

## Anhang A (informativ)

### **A<sub>1</sub>** Differenzierung der Zuverlässigkeit

Archiv

#### 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 C<sub>Ci</sub> (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.

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

(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.:
- auf den Menschen betreffende Folgen, den ökonomischen oder den die Umwelt betreffenden Folgen bei Versagen des Tragwerks;
  - auf der Art der Belastung, d. h., ob das Tragwerk vorwiegend ruhender Belastung oder signifikanter Ermüdungsbeanspruchung unterworfen ist ;
  - 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.

Ⓐ1

## Anhang B (normativ)

### Äquivalenter T-Stummel mit Zugbeanspruchung

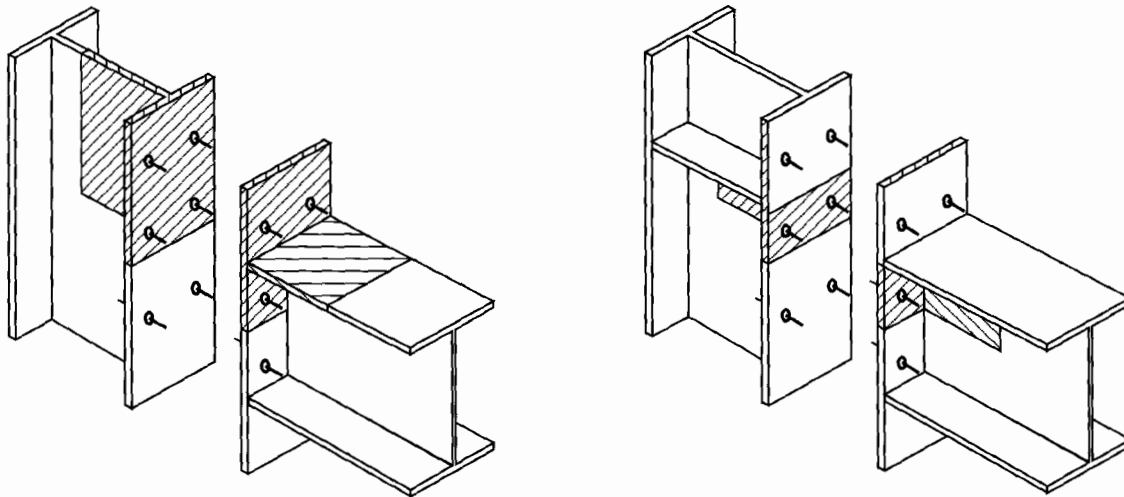
#### B.1 Allgemeine Regeln zur Bewertung der Tragfähigkeit

(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  $\Sigma l_{\text{eff}}$  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 ( $b$ ):

$$F_{u,Rd} = \frac{2(M_{u,1})_w + 2(M_{u,1})_b}{m} \quad (\text{B.1})$$

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 Nettofläche nach B.5 bewertet werden.

- Modus 2a: Flanschversagen durch Ausbildung von zwei Fließlinien und Schraubenkräfte an der elastischen Grenze:

$$F_{u,Rd} = \frac{2M_{u,2} + n \sum B_o}{m + n} \quad (\text{B.2})$$

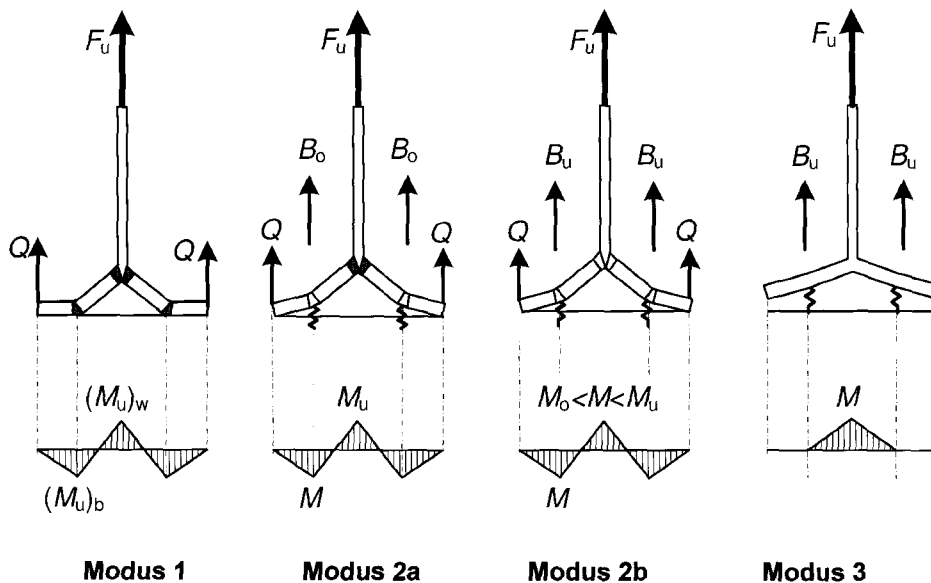


Bild B.2 — Versagensarten des äquivalenten T-Stummels

- Modus 2b: Schraubenversagen bei Fließen des Flansches an der Elastizitätsgrenze:

$$F_{u,Rd} = \frac{2M_{o,2} + n \sum B_u}{m + n} \quad (\text{B.3})$$

- Modus 3: Schraubenversagen:

$$F_{u,Rd} = \sum B_u \quad (\text{B.4})$$

mit

$$M_{u,1} = 0,25 \cdot t_f^2 \cdot \sum (l_{\text{eff},1} \rho_{u,haz} f_u) \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{\gamma_{M1}} \quad (\text{B.5})$$

Wenn der Querschnitt keine Schweißnaht enthält, ist  $\rho_{u,haz}$  mit 1 anzusetzen.

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

$$M_{u,2} = 0,25 \cdot t_f^2 \cdot \sum (l_{\text{eff},2} \rho_{u,\text{haz}} f_u) \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{\gamma_{M1}} \quad (\text{B.6})$$

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.

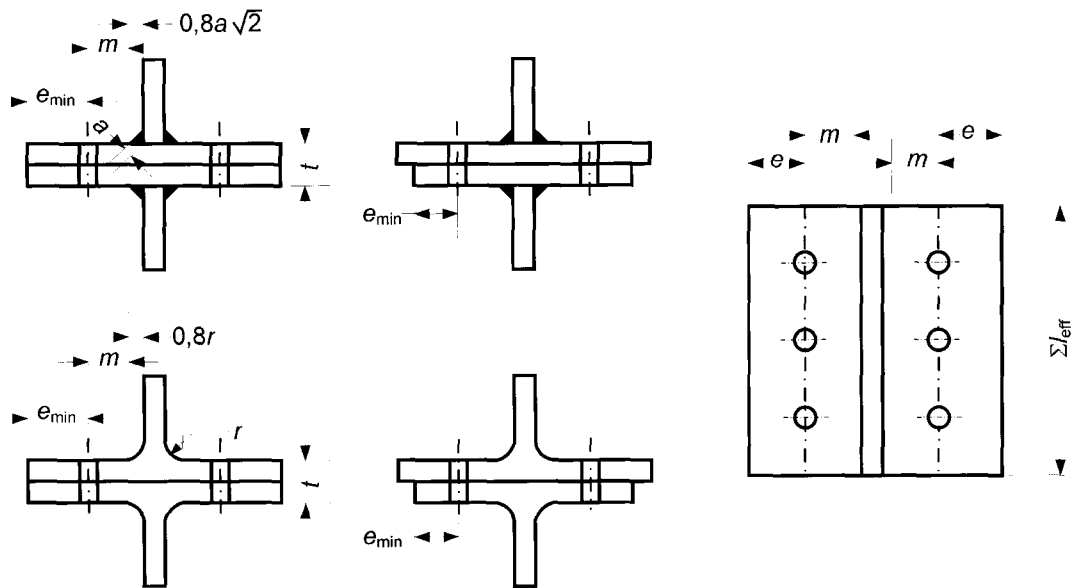


Bild B.3 — Abmessungen eines äquivalenten T-Stummels

(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 Schraubengruppe 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.

DIN EN 1999-1-1:2010-05  
EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)

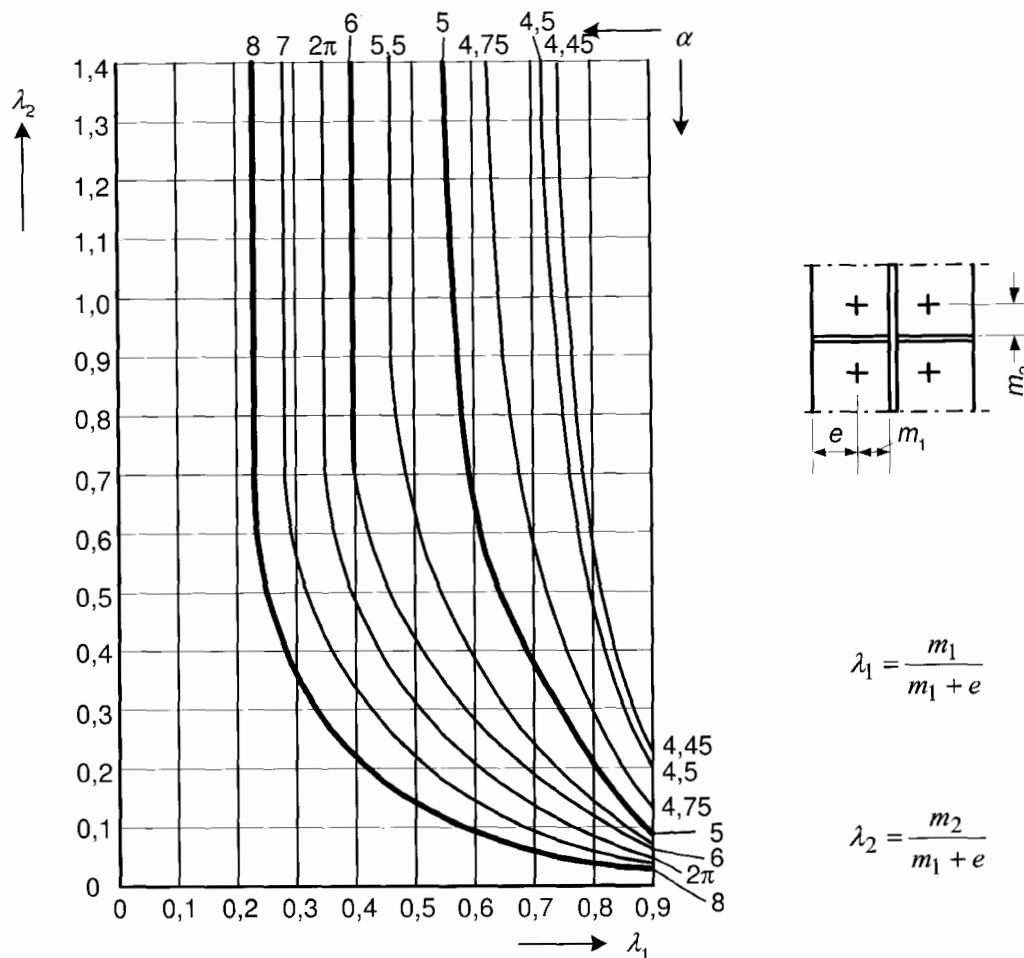
Tabelle B.1 — Wirksame Länge für unausgesteifte Flansche

Lage der Schraubenreihe	Alleine betrachtete Schraubenreihe		Als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen betrachtete Schraubenreihe	
	Kreisförmige Anordnungen $l_{\text{eff,cp}}$	Andere Anordnungen $l_{\text{eff,np}}$	Kreisförmige Anordnungen $l_{\text{eff,cp}}$	Andere Anordnungen $l_{\text{eff,np}}$
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:	$l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff,nc}}$ aber $l_{\text{eff},1} \leq l_{\text{eff,cp}}$		$\Sigma l_{\text{eff},1} = \Sigma l_{\text{eff,nc}}$ aber $\Sigma l_{\text{eff},1} \leq \Sigma l_{\text{eff,cp}}$	
Modus 2:	$l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff,nc}}$		$\Sigma l_{\text{eff},1} = \Sigma l_{\text{eff,nc}}$	
A1) ANMERKUNG Siehe Bilder 8.1 bis 8.4. A1				

