

Schrauben

0. Inhalt

<u>0.</u>	<u>Inhalt</u>	<u>1</u>
<u>1.</u>	<u>Allgemeines</u>	<u>2</u>
<u>2.</u>	<u>Begriffe</u>	<u>2</u>
<u>3.</u>	<u>Grundlagen</u>	<u>5</u>
<u>4.</u>	<u>Anschlußtypen</u>	<u>6</u>
<u>5.</u>	<u>Werkstoff-Kennwerte</u>	<u>6</u>
5.1.1	Kohlenstoffstähle	6
5.1.2	Nichtrostende Stähle	8
5.1.3	Duktilität	9
<u>6.</u>	<u>Bemessung auf Scher-Lochleibung</u>	<u>11</u>
6.1	Technische Aufgabe	11
6.1.1	Tragfähigkeit der Schraube	11
6.1.2	Tragfähigkeit des Loches	12
6.1.3	Gebrauchstauglichkeit	13
6.2	Konstruktive Empfehlungen	13
6.3	Begleitende Regelungen	14
6.3.1	Abscheren der Schraube	14
6.3.2	Lochleibung	15
6.3.3	Sonstige	16
6.3.4	Konstruktive Regeln	19
<u>7.</u>	<u>Bemessung als Gleitfeste Verbindung</u>	<u>20</u>
<u>8.</u>	<u>Bemessung auf Zug</u>	<u>20</u>
8.1	Technische Aufgabe	20
8.2	Konstruktive Empfehlungen	20
8.3	Begleitende Regelungen	21
<u>9.</u>	<u>Interaktion Zug – Abscheren</u>	<u>22</u>
<u>10.</u>	<u>Korrosionsschutz</u>	<u>22</u>
<u>11.</u>	<u>Beispiel</u>	<u>24</u>
<u>12.</u>	<u>Ausblick</u>	<u>24</u>
<u>13.</u>	<u>Quellen</u>	<u>24</u>

1. Allgemeines

Kurzbeschreibung

Bemessung von geschraubten Anschlüssen.

Einordnung

Stahlbau – Grundaufgaben – Bemessung von Anschlüssen – Schrauben

Lernziele

Geschraubte Anschlüsse bemessen können zur Übertragung aller Schnittgrößen;

Einschränkungen, Abgrenzung

Ermüdung von Schraubenverbindungen wird nicht behandelt;

2. Begriffe

Formelzeichen und Abkürzungen:

A,sch Schaftquerschnitt, tragender Querschnitt des Schraubenschaftes

$$A_{sch} = \pi/4 \cdot d^2$$

A,sp Spannungsquerschnitt, tragender Querschnitt des Gewindes
(aus Tabellenbüchern)

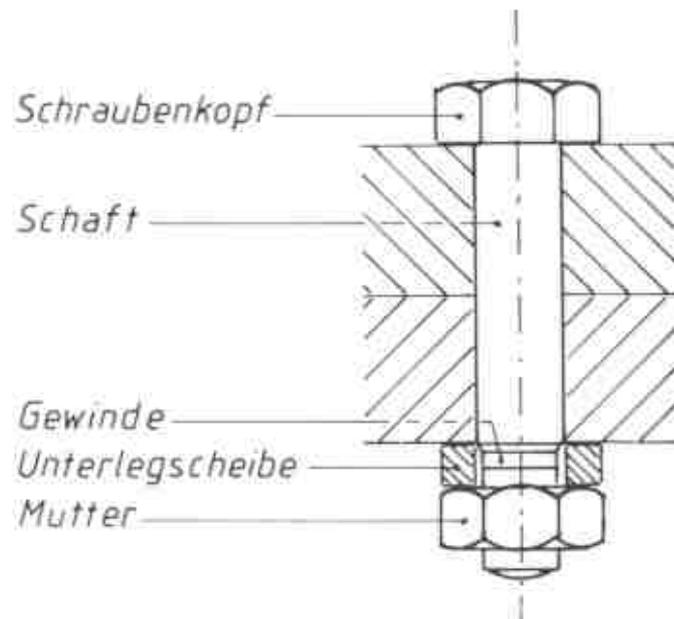
,b Index für „bolt“, d.h. Verbindungsmittel

d Schraubennennendurchmesser

d0, dL Lochdurchmesser nach EC3 bzw. DIN 18800

fy, fu Streckgrenze, Zugfestigkeit

t Bauteildicke



(Quelle: www.biw.fhd.edu)

Die Querschnittsteile einer Schraube (bolt, screw) heißen:
Kopf (head), Schaft (shank), Gewinde (thread)

Schrauben ohne Schaft heißen: Gewinde bis zum Kopf (threaded to head)

Zu einer geschraubten Verbindung gehören noch:

Mutter (nut), ersatzweise ein Durchgangsloch (through boring) / Sackloch mit Innengewinde (threaded blind hole)

Unterlegscheibe(n) (washer)

Bezeichnung:

M12 – 8.8 heißt:

