  und  $c$  von Gleichung (H.4) in Tabelle H.1 angegeben. Werte des Korrekturbeiwertes  $\eta$  sind in Bild H.1 angegeben.

(11) Der mit dem Fließgelenkverfahren mit  $\eta < 1$  ermittelte globale Sicherheitsfaktor sollte nicht größer sein als der mit einer linear elastischen Berechnung ermittelte. Wenn er größer ist, sollten die Ergebnisse der elastischen Berechnung verwendet werden.

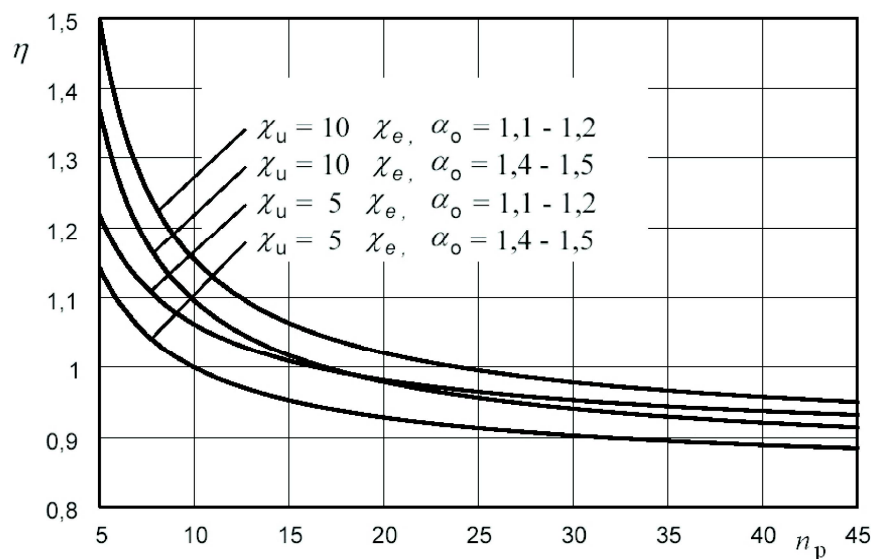


Bild H.1 — Werte des Korrekturbeiwertes  $\eta$

Tabelle H.1 — Werte der Koeffizienten  $a$ ,  $b$  und  $c$

Koeffizienten des Gesetzes: $\eta = \frac{1}{a - b/n_p^c}$	$\alpha_0 = 1,4 - 1,5$		$\alpha_0 = 1,1 - 1,2$	
	spröde Legierungen ( $\chi_u = 5\chi_e$ )	duktiler Legierungen ( $\chi_u = 10\chi_e$ )	spröde Legierungen ( $\chi_u = 5\chi_e$ )	duktiler Legierungen ( $\chi_u = 10\chi_e$ )
$a$	1,20	1,18	1,15	1,13
$b$	1,00	1,50	0,95	1,70
$c$	0,70	0,75	0,66	0,81



## Anhang I (informativ)

### Biegedrillknicken von Trägern sowie Drillknicken und Biegedrillknicken von gedrückten Bauteilen

#### I.1 Ideales Biegedrillknickmoment und Schlankheitsgrad

##### I.1.1 Grundlage

(1) Das ideale Biegedrillknickmoment eines durch ein konstantes Biegemoment in der Ebene durch den Schubmittelpunkt auf Biegung beanspruchten Trägers mit konstantem, symmetrischem Querschnitt mit gleichen Flanschen und Gabellagerung an beiden Enden ist:

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \sqrt{\frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + \frac{I_w}{I_z}} = \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} \sqrt{1 + \frac{\pi^2 EI_w}{L^2 GI_t}} \quad (I.1)$$

Dabei ist

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

$I_t$  das Torsionsträgheitsmoment;

$I_w$  das Wölbmoment;

$I_z$  das Flächenträgheitsmoment um die schwache Achse;

$L$  die Trägerlänge zwischen den seitlich gestützten Punkten;

$\nu$  die Querdehnungszahl.

(2) Die Bedingungen der Gabellagerung sind:

- seitliche Verschiebung verhindert, Verdrehung in der Grundrissebene unbehindert ( $k_z = 1$ );
- Verdrehung um die Längsachse verhindert, Verwölbungen unbehindert ( $k_w = 1$ );
- Verschiebungen in der Ebene der Belastung verhindert, Verdrehung in der Trägerebene unbehindert ( $k_y = 1$ )

##### I.1.2 Allgemeine Gleichungen für Träger mit konstantem zur schwachen oder starken Achse symmetrischem Querschnitt

(1) Das ideale Biegedrillknickmoment eines durch Biegung um die starke Achse beanspruchten Trägers mit zur schwachen Achse symmetrischem konstantem Querschnitt ist:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} \quad (1.2)$$

wobei das bezogene dimensionslose ideale Biegedrillknickmoment  $\mu_{cr}$  bestimmt ist durch

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right], \quad (1.3)$$

mit dem dimensionslosen Torsionsparameter  $\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}}$

der auf den Schubmittelpunkt bezogenen dimensionslosen Koordinate des Lastangriffspunktes

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}}$$

dem bezogenen dimensionslosen Parameter zur Einfachsymmetrie des Querschnittes  $\zeta_j = \frac{\pi z_j}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}}$

Dabei ist

$C_1$ ,  $C_2$  und  $C_3$  die Faktoren, die hauptsächlich von der Belastung und den Lagerungsbedingungen abhängen (siehe Tabellen I.1 und I.2);

$k_z$  und  $k_w$  die Knicklängenbeiwerte.

$$z_g = z_a - z_s$$

$$z_j = z_s - \frac{0,5}{I_y} \int_A (y^2 + z^2) z \, dA$$

$z_a$  die auf den Schwerpunkt bezogene Koordinate des Lastangriffspunktes (siehe Bild I.1);

$z_s$  die auf den Schwerpunkt bezogene Koordinate des Schubmittelpunktes;

$z_g$  die auf den Schubmittelpunkt bezogene Koordinate des Lastangriffspunktes.

ANMERKUNG 1 Siehe I.1.2 (7) und (8) hinsichtlich der Vorzeichenvereinbarungen und I.1.4 (2) hinsichtlich Näherungswerte für  $z_j$ .

ANMERKUNG 2  $z_j = 0$  ( $y_j = 0$ ) für Querschnitte, bei denen die  $y$ -Achse ( $z$ -Achse) Symmetrieachse ist.

ANMERKUNG 3 Für  $z_j$  kann die folgende Näherung verwendet werden:

$$z_j = 0,45\psi_f h_s \left( 1 + \frac{c}{2h_f} \right) \quad (1.4)$$

Dabei ist

$c$  die Höhe einer Lippe (siehe Bild I.1);

$h_f$  der Abstand der Gurtschwerpunkte;

$$\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} \quad (1.4b)$$

$I_{fc}$  das Flächenträgheitsmoment des Druckgurtes um die schwache Achse des Querschnittes;

$I_{ft}$  das Flächenträgheitsmoment des Zuggurtes um die schwache Achse des Querschnittes;

$h_s$  der Abstand zwischen den Schubmittelpunkten von Obergurt und Untergurt ( $S_U$  und  $S_b$  in Bild I.1).

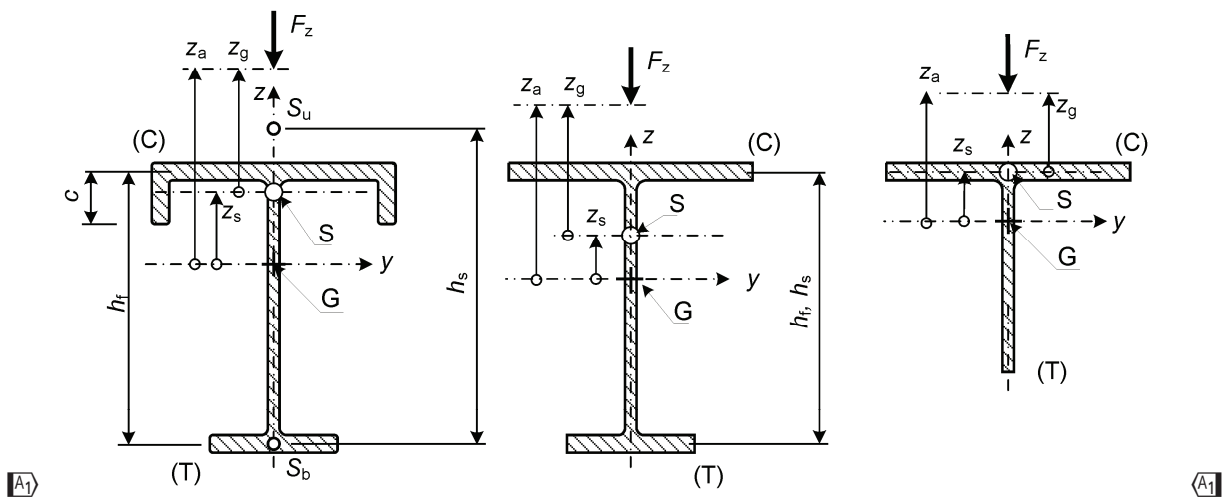
Bei  $I$ -Querschnitten mit ungleichen Gurten ohne Lippen und näherungsweise auch bei solchen mit Lippen ist:

$$I_w = (1 - \psi_f^2) I_z (h_s / 2)^2 \quad (1.5)$$

(2) Die Knicklängenbeiwerte  $k_z$  (für die Randbedingungen der Biegung aus der Trägerebene) und  $k_w$  (für die Randbedingungen der Torsion) liegen zwischen 0,5 für den Fall, dass beide Trägerenden eingespannt sind, und 1,0 für den Fall, dass beide Trägerenden gelenkig gelagert sind). Wenn ein Ende (links oder rechts) gelenkig eingespannt und das andere gelenkig gelagert ist, haben die Knicklängenbeiwerte den Wert 0,7.

(3) Der Beiwert  $k_z$  bezieht sich für die Auflagerverdrehung im Grundriss. Er entspricht dem  $L_{cr}/L$ -Verhältnis für einen Druckstab.

(4) Der Beiwert  $k_w$  bezieht sich auf die Verwölbung der Endquerschnitte. Wenn keine besonderen Maßnahmen zur Wölbeinspannung beider Trägerenden vorgenommen werden ( $k_w = 0,5$ ), sollte  $k_w$  zu 1,0 angenommen werden.



**Legende**

- |                 |                     |   |
|-----------------|---------------------|---|
| (C) Druckseite, | S Schubmittelpunkt, | S <sub>u</sub> , S <sub>b</sub> sind die Schubmittelpunkte von Obegurt und Untegurt |
| (T) Zugseite,   | G Schwerpunkt       |   |

**Bild I.1 — Bezeichnungen und Vorzeichenvereinbarungen für beidseitig gelagerte Einfeldträger unter Gewichtslasten (Fz) oder Kragträger unter nach oben gerichteten Lasten (- Fz)**

(5) In den Tabellen I.1 und I.2 werden für  $C_1$ ,  $C_2$  und  $C_3$  für unterschiedliche durch den Verlauf der Momentenlinie über die Länge L zwischen den seitlichen Abstützungen gekennzeichnete Lastfälle Werte angegeben. In Tabelle I.1 sind die Werte für veränderliche Werte von  $k_z$  und in Tabelle I.2 auch für veränderliche Werte von  $k_w$  angegeben.

(6) Wenn  $k_z = 1,0$  ist, ist  $C_1$  für jedes in Tabelle I.1 angegebene Verhältnis der Endmomente näherungsweise:

$$C_1 = (0,310 + 0,428\psi + 0,262\psi^2)^{-0,5} \tag{I.6}$$

(7) Für die Bestimmung von  $z$  and  $z_j$ , siehe Bild I.1, gilt die Vorzeichenvereinbarung:

- Die Koordinate  $z$  ist positiv in Richtung des Druckgurtes. Bei der Bestimmung von  $z_j$  mit der Gleichung in I.1.2 (1) ist die positive Koordinate  $z$  für beidseitig gelagerte Einfeldträger mit Gewichtslasten und für Kragarme mit nach oben gerichteten Lasten nach oben gerichtet und kehrt ihre Richtung um, wenn die Lasten ihre Richtung umkehren.
- Das Vorzeichen von  $z_j$  stimmt mit dem des Beiwertes  $\psi$  in I.1.4(1) überein. Bei der Ermittlung von  $\psi$  ist im Falle der Momentenbelastung nach Tabelle I.1 der Querschnitt an der Stelle des Momentes M und im Falle der Querbelastung nach Tabelle I.2 der Querschnitt in Feldmitte anzusetzen.

(8) Für die Bestimmung von  $z_g$  gilt die Vorzeichenvereinbarung:

- bei Gewichtslasten ist  $z_g$  positiv, wenn diese oberhalb des Schubmittelpunktes angreifen
- im allgemeinen Fall ist  $z_g$  positiv für Lasten, die von ihrem Angriffspunkt zum Schubmittelpunkt hin gerichtet sind.

**Tabelle I.1 — Beiwerte  $C_1$  und  $C_3$  in Abhängigkeit von den verschiedenen Verhältnissen  $\psi$  der Endmomente, Werten des Knicklängenbeiwertes  $k_z$  sowie den Werten der Querschnittsparameter  $\psi_f$  und  $\kappa_{wt}$ . Endmomentenbelastung des gelenkig gelagerten Einfeldträgers mit Knicklängenbeiwerten  $k_y = 1$  für Biegung um die starke Achse und  $k_w = 1$  für Torsion**

Belastung und Auflagerbedingungen. Querschnittsfaktor $\psi_f$	Momentenlinie Verhältnis $\psi$ der Endmomente M-Seite $\psi M$ - Seite	$k_z$ <sup>2)</sup>	Werte der Beiwerte							
			$C_1$ <sup>1)</sup>		$C_3$					
			$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	$\psi_f = -1$ 	$-0,9 \leq \psi_f \leq 0$ 	$0 \leq \psi_f \leq 0,9$ 	$\psi_f = 1$ 		
  $\psi_f \geq 0$ $\psi_f \leq 0$	$M_{cr} \psi = +1$ 	1,0	1,000	1,000	1,000					
		0,7 L	1,016	1,100	1,025		1,000			
		0,7 R	1,016	1,100	1,025		1,000			
	  $\psi_f \leq 0$ $\psi_f \geq 0$	$M_{cr} \psi = +3/4$ 	1,0	1,139	1,141	1,000				
			0,7 L	1,210	1,313	1,050		1,000		
			0,7 R	1,109	1,201	1,000				
		  $\psi_f \leq 0$ $\psi_f \geq 0$	$M_{cr} \psi = +1/2$ 	1,0	1,312	1,320	1,150	1,000		
				0,7 L	1,480	1,616	1,160		1,000	
				0,7 R	1,213	1,317	1,000			
			  $\psi_f \leq 0$ $\psi_f \geq 0$	$M_{cr} \psi = +1/4$ 	1,0	1,522	1,551	1,290	1,000	
					0,7 L	1,853	2,059	1,600	1,260	1,000
					0,7 R	1,329	1,467	1,000		
  $\psi_f \leq 0$ $\psi_f \geq 0$	$M_{cr} \psi = 0$ 	1,0		1,770	1,847	1,470	1,000			
		0,7 L		2,331	2,683	2,000	1,420	1,000		
		0,7 R		1,453	1,592	1,000				
	  $\psi_f \leq 0$ $\psi_f \geq 0$	$M_{cr} \psi = -1/4$ 	1,0	2,047	2,207	1,65	1,000	0,850		
			0,7 L	2,827	3,322	2,40	1,550	0,850	-0,30	
			0,7 R	1,582	1,748	1,38	0,850	0,700	0,20	
		0,5	2,004	2,341	1,75	1,000	0,650	-0,25		

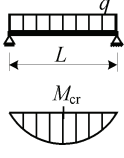
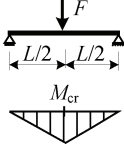
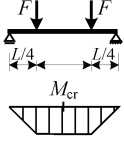
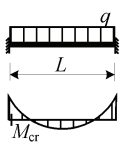
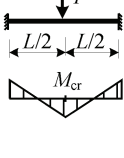
$$\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}}$$

Tabelle I.1 (fortgesetzt)

Belastung und Auflagerbedingungen. Querschnittsfaktor $\psi_f$	Momentenlinie Verhältnis $\psi$ der Endmomente $M$ -Seite $\psi M$ -Seite	$k_z$ <sup>2)</sup>	Werte der Beiwerte					
			$C_1$ <sup>1)</sup>		$C_3$			
			$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	$\psi_f = -1$ 	$-0,9 \leq \psi_f \leq 0$ 	$0 \leq \psi_f \leq 0,9$ 	$\psi_f = 1$ 
	1,0	2,331	2,591	1,85	1,000	$1,3 - 1,2\psi_f$	-0,70	
	0,7 L	3,078	3,399	2,70	1,450	$1 - 1,2\psi_f$	-1,15	
	0,7 R	1,711	1,897	1,45	0,780	$0,9 - 0,75\psi_f$	-0,53	
	0,5	2,230	2,579	2,00	0,950	$0,75 - \psi_f$	-0,85	
		1,0	2,547	2,852	2,00	1,000	$0,55 - \psi_f$	-1,45
		0,7 L	2,592	2,770	2,00	0,850	$0,23 - 0,9\psi_f$	-1,55
		0,7 R	1,829	2,027	1,55	0,700	$0,68 - \psi_f$	-1,07
		0,5	2,352	2,606	2,00	0,850	$0,35 - \psi_f$	-1,45
		1,0	2,555	2,733	2,00	$-\psi_f$		-2,00
		0,7 L	1,921	2,103	1,55	0,380	-0,580	-1,55
		0,7 R	1,921	2,103	1,55	0,580	-0,380	-1,55
		0,5	2,223	2,390	1,88	$0,125 - 0,7\psi_f$	$-0,125 - 0,7\psi_f$	-1,88