Tabelle B.2 — Wirksame Länge für ausgesteifte Flansche

Lage der Schraubenreihe	Alleine betrachtete Schraubenreihe		Als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen betrachtete Schraubenreihe	
	Kreisförmige Anordnungen $l_{\text{eff,cp}}$	Andere Anordnungen $l_{\text{eff,np}}$	Kreisförmige Anordnungen $l_{\text{eff,cp}}$	Andere Anordnungen $l_{\text{eff,np}}$
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:	$l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff,nc}}$ aber $l_{\text{eff},1} \leq l_{\text{eff,cp}}$		$\Sigma l_{\text{eff},1} = \Sigma l_{\text{eff,nc}}$ aber $\Sigma l_{\text{eff},1} \leq \Sigma l_{\text{eff,cp}}$	
Modus 2:	$l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff,nc}}$		$\Sigma l_{\text{eff},1} = \Sigma l_{\text{eff,nc}}$	





**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.

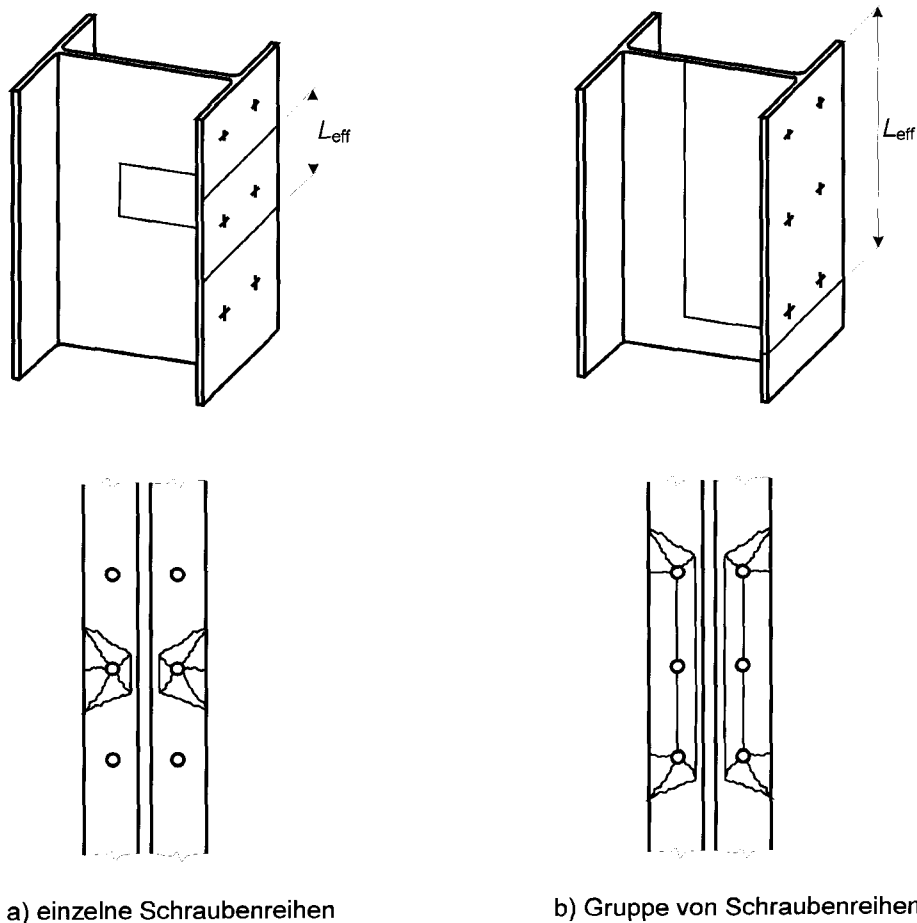
Bei der Abbildung einer Grundkomponente einer Verbindung durch äquivalente T-Stummelflansche können erforderlichenfalls mehrere äquivalente T-Stummel verwendet werden, wobei die Schraubenreihen entsprechend jedem äquivalenten T-Stummelflansch in verschiedene Gruppen unterteilt werden (siehe Bild B.1).

(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;

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

- 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  $\Sigma l_{\text{eff}}$  gleich der wirksamen Länge  $l_{\text{eff}}$  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  $\Sigma l_{\text{eff}}$  als Summe der wirksamen Längen  $l_{\text{eff}}$  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 Knethalbzeuge

##### 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 zurücklangt 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.

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

**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 vereinigt 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						
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.

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

**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 Spannungsrisskorrosion 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 Spannungsrisskorrosion 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 Spannungsrisskorrosion 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 Spannungsrisskorrosion auftreten kann, so sollte vor der Lieferung der Werkstoff einer Spannungsrisskorrosionsprüfung 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.

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

**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 Schweißeignung 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-44100 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:

- a) Bereiche mit Zugspannungen und Ausnutzungen des Bemessungswertes der Festigkeit von mehr als 70% (Bereiche H);
- b) Bereiche mit Zugspannungen und Ausnutzungen des Bemessungswertes der Festigkeit zwischen 70 % und 30 % (Bereiche M);
- c) Bereiche mit Druckspannungen und Ausnutzungen des Bemessungswertes der Festigkeit zwischen 100 % und 30 % (Bereiche M);
- d) Bereiche, in denen Ausnutzung des Bemessungswertes der Festigkeit kleiner als 30 % ist (Bereiche N);
- e) 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;

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

- 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  $\text{A1}$  EN 12681  $\text{A1}$  (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.

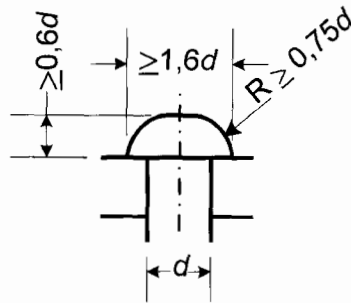


Bild C.1 — Mindestabmessungen des Kopfes von Massivnieten (ohne Ansenkung)

## **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, 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

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

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 **[A1]** EN 1090-3 **[A1]**. Bezüglich des Schutzes der Kontaktflächen Metall zu Metall sowie den Befestigungsmitteln bei Blechen für Dach und Wand siehe **[A1]** EN 508-2 **[A1]**.

(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.

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

(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 gegebenenfalls Bor enthalten.

(4) Nachfolgende Holzschutzmittel 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 pH < 5 und 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
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)		1 (2)		(1) (2)		1 (2)	z	1 (2)	X	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)		1 (2)		(1) (2)		(1) (2)		1 (2)	(Z)	1 2		1 2

Nds. MBl. Nr. 37 m/2012

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  $\text{A}_1$  EN 1090-3  $\text{A}_1$ ), 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:

$$\sigma = E\varepsilon \quad \text{für } \boxed{A_1} \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_p \quad \boxed{A_1} \quad (\text{E.1})$$

$$\sigma = f_p + E_1 (\varepsilon - \varepsilon_p) \quad \text{für} \quad \varepsilon_p < \varepsilon \leq \varepsilon_{\max} \quad (\text{E.2})$$

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  $f_u$   $\boxed{A_1}$  (siehe Bild E.1a und Abschnitt 3) oder  $f_p$  (siehe Bild E.1b)  $\boxed{A_1}$

$\varepsilon_{\max}$  0,5  $\varepsilon_u$

$\varepsilon_u$  Nennwert der Bruchdehnung  $\boxed{A_1}$  (siehe E.3)  $\boxed{A_1}$

$\varepsilon_p$   $f_0/E$

$E_1$   $(f_u - f_0)/(0,5 \varepsilon_u - \varepsilon_p)$

### E.2.1.2 Tri-lineares Modell

(1) Bei einem tri-linearen Modell mit Verfestigung (Bild E.2a) können die folgenden Beziehungen angesetzt werden:

$$\sigma = E\varepsilon \quad \text{für} \quad \boxed{A_1} \quad 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_p \quad \boxed{A_1} \quad (\text{E.3})$$

$$\sigma = f_p + E_1 (\varepsilon - \varepsilon_p) \quad \text{für} \quad \varepsilon_p < \varepsilon \leq \varepsilon_e \quad (\text{E.4})$$

$$\sigma = f_e + E_2 (\varepsilon - \varepsilon_e) \quad \text{für} \quad \varepsilon_e < \varepsilon \leq \varepsilon_{\max} \quad (\text{E.5})$$

Dabei ist

$f_p$   $\boxed{A_1}$  die konventionelle elastische Proportionalitätsgrenze (siehe E.2.1.2 (3));  $\boxed{A_1}$

$f_e$   $\boxed{A_1}$  die konventionelle Elastizitätsgrenze (siehe E.2.1.2 (3));  $\boxed{A_1}$

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

$\varepsilon_p$  die zu  $f_p$  gehörende Dehnung;

$\varepsilon_e$  die zu  $f_e$  gehörende Dehnung;

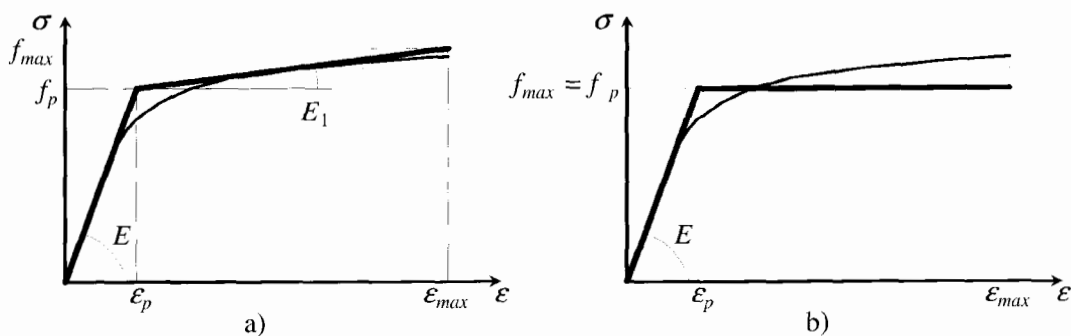
$\varepsilon_{max}$  die zu  $f_{max}$  gehörende Dehnung;

$E$  der Elastizitätsmodul;

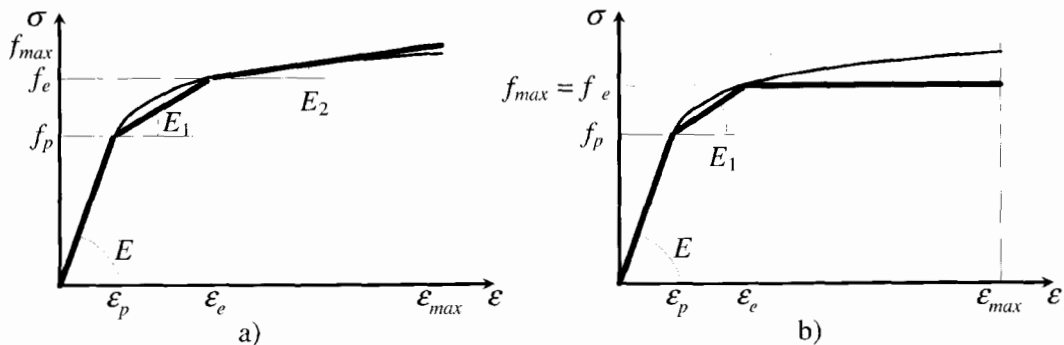
$E_1$  der Verfestigungsmodul im ersten Verfestigungsbereich;