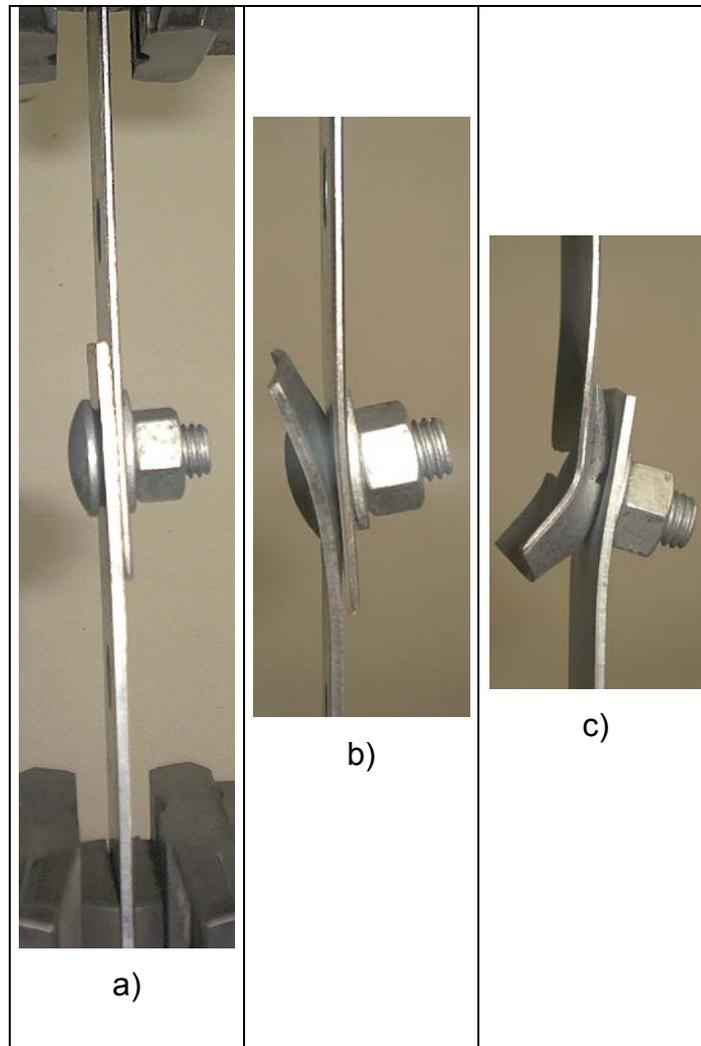
M = Metrisch (bezeichnet die Gewindeform, metric)

12 = Nenndurchmesser (nominal diameter)

8.8 = Festigkeitsklasse (grade)

Der Nenndurchmesser einer Schraube ist gleich dem Schaftdurchmesser und/oder dem Außendurchmesser des Gewindes.

Der tragende Querschnitt des Gewindes wird als Spannungsquerschnitt A_s bezeichnet. Dieser ist kleiner als der Außendurchmesser des Gewindes aber größer als der Innendurchmesser des Gewindes.



Ungestützte Verbindung

(siehe vorige Bilder: Quelle: Labor für Stahl- und Leichtmetallbau, Prof. Bucak, FH München, 2005)

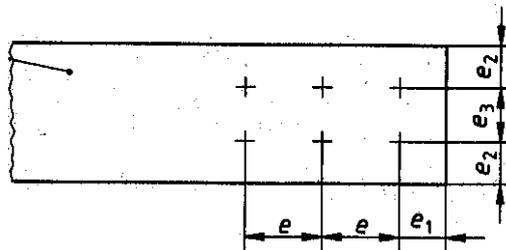
- a) Probekörper vor dem Zugversuch (Blechdicken ca. 2-4 mm, Schraube M12)
- b) Probekörper aus Bild a) bei Erreichen der Höchstlast
- c) anderer Probekörper kurz vor dem Bruch

Bei einer ungestützten Verbindung legen sich die beiden gezogenen Teile in eine Linie, die überlappenden Teile werden dadurch verdreht. Das Verbindungsmittel wird dadurch außer auf Abscheren auch auf Zug beansprucht.

Eine Verbindung ist dann gestützt, wenn diese Verdrehung nicht stattfinden kann. Dies ist der Fall, wenn

- a) mindestens 2 Schrauben in Krafrichtung angeordnet sind
- b) einer der Partner Biegesteifigkeit quer zur Krafrichtung besitzt (z.B. Winkelprofil, dickes Knotenblech)

Rand- und Lochabstände:



Rand- und Lochabstände nach DIN 18800-1 Bild 22

In EC3-1-8 werden die Lochabstände mit p (= pitch) bezeichnet, dabei ist p_1 der Abstand in Krafrichtung, p_2 der Abstand quer zur Krafrichtung. e_1 ist der Randabstand in Krafrichtung, e_2 der Randabstand quer zur Krafrichtung.

Die angegebenen Abstände beziehen sich dabei jeweils auf Mitte Loch (Anreißmaß).

3. Grundlagen

Baustatik

Ermitteln eines Tragmodelles für den Anschluß

Aufteilung der Schnittkraft im Anschluß auf die einzelnen Schrauben

Festigkeitslehre

Ermitteln der kritischen Schubspannung;

Festigkeitshypothesen für das Versagen unter den kombinierten Einwirkungen Zug/Querkraft

Baustoffkunde

(hoch)legieren von Stählen zur Steigerung der Festigkeit

Kaltverformen von Stählen zur Steigerung der Festigkeit

4. Anschlußtypen

Man unterscheidet Anschlußtypen nach der Beanspruchung der Schraube.

Scher-Lochleibungs-Verbindung

Die Schraube überträgt eine Kraft V quer zur Schraubenachse.

Die Schraube wird dabei auf Abscheren beansprucht, das Bauteil auf Lochleibung.

Hinweis:

Unsere Brüder und Schwestern aus dem Maschinenbau betrachten Scher-Lochleibungsverbindungen als Barbarei – im Maschinenbau werden Querkräfte grundsätzlich durch gleitfeste, vorgespannte Schraubverbindungen übertragen.

Gleitfeste Verbindung

Ähnlich Scher-Lochleibungs-Verbindung, die Schraube ist jedoch so stark vorgespannt, daß die beiden Bauteile reibschlüssig miteinander verbunden sind. Dadurch überträgt die Schraube planmäßig keine Querkraft V , sondern unterliegt nur der Vorspannkraft N .

Zug-Verbindung

Die Schraube überträgt eine Zugkraft N entlang ihrer Schraubenachse.

5. Werkstoff-Kennwerte

5.1.1 Kohlenstoffstähle

Nach DIN 18800-1 Abs. 4.2.1 Elm 408 sind Schrauben nach ISO 898 zu verwenden. Man unterscheidet die Festigkeitsklassen 4.6, 5.6, 8.8 und 10.9.

Hinweis:

Im Maschinenbau sind zwischenzeitlich auch Schrauben der Festigkeitsklasse 12.9 gebräuchlich.