1)  $C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0})\kappa_{wt} \leq C_{1,1}$ , ( $C_1 = C_{1,0}$  für  $\kappa_{wt} = 0$ ,  $C_1 = C_{1,1}$  für  $\kappa_{wt} \geq 1$ )  
2) 0,7 L = linkes Ende eingespannt, 0,7 R = rechtes Ende eingespannt

Tabelle I.2 — Beiwerte  $C_1$ ,  $C_2$  und  $C_3$  in Abhängigkeit von verschiedenen Querbelastungen, Knicklängenbeiwerten  $k_y$ ,  $k_z$ ,  $k_w$ , und den Querschnittsparametern  $\psi_f$  und  $\kappa_{wt}$

Belastung und Auflagerbedingungen	Knicklängenbeiwerte			Werte der Beiwerte							
	$k_y$	$k_z$	$k_w$	$C_1^{1)}$		$C_2$			$C_3$		
				$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	$\perp$ $\psi_f = -1$	$\perp \perp \perp$ $-0,9 \leq \psi_f \leq 0,9$	$\top$ $\psi_f = 1$	$\perp$ $\psi_f = -1$	$\perp \perp \perp$ $-0,9 \leq \psi_f \leq 0,9$	$\top$ $\psi_f = 1$
	1	1	1	1,127	1,132	0,33	0,459	0,50	0,93	0,525	0,38
	1	1	0,5	1,128	1,231	0,33	0,391	0,50	0,93	0,806	0,38
	1	0,5	1	0,947	0,997	0,25	0,407	0,40	0,84	0,478	0,44
	1	0,5	0,5	0,947	0,970	0,25	0,310	0,40	0,84	0,674	0,44
	1	1	1	1,348	1,363	0,52	0,553	0,42	1,00	0,411	0,31
	1	1	0,5	1,349	1,452	0,52	0,580	0,42	1,00	0,666	0,31
	1	0,5	1	1,030	1,087	0,40	0,449	0,42	0,80	0,338	0,31
	1	0,5	0,5	1,031	1,067	0,40	0,437	0,42	0,80	0,516	0,31
	1	1	1	1,038	1,040	0,33	0,431	0,39	0,93	0,562	0,39
	1	1	0,5	1,039	1,148	0,33	0,292	0,39	0,93	0,878	0,39
	1	0,5	1	0,922	0,960	0,28	0,404	0,30	0,88	0,539	0,50
	1	0,5	0,5	0,922	0,945	0,28	0,237	0,30	0,88	0,772	0,50
						$\psi_f = -1$	$-0,5 \leq \psi_f \leq 0,5$	$\psi_f = 1$	$\psi_f = -1$	$-0,5 \leq \psi_f \leq 0,5$	$\psi_f = 1$
	0,5	1	1	2,576	2,608	1,00	1,562	0,15	1,00	-0,859	-1,99
	0,5	0,5	1	1,490	1,515	0,56	0,900	0,08	0,61	-0,516	-1,20
	0,5	0,5	0,5	1,494	1,746	0,56	0,825	0,08	0,61	0,002 712	-1,20
	0,5	1	1	1,683	1,726	1,20	1,388	0,07	1,15	-0,716	-1,35
	0,5	0,5	1	0,936	0,955	0,69	0,763	0,03	0,64	-0,406	-0,76
	0,5	0,5	0,5	0,937	1,057	0,69	0,843	0,03	0,64	-0,0679	-0,76

1)  $C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0})\kappa_{wt} \leq C_{1,1}$ , ( $C_1 = C_{1,0}$  für  $\kappa_{wt} = 0$ ,  $C_1 = C_{1,1}$  für  $\kappa_{wt} \geq 1$ ).

2) Der Parameter  $\psi_f$  gilt für die Feldmitte.

3) Die Werte des Biegedrillnickmoments  $M_{cr}$  gelten für den Querschnitt, in dem  $M_{max}$  vorliegt.

**I.1.3 Träger mit konstantem Querschnitt, der zur starken Achse symmetrisch, zentralsymmetrisch oder doppeltsymmetrisch ist**

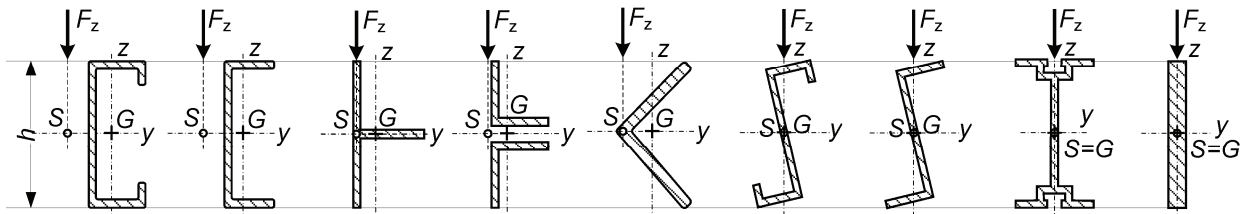
(1) Bei im Schubmittelpunkt rechtwinklig zur starken Achse belasteten Trägern mit konstantem Querschnitt, der zur starken Achse symmetrisch, zentralsymmetrisch oder doppeltsymmetrisch ist, Bild I.2, ist  $z_j = 0$  und damit

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g)^2} - C_2 \zeta_g \right] \tag{I.7}$$

(2) Bei Belastung durch Endmomente ist  $C_2 = 0$  und bei Belastungen im Schubmittelpunkt ist  $z_g = 0$ . In diesen Fällen wird:

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} \tag{I.8}$$

(3) Wenn auch  $\kappa_{wt} = 0$ :  $\mu_{cr} = C_1 / k_z$



**Bild I.2 — Träger mit konstantem Querschnitt, der zur starken Achse symmetrisch, zentralsymmetrisch oder doppeltsymmetrisch ist**

(4) Bei Trägern unter beliebiger Belastung (z. B. unterschiedliche Endmomente in Verbindung mit beliebiger Querbelastung), die an beiden Enden gelagert ( $k_y = 1, k_z = 1, 0,5 \leq k_w \leq 1$ ) sind, oder für Trägerabschnitte zwischen seitlichen Abstützungen kann zur Bestimmung eines Näherungswertes des idealen Biegedrillknickmomentes mit den beiden in I.1.3(2) und (3) angegebenen Gleichungen der folgende Wert für den Beiwert  $C_1$  verwendet werden:

$$C_1 = \frac{1,7 |M_{max}|}{\sqrt{M_{0,25}^2 + M_{0,5}^2 + M_{0,75}^2}} \leq 2,5, \tag{I.9}$$

Dabei ist

- $M_{max}$  der größte Bemessungswert des Biegemomentes;
- $M_{0,25}, M_{0,75}$  die Bemessungswerte des Biegemomentes in den Viertelpunkten und
- $M_{0,5}$  der Bemessungswert des Biegemomentes in Feldmitte oder der Mitte des Trägerabschnittes zwischen zwei benachbarten Querschnitten, die seitlich abgestützt sind.

(5) Der durch (I.9) bestimmte Beiwert  $C_1$  kann auch in Gleichung (I.7) verwendet werden, jedoch nur zusammen mit dem maßgebenden Beiwert  $C_2$ , der für die vorliegenden Belastungs- und Randbedingungen gilt. Das bedeutet, dass für die sechs Fälle in Tabelle I.2 mit der Randbedingung  $k_y = 1, k_z = 1, 0,5 \leq k_w \leq 1$  wie oben festgestellt der Wert  $C_2 = 0,5$  in Verbindung mit (I.9) in (I.7) als Näherung verwendet werden kann.



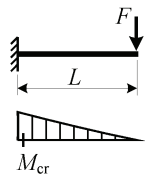
(6) Bei Durchlaufträgern kann das folgende Näherungsverfahren angewendet werden. Der Einfluss der der Kontinuität in Querrichtung an den Übergangsstellen zwischen den einzelnen Abschnitten bleibt unberücksichtigt, und für jeden Abschnitt wird in Querrichtung eine gelenkige Lagerung angesetzt. Auf diese Weise wird die elastische Verzweigungslast jedes Abschnittes für den Momentenverlauf in der Trägerebene (Gleichung (I.9) kann für  $C_1$  verwendet werden) und die Abschnittslänge  $L$  als Knicklänge ermittelt. Diese Verfahren ergibt eine vorsichtige Abschätzung.

#### I.1.4 Kragträger mit konstantem, zur schwachen Achse symmetrischem Querschnitt

(1) Für den durch Biegung um die starke Achse beanspruchten Kragträger mit konstantem, zur schwachen Achse symmetrischem Querschnitt wird das ideale Biegedrillknickmoment durch Gleichung (I.2) mit dem bezogenen dimensionslosen idealen Biegedrillknickmoment  $\mu_{cr}$  nach den Tabellen I.3 und I.4 bestimmt. In den Tabellen I.3 und I.4 sollte nichtlineare Interpolation benutzt werden.

(2) Für  $z_j$  und  $z_g$  gilt die Vorzeichenvereinbarung in I.1.2 (7) und (8).

**Tabelle I.3 — Bezogenes dimensionsloses ideales Biegedrillknickmoment  $\mu_{cr}$  für Kragträger**  
( $k_y = k_z = k_w = 2$ ) unter Einzellast  $F$  am freien Ende

Belastung und Auflagerbedingungen	$\frac{\pi}{L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}}$ $= k_w \kappa_{wt} = \kappa_{wt0}$	$\frac{\pi z_g}{L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}}$ $= k_z \zeta_g = \zeta_{g0}$	$\frac{\pi z_j}{L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = k_z \zeta_j = \zeta_{j0}$					$\begin{matrix} \downarrow (C) \\ \uparrow (T) \end{matrix}$ $\begin{matrix} \uparrow (T) \\ \downarrow (C) \end{matrix}$	
			-4	-2	-1	0	1	2	4
	0	4	0,107	0,156	0,194	0,245	0,316	0,416	0,759
		2	0,123	0,211	0,302	0,463	0,759	1,312	4,024
		0	0,128	0,254	0,478	1,280	3,178	5,590	10,730
		-2	0,129	0,258	0,508	1,619	3,894	6,500	11,860
		-4	0,129	0,258	0,511	1,686	4,055	6,740	12,240
	0,5	4	0,151	0,202	0,240	0,293	0,367	0,475	0,899
		2	0,195	0,297	0,393	0,560	0,876	1,528	5,360
		0	0,261	0,495	0,844	1,815	3,766	6,170	11,295
		-2	0,329	0,674	1,174	2,423	4,642	7,235	12,595
		-4	0,364	0,723	1,235	2,529	4,843	7,540	13,100
	1	4	0,198	0,257	0,301	0,360	0,445	0,573	1,123
		2	0,268	0,391	0,502	0,691	1,052	1,838	6,345
		0	0,401	0,750	1,243	2,431	4,456	6,840	11,920
		-2	0,629	1,326	2,115	3,529	5,635	8,115	13,365
		-4	0,777	1,474	2,264	3,719	5,915	8,505	13,960
	2	4	0,335	0,428	0,496	0,588	0,719	0,916	1,795
		2	0,461	0,657	0,829	1,111	1,630	2,698	7,815
		0	0,725	1,321	2,079	3,611	5,845	8,270	13,285
		-2	1,398	3,003	4,258	5,865	7,845	10,100	15,040
		-4	2,119	3,584	4,760	6,360	8,385	10,715	15,825
4	4	0,845	1,069	1,230	1,443	1,739	2,168	3,866	
	2	1,159	1,614	1,992	2,569	3,498	5,035	10,345	
	0	1,801	3,019	4,231	6,100	8,495	11,060	16,165	
	-2	3,375	6,225	8,035	9,950	11,975	14,110	18,680	
	-4	5,530	8,130	9,660	11,375	13,285	15,365	19,925	

- a) Für  $z_j = 0$ ,  $z_g = 0$  und  $\kappa_{wt0} \leq 8$ :  $\mu_{cr} = 1,27 + 1,14\kappa_{wt0} + 0,017\kappa_{wt0}^2$ .
- b) Für  $z_j = 0$ ,  $-4 \leq \zeta_g \leq 4$  und  $\kappa_{wt} \leq 4$  kann  $\mu_{cr}$  auch mit den Gleichungen (I.7) und (I.8) bestimmt werden, wobei die folgenden Näherungen für die Beiwerte  $C_1$ ,  $C_2$  für den Kragträger unter Einzellast  $F$  am freien Ende verwendet werden sollten:

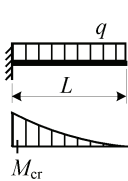
$$C_1 = 2,56 + 4,675\kappa_{wt} - 2,62\kappa_{wt}^2 + 0,5\kappa_{wt}^3, \quad \text{wenn } \kappa_{wt} \leq 2$$

$$C_1 = 5,55, \quad \text{wenn } \kappa_{wt} > 2$$

$$C_2 = 1,255 + 1,566\kappa_{wt} - 0,931\kappa_{wt}^2 + 0,245\kappa_{wt}^3 - 0,024\kappa_{wt}^4, \quad \text{wenn } \zeta_g \geq 0$$

$$C_2 = 0,192 + 0,585\kappa_{wt} - 0,054\kappa_{wt}^2 - (0,032 + 0,102\kappa_{wt} - 0,013\kappa_{wt}^2) \zeta_g, \quad \text{wenn } \zeta_g < 0$$

**Tabelle I.4 — Bezogenes dimensionsloses ideales Biegedrillknickmoment  $\mu_{cr}$  für Kragträger**  
 ( $k_y = k_z = k_w = 2$ ) unter Gleichstreckenlast  $q$

Belastung und Auflager- bedingungen	$\frac{\pi}{L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}}$ $= k_w \kappa_{wt} =$ $= \kappa_{wt0}$	$\frac{\pi z_g}{L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}}$ $= k_z \zeta_g = \zeta_{g0}$	$\frac{\pi z_j}{L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = k_z \zeta_j = \zeta_{j0}$					$\frac{\pi z_j}{L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = k_z \zeta_j = \zeta_{j0}$	
			$\begin{matrix} \uparrow (T) \\ \downarrow (C) \end{matrix}$	$\begin{matrix} \uparrow (C) \\ \downarrow (T) \end{matrix}$	$\begin{matrix} \uparrow (T) \\ \downarrow (C) \end{matrix}$	$\begin{matrix} \uparrow (C) \\ \downarrow (T) \end{matrix}$	$\begin{matrix} \uparrow (T) \\ \downarrow (C) \end{matrix}$	$\begin{matrix} \uparrow (C) \\ \downarrow (T) \end{matrix}$	$\begin{matrix} \uparrow (T) \\ \downarrow (C) \end{matrix}$
			-4	-2	-1	0	1	2	4
	0	4	0,113	0,173	0,225	0,304	0,431	0,643	1,718
		2	0,126	0,225	0,340	0,583	1,165	2,718	13,270
		0	0,132	0,263	0,516	2,054	6,945	12,925	25,320
		-2	0,134	0,268	0,537	3,463	10,490	17,260	30,365
		-4	0,134	0,270	0,541	4,273	12,715	20,135	34,005
	0,5	4	0,213	0,290	0,352	0,443	0,586	0,823	2,046
		2	0,273	0,421	0,570	0,854	1,505	3,229	14,365
		0	0,371	0,718	1,287	3,332	8,210	14,125	26,440
		-2	0,518	1,217	2,418	6,010	12,165	18,685	31,610
		-4	0,654	1,494	2,950	7,460	14,570	21,675	35,320
	1	4	0,336	0,441	0,522	0,636	0,806	1,080	2,483
		2	0,449	0,663	0,865	1,224	1,977	3,873	15,575
		0	0,664	1,263	2,172	4,762	9,715	15,530	27,735
		-2	1,109	2,731	4,810	8,695	14,250	20,425	33,075
		-4	1,623	3,558	6,025	10,635	16,880	23,555	36,875
	2	4	0,646	0,829	0,965	1,152	1,421	1,839	3,865
		2	0,885	1,268	1,611	2,185	3,282	5,700	18,040
		0	1,383	2,550	4,103	7,505	12,770	18,570	30,570
		-2	2,724	6,460	9,620	13,735	18,755	24,365	36,365
		-4	4,678	8,635	11,960	16,445	21,880	27,850	40,400
4	4	1,710	2,168	2,500	2,944	3,565	4,478	8,260	
	2	2,344	3,279	4,066	5,285	7,295	10,745	23,150	
	0	3,651	6,210	8,845	13,070	18,630	24,625	36,645	
	-2	7,010	13,555	17,850	22,460	27,375	32,575	43,690	
	-4	12,270	18,705	22,590	26,980	31,840	37,090	48,390	

- a) Für  $z_j = 0$ ,  $z_g = 0$  und  $\kappa_{wt0} \leq 8$ :  $\mu_{cr} = 2,04 + 2,68 \kappa_{wt0} + 0,021 \kappa_{wt0}^2$ .
- b) Für  $z_j = 0$ ,  $-4 \leq \zeta_g \leq 4$  und  $\kappa_{wt} \leq 4$  kann  $\mu_{cr}$  auch mit den Gleichungen (I.7) und (I.8) bestimmt werden, wobei die folgenden Näherungen für die Beiwerte  $C_1$ ,  $C_2$  für den Kragträger unter Gleichstreckenlast  $q$  verwendet werden sollten:

$$C_1 = 4,11 + 11,2 \kappa_{wt} - 5,65 \kappa_{wt}^2 + 0,975 \kappa_{wt}^3, \quad \text{wenn } \kappa_{wt} \leq 2$$

$$C_1 = 12, \quad \text{wenn } \kappa_{wt} > 2$$

$$C_2 = 1,661 + 1,068 \kappa_{wt} - 0,609 \kappa_{wt}^2 + 0,153 \kappa_{wt}^3 - 0,014 \kappa_{wt}^4, \quad \text{wenn } \zeta_g \geq 0$$

$$C_2 = 0,535 + 0,426 \kappa_{wt} - 0,029 \kappa_{wt}^2 - (0,061 + 0,074 \kappa_{wt} - 0,0085 \kappa_{wt}^2) \zeta_g, \quad \text{wenn } \zeta_g < 0$$

## I.2 Schlankheitsgrad für Biegedrillknicken ohne Normalkraft

- (1) Der allgemeine Ausdruck für den bezogenen Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_{LT}$  für Biegedrillknicken ohne Normalkraft ist:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\alpha W_{el} f_o}{M_{cr}}} \quad (I.10)$$

Dabei ist

$\alpha$  der Formfaktor nach Tabelle 6.4.