$E_2$  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  $\varepsilon_e$  bis  $\varepsilon_{max}$  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:

$$f_p = f_{0,01}$$

$$f_e = \text{Nennwert von } f_o \text{ (siehe Abschnitt 3)}$$

$$f_{max} = \text{Nennwert von } f_u \text{ (siehe Bilder E.2a und Abschnitt 3) oder } f_e \text{ (Siehe Bild E.2b)}$$

$$\varepsilon_u = \text{Nennwert der Bruchdehnung (siehe E.3)}$$

$$\varepsilon_{\max} = 0,5 \varepsilon_u$$

$$\varepsilon_p = f_{0,01} / E$$

$$E_1 = (f_e - f_p) / (\varepsilon_e - \varepsilon_p)$$

$$E_2 = (f_{\max} - f_e) / (\varepsilon_{\max} - \varepsilon_e) \text{ in Bild E.2 a) } \overline{A1}$$

## 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  $\overline{A1} 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_p \overline{A1}$  mit  $\varepsilon_p = 0,5 \bar{\varepsilon}_e$  und  $\bar{\varepsilon}_e = f_e / E$

$$\sigma = E \varepsilon \quad (E.6)$$

Bereich 2: für  $\varepsilon_p < \varepsilon \leq 1,5 \bar{\varepsilon}_e \quad \overline{A1}$  gestrichener Text  $\overline{A1}$

$$\sigma = f_e \left[ -0,2 + 1,85 \frac{\varepsilon}{\bar{\varepsilon}_e} - \left( \frac{\varepsilon}{\bar{\varepsilon}_e} \right)^2 + 0,2 \left( \frac{\varepsilon}{\bar{\varepsilon}_e} \right)^3 \right] \quad (E.7)$$

Bereich 3: für  $1,5 \bar{\varepsilon}_e < \varepsilon \leq \varepsilon_{\max}$

$$\sigma = f_e \left[ \frac{f_{\max}}{f_e} - 1,5 \left( \frac{f_{\max}}{f_e} - 1 \right) \frac{\bar{\varepsilon}_e}{\varepsilon} \right] \quad (E.8)$$

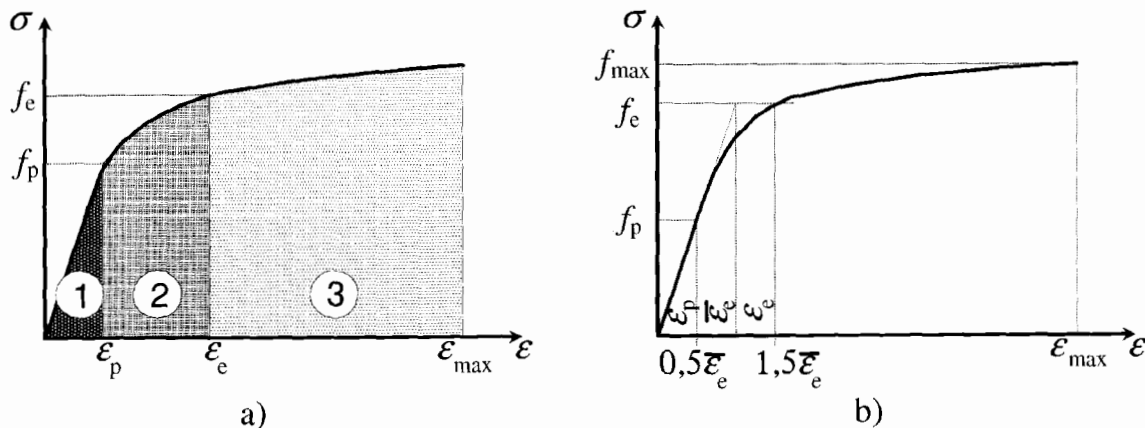
**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

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  $f_0$  (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):

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} + \epsilon_{0,e} \left( \frac{\sigma}{f_e} \right)^n \tag{E. A1} 9 \tag{A1}$$



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:

$$n = \frac{\ln(\varepsilon_{0,e} / \varepsilon_{0,x})}{\ln(f_e / f_x)} \quad (\text{E. A1}) 10 (\text{A1})$$

(3) Als konventionelle Elastizitätsgrenze kann die Streckgrenze  $f_0$  angesetzt werden, die sich als der Wert bei einer bleibenden Dehnung von 0,2 % ergibt, d. h.:

$$f_e = f_0$$

$$\varepsilon_{0,e} = 0,002$$

und die Gleichung für das Modell lautet:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + 0,002 \left( \frac{\sigma}{f_0} \right)^n \quad \text{und} \quad n = \frac{\ln(0,002 / \varepsilon_{0,x})}{\ln(f_0 / f_x)} \quad (\text{E. A1}) 11 (\text{A1})$$

DIN EN 1999-1-1:2010-05  
EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)

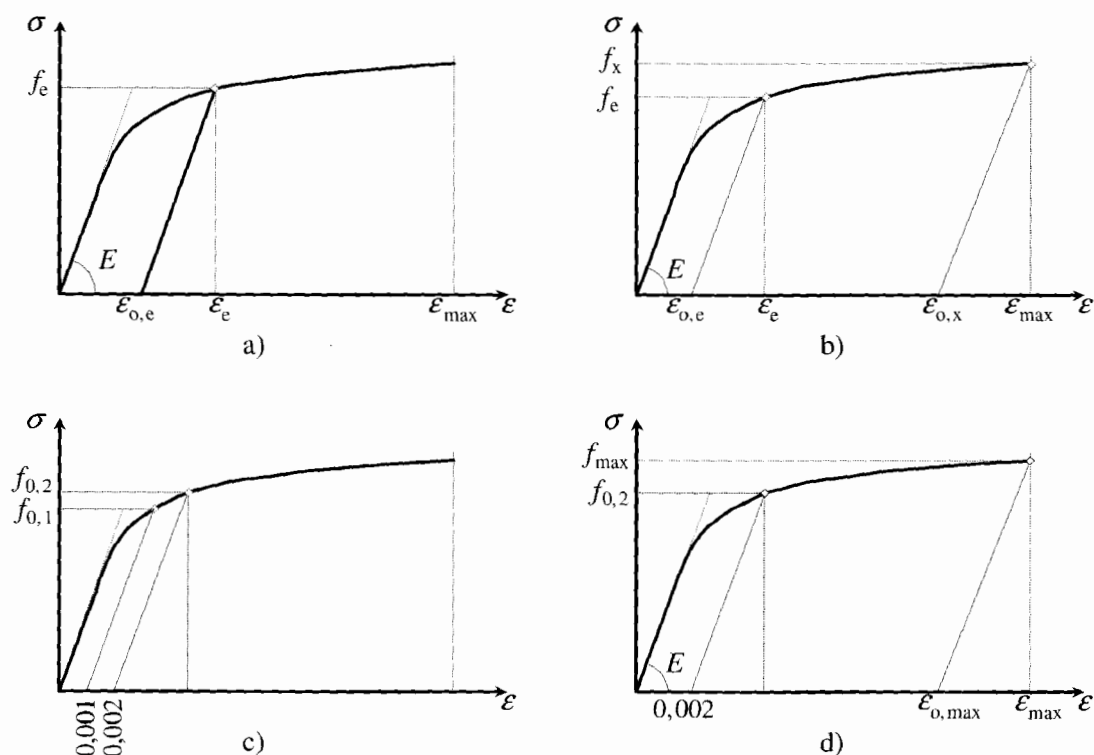


Bild E.4 — Kontinuierliche Modelle der Form  $\varepsilon = \varepsilon(\sigma)$

(4) Der zweite Bezugspunkt ( $f_x - \varepsilon_{o,x}$ ) 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:

$$f_x = f_{0,1}$$

$$\varepsilon_{o,x} = 0,001$$

und deshalb

$$\boxed{A_1} n = \frac{\ln 2}{\ln(f_o / f_{0,1})} \boxed{A_1} \quad (\text{E. } \boxed{A_1} 12 \boxed{A_1})$$

- 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:

$$f_x = f_{\max}$$

$$\varepsilon_{o,x} = \varepsilon_{o,\max} = \text{zu } f_{\max} \text{ gehörende bleibende Dehnung}$$

und deshalb

$$\boxed{\text{A1}} \quad n = \frac{\ln(0,002 / \varepsilon_{o,\max})}{\ln(f_o / f_{\max})} \quad \boxed{\text{A1}} \quad (\text{E. } \boxed{\text{A1}} \text{ } 13 \quad \boxed{\text{A1}})$$

$\boxed{\text{A1}}$  (5) Aufgrund von umfangreichen Versuchen können anstatt der in E.2.2.2 (4) angegebenen Werte die folgenden Werte angenommen werden:  $\boxed{\text{A1}}$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + 0,002 \left( \frac{\sigma}{f_o} \right)^n \quad (\text{E. } \boxed{\text{A1}} \text{ } 14 \quad \boxed{\text{A1}})$$

Dabei ist

a) elastischer Bereich ( $f_x = f_p$ ,  $\varepsilon_p = 0,000\,001$ )

$$n = \frac{\ln(0,000\,001 / 0,002)}{\ln(f_p / f_o)} \quad (\text{E. } \boxed{\text{A1}} \text{ } 15 \quad \boxed{\text{A1}})$$

wobei die Proportionalitätsgrenze  $f_p$  nur vom Wert der Streckgrenze  $f_o$  abhängt:

$$f_p = f_{0,2} - 2\sqrt{10 f_{0,2} (\text{N/mm}^2)} \quad \text{wenn } f_{0,2} > 160 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{E. } \boxed{\text{A1}} \text{ } 16 \quad \boxed{\text{A1}})$$

$$f_p = f_{0,2} / 2 \quad \text{wenn } f_{0,2} \leq 160 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{E. } \boxed{\text{A1}} \text{ } 17 \quad \boxed{\text{A1}})$$

b) plastischer Bereich ( $f_x = f_u$ )

$$n = n_p = \frac{\ln(0,002 / \varepsilon_u)}{\ln(f_o / f_u)} \quad (\text{E. } \boxed{\text{A1}} \text{ } 18 \quad \boxed{\text{A1}})$$

### 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:

$$\varepsilon_u = 0,30 - 0,22 \frac{f_o (\text{N/mm}^2)}{400} \quad \text{wenn } f_o < 400 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{E. } \boxed{\text{A1}} \text{ } 19 \quad \boxed{\text{A1}})$$

$$\varepsilon_u = 0,08 \quad \text{wenn } f_o \geq 400 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{E. } \boxed{\text{A1}} \text{ } 20 \quad \boxed{\text{A1}})$$

**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 Tragverhalten 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).

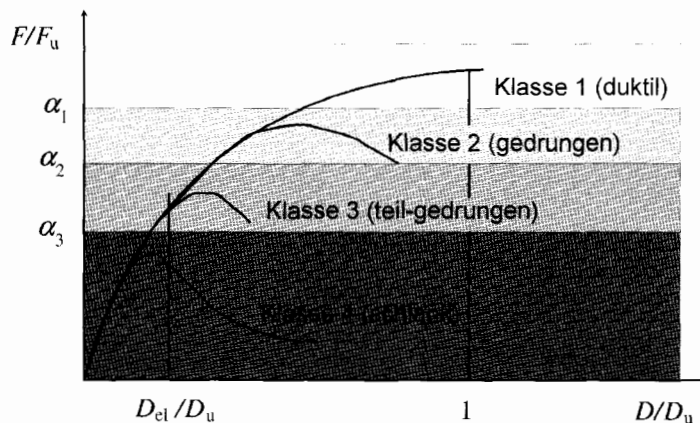


Bild F.1 — Klassifizierung von Querschnitten

(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.