Die Kennziffern für die Festigkeitsklassen sind wie folgt verschlüsselt:

1. Ziffer mal 100 N/mm^2 ergibt Zugfestigkeit

„Punkt“ plus 2. Ziffer

Verhältnis zwischen Streckgrenze und Zugfestigkeit

Beispiel: Festigkeitsklasse 4.6:

4 mal 100 N/mm² : die Zugfestigkeit beträgt 400 N/mm²

0,6 mal 400 N/mm² : die Streckgrenze beträgt 240 N/mm²

Die charakteristischen Festigkeitswerte sind in Tabelle 2 festgelegt.

Tabelle 2. Als charakteristische Werte für Schraubenwerkstoffe festgelegte Werte

	1	2	3
	Festigkeits- klasse	Streckgrenze $f_{y,b,k}$ N/mm ²	Zugfestigkeit $f_{u,b,k}$ N/mm ²
1	4.6	240	400
2	5.6	300	500
3	8.8	640	800
4	10.9	900	1000

aus DIN 18800-1

Nach EC3-1-8 sind die Werkstoffkennwerte in Tabelle 3.1 geregelt.

Table 3.1: Nominal values of the yield strength f_{yb} and the ultimate tensile strength f_{ub} for bolts

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

aus EC3-1-8

5.1.2 Nichtrostende Stähle

Schrauben aus nichtrostenden Stählen sind in der Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-30.3-6 geregelt. Es wird unterschieden nach den Festigkeitsklassen FK50, FK70 und FK80.

Tabelle 12

	1	2	3
	Festigkeits- klasse	Streckgrenze $f_{y,b,k}$ N/mm ²	Zugfestigkeit $f_{u,b,k}$ N/mm ²
1	50	210	500
2	70	450	700
3	80	600	800

aus Allg. bauaufs. Zul. Z-30.3-6

Die Werkstoffzusammensetzung wird durch die Werkstoffgruppe A2, A3, A4 oder A5 angegeben.

lfd. Nr.	Stahlsorte			Korrosions- widerstands klasse ¹⁾
	Kurzname	W-Nr.	Gruppe	
3	X5CrNi18-10	1.4301	A2	II / mäßig
4	X2CrNi18-9	1.4307	A2L	
5	X3CrNiCu18-9-4	1.4567	A2L	
6	X6CrNiTi18-10	1.4541	A3	
8	X5CrNiMo17-12-2	1.4401	A4	III / mittel
9	X2CrNiMo17-12-2	1.4404	A4L	
10	X3CrNiCuMo17-11-3-2	1.4578	A4L	
11	X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	A5	
12	X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	2)	
13	X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	2)	IV / stark
14	X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	2) 3)	
15	X2CrNiMnMoNbN25-18-5-4	1.4565	2) 3)	
16	X1NiCrMoCuN25-20-7	1.4529	2) 3)	

Allg. bauaufs. Zul. Z-30.3-6 Tabelle 2 (Auszug)

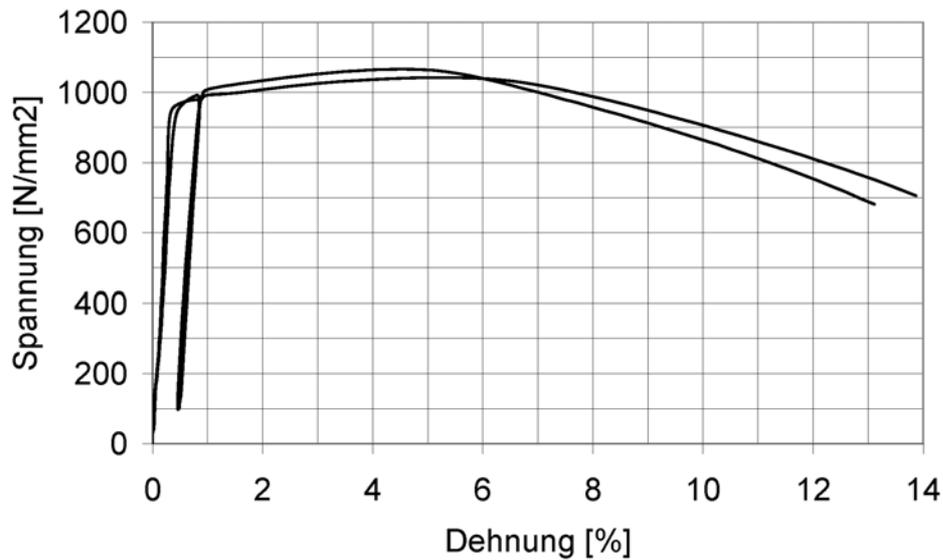
Beispiel für die Bezeichnung einer Schraube aus nichtrostendem Stahl:

M12 – A4 – 70

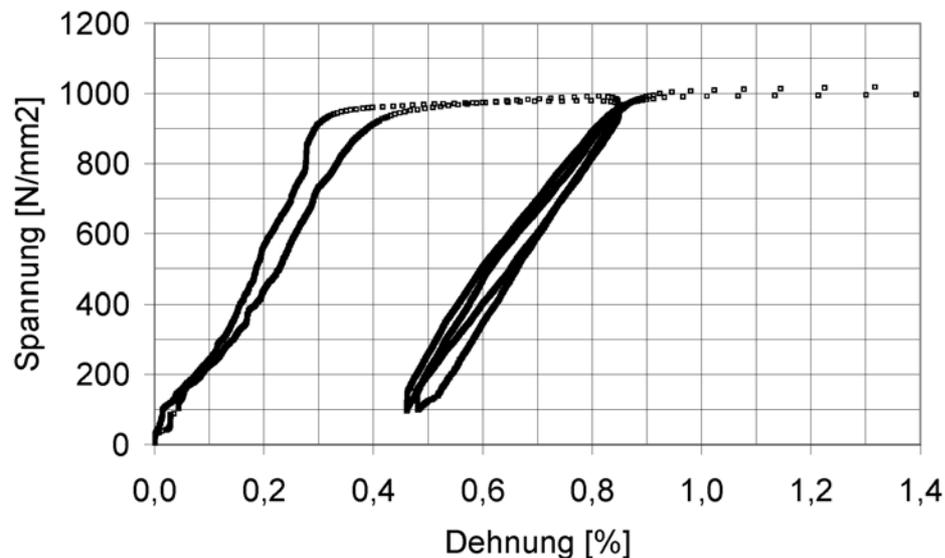
5.1.3 Duktilität

Vielfach wird angenommen, hochfeste Schrauben seien spröde aufgrund ihrer (für Bauingenieurverhältnisse extrem-)hohen Festigkeit. Nachfolgend werden Zugversuche an zwei Kleinproben (Rund 10 mm, Rand und Mitte) aus einer Schraube M36-10.9 wiedergegeben. Die Originaldaten wurden freundlicherweise von den Kollegen aus der Versuchsan-