- (2) Alternativ kann für die in Tabelle I.5 behandelten I- und U-Profile  $\bar{\lambda}_{LT}$  mit

$$\bar{\lambda}_{LT} = \lambda_{LT} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\alpha f_o}{E}} \quad (I.11)$$

bestimmt werden, wobei

$$\lambda_{LT} = \frac{X L_{cr,z} / i_z}{\left[ 1 + Y \left( \frac{L_{cr,z} / i_z}{h / t_2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{4}}} \quad (I.12)$$

Dabei ist

$L_{cr,z}$  die Knicklänge für das Biegedrillknicken;

$i_z$  der Trägheitsradius zur schwachen Achse für den Bruttoquerschnitt;

$h$  die Gesamthöhe des Querschnittes;

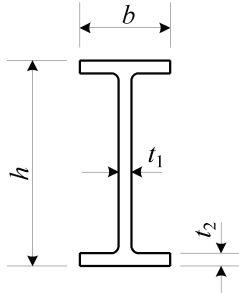
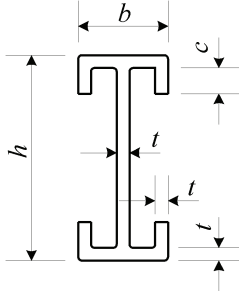
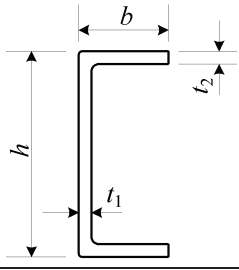
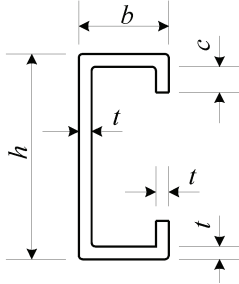
$t_2$  die Gurtstärke ( $t_2 = t$  für die Fall 2 und 4 in Tabelle I.5) ist und

$X$  und  $Y$  die mit Tabelle I.5 bestimmten Beiwerte sind. Für C-Profile (Profil 18 in Tabelle I.8) ist  $X = 0,95$  und  $Y = 0,071$ . Der Ansatz  $X = 1,0$  and  $Y = 0,05$  liegt in jedem Falle auf der sicheren Seite.

(3) Auch wenn die Gurtverstärkung eines I- oder U-Profils nicht genau die in Tabelle I.5 dargestellte Form hat (einfache Lippen), ist es zulässig  $\lambda_{LT}$  mit obigem Ausdruck zu bestimmen, wenn  $X$  und  $Y$  für eine gleichwertige einfache Lippe bestimmt werden, die die gleiche innere Höhe  $c$  hat und  $i_z$  für den Querschnitt mit der tatsächlich vorliegenden Verstärkung bestimmt wird.

(4) In der Regel ist  $L_{cr,z} = 1,0L$ . Dabei ist  $L$  der tatsächliche Abstand der Punkte, in denen der Druckgurt seitlich gestützt wird. Wenn an diesen beiden Punkten der Enden eines Abschnittes für beide Gurte die Verdrehung um die  $z$ -Achse verhindert ist, kann die Länge  $L$  im Falle einer theoretisch vollständigen Verhinderung mit dem Faktor 0,5, in dem Falle praktisch erreichbarer vollständiger Verhinderung mit dem Faktor 0,7 und in dem Falle einer teilweisen Verhinderung mit dem Faktor 0,85 abgemindert werden. Diese Knicklängenbeiwerte sollten mit dem Faktor 1,2 multipliziert werden, wenn die Träger mit den in Tabelle I.5 angegebenen Querschnitten durch desabilisierende Querlasten belastet sind, die auf der Höhe des Obergurtes angreifen. Bei Trägern, die über ihre ganze Länge ausweichen können, kann auf Endsteifen verzichtet werden, wenn zudem  $L_{cr,z}$  um den Betrag  $2h$  gegenüber dem andernfalls geltenden Wert vergrößert wird. Das vereinfachte Verfahren nach I.2(2) und (3) sollte bei Kragträgern nur verwendet werden, wenn geeignete Werte von  $L_{cr,z}$  bekannt sind, die alle Arten der Kragarmeinspannung und destabilisierende Wirkungen der Querbelastung berücksichtigen.

Tabelle I.5 — Biegedrillknicken von Trägern, Beiwerte  $X$  und  $Y$

<p>1</p> 	$1,5 \leq h/b \leq 4,5$ $1 \leq t_2/t_1 \leq 2$	$X = 0,90 - 0,03h/b + 0,04t_2/t_1$ $Y = 0,05 - 0,010\sqrt{(t_2/t_1 - 1)h/b}$
<p>2</p> 	$1,5 \leq h/b \leq 4,5$ $0 \leq c/b \leq 0,5$	$X = 0,94 - (0,03 - 0,07c/b)h/b - 0,3c/b$ $Y = 0,05 - 0,06c/h$
<p>3</p> 	$1,5 \leq h/b \leq 4,5$ $1 \leq t_2/t_1 \leq 2$	$X = 0,95 - 0,03h/b + 0,06t_2/t_1$ $Y = 0,07 - 0,014\sqrt{(t_2/t_1 - 1)h/b}$
<p>4</p> 	$1,5 \leq h/b \leq 4,5$ $0 \leq c/b \leq 0,5$	$X = 1,01 - (0,03 - 0,06c/b)h/b - 0,3c/b$ $Y = 0,07 - 0,10c/h$

### I.3 Ideale Drillknicklast und Biegedrillknicklast bei Axialbelastung

(1) Die ideale Drillknicklast und Biegedrillknicklast  $N_{cr}$   $\langle A_1 \rangle$  eines an seinen beiden Enden unter verschiedenen Bedingungen gelagerten  $\langle A_1 \rangle$ , durch eine konstante Axialkraft im Schwerpunkt belasteten Bauteils mit konstantem Querschnitt ist bestimmt durch:

$$(N_{cr,y} - N_{cr})(N_{cr,z} - N_{cr})(N_{cr,T} - N_{cr})i_s^2 - \alpha_{zw}z_s^2 N_{cr}^2(N_{cr,y} - N_{cr}) - \alpha_{yw}y_s^2 N_{cr}^2(N_{cr,z} - N_{cr}) = 0 \quad (1.13)$$

Dabei ist

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{k_y^2 L^2} \quad (1.14)$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{k_z^2 L^2} \quad (1.15)$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left[ GI_t + \frac{\pi^2 EI_w}{k_w^2 L^2} \right] \quad (1.16)$$

$\langle A_1 \rangle$   $I_t$ ,  $I_w$ ,  $I_z$ ,  $k_y$ ,  $k_z$ ,  $k_w$   $\langle A_1 \rangle$  und  $G$  siehe I.1.1,

$L$  der Abstand der seitlichen Abstützungen des Bauteils;

$$i_s^2 = \frac{I_y + I_z}{A} + y_s^2 + z_s^2 \quad (1.17)$$

$y_s$  und  $z_s$  sind die Koordinaten des Schubmittelpunktes bezüglich des Schwerpunktes;

$\alpha_{yw}(k_y, k_w)$  und  $\alpha_{zw}(k_z, k_w)$  hängen von der Kombination der Biege- mit den Torsionsrandbedingungen ab, siehe Tabelle I.6. Die Symbole für die Torsionsrandbedingungen sind in Tabelle I.7 erklärt.

Tabelle I.6 — Werte von  $\alpha_{yW}$  und  $\alpha_{zW}$  für Kombinationen der Biege- und Torsionsrandbedingungen

Biege- rand- bedingung $k_y$ oder $k_z$	Torsionsrandbedingung $k_w$								
	1,0	0,7	0,7	0,5	2,0	2,0	1,0	1,0	2,0
1,0	1	0,817	0,817	0,780	a)	a)	a)	a)	a)
0,7	0,817	1	a)	0,766	a)	a)	a)	a)	a)
0,7	0,817	a)	1	0,766	a)	a)	a)	a)	a)
0,5	0,780	0,766	0,766	1	a)	a)	a)	a)	a)
2,0	a)	a)	a)	a)	1	a)	a)	a)	a)
2,0	a)	a)	a)	a)	a)	1	a)	a)	a)
1,0	a)	a)	a)	a)	a)	a)	1	a)	a)
1,0	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)	1	a)
2,0	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)	1

a) Um auf der sicheren Seite zu liegen, benutze  $\alpha_{yW} = 1$  und  $\alpha_{zW} = 1$ .

Tabelle I.7 — Torsionsrandbedingungen in Tabelle I.6

Symbol in Tabelle I.6	Verformung des Bauteilendes	Torsionsrandbedingungen
		Verdrehung verhindert, Verwölbung frei
		Verdrehung verhindert, Verwölbung verhindert
		Verdrehung frei, Verwölbung frei
		Verdrehung frei, Verwölbung verhindert

(2) Bei zur z-Achse symmetrischen Querschnitten ist  $y_s = 0$  und Gleichung (I.13) hat die Lösungen:

$$N_{cr,1} = N_{cr,y} \quad (\text{Biegeknicken}) \quad (I.18)$$

$$N_{cr,2,3} = \frac{1}{2(1 - \alpha_{zw} z_s^2 / i_s^2)} \left[ (N_{cr,z} + N_{cr,T}) \mp \sqrt{(N_{cr,z} + N_{cr,T})^2 - 4N_{cr,z}N_{cr,T}(1 - \alpha_{zw} z_s^2 / i_s^2)} \right]$$

(Biegedrillknicken) (I.19)

(3) Bei doppelsymmetrischen Querschnitten ist  $y_s = 0$  und  $z_s = 0$  und Gleichung (I.13) hat die Lösungen:

$$N_{cr,1} = N_{cr,y}, \quad N_{cr,2} = N_{cr,z} \quad (\text{Biegeknicken}) \quad \text{und}$$

$$N_{cr,3} = N_{cr,T} \quad (\text{Drillknicken})$$

(4) In I.4(2) werden für einige Querschnitte auf Näherungsgleichungen beruhende Schlankheitsgrad angegeben.

#### I.4 Schlankheitsgrad für Drillknicken und Biegedrillknicken mit Normalkraft

(1) Der allgemeine Ausdruck für den bezogenen Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_T$  für Drillknicken und Biegedrillknicken mit Normalkraft ist

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff} f_o}{N_{cr}}} \quad (I.20)$$

Dabei ist

$A_{eff}$  die für Drillknicken und Biegedrillknicken wirksame Fläche, siehe 6.3.1.2, Tabelle 6.7, und

$N_{cr}$  die ideale Drillknicklast, nötigenfalls unter Berücksichtigung der Interaktion mit dem Biegeknicken (Biegedrillknicken), siehe I.3.

(2) Alternativ kann für die in Tabelle I.8 angegebenen Querschnitte der bezogene Schlankheitsgrad mit

$$\bar{\lambda}_T = k \lambda_t \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{A_{eff} f_o}{A E}} \quad (I.21)$$

bestimmt werden, wobei  $k$  aus Bild I.3 zu entnehmen oder mit dem Ausdruck

$$k = \sqrt{\frac{2Xs^2}{1+s^2 - \sqrt{(1+s^2)^2 - 4Xs^2}}} \quad (I.22)$$

zu bestimmen ist, für den  $X > 0$  und  $s$  in Tabelle I.8 angegeben sind.



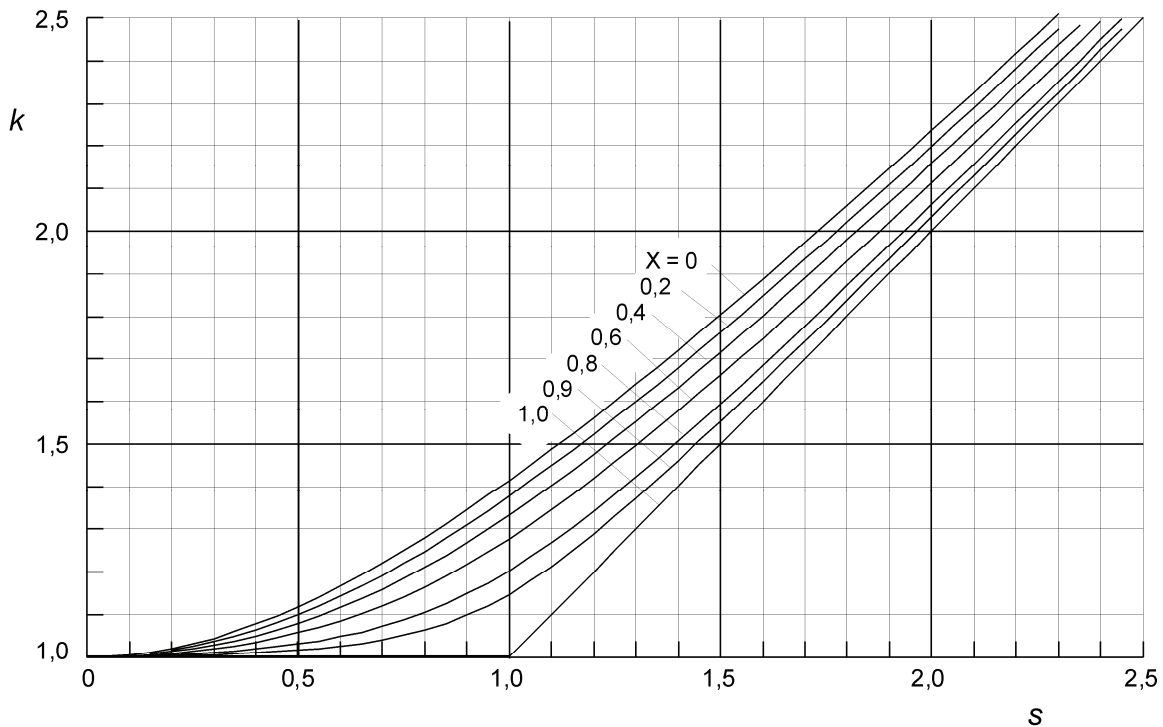
$\lambda_t$  ergibt sich auf folgende Weise:

1) für Winkel, T- und Kreuzprofile  $\lambda_t = \lambda_0$  (I.23)

2) für U-Profile, Hutprofile  $\lambda_t = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 + Y \lambda_0^2 / \lambda_y^2}}$  (I.24)

Tabelle I.8 enthält die Ausdrücke für  $\lambda_0$  und  $Y$  und auch für  $s$  und  $X$  (die für Gleichung (I.22) und auch für Bild I.3 benötigt werden).

In Gleichung (I.24) sollte für  $\lambda_y$  der wirksame Schlankheitsgrad für Biegeknicken um die in Tabelle I.8 bei den Fällen 15 bis 18 definierte Biegeachse angesetzt werden.