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

#### 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:

$$N_{Ed} = \alpha_{N,j} A f_d \quad (\text{F.1})$$

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 Tragemomentes

(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:

$$M_{Rd} = \alpha_{M,j} W_{el} f_d \quad (\text{F.2})$$

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:

$$\chi_u = \xi \chi_{el} \quad (\text{G.1})$$

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  $4 \% \leq \varepsilon_U \leq 8 \%$ , für die  $\xi = 5$  angenommen werden kann;
- duktile Legierungen mit  $\varepsilon_U \geq 8 \%$ , 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:

$$\frac{\chi}{\chi_{0,2}} = \frac{M}{M_{0,2}} + k \left[ \frac{M}{M_{0,2}} \right]^m \quad (\text{G.2})$$

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:

$$m = \frac{\ln[(10 - \alpha_{10})(5 - \alpha_5)]}{\ln(\alpha_{10} / \alpha_5)} \quad (\text{G.3})$$

$$k = \frac{5 - \alpha_5}{\alpha_5 m} = \frac{10 - \alpha_{10}}{\alpha_{10} m} \quad (\text{G.4})$$



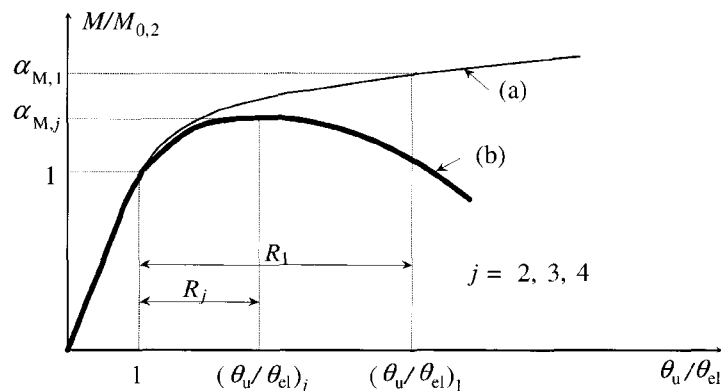
—  $\alpha_5$  und  $\alpha_{10}$  sind die verallgemeinerten Formbeiwerte, die den Krümmungswerten entsprechen, die das 5- oder 10-fache der elastischen Krümmung betragen.

(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):

$$R = \frac{\theta_p}{\theta_{el}} = \frac{\theta_u - \theta_{el}}{\theta_{el}} = \frac{\theta_u}{\theta_{el}} - 1 \quad (\text{G.5})$$

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:

$$R = \alpha_{M,j} \left( 1 + 2 \frac{k \alpha_{M,j}^{m-1}}{m+1} \right) - 1 \quad (\text{G.6})$$

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:

$$\alpha_5 = 5 - (3,89 + 0,00190n) / \alpha_0^{(0,270 + 0,0014n)} \quad (\text{G.7})$$

$$\alpha_{10} = \alpha_0^{[0,211 \log(1000n)]} \times 10^{[7,96 \times 10^{-2} - 8,09 \times 10^{-2} \log(n/10)]} \quad (\text{G.8})$$

$\alpha_0 = W_{pl}/W$  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

$$A_{f,\text{net}} 0,9 f_u / \gamma_{M2} \geq A_f f_o / \gamma_{M1} \quad (\text{H.1})$$

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 Momententragfähigkeit im betroffenen Querschnitt abgenommen hat,
- $A_f$  ist die Querschnittsfläche des Zugflansches und  $A_{f,\text{net}}$  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:

$$M_u = \alpha_0 \eta f_0 W_{el} \quad (\text{H.2})$$

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:

$$M_u = \alpha_\xi \eta f_0 W_{el} \quad (\text{H.3})$$

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:

$$\eta = \frac{1}{a - b/n_p^c}, \text{ aber } \eta \leq \frac{f_u / \gamma_{M2}}{f_0 / \gamma_{M1}} \quad (\text{H.4})$$

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.

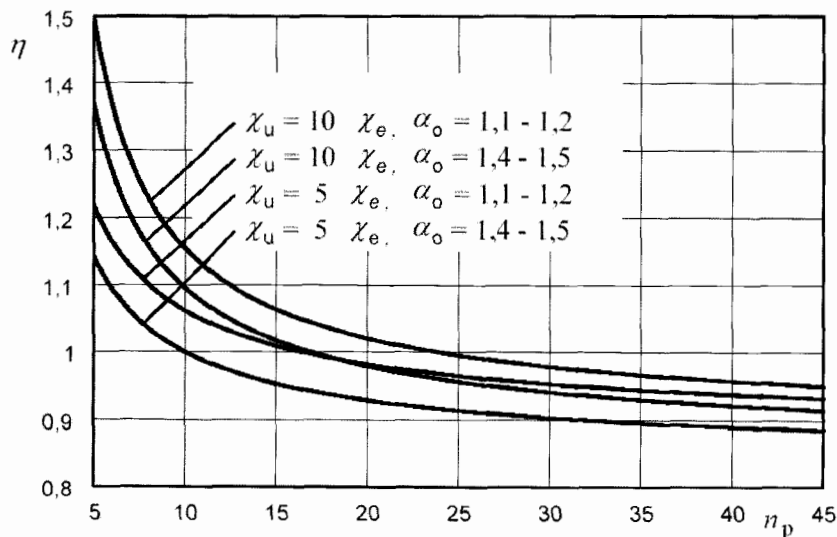


Bild H.1 — Werte des Korrekturbeiwertes  $\eta$

DIN EN 1999-1-1:2010-05  
EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)

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	duktiler Legierungen	spröde Legierungen	duktiler Legierungen
	$(\chi_u = 5\chi_e)$	$(\chi_u = 10\chi_e)$	$(\chi_u = 5\chi_e)$	$(\chi_u = 10\chi_e)$
$a$	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:

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} \quad (1.2)$$

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  $S_D$  in Bild I.1).

Bei  $I$ -Querschnitten mit ungleichen Gurten ohne Lippen und näherungsweise auch bei solchen mit Lippen ist:

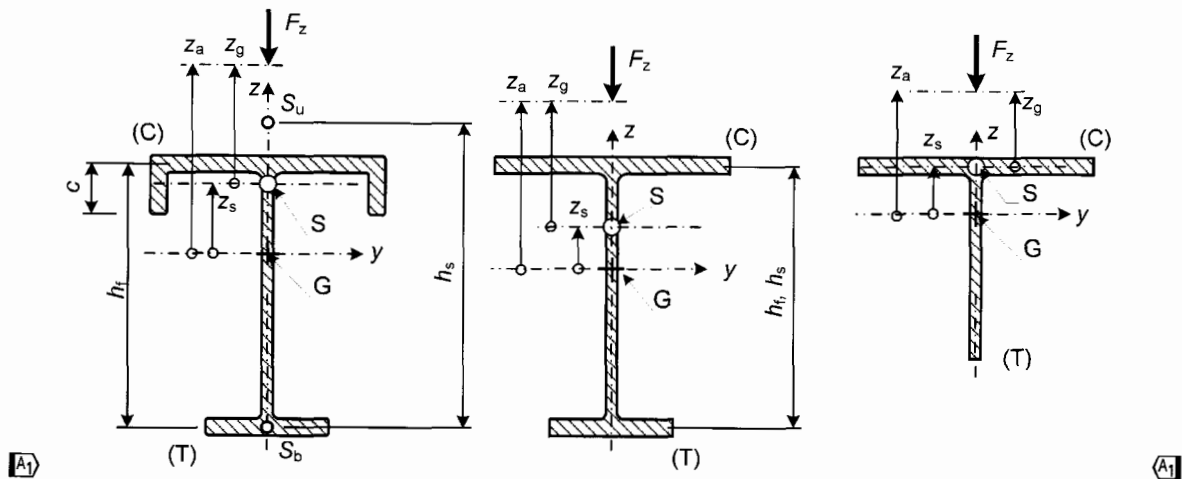
$$I_w = (1 - \psi_f^2) I_z (h_s / 2)^2 \quad (1.5)$$

(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.

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**



**Legende**

(C) Druckseite, S Schubmittelpunkt,  $S_u, S_b$  sind die Schubmittelpunkte von Obegurt und Untegurt  
 (T) Zugseite, G Schwerpunkt

**Bild I.1 — Bezeichnungen und Vorzeichenvereinbarungen für beidseitig gelagerte Einfeldträger unter Gewichtslasten ( $F_z$ ) oder Kragträger unter nach oben gerichteten Lasten ( $- F_z$ )**

(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:

$$C_1 = (0,310 + 0,428\psi + 0,262\psi^2)^{-0,5} \quad (I.6)$$

(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  $\psi_f$  in I.1.4(1) überein. Bei der Ermittlung von  $\psi_f$  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	$k_z^{2)}$	Werte der Beiwerte					
			$C_1^{1)}$		$C_3$			
			$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	$\psi_f = -1$ 	$-0,9 \leq \psi_f \leq 0$ 	$0 \leq \psi_f \leq 0,9$ 	$\psi_f = 1$ 
 $k_y = 1, k_w = 1$  $\psi_f \geq 0$  $\psi_f \leq 0$	 $M_{cr} \quad \psi = +1$	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	
		0,5	1,000	1,127	1,019			
	 $M_{cr} \quad \psi = +3/4$	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			
		0,5	1,139	1,285	1,017			
	 $M_{cr} \quad \psi = +1/2$	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			
		0,5	1,310	1,482	1,150	1,000		
 $M_{cr} \quad \psi = +1/4$	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				
	0,5	1,516	1,730	1,350	1,000			
 $M_{cr} \quad \psi = 0$	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				
	0,5	1,753	2,027	1,500	1,000			
 $M_{cr} \quad \psi = -1/4$	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	

$$\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}}$$

DIN EN 1999-1-1:2010-05  
EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)

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>		$C_3$			
			$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	$\psi_f = -1$ $\begin{matrix} \curvearrowright \perp \\ \curvearrowleft \perp \end{matrix}$	$-0,9 \leq \psi_f \leq 0$ $\begin{matrix} \curvearrowleft \perp \curvearrowleft \perp \\ \curvearrowleft \perp \end{matrix}$	$0 \leq \psi_f \leq 0,9$ $\begin{matrix} \curvearrowleft \perp \curvearrowright \perp \\ \curvearrowleft \perp \end{matrix}$	$\psi_f = 1$ $\begin{matrix} \curvearrowleft \perp \\ \curvearrowright \perp \\ \curvearrowleft \perp \end{matrix}$
	$\psi = -1/2$	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
	$\psi = -3/4$	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
	$\psi = -1$	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							
	$k_y$	$k_z$	$k_w$	$C_1^{1)}$		$C_2$			$C_3$		
				$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	$\perp$ $\psi_f = -1$	$\text{I I I}$ $-0,9 \leq \psi_f \leq 0,9$	$\text{T}$ $\psi_f = 1$	$\perp$ $\psi_f = -1$	$\text{I I I}$ $-0,9 \leq \psi_f \leq 0,9$	$\text{T}$ $\psi_f = 1$
	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 Biegedrillnickmomentes  $M_{cr}$  gelten für den Querschnitt, in dem  $M_{fmax}$  vorliegt.

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

**I.1.3 Träger mit konstantem Querschnitt, der zur starken Achse symmetrisch, zentralsymmetrisch oder doppelsymmetrisch ist**

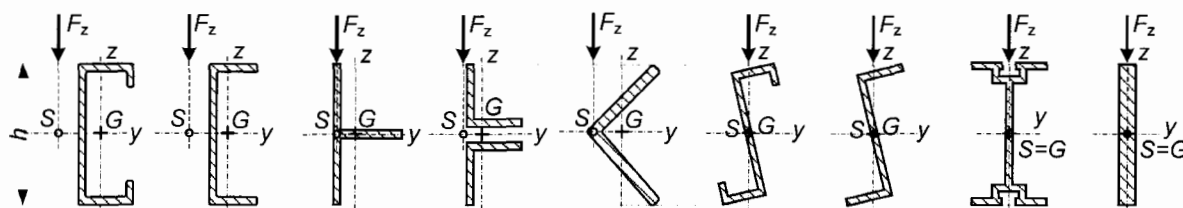
(1) Bei im Schubmittelpunkt rechtwinklig zur starken Achse belasteten Trägern mit konstantem Querschnitt, der zur starken Achse symmetrisch, zentralsymmetrisch oder doppelsymmetrisch ist, Bild I.2, ist  $z_j = 0$  und damit

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g)^2} - C_2 \zeta_g \right] \quad (I.7)$$

(2) Bei Belastung durch Endmomente ist  $C_2 = 0$  und bei Belastungen im Schubmittelpunkt ist  $z_g = 0$ . In diesen Fällen wird:

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} \quad (I.8)$$

(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 doppelsymmetrisch 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:

$$C_1 = \frac{1,7 |M_{\max}|}{\sqrt{M_{0,25}^2 + M_{0,5}^2 + M_{0,75}^2}} \leq 2,5, \quad (I.9)$$

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.