stalt für Stahl, Holz und Steine zur Verfügung gestellt und entsprechen Bild 10 aus Hölbling / Misiak / Saal (2009).



Quelle: Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine



Quelle: Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine

Wie man erkennt, haben die Proben eine Bruchdehnung von 13–14 %, bei einem Versuch an der Schraube im Originaldurchmesser dürfte die Bruchdehnung etwas geringer ausfallen. Mit ca. 10 % Bruchdehnung liegen die 10.9er Schrauben im Bereich von Trapezblechen und kaltverformten Betonstählen.

Der Herstellprozess von hochfesten Schrauben wird heute so beherrscht (Feinkörnigkeit), dass auch bei Durchmesser 120 mm noch duktiler Versagen auftritt, wie man an den Scherlippen im folgenden Bild erkennt.

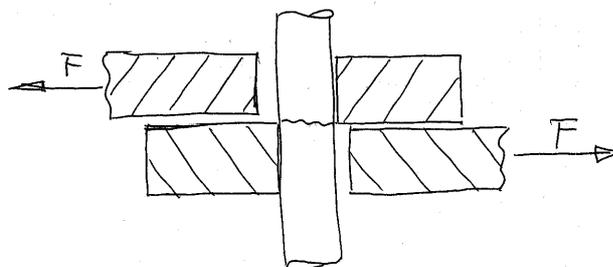


Quelle: Lehrstuhl für Stahlbau, TU Braunschweig, 2004.

6. Bemessung auf Scher-Lochleibung

6.1 Technische Aufgabe

6.1.1 Tragfähigkeit der Schraube



einschnittige Scher-Lochleibungsverbindung mit Schlupf

Schub-Fließbeginn, Last je Scherfuge:

$$V_{gr,el} = A \cdot f_y / \sqrt{3} \approx A \cdot f_y / 1,73 = A \cdot f_y \cdot 0,58$$

Schub-Bruch:

$$V_{u} = A \cdot f_u / \sqrt{3} \approx A \cdot f_u / 1,73 = A \cdot f_u \cdot 0,58$$

mit

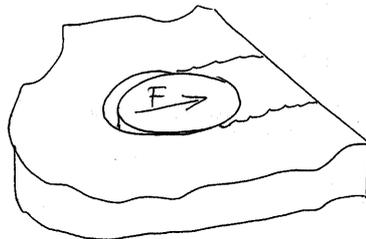
$A = A_{sch}$ wenn der Schaft in der Scherfuge liegt

$A = A_{sp}$ wenn das Gewinde in der Scherfuge liegt

6.1.2 Tragfähigkeit des Loches

Für das Versagen des Loches sind zwei Mechanismen denkbar:

- Das Loch liegt nahe am Rand.



Mögliches Ausreißen eines randnahen Loches

Es bilden sich zwei Scherfugen rechts und links des Loches, das dazwischen liegende Material wird ausgeschert.

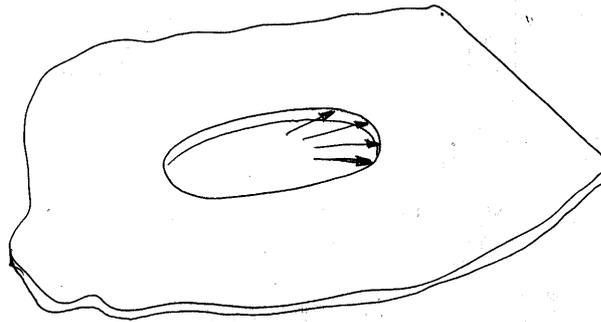
Die Länge der Scherfuge entspricht ungünstig dem Randabstand minus dem halben Lochdurchmesser

$$L_{scher} = e_1 - d_L / 2$$

Die aufnehmbare Kraft beträgt:

$$F_{d} = 2 \cdot t \cdot L_{scher} \cdot f_y / \sqrt{3}$$

- Das Loch liegt weit weg vom Rand, das Bauteil ist deutlich dünner als der Schraubendurchmesser.



Aufweiten des Loches durch Fließen in der Leibung

Das Material beginnt vor der Schraube „wegzufließen“

Die aufnehmbare Kraft beträgt:

$$F_d = t \cdot d \cdot L \cdot f_y$$

Hinweis:

die beiden genannten Versagensmechanismen weist man mit dem „Lochleibungsnachweis“ (bearing) nach.

6.1.3 Gebrauchstauglichkeit

Gewinde in der Scherfuge:

Falls die Schraube auch nach planmäßiger Maximallast noch gut laufen soll, z.B. bei mehrfach wiederverwendbaren Verbindungen mit den gleichen Schrauben, ist empfehlenswert, die Lasten abzumindern, damit sich das Gewinde nicht in die Leibung drückt.

6.2 Konstruktive Empfehlungen

- bei mehreren Schrauben in einem Anschluß:
möglichst kompakt anordnen,
lieber weniger in Krafrichtung und mehr quer zur Krafrichtung;
- Bohrlöcher sind planmäßig größer gebohrt als der Schraubendurchmesser; das „Lochspiel“ beträgt üblicherweise 1-2 mm, manchmal auch 3 mm; die Bauteile können sich daher planmäßig (!) um bis zu diesen Betrag gegeneinander verschieben; über diese möglichen Zusatzverformungen im Tragwerk muß man nachdenken.