**Bild I.3 — Drillknicken von Stützen, Interaktionsbeiwert  $k$**

Zur Definition von  $s$ , siehe Tabelle I.8

Tabelle I.8 — Beiwerte für das Drillknicken von Stützen

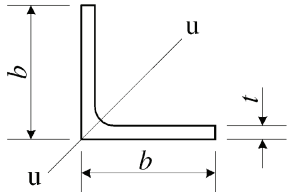
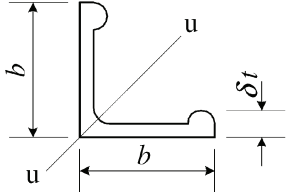
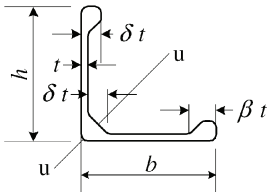
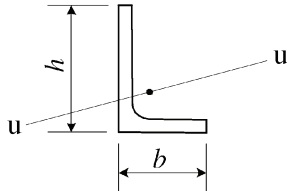
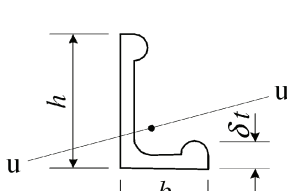
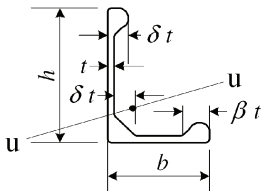
<p>1</p> 	<p><math>\rho \leq 5</math>                      zu <math>\rho</math> siehe                      Anmerkung 3</p>	<p><math>\lambda_0 = 5b/t - 0,6\rho^{1,5} (b/t)^{0,5}</math>  <math>s = \lambda_u / \lambda_0</math>  <math>X = 0,6</math></p>
<p>2</p> 	<p><math>\rho \leq 5</math>  <math>1 \leq \delta \leq 2,5</math>                      zu <math>\rho</math> siehe                      Anmerkung 3</p>	<p><math>\lambda_0 = 5b/t - 0,6\rho^{1,5} (b/t)^{0,5} -</math>  <math>-(\delta - 1) [2(\delta - 1)^2 - 1,5\rho]</math>  <math>s = \lambda_u / \lambda_0</math>  <math>X = 0,6</math></p>
<p>3</p> 	<p><math>b/t = 20</math>  <math>r_i/t = 2</math>  <math>\delta = 3</math>  <math>\beta \approx 4</math>                      zu <math>r_i</math> siehe                      Anmerkung 3</p>	<p><math>\lambda_0 = 66</math>  <math>s = \lambda_u / \lambda_0</math>  <math>X = 0,61</math>                      (gleichschenkelig)</p>
<p>4</p> 	<p><math>\rho \leq 5</math>  <math>0,5 \leq b/h \leq 1</math>                      zu <math>\rho</math> siehe                      Anmerkung 3</p>	<p><math>\lambda_0 = \frac{h}{t} \left[ 4,2 + 0,8 \left( \frac{b}{h} \right)^2 \right] - 0,6\rho^{1,5} \left( \frac{h}{t} \right)^{0,5}</math>  <math>s = \left[ 1 + 6(1 - b/h)^2 \right] \lambda_u / \lambda_0</math>  <math>X = 0,6 - 0,4(1 - b/h)^2</math></p>
<p>5</p> 	<p><math>\rho \leq 5</math>  <math>0,5 \leq b/h \leq 1</math>  <math>1 \leq \delta \leq 2,5</math>                      zu <math>\rho</math> siehe                      Anmerkung 3</p>	<p><math>\lambda_0 = \frac{h}{t} \left[ 4,2 + 0,8 \left( \frac{b}{h} \right)^2 \right] - 0,6\rho^{1,5} \left( \frac{h}{t} \right)^{0,5} +</math>  <math>+ 1,5\rho(\delta - 1) - 2(\delta - 1)^3</math>  <math>s = \left[ 1 + 6(1 - b/h)^2 \right] \lambda_u / \lambda_0</math>  <math>X = 0,6 - 0,4(1 - b/h)^2</math></p>
<p>6</p> 	<p><math>h/t = 20</math>  <math>b/t = 15</math>  <math>r_i/t = 2</math>  <math>\delta = 3, \beta \approx 4</math>                      zu <math>r_i</math> siehe                      Anmerkung 3</p>	<p><math>\lambda_0 = 57</math>  <math>s = 1,4\lambda_u / \lambda_0</math>  <math>X = 0,6</math>                      (ungleichschenkelig, gleiche Wulste)</p>

Table I.8 (fortgesetzt)

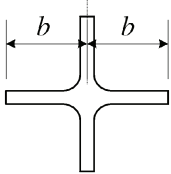
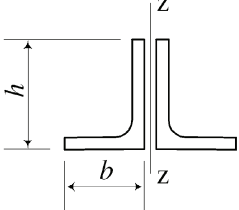
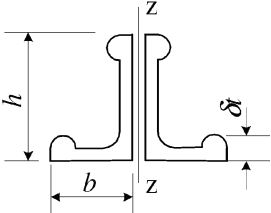
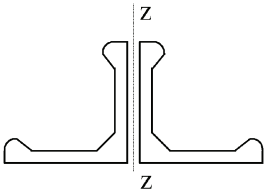
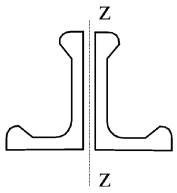
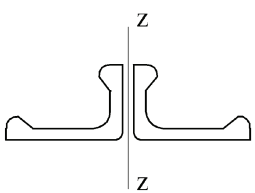
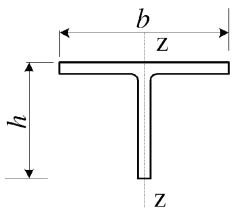
7		$\rho \leq 3,5$ zu $\rho$ siehe Anmerkung 3	$\lambda_0 = 5,1b/t - \rho^{1,5}(b/t)^{0,5}$ $X = 1$
8		$\rho \leq 5$ $0,5 \leq h/b \leq 2$ zu $\rho$ siehe Anmerkung 3	$\lambda_0 = \left[ 4,4 + 1,1(b/h)^2 \right] b/t - 0,7\rho^{1,5}(b/t)^{0,5}$ $s = \lambda_z / \lambda_0$ $X = 1,1 - 0,3h/b$
9		$\rho \leq 5$ $0,5 \leq h/b \leq 2$ $1 \leq \delta \leq 2,5$ zu $\rho$ siehe Anmerkung 3	$\lambda_0 = \left[ 4,4 + 1,1(b/h)^2 \right] b/t - 0,7\rho^{1,5}(b/t)^{0,5} +$ $+ 1,5\rho(\delta - 1) - 2(\delta - 1)^3$ $s = \lambda_z / \lambda_0$ $X = 1,1 - 0,3h/b$
10		Querschnitt der Winkel wie in Fall 3	$\lambda_0 = 70$ $s = \lambda_z / \lambda_0$ $X = 0,83$
11		Querschnitt der Winkel wie in Fall 6	$\lambda_0 = 60$ $s = \lambda_z / \lambda_0$ $X = 0,76$
12		Querschnitt der Winkel wie in Fall 6	$\lambda_0 = 63$ $s = \lambda_z / \lambda_0$ $X = 0,89$
13		$\rho \leq 3,5$ $0,5 \leq h/b \leq 2$ zu $\rho$ siehe Anmerkung 3	$\lambda_0 = (1,4 + 1,5b/h + 1,1h/b)h/t - \rho^{1,5}(h/t)^{0,5}$ $s = \lambda_z / \lambda_0$ $X = 1,3 - 0,8h/b + 0,2(h/b)^2$

Table I.8 (fortgesetzt)

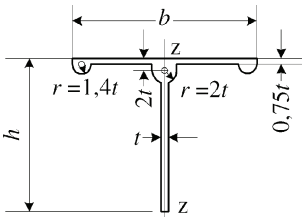
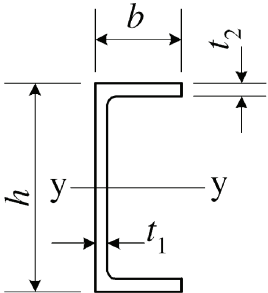
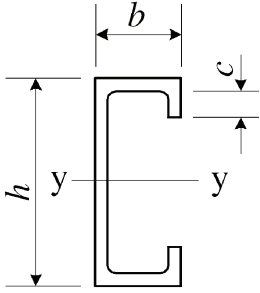
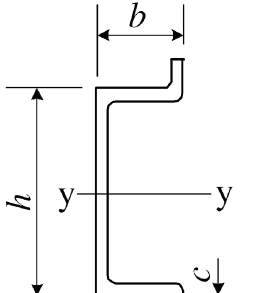
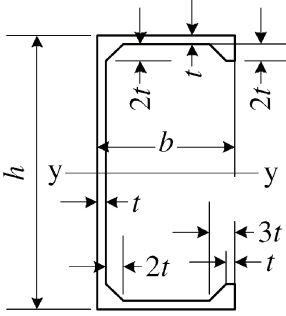
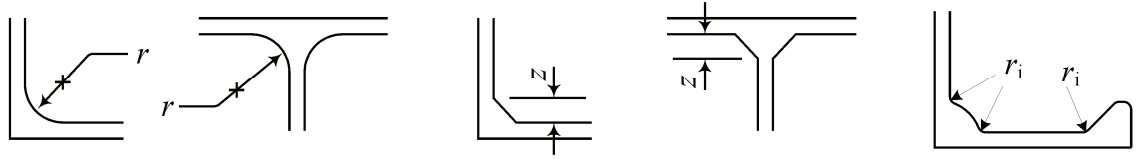
<p>14</p> 	<p><math>h/t = 25</math>  <math>b/h = 1,2</math>  <math>r_i/t = 0,5</math></p> <p>zu <math>r_1</math> siehe          Anmerkung 3</p>	<p><math>\lambda_0 = 65</math>  <math>s = \lambda_z / \lambda_0</math>  <math>X = 0,78</math></p>
<p>15</p> 	<p><math>1 \leq h/b \leq 3</math>  <math>1 \leq t_2/t_1 \leq 2</math></p>	<p><math>\lambda_0 = (b/t_2)(7 + 1,5(h/b)t_2/t_1)</math>  <math>s = \lambda_y / \lambda_t</math>  <math>X = 0,38h/b - 0,04(h/b)^2</math>  <math>Y = 0,14 - 0,02h/b - 0,02t_2/t_1</math></p>
<p>16</p> 	<p><math>1 \leq h/b \leq 3</math>  <math>c/b \leq 0,4</math></p>	<p><math>\lambda_0 = (b/t)(7 + 1,5h/b + 5c/b)</math>  <math>s = \lambda_y / \lambda_t</math>  <math>X = 0,38h/b - 0,04(h/b)^2 - 0,25c/b</math>  <math>Y = 0,12 - 0,02h/b + \frac{0,6(c/b)^2}{h/b - 0,5}</math></p>
<p>17</p> 	<p><math>1 \leq h/b \leq 3</math>  <math>c/b \leq 0,4</math></p>	<p><math>\lambda_0 = (b/t)(7 + 1,5h/b + 5c/b)</math>  <math>s = \lambda_y / \lambda_t</math>  <math>X = 0,38h/b - 0,04(h/b)^2</math>  <math>Y = 0,12 - 0,02h/b - \frac{0,05c/b}{h/b - 0,5}</math></p>

Table I.8 (fortgesetzt)

<p>18</p> 	<p><math>h/t = 32</math> <math>b/h = 0,5</math> <math>r_i/t = 2</math></p> <p>zu <math>r_i</math> siehe Anmerkung 3</p>	<p><math>\lambda_0 = 126</math> <math>s = \lambda_y / \lambda_t</math> <math>X = 0,59</math> <math>Y = 0,104</math></p>
<p>ANMERKUNG 1 Die Querschnitte haben, abgesehen von den Fällen 14 und 15, die gleiche Dicke <math>t</math> in den ebenen Querschnittsteilen</p> <p>ANMERKUNG 2 <math>\lambda_u, \lambda_y</math> oder <math>\lambda_z</math> sind die Schlankheitsgrade für Biegeknicken um die Achsen <math>u, y</math> oder <math>z</math></p> <p>ANMERKUNG 3 <math>\rho</math> ist ein Beiwert, der auf folgende Weise von der Fläche an der einspringenden Querschnittsecke abhängt:</p> <p>gerundete Kehle <math>\rho = r/t</math></p> <p>45° Kehlen <math>\rho = 1,6 z/t</math></p> <p><math>r_i</math> ist der innere Radius</p>  <p>ANMERKUNG 4 Die Angaben für <math>\lambda_0, X</math> und <math>Y</math> gelten nur innerhalb der angegebenen Grenzen. Die Angaben für Doppelwinkel (Fälle 8 bis 12) gelten nur, wenn der Spalt zwischen den Einzelwinkeln nicht größer ist als <math>2t</math>.</p>		

## Anhang J (informativ)

### Querschnittseigenschaften

#### J.1 Torsionsträgheitsmoment $I_t$

(1) Für offene dünnwandige Querschnitte, die nur aus ebenen Teilen konstanter Dicke zusammengesetzt und mit Kehlen und/oder Wulsten verstärkt sind, ergibt sich das Torsionsträgheitsmoment  $I_t$  mit

$$I_t = \sum b_{sh} t^3 / 3 - 0,105 \sum t^4 + \sum (\beta + \delta \gamma)^4 t^4 \quad (\text{J.1})$$

wobei die erste Summe die ebenen Querschnittsteile erfasst, der zweite gilt für freie Ränder der ebenen Querschnittsteile ohne Wulste und die letzte Summe betrifft Kehlen oder Wulste, und es ist:

$t$  = Dicke der ebenen Querschnittsteile

$\beta, \delta$  und  $\gamma$  sind Kehl- oder Wulstbeiwerte, siehe Bild J.1, Fall 3 bis 11

$b_{sh}$  = Breite der ebenen Querschnittsteile; bei an Kehlen oder Wulsten angrenzenden ebenen Querschnittsteilen bis zum Rande der in Bild J.1 schraffierten Fläche gemessen.

(2) Für Fall 1 und Fall 2 in Bild J.1 mit unterschiedlichen Dicken  $t_1$  und  $t_2$

$$I_t = \sum b t^3 / 3 - 0,105 \sum t^4 + \sum \alpha D^4 \quad (\text{J.1a})$$

wobei  $\alpha$  und  $\delta$  die Kehlbeiwerte sind und  $D$  der Durchmesser des eingeschriebenen Kreises ist, siehe Bild J.1.

(3) Für einen einfachen Rechteckquerschnitt mit beliebigem Seitenverhältnis  $b/t \geq 1$

$$I_t = \frac{b t^3}{3} \left( 1 - 0,63 \frac{t}{b} + 0,052 \frac{t^5}{b^5} \right) \quad (\text{J.2})$$

(4) Für geschlossene Querschnitte wird  $I_t$  in J.6 angegeben.

#### J.2 Lage des Schubmittelpunktes $S$

(1) In Bild J.2 ist die Lage des Schubmittelpunktes für einige Querschnitte angegeben. Für offene dünnwandige Querschnitte wird auf J.4 und J.5 und für einfachsymmetrische geschlossene Querschnitte auf J.6 hingewiesen.

### J.3 Wölbwiderstand $I_w$

(1) Für einige Querschnittstypen kann der Wölbwiderstand  $I_w$  auf folgende Weise ermittelt werden:

- a) Für Querschnitte, die aus Scheiben bestehen, die sich alle in einem Punkt scheiden, z. B. Winkel-, T- oder Kreuzquerschnitte kann  $I_w$  vorsichtigerweise Null gesetzt oder mit

$$I_w = \sum b^3 t^3 / 36 \quad (\text{J.3})$$

ermittelt werden, wobei  $b$  die Breite und  $t$  die Dicke der Scheiben ist, siehe L-Querschnitt und T-Querschnitt in Bild J.2.

- b) Für einfache Rechteckquerschnitte mit beliebigem Seitenverhältnis  $b/t \geq 1$

$$I_w = \frac{b^3 t^3}{144} \left( 1 - 4,884 \frac{t^2}{b^2} + 4,97 \frac{t^3}{b^3} - 1,067 \frac{t^5}{b^5} \right) \quad (\text{J.4})$$

- c) Für die besonderen in Bild J.2 dargestellten Querschnittstypen kann  $I_w$  mit den dort angegebenen Gleichungen berechnet werden.
- d) Für offene dünnwandige Querschnitte werden die Gleichungen für Querschnittswerte einschließlich Lage des Schubmittelpunktes und Wölbwiderstand  $I_w$  in J.4 und J.5 angegeben.