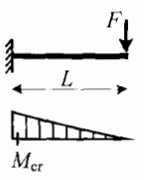
(6) Bei Durchlaufträgern kann das folgende Näherungsverfahren angewendet werden. Der Einfluss der der Kontinuität in Querrichtung an den Übergangsstellen zwischen den einzelnen Abschnitten bleibt unberücksichtigt, und für jeden Abschnitt wird in Querrichtung eine gelenkige Lagerung angesetzt. Auf diese 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.

**1.1.4 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	$\frac{\pi}{L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}}$ $= k_w k_{wt} = k_{wt0}$	$\frac{\pi z_g}{L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}}$ $= k_z \zeta_g = \zeta_{g0}$	$\frac{\pi z_j}{L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = k_z \zeta_j = \zeta_{j0}$		$\frac{\pi z_j}{L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = k_z \zeta_j = \zeta_{j0}$				
			$\begin{matrix} \uparrow (T) \\ \downarrow (C) \end{matrix}$	$\begin{matrix} \uparrow (C) \\ \downarrow (T) \end{matrix}$	-4	-2	-1	0	1
	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	

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

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:

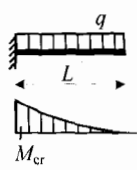
$$C_1 = 2,56 + 4,675\kappa_{wt} - 2,62\kappa_{wt}^2 + 0,5\kappa_{wt}^3, \quad \text{wenn } \kappa_{wt} \leq 2$$

$$C_1 = 5,55, \quad \text{wenn } \kappa_{wt} > 2$$

$$C_2 = 1,255 + 1,566\kappa_{wt} - 0,931\kappa_{wt}^2 + 0,245\kappa_{wt}^3 - 0,024\kappa_{wt}^4, \quad \text{wenn } \zeta_g \geq 0$$

$$C_2 = 0,192 + 0,585\kappa_{wt} - 0,054\kappa_{wt}^2 - (0,032 + 0,102\kappa_{wt} - 0,013\kappa_{wt}^2) \zeta_g, \quad \text{wenn } \zeta_g < 0$$

**Tabelle I.4 — Bezogenes dimensionsloses ideales Biegedrillknickmoment  $\mu_{cr}$  für Kragträger**  
 ( $k_y = k_z = k_w = 2$ ) unter Gleichstreckenlast  $q$

Belastung und Auflagerbedingungen	$\frac{\pi}{L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = k_w \kappa_{wt} = \kappa_{wt0}$	$\frac{\pi z_g}{L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = k_z \zeta_g = \zeta_{g0}$	$\begin{matrix} \updownarrow^{(T)} \\ \updownarrow^{(C)} \end{matrix}$		$\frac{\pi z_j}{L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = k_z \zeta_j = \zeta_{j0}$				
			-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

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

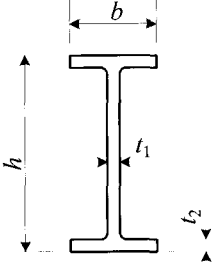
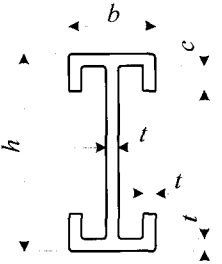
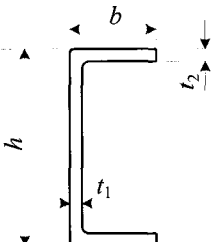
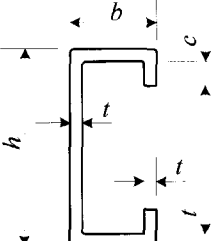
$X$  und  $Y$  die mit Tabelle I.5 bestimmten Beiwerte sind. Für C-Profile (Profil 18 in Tabelle I.8) ist  $X = 0,95$  und  $Y = 0,071$ . Der Ansatz  $X = 1,0$  and  $Y = 0,05$  liegt in jedem Falle auf der sicheren Seite.

(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> 	$1,5 \leq h/b \leq 4,5$ $0 \leq c/b \leq 0,5$	$X = 1,01 - (0,03 - 0,06c/b)h/b - 0,3c/b$ $Y = 0,07 - 0,10c/h$

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

### 1.3 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 1.1.1,

$L$  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 1.6. Die Symbole für die Torsionsrandbedingungen sind in Tabelle 1.7 erklärt.

Tabelle I.6 — Werte von  $\alpha_{yw}$  und  $\alpha_{zw}$  für Kombinationen der Biege- und Torsionsrandbedingungen

Biege- 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

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

(2) Bei zur z-Achse symmetrischen Querschnitten ist  $y_s = 0$  und Gleichung (I.13) hat die Lösungen:

$$N_{cr,1} = N_{cr,y} \quad (\text{Biegeknicke}) \quad (I.18)$$

$$N_{cr,2,3} = \frac{1}{2(1 - \alpha_{zw} z_s^2 / i_s^2)} \left[ (N_{cr,z} + N_{cr,T}) \mp \sqrt{(N_{cr,z} + N_{cr,T})^2 - 4N_{cr,z}N_{cr,T}(1 - \alpha_{zw} z_s^2 / i_s^2)} \right]$$

(Biegedrillknicken) (I.19)

(3) Bei doppelsymmetrischen Querschnitten ist  $y_s = 0$  und  $z_s = 0$  und Gleichung (I.13) hat die Lösungen:

$$N_{cr,1} = N_{cr,y}, \quad N_{cr,2} = N_{cr,z} \quad (\text{Biegeknicke}) \quad \text{und}$$

$$N_{cr,3} = N_{cr,T} \quad (\text{Drillknicken})$$

(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 Biegeknicke (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.

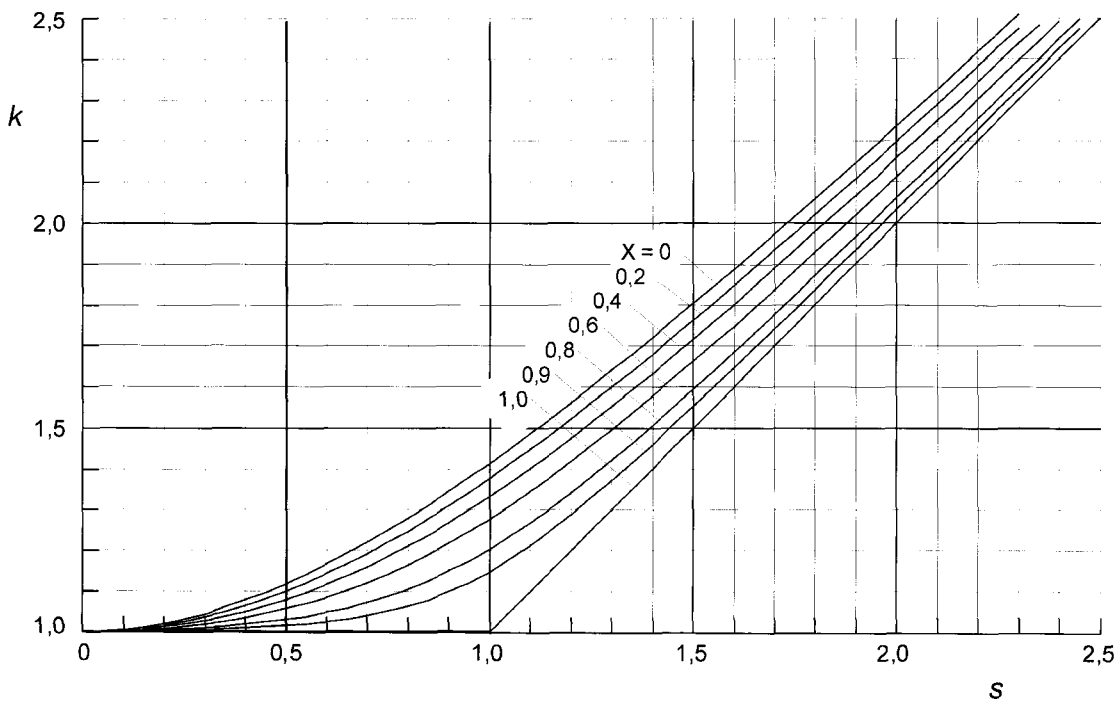
$\lambda_t$  ergibt sich auf folgende Weise:

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

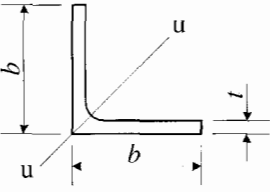
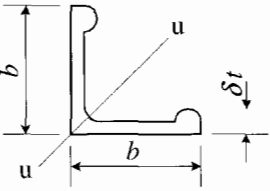
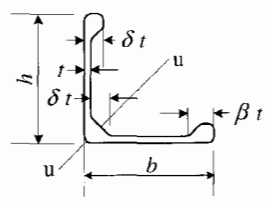
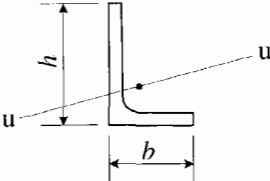
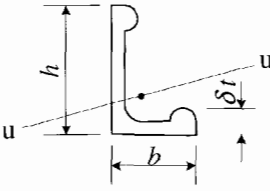
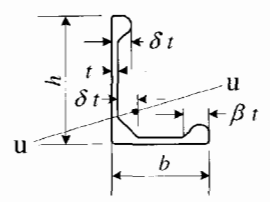
<p>1</p> 	<p><math>\rho \leq 5</math> zu <math>\rho</math> siehe Anmerkung 3</p>	<p><math>\lambda_0 = 5b/t - 0,6\rho^{1,5} (b/t)^{0,5}</math> <math>s = \lambda_u / \lambda_0</math> <math>X = 0,6</math></p>
<p>2</p> 	<p><math>\rho \leq 5</math> <math>1 \leq \delta \leq 2,5</math> zu <math>\rho</math> 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)

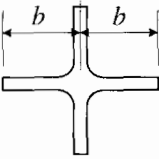
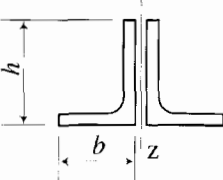
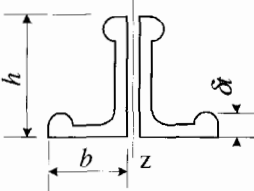
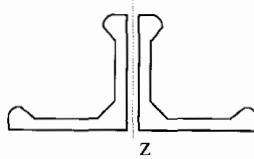
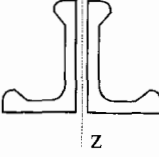
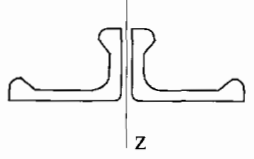
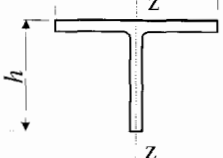
<p>7</p> 	<p><math>\rho \leq 3,5</math> zu <math>\rho</math> siehe Anmerkung 3</p>	<p><math>\lambda_0 = 5,1b/t - \rho^{1,5}(b/t)^{0,5}</math> <math>X = 1</math></p>
<p>8</p> 	<p><math>\rho \leq 5</math> <math>0,5 \leq h/b \leq 2</math> zu <math>\rho</math> siehe Anmerkung 3</p>	<p><math>\lambda_0 = \left[ 4,4 + 1,1(b/h)^2 \right] b/t - 0,7\rho^{1,5}(b/t)^{0,5}</math> <math>s = \lambda_z / \lambda_0</math> <math>X = 1,1 - 0,3h/b</math></p>
<p>9</p> 	<p><math>\rho \leq 5</math> <math>0,5 \leq h/b \leq 2</math> <math>1 \leq \delta \leq 2,5</math> zu <math>\rho</math> siehe Anmerkung 3</p>	<p><math>\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</math> <math>s = \lambda_z / \lambda_0</math> <math>X = 1,1 - 0,3h/b</math></p>
<p>10</p> 	<p>Querschnitt der Winkel wie in Fall 3</p>	<p><math>\lambda_0 = 70</math> <math>s = \lambda_z / \lambda_0</math> <math>X = 0,83</math></p>
<p>11</p> 	<p>Querschnitt der Winkel wie in Fall 6</p>	<p><math>\lambda_0 = 60</math> <math>s = \lambda_z / \lambda_0</math> <math>X = 0,76</math></p>
<p>12</p> 	<p>Querschnitt der Winkel wie in Fall 6</p>	<p><math>\lambda_0 = 63</math> <math>s = \lambda_z / \lambda_0</math> <math>X = 0,89</math></p>
<p>13</p> 	<p><math>\rho \leq 3,5</math> <math>0,5 \leq h/b \leq 2</math> zu <math>\rho</math> siehe Anmerkung 3</p>	<p><math>\lambda_0 = (1,4 + 1,5b/h + 1,1h/b)h/t - \rho^{1,5}(h/t)^{0,5}</math> <math>s = \lambda_z / \lambda_0</math> <math>X = 1,3 - 0,8h/b + 0,2(h/b)^2</math></p>