- Schrauben sollen nicht zu weit auseinander liegen, damit die Bauteile dazwischen nicht auseinander klaffen und Korrosionstaschen bilden;

6.3 Begleitende Regelungen

6.3.1 Abscheren der Schraube

- EC3-1-8 Abs. 6.2.5 (2) Tab. 3.4
 $F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{M2}$
Schaft in der Scherfuge:
A = Schaftquerschnitt
 $\alpha_v = 0,6$
Gewinde in der Scherfuge
A = A_{sp} = Spannungsquerschnitt
 $\alpha_v = 0,6$ für 4.6, 5.6 und 8.8
 $\alpha_v = 0,5$ für 4.8, 5.8, 6.8 und 10.9
- Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände nach EC3-1-1 Abs. 6.1 (2):
Querschnitte unter Zug: $\gamma_{M2} = 1,25$
- DIN 18800 Teil 1: Grenzabscherkraft nach Element (804) Gl. 47:
 $V_{a,R,d} = A \cdot \alpha_a \cdot f_{u,b,k} / \gamma_M$
A wie oben für EC3 beschrieben
 $\alpha_a = 0,60$ für 4.6, 5.6 und 8.8
 $\alpha_a = 0,55$ für 10.9
- Für nichtrostende Schrauben gilt nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-30.3-6 Abs. 3.3.6.6:
Berechnung der Grenzabscherkraft nach DIN 18800 Teil 1 Element (804), jedoch gelten für die Stahlsorten A2-A5 unterschiedliche α_a -Werte je nach Festigkeitsklasse:
 $\alpha_a = 0,75$ für 50
 $\alpha_a = 0,65$ für 70
 $\alpha_a = 0,60$ für 80
für die übrigen Stahlsorten, z.B. 1.4539, gilt $\alpha_a = 0,50$.
Unabhängig von der Lage der Scherfuge ist immer der Spannungsquerschnitt zu verwenden.
 $V_{a,R,d} = A_{sp} \cdot \alpha_a \cdot f_{u,b,k} / \gamma_M$

6.3.2 Lochleibung

Nach EC3-1-8

Bearing resistance = Lochleibungs-Widerstand

Bearing resistance ^{1), 2), 3)}	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$ <p>where α_b is the smallest of α_d; $\frac{f_{ub}}{f_u}$ or 1,0;</p> <p>in the direction of load transfer:</p> <p>- for end bolts: $\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}$; for inner bolts: $\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$</p> <p>perpendicular to the direction of load transfer:</p> <p>- for edge bolts: k_1 is the smallest of $2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7$ or 2,5</p> <p>- for inner bolts: k_1 is the smallest of $1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7$ or 2,5</p>
--	--

Aus EC3-1-8 Tabelle 3-4

- Langlöcher (Längsachse des Loches rechtwinklig zur Krafrichtung)
0,6-facher Lochleibungs-Widerstand
- Hinweis:
In EC3-1-8 wird die Lochleibung auf der Grundlage von f_u bemessen, nach DIN 18800 wird die Lochleibung auf der Grundlage von f_y bemessen (siehe folgender Abschnitt)

Nach DIN 18800-1

- Lochleibungswiderstand (Gl. 49):
 $V_{L,R,d} = t \cdot d \cdot \alpha_{L,k} \cdot f_y / \gamma_{M}$

- Für $e_2 \geq 1,5 d_L$ und $e_3 \geq 3,0 d_L$ gilt,
wenn der Randabstand in Krafrichtung maßgebend ist,

$$\alpha_1 = 1,1 e_1 / d_L - 0,30 \quad (50 a)$$

- und, wenn der Lochabstand in Krafrichtung maßgebend ist,

$$\alpha_1 = 1,08 e / d_L - 0,77. \quad (50 b)$$

- Für $e_2 = 1,2 d_L$ und $e_3 = 2,4 d_L$ gilt,
wenn der Randabstand in Krafrichtung maßgebend ist,

$$\alpha_1 = 0,73 e_1 / d_L - 0,20' \quad (50 c)$$

- und, wenn der Lochabstand in Krafrichtung maßgebend ist,

$$\alpha_1 = 0,72 e / d_L - 0,51. \quad (50 d)$$

(aus DIN 18800-1 Element 805)

- Bei den Werten α_L nach den Gl. 50a-d darf für e_1 maximal $3 d_L$ und für e maximal $3,5 d_L$ angesetzt werden. Das entspricht in den Gl. 50 a,b einer Beschränkung von α_L auf den Wert 3,0 und in den Gl. 50 c,d einer Beschränkung von α_L auf den Wert 2,0.
- Regelung aus DIN 18800-1
Element (807) Einschnittige ungestützte Verbindungen
„Bei einschnittigen ungestützten Verbindungen mit nur einer Schraube in Krafrichtung muß anstelle von Bedingung (52) Bedingung (53) erfüllt sein.
 $V_L / V_{L,R,d} \leq 1 / 1,2 \quad (53)$
Für die Randabstände gilt
 $e_1 \geq 2,0 d_L$
und
 $e_2 \geq 1,5 d_L$

6.3.3 Sonstige

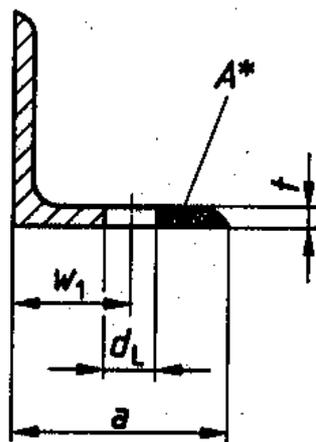
- Winkel, die nur an einem Schenkel befestigt werden

Regelung aus DIN 18800-1

Element (743) Unsymmetrische Anschlüsse:

„Bei Zugstäben mit unsymmetrischem Anschluß durch nur eine Schraube ist in Gleichung (28) als Nettoquerschnitt der zweifache Wert des kleineren Teils des Nettoquerschnittes einzusetzen, falls kein genauere Nachweis geführt wird.“

(siehe auch Bild 15, siehe auch Regelungen für Zugstäbe in gesondertem Skript)



$$A_{\text{Netto}} = 2 A^* \quad (28)$$

für Gleichung

Bild 15. Nettoquerschnitt eines Winkelanschlusses

(aus DIN 18800-1)

Hinweis:

das bedeutet bei Winkelquerschnitten, die mit einer mittig im Schenkel sitzenden Schraube angeschlossen werden, daß nur der angeschlossene Schenkel angesetzt werden darf.