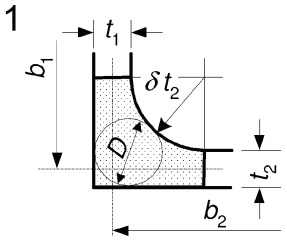
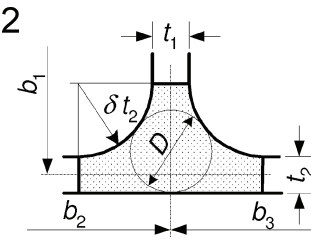
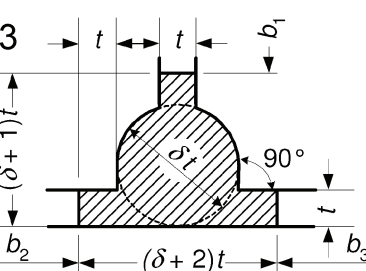
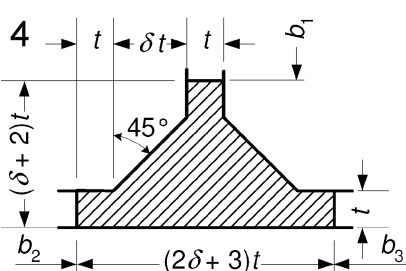
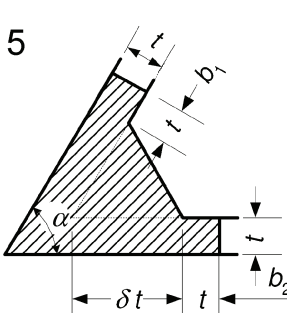
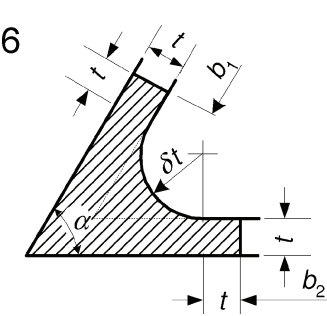
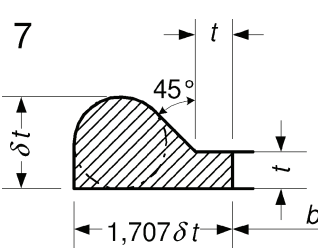
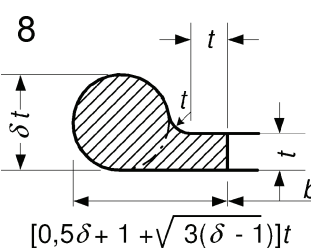
<p>1</p>  <p> <math>\alpha = (0,07\delta + 0,076) \frac{t_1}{t_2}</math>  <math>1 \leq \delta \leq 2</math>  <math>1 \leq \frac{t_2}{t_1} \leq 5</math> </p>	<p>2</p>  <p> <math>\alpha = (0,10\delta + 0,15) \frac{t_1}{t_2}</math>  <math>1 \leq \delta \leq 2</math>  <math>1 \leq \frac{t_2}{t_1} \leq 5</math> </p>
$D = 2 \left[ 3\delta + \frac{t_1}{t_2} + 1 - \sqrt{2(2\delta + \frac{t_1}{t_2})(2\delta + 1)} \right] t_2$	$D = \frac{(\delta + 1)^2 + (\delta + 0,25t_1/t_2)t_1/t_2}{2\delta + 1} t_2$
<p>3</p>  <p> <math>\beta = 0,20</math>  <math>\gamma = 1,11</math>  <math>2 \leq \delta \leq 10</math> </p>	<p>4</p>  <p> <math>\beta = 0,94</math>  <math>\gamma = 0,54</math>  <math>1 \leq \delta \leq 6</math> </p>
<p>5</p>  <p> <math>\beta = 1,21 - 0,0039\alpha^\circ</math>  <math>\gamma = 0,25 + 0,0016\alpha^\circ</math>  <math>1 \leq \delta \leq 6</math>  <math>45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ</math> </p>	<p>6</p>  <p> <math>\beta = 1,12 - 0,0017\alpha^\circ</math>  <math>\gamma = 0,94 - 0,0081\alpha^\circ</math>  <math>1 \leq \delta \leq 6</math>  <math>45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ</math> </p>
<p>7</p>  <p> <math>\beta = 0,04</math>  <math>\gamma = 0,63</math>  <math>1,4 \leq \delta \leq 6</math> </p>	<p>8</p>  <p> <math>\beta = 0,26</math>  <math>\gamma = 0,51</math>  <math>1,4 \leq \delta \leq 6</math> </p>

Bild J.1 (fortgesetzt)



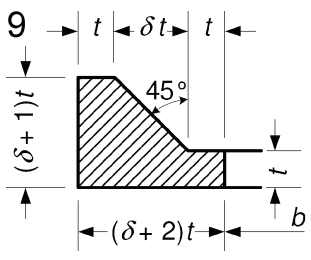
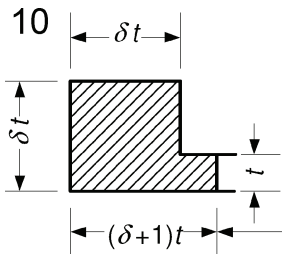
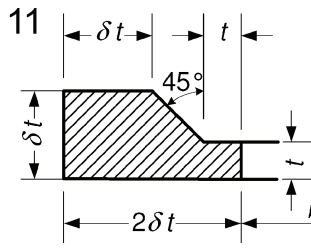
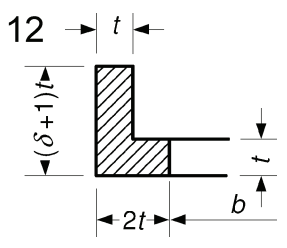
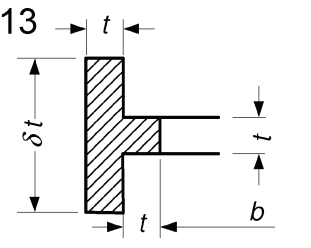
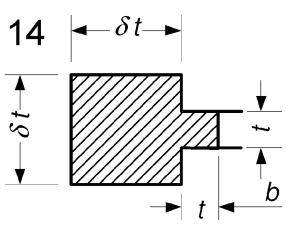
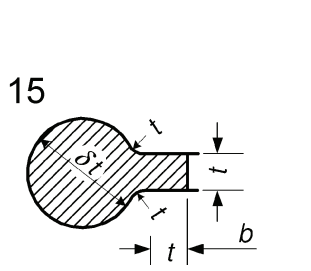
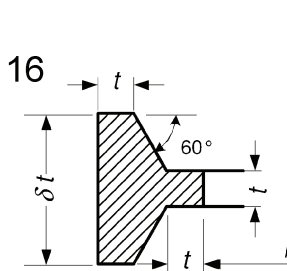
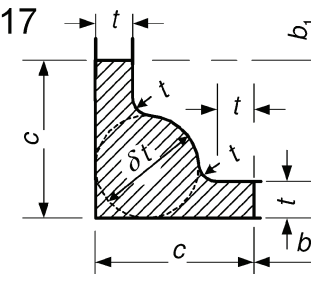
<p>9</p>  <p><math>\beta = 0,83</math> <math>\gamma = 0,39</math> <math>1 \leq \delta \leq 6</math></p>	<p>10</p>  <p><math>\beta = 0,13</math> <math>\gamma = 0,58</math> <math>1,4 \leq \delta \leq 6</math></p>
<p>11</p>  <p><math>\beta = 0,03</math> <math>\gamma = 0,71</math> <math>2 \leq \delta \leq 6</math></p>	<p>12</p>  <p><math>\beta = 0,92</math> <math>\gamma = 0,06</math> <math>1 \leq \delta \leq 6</math></p>
<p>13</p>  <p><math>\beta = 0,88</math> <math>\gamma = 0,063</math> <math>2 \leq \delta \leq 6</math></p>	<p>14</p>  <p><math>\beta = 0,12</math> <math>\gamma = 0,58</math> <math>2 \leq \delta \leq 6</math></p>
<p>15</p>  <p><math>\beta = 0,16</math> <math>\gamma = 0,52</math> <math>2 \leq \delta \leq 6</math></p>	<p>16</p>  <p><math>\beta = 0,69</math> <math>\gamma = 0,20</math> <math>1 \leq \delta \leq 6</math></p>
<p>17</p>  <p><math>\beta = 0,36</math> <math>\gamma = 1,05</math> <math>2 \leq \delta \leq 6</math></p> <p><math>c = \left[ 0,5\delta + 1 + \sqrt{3(\delta - 1)} \right] t</math></p>	

Bild J.1 — Beiwerte für das Torsionsträgheitsmoment bei Querschnitten mit Kehlen und Wulsten

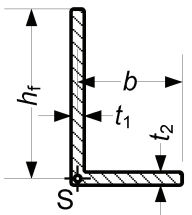
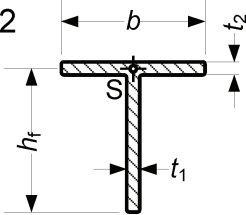
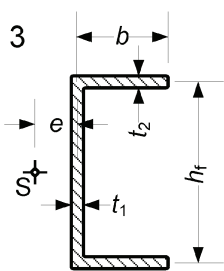
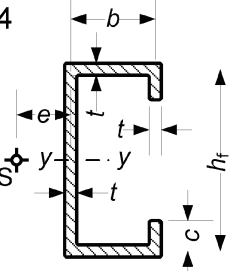
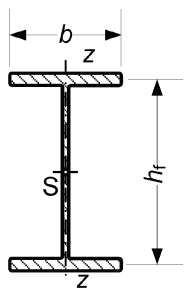
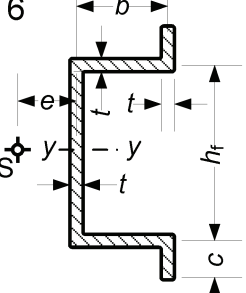
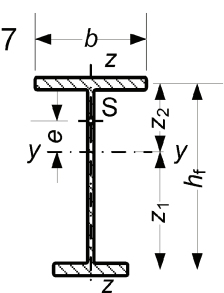
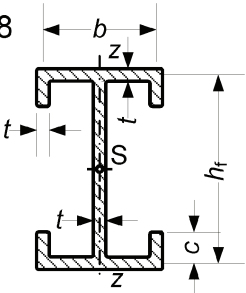
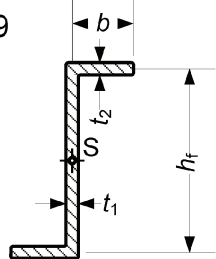
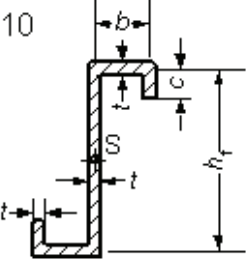
<p>1</p>  $I_w = \frac{h_f^3 t_1^3 + b^3 t_2^3}{36}$	<p>2</p>  $I_w = \frac{h_f^3 t_1^3}{36} + 2 \frac{(b/2)^3 t_2^3}{36}$
<p>3</p>  $e = \frac{3b^2 t_2}{h_f t_1 + 6bt_2}$ $I_w = \frac{h_f^2 b^3 t_2}{12} \cdot \frac{2h_f t_1 + 3bt_2}{h_f t_1 + 6bt_2}$	<p>4</p>  $e = \frac{h_f^2 b^2 t}{I_y} \left( \frac{1}{4} + \frac{c}{2b} - \frac{2c^3}{3h_f^2 b} \right)$ $I_w = \frac{b^2 t}{6} (4c^3 + 6h_f c^2 + 3h_f^2 c + h_f^2 b) - e^2 I_y$
<p>5</p>  $I_w = \frac{h_f^2 I_z}{4}$	<p>6</p>  $e = \frac{h_f^2 b^2 t}{I_y} \left( \frac{1}{4} + \frac{c}{2b} - \frac{2c^3}{3h_f^2 b} \right)$ $I_w = \frac{b^2 t}{6} (4c^3 - 6h_f c^2 + 3h_f^2 c + h_f^2 b) - e^2 I_y$
<p>7</p>  $e = \frac{z_1 I_1 - z_2 I_2}{I_z}$ $I_w = \frac{h_f^2 I_1 I_2}{I_z}$ <p>mit den Trägheitsmomenten <math>I_1</math> und <math>I_2</math> der Flansche um die z-Achse</p>	<p>8</p>  $I_w = \frac{h_f^2 I_y}{4} + \frac{c^2 b^2 t}{6} (3h_f + 2c)$
<p>9</p>  $I_w = \frac{h_f^2 b^3 t_2}{12} \cdot \frac{2h_f t_1 + bt_2}{h_f t_1 + 2bt_2}$	<p>10</p>  $I_w = \frac{b^2 t}{12(2b + h_f + 2c)} \times (h_f^2 (b^2 + 2bh_f + 4bc + 6h_f c) + 4c^2 (3bh_f + 3h_f^2 + 4bc + 2h_f c + c^2))$

Bild J.2 — Lage des Schubmittelpunktes S und Wölbwiderstand  $I_w$  einiger dünnwandiger Querschnitte

#### J.4 Querschnittswerte offener, dünnwandiger Querschnitte

(1) Unterteile den Querschnitt in  $n$  Teile. Nummeriere die Teile mit 1 bis  $n$ .

Füge zwischen den Teilen Knoten ein und nummeriere diese mit 0 bis  $n$ .

Teil  $i$  ist dann von den Knoten  $i-1$  und  $i$  begrenzt.

Gib den Knoten Koordinaten und eine (wirksame) Dicke.

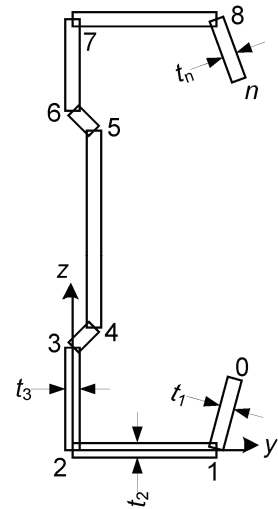
Knoten und Teile  $j = 0..n \quad i = 1..n$

Fläche eines Querschnittsteils

$$dA_i = \left[ t_i \cdot \sqrt{(y_i - y_{i-1})^2 + (z_i - z_{i-1})^2} \right] \quad (J.5)$$

Querschnittsfläche

$$A = \sum_{i=1}^n dA_i \quad (J.6)$$



**Bild J.3 —  
Querschnittsknoten**

Statisches Moment der Querschnittsfläche bezüglich der  $y$ -Achse und Schwerpunktskoordinate

$$S_{y0} = \sum_{i=1}^n (z_i + z_{i-1}) \cdot \frac{dA_i}{2} \quad z_{gc} = \frac{S_{y0}}{A} \quad (J.7)$$

Flächenträgheitsmomente bezüglich der ursprünglichen  $y$ -Achse und der neuen  $y$ -Achse durch den Schwerpunkt

$$I_{y0} = \sum_{i=1}^n \left[ (z_i)^2 + (z_{i-1})^2 + z_i \cdot z_{i-1} \right] \cdot \frac{dA_i}{3} \quad I_y = I_{y0} - A \cdot z_{gc}^2 \quad (J.8)$$

Statisches Moment der Querschnittsfläche bezüglich der  $z$ -Achse und Schwerpunktskoordinate

$$S_{z0} = \sum_{i=1}^n (y_i + y_{i-1}) \cdot \frac{dA_i}{2} \quad y_{gc} = \frac{S_{z0}}{A} \quad (J.9)$$

Flächenträgheitsmomente bezüglich der ursprünglichen  $z$ -Achse und der neuen  $z$ -Achse durch den Schwerpunkt

$$I_{z0} = \sum_{i=1}^n \left[ (y_i)^2 + (y_{i-1})^2 + y_i \cdot y_{i-1} \right] \cdot \frac{dA_i}{3} \quad I_z = I_{z0} - A \cdot y_{gc}^2 \quad (J.10)$$

Deviationsmomente bezüglich der ursprünglichen y- und z-Achse und der neuen Achsen durch den Schwerpunkt

$$I_{yz0} = \sum_{i=1}^n (2 \cdot y_{i-1} \cdot z_{i-1} + 2 \cdot y_i \cdot z_i + y_{i-1} \cdot z_i + y_i \cdot z_{i-1}) \cdot \frac{dA_i}{6} \quad I_{yz} = I_{yz0} - \frac{S_{y0} \cdot S_{z0}}{A} \quad (\text{J.11})$$

Hauptachsen

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan \left( \frac{2I_{yz}}{I_z - I_y} \right) \text{ wenn } (I_z - I_y) \neq 0 \text{ andernfalls } \alpha = 0 \quad (\text{J.12})$$

$$I_\xi = \frac{1}{2} \cdot \left[ I_y + I_z + \sqrt{(I_z - I_y)^2 + 4 \cdot I_{yz}^2} \right] \quad (\text{J.13})$$

$$I_\eta = \frac{1}{2} \cdot \left[ I_y + I_z - \sqrt{(I_z - I_y)^2 + 4 \cdot I_{yz}^2} \right] \quad (\text{J.14})$$

Wölbordinaten

$$\omega_0 = 0 \quad \omega_{0_i} = y_{i-1} \cdot z_i - y_i \cdot z_{i-1} \quad \omega_i = \omega_{i-1} + \omega_{0_i} \quad (\text{J.15})$$

Mittelwert der Verwölbung

$$I_\omega = \sum_{i=1}^n (\omega_{i-1} + \omega_i) \cdot \frac{dA_i}{2} \quad \omega_{mean} = \frac{I_\omega}{A} \quad (\text{J.16})$$

Wölbmomente

$$I_{y\omega} = \sum_{i=1}^n (2 \cdot y_{i-1} \cdot \omega_{i-1} + 2 \cdot y_i \cdot \omega_i + y_{i-1} \cdot \omega_i + y_i \cdot \omega_{i-1}) \cdot \frac{dA_i}{6} \quad I_{y\omega} = I_{y\omega 0} - \frac{S_{z0} \cdot I_\omega}{A} \quad (\text{J.17})$$

$$I_{z\omega} = \sum_{i=1}^n (2 \cdot \omega_{i-1} \cdot z_{i-1} + 2 \cdot \omega_i \cdot z_i + \omega_{i-1} \cdot z_i + \omega_i \cdot z_{i-1}) \cdot \frac{dA_i}{6} \quad I_{z\omega} = I_{z\omega 0} - \frac{S_{y0} \cdot I_\omega}{A} \quad (\text{J.18})$$

$$I_{\omega\omega} = \sum_{i=1}^n \left[ (\omega_i)^2 + (\omega_{i-1})^2 + \omega_i \cdot \omega_{i-1} \right] \cdot \frac{dA_i}{3} \quad I_{\omega\omega} = I_{\omega\omega 0} - \frac{I_\omega^2}{A} \quad (\text{J.19})$$