Table I.8 (fortgesetzt)

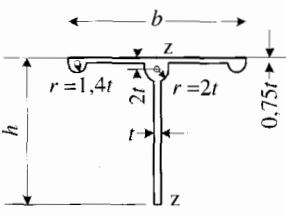
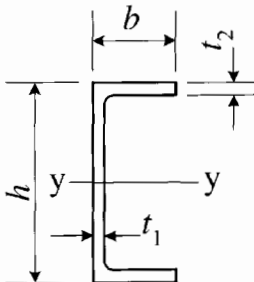
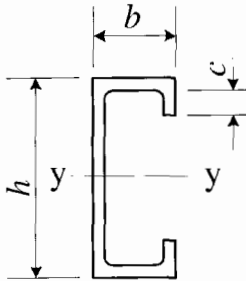
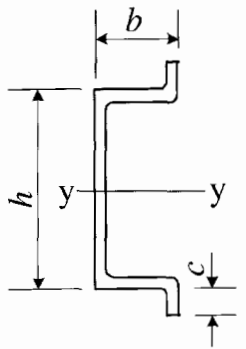
<p>14</p> 	<p><math>h/t = 25</math> <math>b/h = 1,2</math> <math>r_i/t = 0,5</math></p> <p>zu <math>r_i</math> siehe Anmerkung 3</p>	<p><math>\lambda_0 = 65</math> <math>s = \lambda_z / \lambda_0</math> <math>X = 0,78</math></p>
<p>15</p> 	<p><math>1 \leq h/b \leq 3</math> <math>1 \leq t_2/t_1 \leq 2</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)

18		$h/t = 32$ $b/h = 0,5$ $r_i/t = 2$  zu $r_i$ siehe Anmerkung 3	$\lambda_0 = 126$ $s = \lambda_y / \lambda_t$ $X = 0,59$ $Y = 0,104$
----	--	---	---

ANMERKUNG 1 Die Querschnitte haben, abgesehen von den Fällen 14 und 15, die gleiche Dicke  $t$  in den ebenen Querschnittsteilen

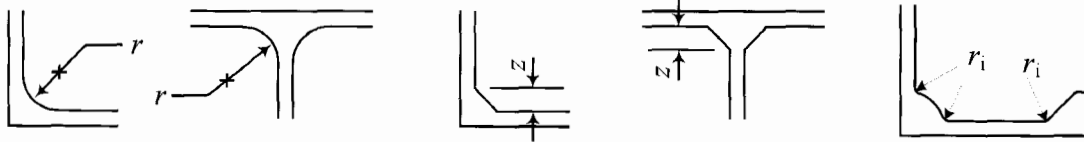
ANMERKUNG 2  $\lambda_u, \lambda_y$  oder  $\lambda_z$  sind die Schlankheitsgrade für Biegeknicken um die Achsen  $u, y$  oder  $z$

ANMERKUNG 3  $\rho$  ist ein Beiwert, der auf folgende Weise von der Fläche an der einspringenden Querschnittsecke abhängt:

gerundete Kehle  $\rho = r/t$

45° Kehlen  $\rho = 1,6 z/t$

$r_i$  ist der innere Radius



ANMERKUNG 4 Die Angaben für  $\lambda_0, X$  und  $Y$  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  $2t$ .

## 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.

DIN EN 1999-1-1:2010-05  
EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)

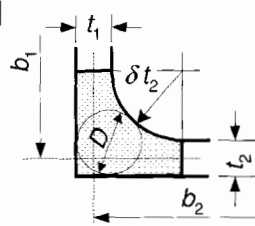
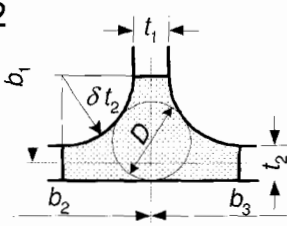
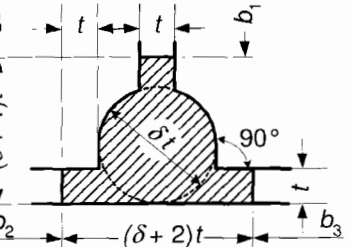
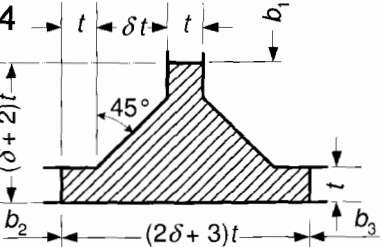
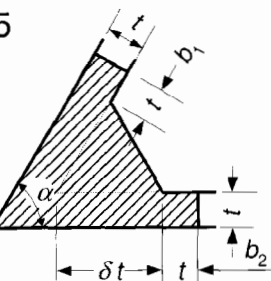
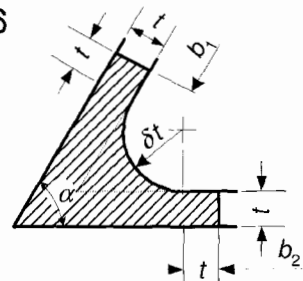
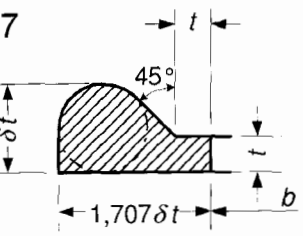
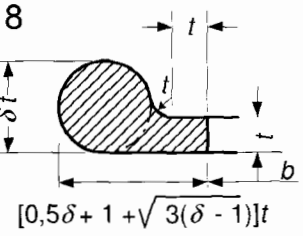
<p>1</p>  <p> <math>\alpha = (0,07\delta + 0,076) \frac{t_1}{t_2}</math>  <math>1 \leq \delta \leq 2</math>  <math>1 \leq \frac{t_2}{t_1} \leq 5</math> </p>	<p>2</p>  <p> <math>\alpha = (0,10\delta + 0,15) \frac{t_1}{t_2}</math>  <math>1 \leq \delta \leq 2</math>  <math>1 \leq \frac{t_2}{t_1} \leq 5</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)

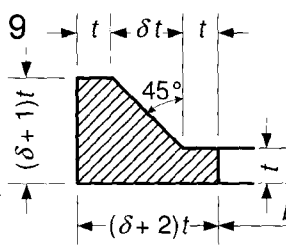
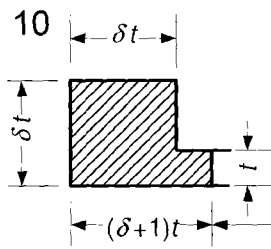
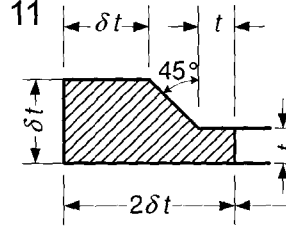
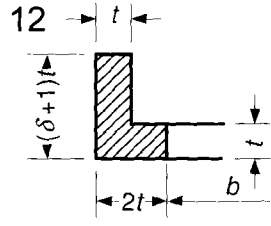
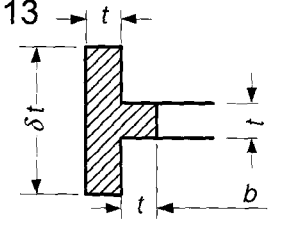
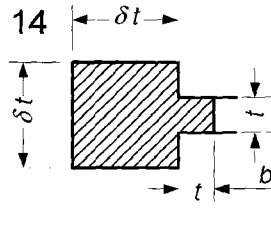
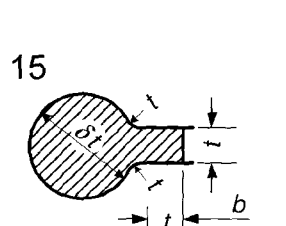
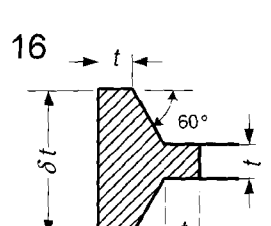
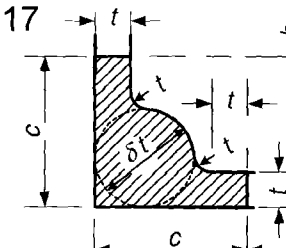
<p>9</p>  <p><math>\beta = 0,83</math> <math>\gamma = 0,39</math> <math>1 \leq \delta \leq 6</math></p>	<p>10</p>  <p><math>\beta = 0,13</math> <math>\gamma = 0,58</math> <math>1,4 \leq \delta \leq 6</math></p>
<p>11</p>  <p><math>\beta = 0,03</math> <math>\gamma = 0,71</math> <math>2 \leq \delta \leq 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

DIN EN 1999-1-1:2010-05  
EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)

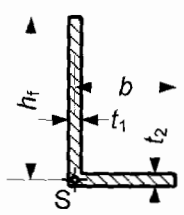
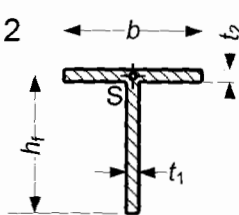
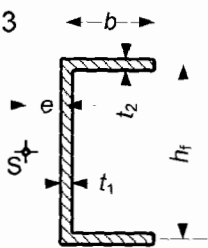
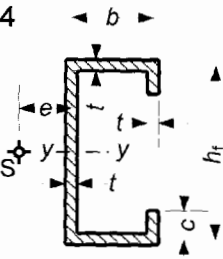
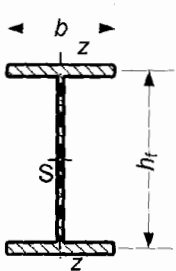
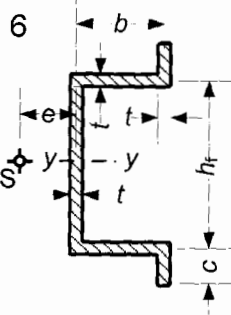
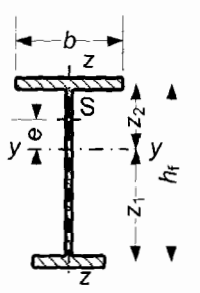
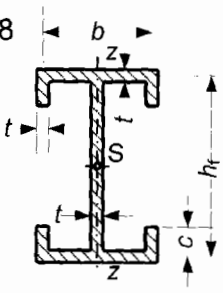
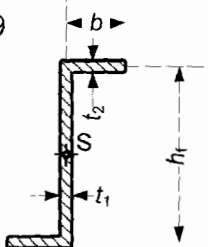
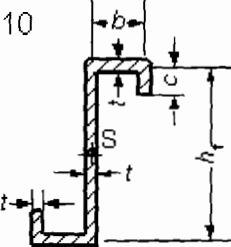
<p>1</p>  $I_w = \frac{h_f^3 t_1^3 + b^3 t_2^3}{36}$	<p>2</p>  $I_w = \frac{h_f^3 t_1^3}{36} + 2 \frac{(b/2)^3 t_2^3}{36}$
<p>3</p>  $e = \frac{3b^2 t_2}{h_f t_1 + 6bt_2}$ $I_w = \frac{h_f^2 b^3 t_2}{12} \cdot \frac{2h_f t_1 + 3bt_2}{h_f t_1 + 6bt_2}$	<p>4</p>  $e = \frac{h_f^2 b^2 t}{I_y} \left( \frac{1}{4} + \frac{c}{2b} - \frac{2c^3}{3h_f^2 b} \right)$ $I_w = \frac{b^2 t}{6} (4c^3 + 6h_f c^2 + 3h_f^2 c + h_f^2 b) - e^2 I_y$
<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.