- (2) A single angle in tension connected by a single row of bolts in one leg, see Figure 3.9, may be treated as concentrically loaded over an effective net section for which the design ultimate resistance should be determined as follows:

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

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

$$\text{with 3 or more bolts:} \quad N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad \dots (3.13)$$

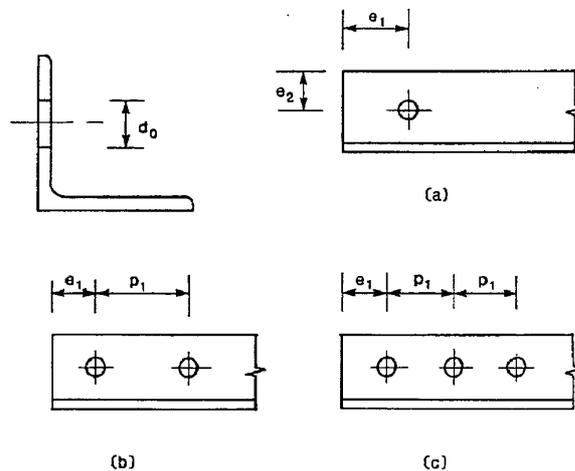
where:

β_2 and β_3 are reduction factors dependent on the pitch p_1 as given in Table 3.8. For intermediate values of p_1 the value of β may be determined by linear interpolation;

A_{net} is the net area of the angle. For an unequal-leg angle connected by its smaller leg, A_{net} should be taken as equal to the net section area of an equivalent equal-leg angle of leg size equal to that of the smaller leg.

Tabelle 3.8 — Abminderungsbeiwerte β_2 und β_3

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



Legende

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

Bild 3.9 — Einseitig angeschlossene Winkel

Winkel, die nur an einem Schenkel befestigt werden
nach EC3-1-8 Abs. 3.10.3

Hinweis:

Nach EC3-1-8 darf der Netto-Querschnittes in jedem Fall mit höchstens 70 % angesetzt werden, während nach DIN 18800-1 bei zwei und mehr Schrauben der volle Netto-Querschnitt angesetzt werden darf.

6.3.4 Konstruktive Regeln

Nach EC3-1-8

- Als Mindestabstände sind vorgeschrieben (Tabelle 3.3)
Rand-/Lochabstand in Krafrichtung: $1,2 d_0 / 2,2 d_0$
Rand-/Lochabstand quer zur Krafrichtung: $1,2 d_0 / 2,4 d_0$
- Die maximale Lochleibungslast eines Schraubenbildes wird mit folgenden Maßen erzielt
 $e_1 = 3 d_0$ Randabstand in Krafrichtung
 $e_2 = 1,5 d_0$ Randabstand quer zur Krafrichtung
 $p_1 = 3,75 d_0$ Lochabstand in Krafrichtung
 $p_2 = 3 d_0$ Lochabstand quer zur Krafrichtung

Nach DIN 18800-1

- Als Mindestabstände sind vorgeschrieben (Tabelle 7)
Rand-/Lochabstand in Krafrichtung: $1,2 d, L / 2,2 d, L$
Rand-/Lochabstand quer zur Krafrichtung: $1,2 d, L / 2,4 d, L$
- Die maximale Lochleibungslast eines Schraubenbildes wird mit folgenden Maßen erzielt
 $e_1 = 3 d, L$ Randabstand in Krafrichtung
 $e_2 = 1,5 d, L$ Randabstand quer zur Krafrichtung
 $e = 3,5 d, L$ Lochabstand in Krafrichtung
 $e_3 = 3 d, L$ Lochabstand quer zur Krafrichtung

Hinweis:

Die maximale Lochleibungslast nach EC3-1-8 beträgt

$$F_{b,R,d} = 2,5 * 1,0 * f_u * d * t / \gamma_{M2} = 2,0 * f_u * d * t$$

Die maximale Lochleibungslast nach DIN 18800-1 beträgt

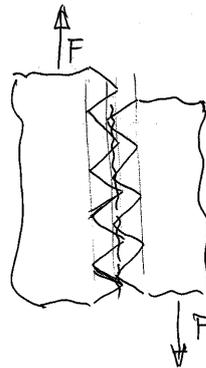
$$V_{L,R,d} = \alpha_L * f_{y,k} * d * t / \gamma_M = 2,73 * f_{y,k} * d * t$$

7. Bemessung als Gleitfeste Verbindung

– wird noch ergänzt –

8. Bemessung auf Zug

8.1 Technische Aufgabe



Abscheren („Abstreifen“) eines Gewindes mit zu viel Spiel

Wenn die beiden Gewinde an Schraube und Mutter richtig geschnitten sind, muß die Mutter mindestens eine Höhe von $0,8 \cdot d$ haben, damit die Gewindegänge nicht durch Abstreifen versagen. Wenn das Gewinde nicht durch Abstreifen versagt, erreicht die Schraube die volle Tragfähigkeit und bricht im Kern oder im Schaft.

Auf der sicheren Seite liegend wird mit dem Spannungsquerschnitt gerechnet:

Fließbeginn:

$$N_{gr,el} = A_{sp} \cdot f_y$$

Bruch:

$$N_u = A_{sp} \cdot f_u$$

8.2 Konstruktive Empfehlungen

- Das Gewinde der Schraube muß sich bei der Mutter „in vollem Eingriff“ befinden, d.h. alle Gewindegänge müssen Kontakt miteinander haben. Das ist nur dann der Fall, wenn der Anfang des Gewindeganges aus der Mutter herauschaut.