Schubmittelpunkt

$$y_{sc} = \frac{I_z \omega' I_z - I_y \omega' I_{yz}}{I_y \cdot I_z - I_{yz}^2} \quad z_{sc} = \frac{-I_y \omega' I_y + I_z \omega' I_{yz}}{I_y \cdot I_z - I_{yz}^2} \quad (I_y \cdot I_z - I_{yz}^2 \neq 0) \quad (\text{J.20})$$

Wölbwiderstand

$$I_w = I_{\omega\omega} + z_{sc} \cdot I_y \omega - y_{sc} \cdot I_z \omega \quad (\text{J.21})$$

Torsionsträgheitsmoment und Torsionswiderstandsmoment

$$I_t = \sum_{i=1}^n dA_i \cdot \frac{(t_i)^2}{3} \quad W_t = \frac{I_t}{\min(t)} \quad (\text{J.22})$$

Wölbordinaten bezüglich des Schubmittelpunktes

$$\omega_{s_j} = \omega_j - \omega_{mean} + z_{sc} \cdot (y_j - y_{gc}) - y_{sc} \cdot (z_j - z_{gc}) \quad (\text{J.23})$$

größte Wölbordinate und Widerstandsmoment der Wölbkrafttorsion

$$\omega_{max} = \max(|\omega_s|) \quad W_w = \frac{I_w}{\omega_{max}} \quad (\text{J.24})$$

Abstand zwischen Schubmittelpunkt und Schwerpunkt

$$y_s = y_{sc} - y_{gc} \quad z_s = z_{sc} - z_{gc} \quad (\text{J.25})$$

Polares Flächenträgheitsmoment bezüglich des Schubmittelpunktes

$$I_p := I_y + I_z + A(y_s^2 + z_s^2) \quad (\text{J.26})$$

Unsymmetriefaktoren  $z_j$  und  $y_j$  nach Anhang I

$$z_j = z_s - \frac{0.5}{I_y} \cdot \sum_{i=1}^n \left[ (z_{c_i})^3 + z_{c_i} \cdot \left[ \frac{(z_i - z_{i-1})^2}{4} + (y_{c_i})^2 + \frac{(y_i - y_{i-1})^2}{12} \right] + y_{c_i} \cdot \frac{(y_i - y_{i-1}) \cdot (z_i - z_{i-1})}{6} \right] \cdot dA_i \quad (J.27)$$

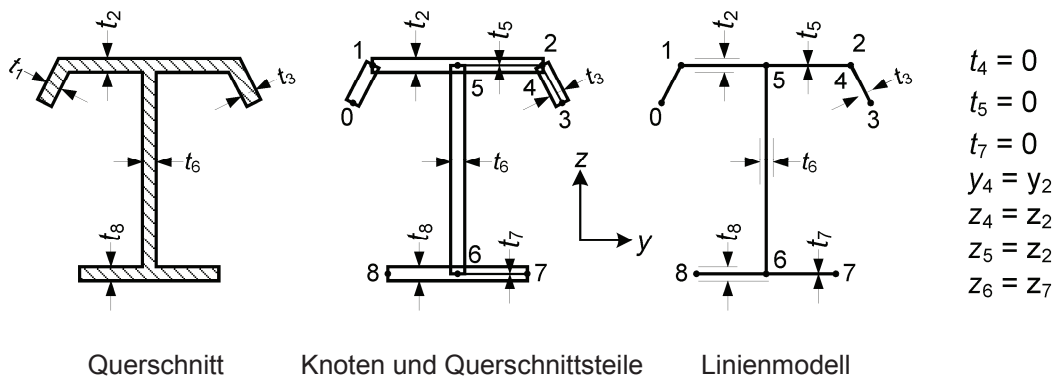
$$y_j = y_s - \frac{0.5}{I_z} \cdot \sum_{i=1}^n \left[ (y_{c_i})^3 + y_{c_i} \cdot \left[ \frac{(y_i - y_{i-1})^2}{4} + (z_{c_i})^2 + \frac{(z_i - z_{i-1})^2}{12} \right] + z_{c_i} \cdot \frac{(z_i - z_{i-1}) \cdot (y_i - y_{i-1})}{6} \right] \cdot dA_i \quad (J.28)$$

wobei die Koordinaten der Mittelpunkte der Querschnittsteile bezüglich des Schubmittelpunktes durch die folgenden Gleichungen bestimmt werden

$$y_{c_i} = \frac{y_i + y_{i-1}}{2} - y_{gc} \quad z_{c_i} = \frac{z_i + z_{i-1}}{2} - z_{gc} \quad (J.29)$$

ANMERKUNG  $z_j = 0$  ( $y_j = 0$ ) für Querschnitte, bei denen die  $y$ -Achse ( $z$ -Achse) Symmetrieachse ist, siehe Bild J.3.

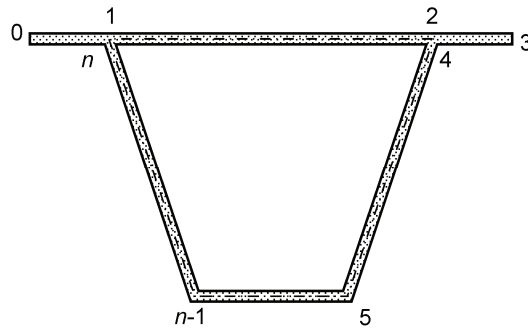
### J.5 Querschnittswerte offener, verzweigter Querschnitte



**Bild J.4 — Knoten und Teile in verzweigten Querschnitten**

(1) Für verzweigte Querschnitte können die Gleichungen in J.4 verwendet werden, indem man mit Dicken  $t = 0$  zur Verzweigung zurückkehrt und dort mit dem nächsten Teil mit  $t \neq 0$  fortfährt, siehe Zweig 3 – 4 – 5 und 6 – 7 in Bild J.4.

## J.6 Torsionsträgheitsmoment und Schubmittelpunkt von Querschnitten mit geschlossenen Zellen



**Bild J.5 — Querschnitt mit geschlossener Zelle**

(1) Für das Torsionsträgheitsmoment und das Torsionswiderstandsmoment eines symmetrischen oder unsymmetrischen Querschnittes mit einer geschlossenen Zelle, Bild J.5, gilt

$$I_t = \frac{4A_t^2}{S_t} \quad \text{und} \quad W_t = 2 A_t \min(t_i) \quad (\text{J.30})$$

Dabei ist

$$A_t = 0,5 \sum_{i=2}^n (y_i - y_{i-1})(z_i + z_{i-1}) \quad (\text{J.31})$$

$$S_t = \sum_{i=2}^n \frac{\sqrt{(y_i - y_{i-1})^2 + (z_i - z_{i-1})^2}}{t_i} \quad (t_i \neq 0) \quad (\text{J.32})$$

## Anhang K (informativ)

### Mittragende Breiten bei der Bauteilbemessung

#### K.1 Allgemeines

(1) In Flanschen kann die ganze Breite als mittragend angesetzt werden, wenn  $b_0 < L_e / 50$ , wobei die Flanschbreite  $b_0$  der einseitig (vom Steg) überstehende Teil oder die halbe Breite eines inneren Querschnittsteils (Flansch bei Hohlquerschnitten) und  $L_e$  der Abstand der benachbarten Momentennullpunkte ist, siehe K.2.1(2).

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf festlegen, in welchen Fällen bei Grenzzuständen der Tragfähigkeit die volle Breite als mittragend angesetzt werden darf. Für Auflagerbereiche, Kragarme und Bereiche mit konzentrierten Lasten wird  $b_0 < L_e / 25$  empfohlen. Für den Feldbereich (durchhängende Momentenlinie) wird  $b_0 < L_e / 15$  empfohlen.

(2) Wenn die oben genannte Grenze überschritten ist, sollte die mittragende Breite von Flanschen in den Nachweisen für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit und der Ermüdung durch eine K.2.1 entsprechende wirksame Breite und eine Spannungsverteilung nach K.2.2 berücksichtigt werden. Zur wirksamen Breite in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit siehe K.3.

(3) Die durch am Flansch in der Stegebene wirkende örtliche Lasten im elastischen Zustand erzeugten Spannungen sollten nach K.2.3 bestimmt werden.

#### K.2 Als wirksam anzusetzende mittragende Breiten

##### K.2.1 Beiwert für die mittragende Breite

(1) Die mittragende Breite  $b_{\text{eff}}$  im elastischen Zustand sollte mit:

$$b_{\text{eff}} = \beta_s b_0 \tag{K.1}$$

bestimmt werden, wozu der Beiwert  $\beta_s$  in Tabelle K.1 angegeben ist.

ANMERKUNG Diese mittragende Breite kann für Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit maßgebend werden.

(2) Wenn benachbarte Feldstützweiten sich um nicht mehr als 50% unterscheiden und Auskragungen nicht größer als die halbe Stützweite des anschließenden Feldes sind, kann die wirksame Länge  $L_e$  mit Bild K.1 bestimmt werden. Andernfalls sollte für  $L_e$  der Abstand der benachbarten Momentennullpunkte angesetzt werden.



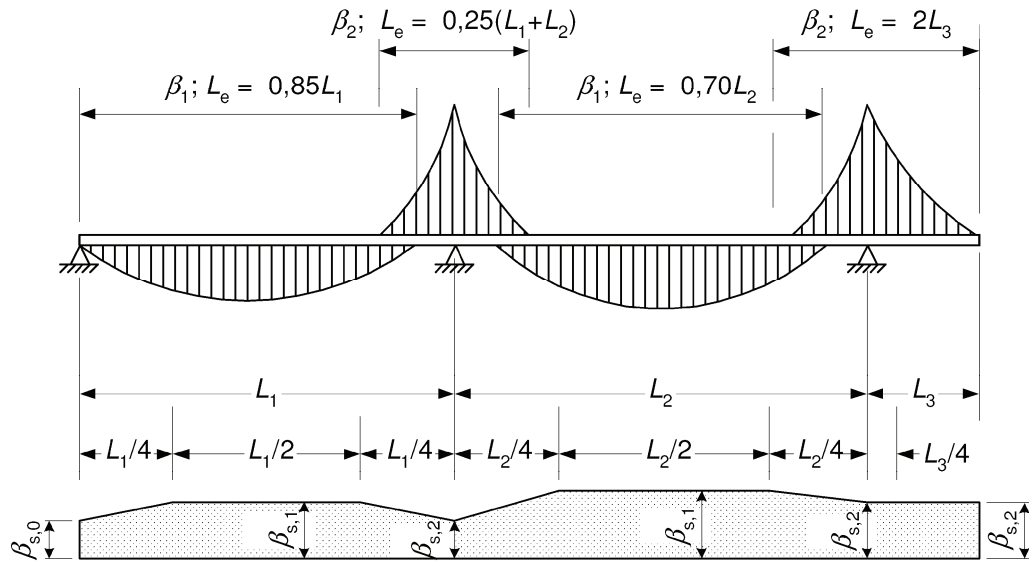
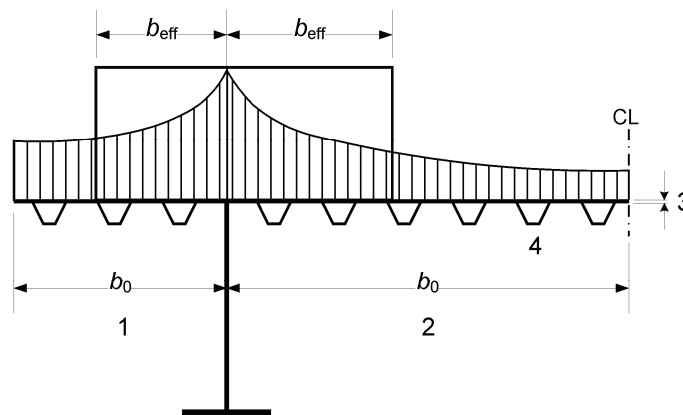


Bild K.1 — Wirksame Länge  $L_e$  für Durchlaufträger und Verteilung der mittragenden Breite



**Legende**

- 1 für auskragende Flansche,
- 2 für innere Flansche,
- 3 Plattendicke  $t$ ,
- 4 Steifen mit  $A_{st} = \sum A_{st,i}$

Bild K.2 — Definition der Bezeichnungen zur mittragenden Breite

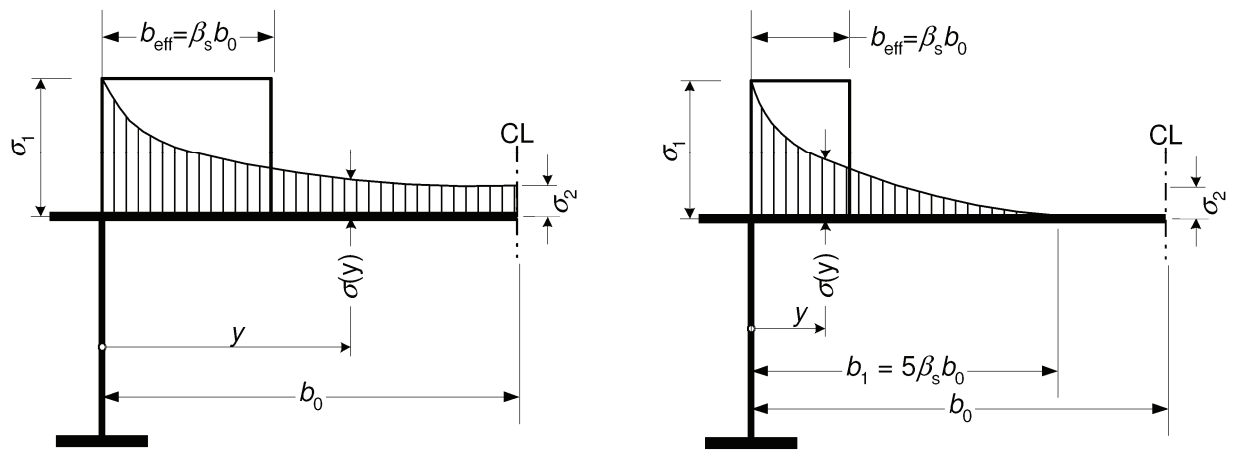
Tabelle K.1 — Beiwert  $\beta_s$  für die mittragende Breite

$\kappa$	Stelle des Nachweises	$\beta_s$
$\kappa \leq 0,02$		$\beta_s = 1,0$
$0,02 < \kappa \leq 0,70$	Feldbereich	$\beta_s = \beta_{s,1} = \frac{1}{1 + 6,4\kappa^2}$
	Zwischenstützenbereich	$\beta_s = \beta_{s,2} = \frac{1}{1 + 6,0(\kappa - 0,0004 / \kappa) + 1,6\kappa^2}$
$\kappa > 0,70$	Feldbereich	$\beta_s = \beta_{s,1} = \frac{1}{5,9\kappa}$
	Zwischenstützenbereich	$\beta_s = \beta_{s,2} = \frac{1}{8,6\kappa}$
All $\kappa$	Endauflager	$\beta_{s,0} = (0,55 + 0,025 / \kappa)\beta_{s,1}$ aber $\beta_{s,0} \leq \beta_{s,1}$
All $\kappa$	Kragarm	$\beta_s = \beta_{s,2}$ am Auflager und am Ende

$\kappa = \alpha_0 b_0 / L_e$  mit  $\alpha_0 = \sqrt{1 + A_{st} / (b_0 t)}$   
 wobei  $A_{st}$  die Querschnittsfläche aller Längssteifen innerhalb der Breite  $b_0$  ist und die anderen Formelzeichen in Bild K.1 und Bild K.2 definiert sind.

### K.2.2 Spannungsverteilung im Falle der mittragenden Breite

(1) Die Längsspannungsverteilung, die sich durch die Schubverformung der Platte (mittragenden Breite) ergibt, sollte Bild K.3 entnommen werden.



$$\beta_s > 0,20:$$

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

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

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

$$\beta_s \leq 0,20:$$

$$\sigma_2 = 0$$

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

**Bild K.3 — Längsspannungsverteilung über die Plattenbreite infolge der Schubverformung**

### K.2.3 Lasteinleitung in der Scheibenebene

(1) Die elastische Spannungsverteilung in versteiften oder unversteiften Platten infolge der örtlichen Einleitung von Lasten in der Scheibenebene (siehe Bild K.4) sollte mit:

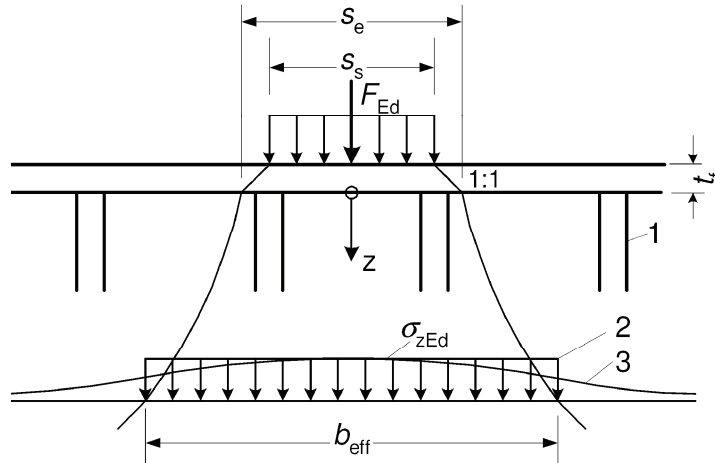
$$\sigma_1 = \frac{F_{\text{Ed}}}{b_{\text{eff}}(t + a_{\text{st},1})} \quad (\text{K.2})$$

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

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

$$s_e = s_s + 2t_f$$

und  $a_{\text{st},1}$  die Bruttoquerschnittsfläche der Steifen je Länge ist, d. h. die Querschnittsfläche der Steife dividiert durch den Abstand der Mittelpunkte der Steifen.