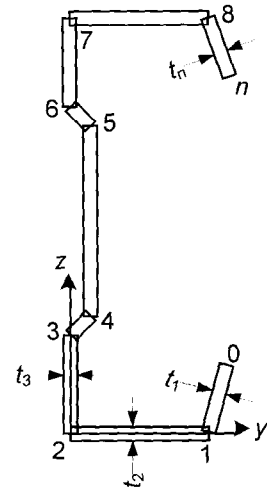
Knoten und Teile  $j=0..n$   $i=1..n$

Fläche eines Querschnittsteils

$$dA_i = \left[ t_i \cdot \sqrt{(y_i - y_{i-1})^2 + (z_i - z_{i-1})^2} \right] \quad (\text{J.5})$$

Querschnittsfläche

$$A = \sum_{i=1}^n dA_i \quad (\text{J.6})$$



**Bild J.3 —  
Querschnittsknoten**

Statisches Moment der Querschnittsfläche bezüglich der  $y$ -Achse und Schwerpunktskoordinate

$$S_{y0} = \sum_{i=1}^n (z_i + z_{i-1}) \cdot \frac{dA_i}{2} \quad z_{gc} = \frac{S_{y0}}{A} \quad (\text{J.7})$$

Flächenträgheitsmomente bezüglich der ursprünglichen  $y$ -Achse und der neuen  $y$ -Achse durch den Schwerpunkt

$$I_{y0} = \sum_{i=1}^n \left[ (z_i)^2 + (z_{i-1})^2 + z_i \cdot z_{i-1} \right] \cdot \frac{dA_i}{3} \quad I_y = I_{y0} - A \cdot z_{gc}^2 \quad (\text{J.8})$$

Statisches Moment der Querschnittsfläche bezüglich der  $z$ -Achse und Schwerpunktskoordinate

$$S_{z0} = \sum_{i=1}^n (y_i + y_{i-1}) \cdot \frac{dA_i}{2} \quad y_{gc} = \frac{S_{z0}}{A} \quad (\text{J.9})$$

Flächenträgheitsmomente bezüglich der ursprünglichen  $z$ -Achse und der neuen  $z$ -Achse durch den Schwerpunkt

$$I_{z0} = \sum_{i=1}^n \left[ (y_i)^2 + (y_{i-1})^2 + y_i \cdot y_{i-1} \right] \cdot \frac{dA_i}{3} \quad I_z = I_{z0} - A \cdot y_{gc}^2 \quad (\text{J.10})$$

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

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

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

$$z_j = z_s - \frac{0.5}{I_y} \cdot \sum_{i=1}^n \left[ (z_{c_i})^3 + z_{c_i} \cdot \left[ \frac{(z_i - z_{i-1})^2}{4} + (y_{c_i})^2 + \frac{(y_i - y_{i-1})^2}{12} \right] + y_{c_i} \cdot \frac{(y_i - y_{i-1}) \cdot (z_i - z_{i-1})}{6} \right] \cdot dA_i \quad (J.27)$$

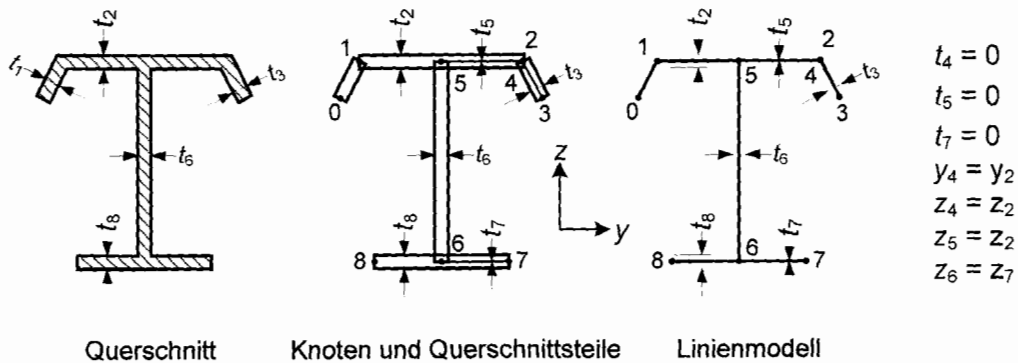
$$y_j = y_s - \frac{0.5}{I_z} \cdot \sum_{i=1}^n \left[ (y_{c_i})^3 + y_{c_i} \cdot \left[ \frac{(y_i - y_{i-1})^2}{4} + (z_{c_i})^2 + \frac{(z_i - z_{i-1})^2}{12} \right] + z_{c_i} \cdot \frac{(z_i - z_{i-1}) \cdot (y_i - y_{i-1})}{6} \right] \cdot dA_i \quad (J.28)$$

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

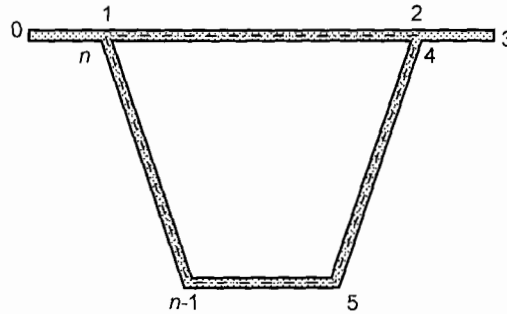


Bild J.5 — Querschnitt mit geschlossener Zelle

(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:

$$b_{\text{eff}} = \beta_s b_0 \quad (\text{K.1})$$

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.

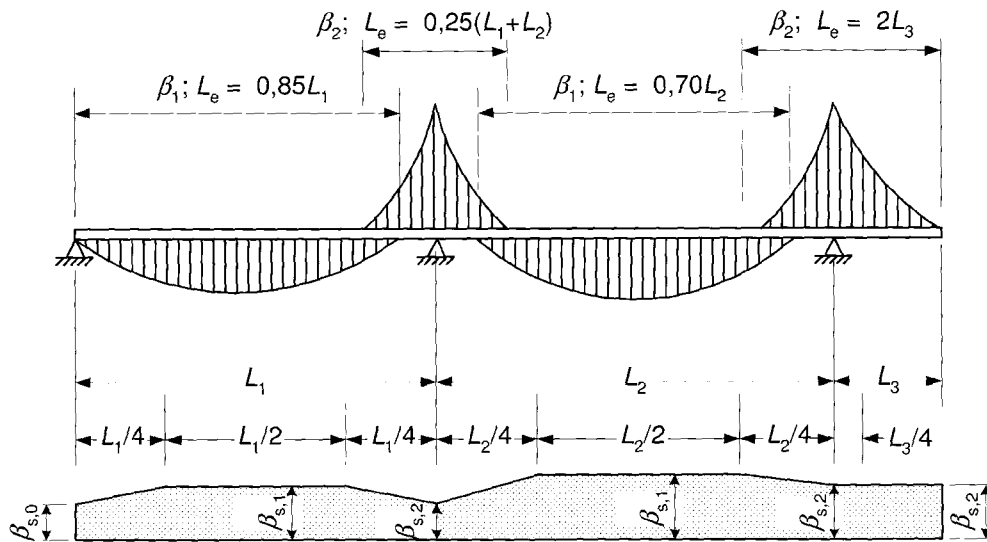
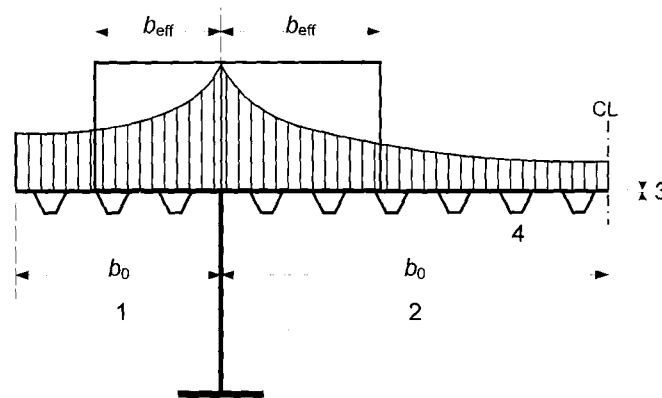


Bild K.1 — Wirksame Länge  $L_e$  für Durchlaufträger und Verteilung der mittragenden Breite



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

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

**Tabelle K.1 — Beiwert  $\beta_s$  für die mittragende Breite**

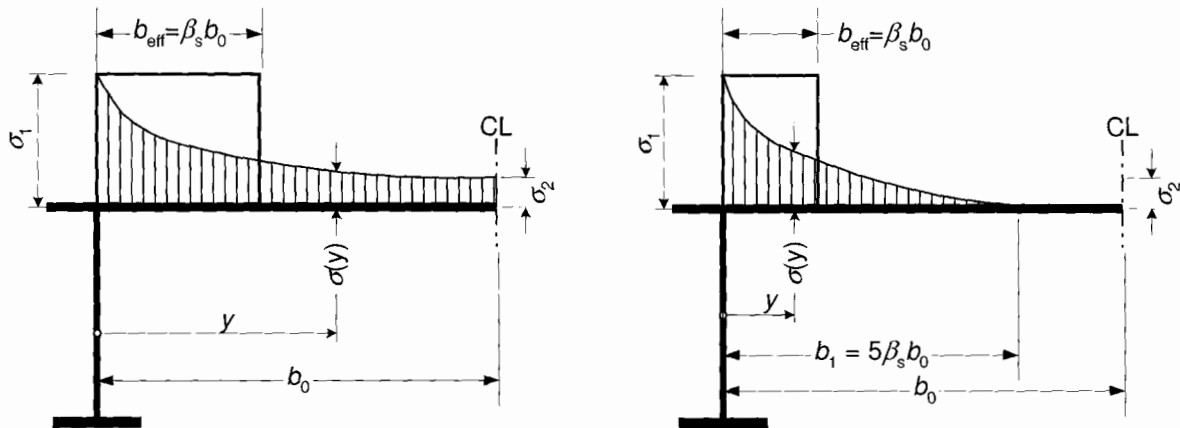
$\kappa$	Stelle des Nachweises	$\beta_s$
$\kappa \leq 0,02$		$\beta_s = 1,0$
$0,02 < \kappa \leq 0,70$	Feldbereich	$\beta_s = \beta_{s,1} = \frac{1}{1 + 6,4\kappa^2}$
	Zwischenstützenbereich	$\beta_s = \beta_{s,2} = \frac{1}{1 + 6,0(\kappa - 0,0004/\kappa) + 1,6\kappa^2}$
$\kappa > 0,70$	Feldbereich	$\beta_s = \beta_{s,1} = \frac{1}{5,9\kappa}$
	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.



$$\beta_s > 0,20:$$

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

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

$$\beta_s \leq 0,20:$$

$$\sigma_2 = 0$$

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

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

Bild K.3 — Längsspannungsverteilung über die Plattenbreite infolge der Schubverformung

### K.2.3 Lasteinleitung in der Scheibenebene

(1) Die elastische Spannungsverteilung in versteiften oder unverteiften Platten infolge der örtlichen Einleitung von Lasten in der Scheibenebene (siehe Bild K.4) sollte mit:

$$\sigma_1 = \frac{F_{\text{Ed}}}{b_{\text{eff}}(t + a_{\text{st},1})} \quad (\text{K.2})$$

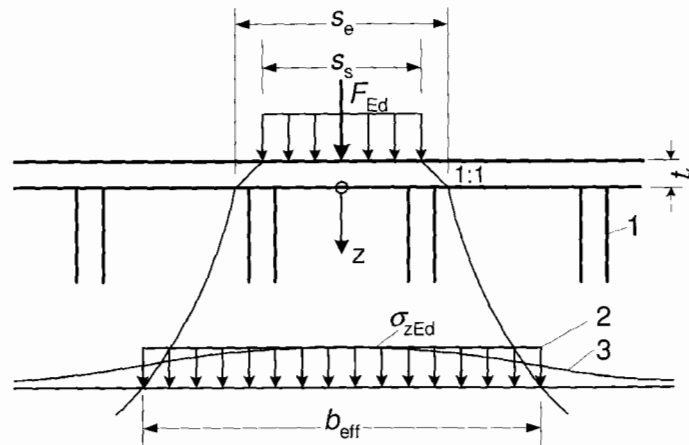
bestimmt werden, wobei:  $b_{\text{eff}} = s_e \sqrt{1 + \left(\frac{z}{s_e n}\right)^2}$

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

$$s_e = s_s + 2t_f$$

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.