- Eine Unterlegscheibe sollte mindestens unter dem Teil angeordnet werden, das beim Anziehen der Schraube gedreht wird.

8.3 Begleitende Regelungen

- EC3-1-8 Abs. 6.2.5 (2) Tab. 3.4
 $F_{t,Rd} = k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_{sp} / \gamma_{M2}$
 $k_2 = 0,9$
 $k_2 = 0,63$ für Senkkopfschrauben
- DIN 18800 Teil 1: Grenzzugkraft (Elm. 809 Gln. 55 + 56):
 $N_{R,d} = A_{sch} \cdot f_{y,b,k} / (1,10 \cdot \gamma_M)$
 oder
 $N_{R,d} = A_{sp} \cdot f_{u,b,k} / (1,25 \cdot \gamma_M)$
 Bei durchgehendem Gewinde:
 oder $N_{R,d} = A_{sp} \cdot f_{y,b,k} / (1,10 \cdot \gamma_M)$
- Abstützkräfte nach DIN 18800-1 Bild 21

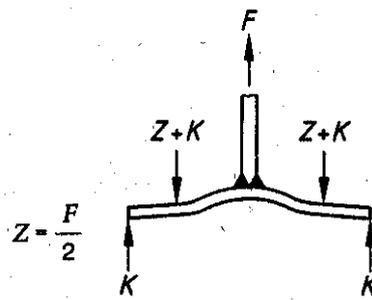


Bild 21. T-Stoß

Abstützkräfte (prying forces) nach DIN 18800-1 Bild 21

EC3-1-8 Abs. 3.11:

Wenn Verbindungsmittel eine Zugkraft tragen, müssen sie gegen die zusätzliche Abstützkraft bemessen werden, falls diese auftreten kann.

9. Interaktion Zug – Abscheren

EC3-1-8 Tabelle 3-4:

$$\eta_{\text{scher}} + \eta_{\text{zug}} / 1,4 \leq 1$$

(man beachte die gänzlich andere Regelung als nach DIN 18800-1)

DIN 18800 Teil 1: Abs. 8.2.1.4 bzw. Elm 810

$$\eta = (N / N_{R,d})^2 + (V / V_{R,d})^2 \leq 1$$

Eigentlich ist das mechanisch schlecht interpretierbar, weil η damit das Quadrat eines Ausnutzungsgrades beschreibt.

Sinnvoller ist:

$$\eta = \sqrt{[(N / N_{R,d})^2 + (V / V_{R,d})^2]} \leq 1$$

Ich empfehle daher folgende Vorgehensweise:

Interaktionsbedingung nach DIN 18800 Teil 1 Elm 810:

$$\eta' = (N / N_{R,d})^2 + (V / V_{R,d})^2$$

Ausnutzungsgrad:

$$\eta = \sqrt{\eta'} = \dots$$

10. Korrosionsschutz

Schrauben können nach der Montage gemeinsam mit den Stahlbauteilen beschichtet werden.

Vor der Montage können Schrauben feuerverzinkt oder galvanisch verzinkt werden. Der galvanisch aufgebrachte Überzug bietet dabei nur unzureichenden Schutz bei freier Bewitterung (siehe DIN 18800-1:2008 Elm 407 Anmerkung 1), da die Schichtdicken zu dünn sind (siehe Skript Beschichtung).

Regelungen in DIN 18800-1:2008 Elm 407 für verzinkte Schrauben:

- Es sind nur komplette Garnituren (Schrauben, Muttern und Scheiben) eines Herstellers zu verwenden.

- Feuerverzinkte Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9 sowie zugehörige Muttern und Scheiben dürfen nur verwendet werden, wenn sie vom Schraubenhersteller im Eigenbetrieb oder unter seiner Verantwortung im Fremdbetrieb verzinkt wurden.
(Hintergrund: Feuerverzinkte Gewinde werden mit anderen Gewindemaßen geschnitten, um den Zinkauftrag zu berücksichtigen; das muss zwischen Schraube, Mutter und dem Verzinkungsprozess abgestimmt sein.)
- Galvanisch verzinkte Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9 dürfen nicht verwendet werden.
(Hintergrund: Wasserstoffversprödung, wasserstoffinduzierte Rissbildung, hydrogen embrittlement kann durch das Eindringen von Wasserstoff in das Kristallgitter ausgelöst werden; diesbezüglich sind höherfeste Werkstoffe besonders empfindlich.)

Im Eurocode 3 ist eine derartige Regelung nicht enthalten, weder in Teil 1 noch in Teil 8. Allerdings wird man den Produktnormen nur auf feuerverzinkte Schrauben verwiesen, der Begriff „galvanisch verzinkt“ taucht dort nicht auf. In der Produktnorm für planmäßig vorgespannte Schrauben ist angegeben:

- DIN EN 14399-1 Abs. 4.2.3:
Bei dem Herstellverfahren für Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 ist sorgfältig auf die Gefahr einer Wasserstoffversprödung zu achten.
- DIN EN 14399-1 Abs. 4.2.4:
Das Feuerverzinken der einzelnen Komponenten muss unter der Aufsicht des Herstellers der Garnituren erfolgen.
- DIN EN 14399-4 Tabelle 3:
Überzüge aus Cadmium oder Cadmiumlegierungen sind nicht zulässig.

In der Produktnorm für nicht planmäßig vorspannbare Schrauben ist angegeben:

- DIN 15048-1 Abs. 4.2.4:
Bei dem Herstellverfahren für Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 ist die Gefahr einer Wasserstoffversprödung zu berücksichtigen.
- DIN 15048-1 Abs. 4.2.5:
Überzüge aus Cadmium oder Cadmiumlegierungen sind nicht zulässig.

- DIN 15048-1 Abs. 4.2.5:
Das Feuerverzinken der einzelnen Komponenten muss unter der Aufsicht des Herstellers der Garnituren erfolgen.