**Legende**

- 1 Steife
- 2 vereinfachte Spannungsverteilung
- 3 tatsächliche Spannungsverteilung

**Bild K.4 — Lasteinleitung in der Scheibenebene**

ANMERKUNG Diese Spannungsverteilung kann für den Nachweis der Ermüdungssicherheit maßgebend werden.

**K.3 Mittragende Breite bei Grenzzuständen der Tragfähigkeit**

(1) Bei Grenzzuständen der Tragfähigkeit können die mittragenden Breiten mit einem der folgenden Verfahren bestimmt werden:

- a) elastische mittragende Breiten wie bei den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit und der Ermüdung;
- b) Interaktion von mittragenden Breiten mit wirksamen Breiten des Plattenbeulens;
- c) elastisch-plastische mittragende Breiten unter Beachtung begrenzter plastischer Dehnungen.

ANMERKUNG 1 Der Nationale Anhang darf das anzuwendende Verfahren auswählen. Verfahren a) wird empfohlen.

ANMERKUNG 2 Die Interaktion von wirksamen Breiten des Plattenbeulens mit mittragenden Breiten kann berücksichtigt werden, indem zuerst die Flanscbreite auf eine für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit definierte mittragende Breite und dann die Dicke auf eine wirksame Dicke für das Plattenbeulen reduziert wird, wobei die Schlankheit  $\beta$  mit der mittragenden Breite ermittelt wird.

ANMERKUNG 3 Der Nationale Anhang darf Regeln für elastisch-plastische mittragende Breiten unter Beachtung begrenzter plastischer Dehnungen angeben.

## Anhang L (informativ)

### Klassifizierung von Anschlüssen

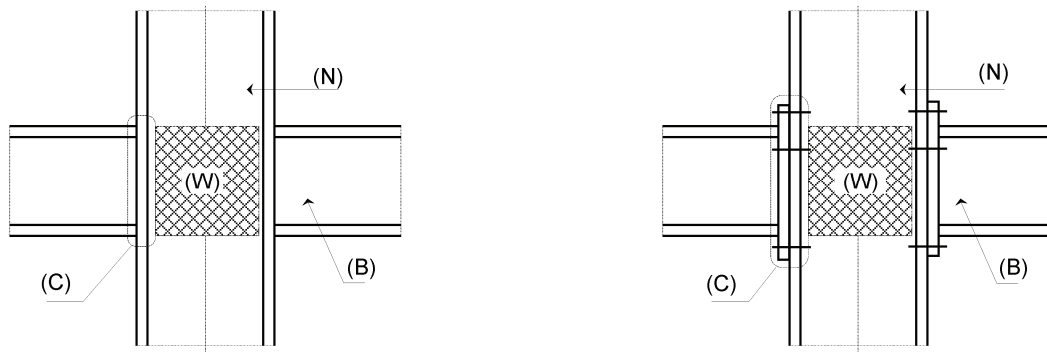
#### L.1 Allgemeines

(1) Die folgenden Definitionen gelten:

**Verbindung:** Stelle an der zwei Bauteile verbunden sind und Anordnung von Verbindungselementen und — im Falle eines Anschlusses in der Hauptachse — die Lasteinleitung in das Stegfeld der Stütze.

**Anschluss:** Anordnung von Grundkomponenten, die eine derartige Verbindung der Bauteile ermöglicht, dass die maßgebenden Schnittkräfte und Momente zwischen ihnen übertragen werden können. Ein Träger-Stützenanschluss besteht aus einem Stegfeld mit entweder einer Verbindung (einseitige Anschlusskonfiguration) oder zwei Verbindungen (zweiseitige Anschlusskonfiguration).

Eine „Verbindung“ ist definiert als das System, das ein Bauteil mechanisch an dem restlichen Teil des Tragwerkes befestigt. Sie sollte von dem „Anschluss“ unterschieden werden, der üblicherweise das System bezeichnet, das aus der Verbindung selbst und der zugehörigen Interaktionszone zwischen den verbundenen Bauteilen besteht (siehe Bild L.1).



#### Geschweißter Anschluss

Anschluss =  
schubbeanspruchtes Stegfeld + Verbindungen  
Komponenten: Schweißnähte, Stützenflansche

#### Geschraubter Anschluss

Anschluss =  
schubbeanspruchtes Stegfeld + Verbindungen  
Komponenten: Schweißnähte, Stirnplatten,  
Schrauben, Stützenflansche

(C) Verbindung, (W) schubbeanspruchtes Stegfeld, (N) Stütze, (B) Träger

**Bild L.1 — Definition von „Verbindung“ und „Anschluss“**

(2) Eigenschaften (eines Anschlusses) hinsichtlich der Tragwirkung: Seine Tragfähigkeit für Schnittkräfte und Momente in den verbundenen Bauteilen, seine Rotationssteifigkeit und seine Rotationskapazität.

(3) Im Folgenden bezeichnet das Zeichen „ $F$ “ eine verallgemeinerte Kraft (Axialkraft, Querkraft oder Biegemoment) und das Zeichen „ $V$ “ die zugehörige verallgemeinerte Verformung (Dehnung, Verdrehung oder Rotation). Der Index „e“ bezeichnet den elastischen Zustand und der Index „u“ den Grenzzustand der Tragfähigkeit.

(4) Verbindungen können nach ihrer Fähigkeit, die Verhaltenseigenschaften (Steifigkeit, Tragfähigkeit und Duktilität) der verbundenen Bauteile zu erreichen, klassifiziert werden. Hinsichtlich des globalen Verhaltens des verbundenen Bauteils werden zwei Hauptklassen definiert (Bild L.2):

- voll wirksame Verbindungen;
- teilweise wirksame Verbindung.

(5) Hinsichtlich der einzelnen Verhaltenseigenschaften des verbundenen Bauteils können Verbindungen klassifizierte werden nach (Bilder L.2.b-d)):

- Steifigkeit;
- Tragfähigkeit;
- Duktilität.

(6) Die Verbindungstypen sollten den Annahmen der Bauteilbemessung und dem Verfahren der Tragwerksberechnung entsprechen.

## **L.2 Voll wirksame Verbindungen**

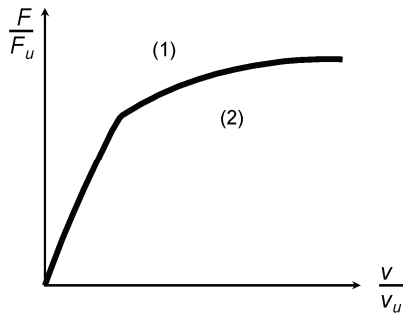
(1) Voll wirksame Verbindungen werden so bemessen, dass ihre durch elastische Steifigkeit, Tragfähigkeit und Duktilität ausgedrückten Verhaltenseigenschaften stets gleich oder besser sind als die des verbundenen Bauteils. Die verallgemeinerte Kraft-Verformungskurve der Verbindung liegt stets oberhalb der des verbundenen Bauteils.

(2) Die Verbindung braucht in der Tragwerksberechnung nicht gesondert betrachtet zu werden.

## **L.3 Teilweise wirksame Verbindungen**

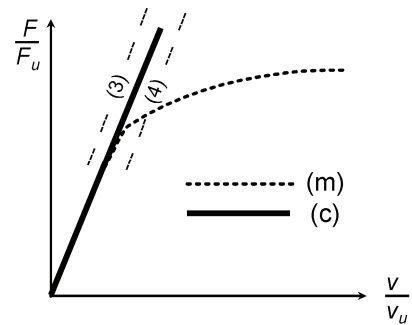
(1) Die Verhaltenseigenschaften der Verbindung erreichen nicht die des verbundenen Bauteils, weil elastische Steifigkeit, Tragfähigkeit oder Duktilität des angeschlossenen Bauteils nicht von ihr erreicht werden können. Die verallgemeinerte Kraft-Verformungskurve kann teilweise unter derjenigen des verbundenen Bauteils liegen.

(2) Solche Verbindungen müssen in der Tragwerksberechnung berücksichtigt werden.



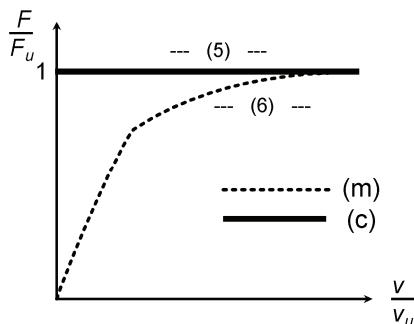
- (1) Bereich voller Wirksamkeit  
(2) Bereich teilweiser Wirksamkeit

**a) Klassifizierung nach der globalen Übertragung der Bauteileigenschaften**



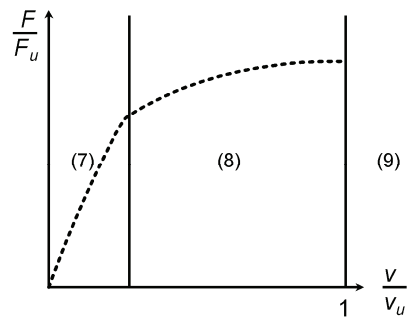
- (3) steif  
(4) geringere Steifigkeit als Bauteil (nachgiebig)

**b) Klassifizierung nach der Steifigkeit**



- (5) tragfähigkeitserhaltend (volle Tragfähigkeit)  
(6) nicht tragfähigkeitserhaltend (verminderte Tragfähigkeit)

**c) Klassifizierung nach der Tragfähigkeit**



- (7) nicht duktilitätserhaltend (spröde)  
(8) nicht duktilitätserhaltend (halbduktile)  
(9) duktilitätserhaltend (duktile)

**d) Klassifizierung nach der Duktilität**

(m) verbundenes Bauteil, (c) Grenze des Verhaltens der Verbindung

**Bild L.2 — Klassifizierung von Verbindungen**

**L.4 Klassifizierung nach der Steifigkeit**

(1) Hinsichtlich der Steifigkeit sollten Anschlüsse klassifiziert werden als (Bild L.2.b):

- steife Anschlüsse (steif) (R1);
- Anschlüsse mit einer geringeren Steifigkeit als das Bauteil (nachgiebig) (R2),

in Abhängigkeit davon, ob die Anfangssteifigkeit des zu verbindenden Bauteils erreicht wird oder nicht, unabhängig von der Tragfähigkeit und Duktilität.

## **L.5 Klassifizierung nach der Tragfähigkeit**

(1) Hinsichtlich der Tragfähigkeit können Verbindungen klassifiziert werden als (Bild L.2.c):

- tragfähigkeitserhaltende (volle Tragfähigkeit) Verbindungen;
- die Tragfähigkeit nicht erhaltende Verbindungen (verminderte Tragfähigkeit),

in Abhängigkeit davon, ob die Tragfähigkeit des verbundenen Bauteils erreicht wird oder nicht, unabhängig von der Steifigkeit und Duktilität.

## **L.6 Klassifizierung nach der Duktilität**

(1) Hinsichtlich der Duktilität können Verbindungen klassifiziert werden als (Bild L.2.d):

- duktilitätserhaltende (duktil) Verbindungen;
- die Duktilität nicht erhaltende (halbduktil oder spröde) Verbindungen,

in Abhängigkeit davon, ob die Duktilität der Verbindung größer oder kleiner als die des verbundenen Bauteils ist, unabhängig von der Tragfähigkeit und Steifigkeit.

(2) Duktile Verbindungen haben eine Duktilität, die gleich der oder größer als die des verbundenen Bauteils ist; bei ihnen können Begrenzungen der Dehnung oder der Rotation in der Tragwerksberechnung außer acht bleiben.

(3) Die Duktilität halbduktiler Verbindungen ist geringer als die des verbundenen Bauteils aber größer als dessen elastische Grenzverformung; bei ihnen muss die Begrenzung der Dehnung und der Rotation bei einer inelastischen Tragwerksberechnung berücksichtigt werden.

(4) Die Duktilität spröder Verbindungen ist geringer als die elastische Grenzverformung des verbundenen Bauteils; bei ihnen muss die Begrenzung der Dehnung und der Rotation sowohl bei einer inelastischen als auch bei einer elastischen Tragwerksberechnung berücksichtigt werden.

## **L.7 Allgemeine Bemessungsanforderungen für Verbindungen**

(1) Die maßgebenden Kombinationen der wesentlichen Verhaltenseigenschaften (Steifigkeit, Tragfähigkeit und Duktilität) der Verbindungen führen zu verschiedenen Fällen (Bild L.3).

In Tabelle L.1 ist angegeben wie sie bei den verschiedenen Arten der Tragwerksberechnung (siehe 5.2.1) zu berücksichtigen sind.

## **L.8 Anforderungen an Verbindungen in Rahmentragwerken**

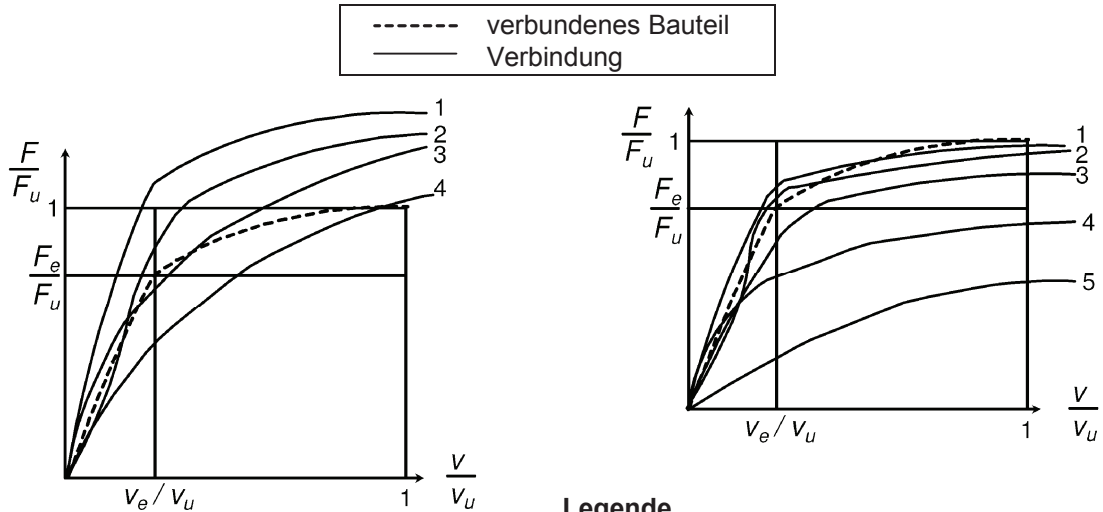
### **L.8.1 Allgemeines**

(1) Hinsichtlich der Momenten-Krümmungsbeziehung können die Verbindungstypen in Rahmentragwerken unterschieden werden in:

- gelenkige Verbindungen;
- momentenübertragende Verbindungen.

(2) Die Berücksichtigung der Verbindungstypen sollte entsprechend dem Verfahren der Tragwerksberechnung (siehe 5.2.1) und den Annahmen der Bauteilbemessung (Anhang F) nach Tabelle L.1 erfolgen.