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**



**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 Flanschbreite 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

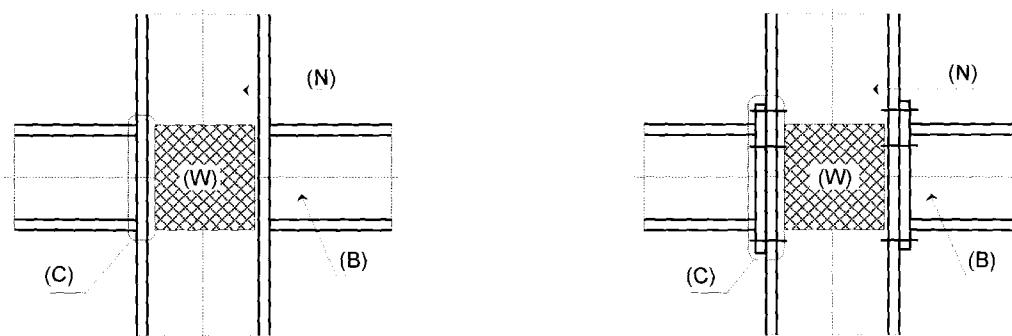
#### L.1 Allgemeines

(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.

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

(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**

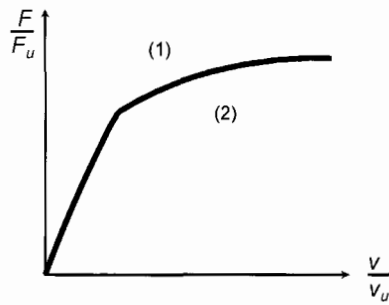
(1) Voll wirksame Verbindungen werden so bemessen, dass ihre durch elastische Steifigkeit, Tragfähigkeit und Duktilität ausgedrückten Verhaltenseigenschaften stets gleich oder besser sind als die des verbundenen Bauteils. Die verallgemeinerte Kraft-Verformungskurve der Verbindung liegt stets oberhalb der des verbundenen Bauteils.

(2) Die Verbindung braucht in der Tragwerksberechnung nicht gesondert betrachtet zu werden.

## **L.3 Teilweise wirksame Verbindungen**

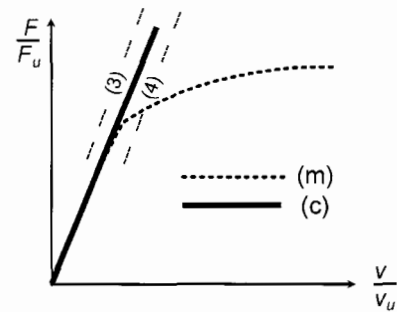
(1) Die Verhaltenseigenschaften der Verbindung erreichen nicht die des verbundenen Bauteils, weil elastische Steifigkeit, Tragfähigkeit oder Duktilität des angeschlossenen Bauteils nicht von ihr erreicht werden können. Die verallgemeinerte Kraft-Verformungskurve kann teilweise unter derjenigen des verbundenen Bauteils liegen.

(2) Solche Verbindungen müssen in der Tragwerksberechnung berücksichtigt werden.



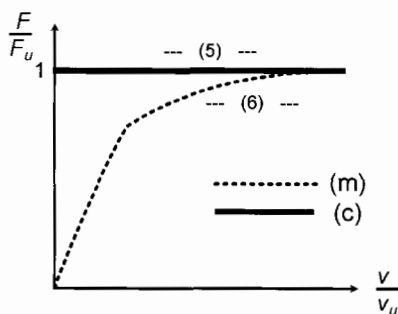
- (1) Bereich voller Wirksamkeit
- (2) Bereich teilweiser Wirksamkeit

**a) Klassifizierung nach der globalen Übertragung der Bauteileigenschaften**



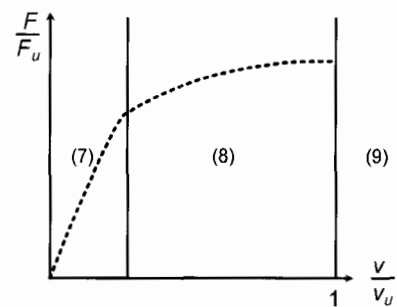
- (3) steif
- (4) geringere Steifigkeit als Bauteil (nachgiebig)

**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 (halbduktil)
- (9) duktilitätserhaltend (duktil)

**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.

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

## **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.

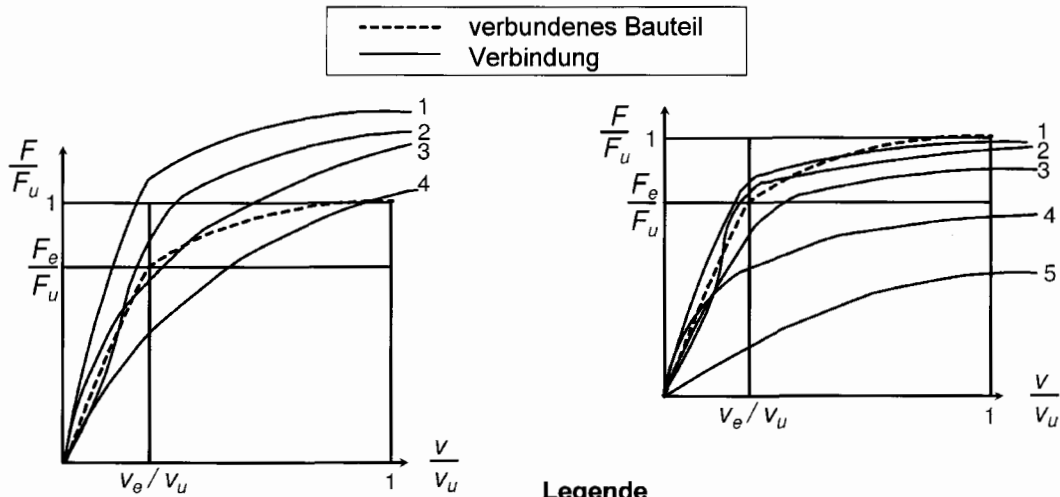
## **L.8 Anforderungen an Verbindungen in Rahmentragwerken**

### **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.

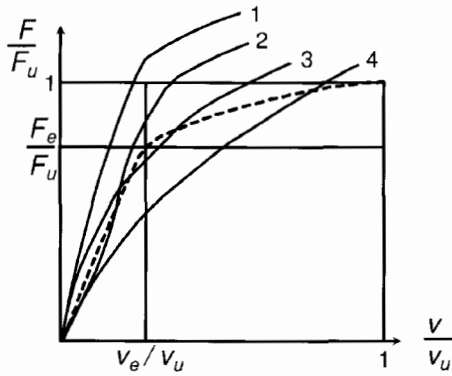


**Legende**

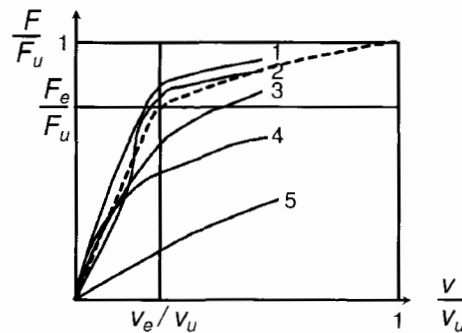
- 1 voll tragfähig, steif, duktil mit elastischer Tragfähigkeit des Bauteils
- 2 voll tragfähig, nachgiebig, duktil mit elastischer Tragfähigkeit des Bauteils
- 3 voll tragfähig, steif, duktil mit elastischer Tragfähigkeit des Bauteils
- 4 voll tragfähig, nachgiebig, duktil ohne elastische Tragfähigkeit des Bauteils

**Legende**

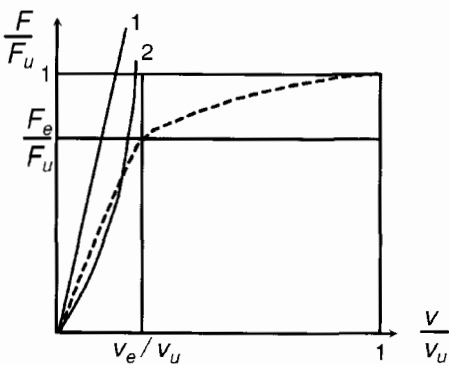
- 1 vermindert tragfähig, steif, duktil mit elastischer Tragfähigkeit des Bauteils
- 2 vermindert tragfähig, nachgiebig, duktil mit elastischer Tragfähigkeit des Bauteils
- 3 vermindert tragfähig, steif, duktil mit elastischer Tragfähigkeit des Bauteils
- 4 vermindert tragfähig, steif, duktil ohne elastische Tragfähigkeit des Bauteils
- 5 vermindert tragfähig, nachgiebig, duktil ohne elastische Tragfähigkeit des Bauteils



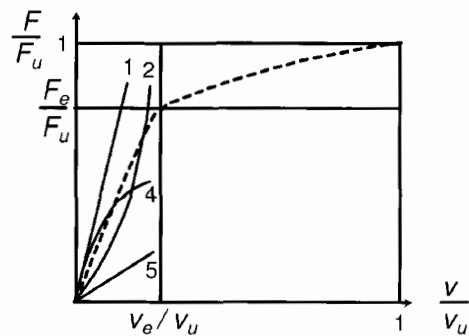
1, 2, 3, 4 wie oben, aber halbduktil



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**

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

### L.8.2 Gelenkige Verbindungen

(1) Eine gelenkige Verbindung sollte so bemessen werden, dass sie die Bemessungswerte der Axial- und Querkkräfte 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 Querkkräften 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).

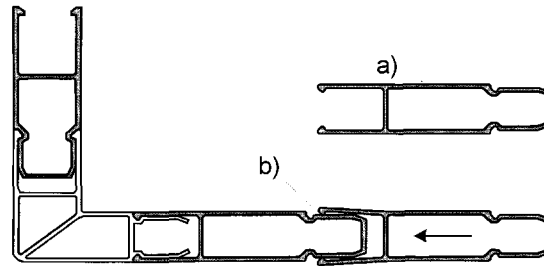
### M.3 Bemessung geklebter Verbindungen

#### 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 duktiles 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.

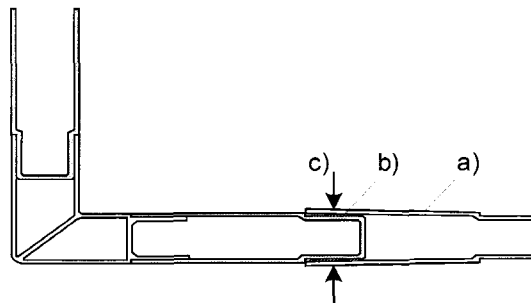
**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**



**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 duktileres 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  $\square_{A1}$  EN 1090-3  $\square_{A1}$ .

(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.

**DIN EN 1999-1-1:2010-05**  
**EN 1999-1-1:2007 + A1:2009 (D)**

## **A1** 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*

**A1**