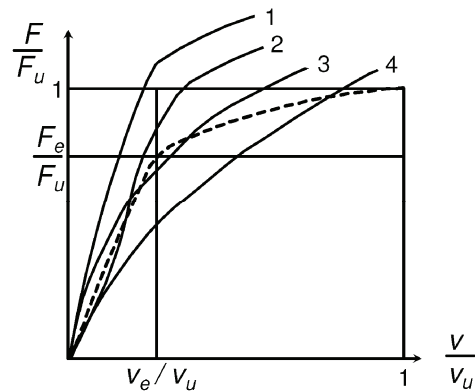


**Legende**

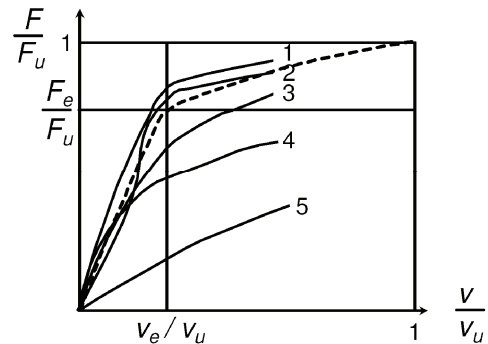
- 1 voll tragfähig, steif, duktil mit elastischer Tragfähigkeit des Bauteils
- 2 voll tragfähig, nachgiebig, duktil mit elastischer Tragfähigkeit des Bauteils
- 3 voll tragfähig, steif, duktil mit elastischer Tragfähigkeit des Bauteils
- 4 voll tragfähig, nachgiebig, duktil ohne elastische Tragfähigkeit des Bauteils

**Legende**

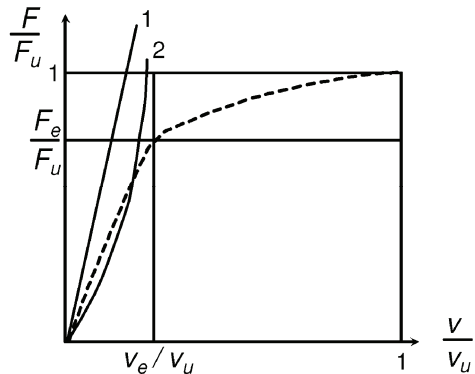
- 1 vermindert tragfähig, steif, duktil mit elastischer Tragfähigkeit des Bauteils
- 2 vermindert tragfähig, nachgiebig, duktil mit elastischer Tragfähigkeit des Bauteils
- 3 vermindert tragfähig, steif, duktil mit elastischer Tragfähigkeit des Bauteils
- 4 vermindert tragfähig, steif, duktil ohne elastische Tragfähigkeit des Bauteils
- 5 vermindert tragfähig, nachgiebig, duktil ohne elastische Tragfähigkeit des Bauteils



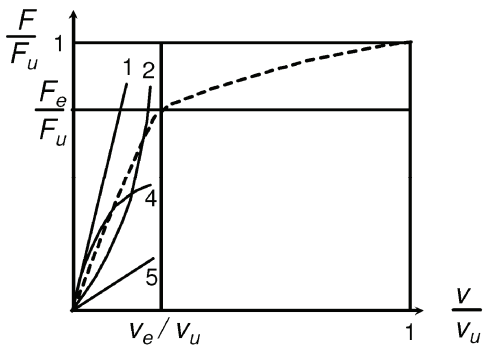
1, 2, 3, 4 wie oben, aber halbduktil



1, 2, 3, 4,5 wie oben, aber halbduktil



1, 2 wie oben, aber spröde



1, 2, 4, 5 wie oben, aber spröde

**Bild L.3 — Wichtige Verbindungstypen**

### L.8.2 Gelenkige Verbindungen

(1) Eine gelenkige Verbindung sollte so bemessen werden, dass sie die Bemessungswerte der Axial- und Querkräfte überträgt, ohne dabei bemerkenswerte Momente entstehen zu lassen, die Bauteile des Tragwerkes nachteilig beeinflussen könnten.

(2) Gelenkige Verbindungen sollten die berechneten Bemessungswerte der Kräfte übertragen und die auftretenden Verdrehungen aufnehmen können.

(3) Die Rotationskapazität einer gelenkigen Verbindung sollte so groß sein, dass sich alle erforderlichen plastischen Gelenke unter der Bemessungslast ausbilden können.

**Tabelle L.1 — Allgemeine Bemessungsanforderungen**

Verfahren der Tragwerksberechnung (siehe 5.2.1)	Verbindungstyp der in der Tragwerksberechnung berücksichtigt werden muss	Verbindungstyp der in der Tragwerksberechnung außer acht bleiben kann
ELASTISCH	nachgiebige Verbindungen (volle oder teilweise Tragfähigkeit, duktil oder nicht duktil mit oder ohne Erhaltung der elastischen Bauteilfestigkeit) Verbindungen verminderter Tragfähigkeit (steif oder nachgiebig, duktil oder nicht duktil) ohne Erhaltung der elastischen Bauteilfestigkeit	voll wirksame Verbindungen steife Verbindungen (volle oder verminderte Tragfähigkeit, duktil oder nicht duktil) deren Festigkeit gleich der des elastischen Bauteils ist Verbindungen verminderter Tragfähigkeit (steif, duktil oder nicht duktil) deren Festigkeit gleich der des elastischen Bauteils ist
PLASTISCH (starr-plastisch elastisch-plastisch inelastisch-plastisch)	Verbindungen verminderter Tragfähigkeit (steif oder nachgiebig, duktil oder nicht duktil) ohne Erhaltung der elastischen Bauteilfestigkeit	voll wirksame Verbindungen Verbindungen mit verminderter Tragfähigkeit, duktile Verbindungen (steif oder nachgiebig) deren Festigkeit gleich der des elastischen Bauteils ist Verbindungen mit voller Tragfähigkeit
VERFESTIGEND (starr-verfestigend elastisch-verfestigend allgemein inelastisch)	teilweise wirksame Verbindungen	voll wirksame Verbindungen

### L.8.3 Momentenübertragende Verbindungen

(1) Momentenübertragende Verbindungen übertragen zwischen den Bauteilen zusätzlich zu den Axial- und Querkräften auch die Biegemomente. Sie können entsprechend Steifigkeit und Tragfähigkeit folgendermaßen klassifiziert werden (siehe L.4 und L.5):

- steife Verbindungen;
- nachgiebige Verbindungen;
- Verbindungen mit voller Tragfähigkeit;
- Verbindungen mit verminderter Tragfähigkeit.

- (2) Eine steife Verbindung soll so bemessen sein, dass der Einfluss ihrer Verformung auf die Verteilung der Schnittkräfte und die Gesamtverformung des Tragwerkes vernachlässigbar ist.
- (3) Die Verformungen einer steifen Verbindung sollten die Tragfähigkeit des Tragwerkes um nicht mehr als 5 % vermindern.
- (4) Nachgiebige Verbindungen sollten einen mit der Bemessungs-Momenten-Rotationscharakteristik der Anschlüsse festgelegten vorhersagbaren Grad der Interaktion zwischen den Bauteilen haben.
- (5) steife und nachgiebige Verbindungen sollten die bei der Bemessung berechneten Kräfte und Momente übertragen können.
- (6) Die Steifigkeit von Verbindungen mit voller und solcher mit verminderter Tragfähigkeit sollte derart sein, dass unter den Bemessungslasten die Verdrehungen an den erforderlichen plastischen Gelenken deren Rotationskapazität nicht überschreiten.
- (7) Die Rotationskapazität einer an einem plastischen Gelenk vorliegenden Verbindung mit verminderter Festigkeit sollte so groß sein, dass sich alle erforderlichen plastischen Gelenke unter der Bemessungslast ausbilden können.
- (8) Die Rotationskapazität einer Verbindung kann experimentell nachgewiesen werden. Ein experimenteller Nachweis ist nicht erforderlich, wenn Details verwendet werden, die erfahrungsgemäß ausreichende Eigenschaften hinsichtlich der vorgesehenen Tragwirkung haben.

## Anhang M (informativ)

### Geklebte Verbindungen

#### M.1 Allgemeines

- (1) Tragende Anschlüsse in Aluminium können durch Kleben hergestellt werden.
- (2) Klebungen erfordern Fachkenntnisse und sollten mit großer Sorgfalt durchgeführt werden.
- (3) Die Bemessungshilfen in diesem Anhang M sollten nur angewendet werden, wenn:
  - in dem Anschluss planmäßig nur Scherkräfte übertragen werden (siehe M.3.1);
  - geeignete Klebstoffe verwendet werden (siehe M.3.2);
  - die Verfahren der Oberflächenvorbereitung vor dem Kleben den von der Anwendung gestellten Anforderungen genügen (siehe M.3.2(2)).
- (4) Die Verwendung eines Klebstoffes für wesentliche tragende Anschlüsse sollte nur dann erwogen werden, wenn umfangreiche Prüfungen — einschließlich Prüfungen hinsichtlich der Umgebungsbedingungen und falls zutreffend Ermüdungsversuche — seine Verwendbarkeit bestätigt haben.
- (5) Geklebte Anschlüsse sind beispielsweise geeignet für die Verbindung von Platten Steifen und andere Fälle mit geringer Beanspruchung.
- (6) Die Fläche zur Lastabtragung sollte so groß wie möglich sein. Mit der Vergrößerung der Breite des Anschlusses nimmt die Festigkeit üblicherweise proportional zu. Eine Steigerung der Länge ist nur bei kurzen Überlappverbindungen vorteilhaft. Längere Überlappungen haben insbesondere an den Enden der Überlappung stärkere Spannungskonzentrationen zur Folge.

#### M.2 Klebstoffe

- (1) Für Aluminiumtragwerke werden folgende Klebstoffarten empfohlen: ein- und zweikomponentige modifizierte Epoxide, modifizierte Acrylate, ein- und zweikomponentige Polyurethane. Für Rundklebungen (Steckklebungen) können auch anaerobe Klebstoffe eingesetzt werden.
- (2) Bei Wareneingang oder vor Verwendung des Klebstoffes kann dessen Frische mittels folgender Methoden geprüft werden:
  - chemische Analyse;
  - thermische Analyse;
  - Messung der Viskosität und des Festkörperanteils entsprechend einschlägiger EN-, prEN- und ISO-Klebstoffnormen.
- (3) Die Festigkeit eines geklebten Anschlusses hängt von den folgenden Faktoren ab:
  - a) der spezifischen Festigkeit des Klebstoffes selbst, die in genormten Prüfungen ermittelt werden kann (siehe ISO 11003-2);

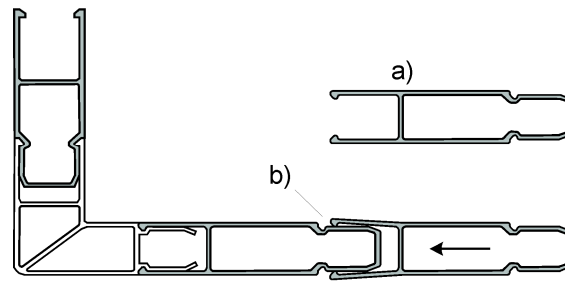
- b) der Legierung und insbesondere ihrer Dehngrenze, wenn diese überschritten wird, bevor die Klebung versagt;
  - c) der Oberflächenbehandlung: chemische Umwandlungsschichten und anodisch erzeugte Oxidschichten ergeben allgemein ein besseres Langzeitverhalten als Entfetten und mechanisches Aufrauen; die Verwendung von Primern ist möglich, wenn Haftungstests zeigen, dass Primer, Aluminiumlegierung und Klebstoff miteinander verträglich sind;
  - d) der Umgebung und Alterung: Wasser, feuchte Atmosphäre oder aggressive Umgebungsbedingungen können das Langzeitverhalten des Anschlusses drastisch negativ beeinflussen (insbesondere im Falle schlechter Oberflächenvorbehandlungen);
  - e) der Anordnung des Anschlusses und der zugehörigen Spannungsverteilung, d. h. dem Verhältnis ( $\tau_{\max}/\tau_{\text{mean}}$ ) der maximalen Scherspannung  $\tau_{\max}$  und dem Verhältnis ( $\sigma_{\max}/\tau_{\text{mean}}$ ) der maximalen Abschälspannung  $\sigma_{\max}$  zur mittleren Scherspannung  $\tau_{\text{mean}}$ . Beide Maximalwerte treten am Ende des Anschlusses auf. Die Spannungskonzentrationen sollten soweit wie möglich vermindert werden. Sie hängen von der Steifigkeit der Anordnung (Dicke und Elastizitätsmodul der zu verbindenden Bauteile) und der Überlappungslänge des Anschlusses ab.
- (4) Die Kenntnis der spezifischen Festigkeit des Klebstoffes reicht für die Ermittlung der Tragfähigkeit des Anschlusses nicht aus. Diese muss in Labortests unter Berücksichtigung der gesamten Anordnung, d. h. der Kombinationen von Legierung/Vorbehandlung/Klebstoff sowie Alterung oder Umgebungsbedingungen ermittelt werden (siehe M.3 und 2.5).
- (5) Die mit Probekörpern im Labor erhaltene Festigkeit sollte als Richtlinie dienen; das Verhalten des Anschlusses muss unter den tatsächlichen Bedingungen geprüft werden: dazu wird die Verwendung von Prototypen empfohlen (siehe M.3).

## M.3 Bemessung geklebter Verbindungen

### M.3.1 Allgemeines

(1) Bei geklebten Verbindungen sollte angestrebt werden, die Last durch Schubspannungen zu übertragen, Zugspannungen — insbesondere Abschälkräfte oder andere Kräfte, die den Anschluss zu öffnen versuchen — sollten vermieden oder durch ergänzende konstruktive Maßnahmen abgetragen werden. Weiterhin sollte eine gleichförmige Verteilung der Spannungen und eine für ein duktilen Versagen ausreichende Verformungsfähigkeit angestrebt werden.

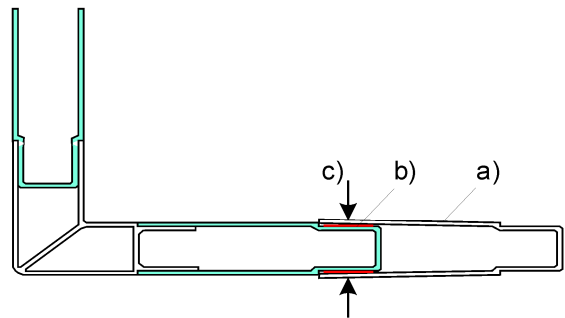
Eine ausreichende Verformungsfähigkeit ist vorhanden, wenn der Bemessungswert der Tragfähigkeit des Anschlusses größer ist als die Fließlast des angeschlossenen Bauteils.



**Legende**

- a) Strangpressprofil
- b) Einrasthaken

**Bild M.1 — Beispiel einer Schnappverbindung:  
Zugkräfte rechtwinklig zur Strangpressrichtung werden durch federnde Teile übertragen,  
die keine Schubkräfte in Längsrichtung übertragen**



**Legende**

- a) Strangpressprofil,
- b) Klebstoff auf der äußeren Oberfläche,
- c) Außendruck

**Bild M.2 — Beispiel durch Klebung verbundener Bauteile:  
Die Klebung überträgt Zugkräfte in Querrichtung durch Schubspannungen  
ebenso wie Schubkräfte in Strangpressrichtung**

**M.3.2 Charakteristische Festigkeit von Klebstoffen**

- (1) Für tragende Zwecke sollten hochfeste Klebstoffe verwendet werden (siehe Tabelle M.1). Jedoch sollten diese zur Vermeidung von Spannungs-/Dehnungskonzentrationen und, um ein duktiles Versagen zu ermöglichen, auch eine ausreichende Zähigkeit haben.
- (2) Die Oberflächenvorbereitung vor dem Kleben ist so zu wählen, dass der geklebte Anschluss während der Nutzungszeit des Tragwerkes den Anforderungen der Bemessung entspricht, siehe  $\overline{A_1}$  EN 1090-3  $\overline{A_1}$ .
- (3) Für tragende Anwendungen können die in Tabelle M.1 angegebenen charakteristischen Wert  $f_{V,adh}$  der Scherfestigkeit von Klebstoffen verwendet werden.

**Tabelle M.1 — Charakteristische Werte der Scherfestigkeit von Klebstoffen**

Klebstofftyp	$f_{v,adh}$ N/mm <sup>2</sup>
einkomponentige, wärmehärtende, modifizierte Epoxide	35
zweikomponentige, kalthärtende, modifizierte Epoxide	25
zweikomponentige, kalthärtende, modifizierte Acrylate	20

(4) Die in Tabelle M.1 aufgeführten Klebstofftypen können unter den in M.3.1 und M.3.2 angegebenen Bedingungen für tragende Anwendungen verwendet werden. Den in Tabelle M.1 angegebenen Werten liegen Ergebnisse umfangreicher Forschungen zugrunde. Nach M.4 dürfen auch größere Werte der Scherfestigkeit als die in Tabelle M.1 verwendet werden.

### M.3.3 Bemessungswert der Scherspannung

(1) Für den Bemessungswert der Scherspannung ist anzunehmen

$$\tau \leq \frac{f_{v,adh}}{\gamma_{Ma}} \quad (M.1)$$

Dabei ist

$\tau$  der Nennwert der Scherspannung in der Klebefuge;

$f_{v,adh}$  der charakteristische Wert der Scherfestigkeit des Klebers, siehe M.3.2;

$\gamma_{Ma}$  der Teilsicherheitsbeiwert für geklebte Anschlüsse, siehe 8.1.1.

ANMERKUNG Der große Wert von  $\gamma_{Ma}$  in 8.1.1 ist erforderlich weil:

- die Bemessung des Anschlusses nach der Scherfestigkeit des Klebstoffes erfolgt;
- die Festigkeit der Klebung erheblich streuen kann;
- nur geringe Erfahrung mit geklebten Anschlüssen vorliegen;
- die Festigkeit infolge Alterung abnimmt.

### M.4 Versuche

(1) Wenn geeignete Scherversuche durchgeführt werden, siehe auch ISO 11003, können größere Werte der Scherfestigkeit von Klebstoffen verwendet werden als die in Tabelle M.1 angegebenen Werte.

## Literaturhinweise

EN 1592-1, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — HF-längsnahtgeschweißte Rohre — Teil 1: Technische Lieferbedingungen*

EN 1592-2, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — HF-längsnahtgeschweißte Rohre — Teil 2: — Mechanische Eigenschaften*

EN 1592-3, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — HF-längsnahtgeschweißte Rohre — Teil 3: — Grenzabmaße und Formtoleranzen für Rundrohre*

EN 1592-4, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — HF-längsnahtgeschweißte Rohre — Teil 4: — Grenzabmaße und Formtoleranzen für quadratische, rechteckige und geformte Rohre*