Es ist also weder im EC3 noch in den genannten Produktnormen ein Verbot bezüglich des galvanisch Verzinkens ausgesprochen. Man kann daraus schließen, dass der Einsatz galvanisch verzinkter Schrauben erlaubt ist, wenn man (nachweislich) die Gefahr der Wasserstoffversprödung ausschließen kann.

11. Beispiel

(siehe Prüfungsaufgaben mit Musterlösungen)

12. Ausblick

Folgende Verfeinerungen bzw. Vervollständigungen der Bemessung von Schrauben sind noch zu bedenken

- Ausnutzung plastischer Querschnittstragfähigkeit
- Tragfähigkeit bei Ermüdungsbeanspruchung

13. Quellen

- [1] DIN EN ISO 898: Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl.
Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel.
Teil 1:2009-08 Schrauben mit festgelegten Festigkeitsklassen – Regelgewinde und Feingewinde (ISO 898-1:2009); Deutsche Fassung EN ISO 898-1:2009.
Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes – Coarse thread and fine pitch thread.
Teil 2: Muttern mit festgelegten Prüfkräften – Regelgewinde (ISO/DIS 898-2:2009); Deutsche Fassung prEN ISO 898-2:2009. Entwurf Februar 2010.
Part 2: Nuts with specified proof load values – Coarse thread. Draft standard February 2010.
- [2] DIN EN 1090: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken.
Execution of steel structures and aluminium structures.
Teil 1: Konformitätsnachweisverfahren für tragende Bauteile. Deutsche Fassung EN 1090-1:2009. Ausgabe Oktober 2009.
Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components.
Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken. Deutsche Fassung EN 1090-2:2008. Ausgabe Dezember 2008.

- Part 2: Technical requirements for steel structures.
Teil 3: Technische Regeln für die Ausführung von Aluminiumtragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-3:2008. Ausgabe September 2008.
Part 3: Technical requirements for aluminium structures.
- [3] DIN EN 1993/NA (EC3): Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten.
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Entwurf Oktober 2007.
Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen. Entwurf August 2007.
- [4] DIN EN 1993 Eurocode 3 (EC3): Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten. Design of steel structures.
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005. Ausgabe Juli 2005. General rules and rules for buildings.
Berichtigung 1 zu Teil 1-1. Berichtigungen zu DIN EN 1993-1-1:2005-07; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005/AC:2006. Ausgabe Mai 2006.
Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005. Juli 2005.
Part 1-8: Design of joints; German version EN 1993-1-8:2005. July 2005.
Berichtigung 1 zu Teil 1-8: Berichtigungen zu DIN EN 1993-1-8:2005-07; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005/AC:2005. Ausgabe März 2006.
- [5] DIN EN ISO 3506: Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen.
Mechanical properties of corrosion-resistant stainless steel fasteners.
Teil 1: Schrauben (ISO 3506-1:2009). April 2010. Deutsche Fassung EN ISO 3506-1:2009.
Teil 1: Schrauben. Entwurf April 2008. Deutsche Fassung prEN ISO 3506-1:2008.
Teil 1: Schrauben. März 1998. Deutsche Fassung EN ISO 3506-1:1997.
Part 1: Bolts, screws and studs.
Teil 2: Muttern (ISO 3506-2:2009). April 2010. Deutsche Fassung EN ISO 3506-2:2009.
Teil 2: Muttern. Entwurf April 2008. Deutsche Fassung prEN ISO 3506-2:2008.
Teil 2: Muttern. März 1998. Deutsche Fassung EN ISO 3506-2:1997.
Part 2: Nuts.
Teil 3: Gewindestifte und ähnliche, nicht auf Zug beanspruchte Schrauben (ISO 3506-3:2009). April 2010. Deutsche Fassung EN ISO 3506-3:2009.
Teil 3: Gewindestifte und ähnliche, nicht auf Zug beanspruchte Schrauben. Entwurf April 2008. Deutsche Fassung prEN ISO 3506-3:2008.
Teil 3: Gewindestifte und ähnliche, nicht auf Zug beanspruchte Schrauben. März 1998. Deutsche Fassung EN ISO 3506-3:1997.
Part 3: Set screws and similar fasteners not under tensile stress.
Teil 4: Blechschrauben (ISO 3506-4:2009). April 2010. Deutsche Fassung EN ISO 3506-4:2009.
Teil 4: Blechschrauben. Entwurf April 2008. Deutsche Fassung prEN ISO 3506-4:2008.
Teil 4: Blechschrauben. Oktober 2003. Deutsche Fassung EN ISO 3506-4:2003.
Part 4: Tapping screws.

- (Auf Teil 1 und Teil 2 sitzt ein normativer, datierter Verweis aus DIN EN 1090-2:2008)
- [6] DIN EN 14399: Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau.
High-strength structural bolting assemblies for preloading.
Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 14399-1:2005. Juni 2006.
Part 1: General requirements; German version EN 14399-1:2005. June 2006.
Teil 2: Prüfung der Eignung zum Vorspannen; Deutsche Fassung EN 14399-2:2005. Juni 2006.
Part 2: Suitability test for preloading; German version EN 14399-2:2005. June 2006.
Teil 3: System HR - Garnituren aus Sechskantschrauben und -muttern; Deutsche Fassung EN 14399-3:2005. Juni 2006.
Part 3: System HR – Hexagon bolt and nut assemblies; German version EN 14399-3:2005. June 2006.
Teil 4: System HV - Garnituren aus Sechskantschrauben und -muttern; Deutsche Fassung EN 14399-4:2005. Juni 2006.
Part 4: System HV – Hexagon bolt and nut assemblies; German version EN 14399-4:2005. June 2006.
Teil 5: Flache Scheiben; Deutsche Fassung EN 14399-5:2005. Juni 2006.
Part 5: Plain washers; German version EN 14399-5:2005. June 2006.
Teil 6: Flache Scheiben mit Fase; Deutsche Fassung EN 14399-6:2005. Juni 2006.
Part 6: Plain chamfered washers; German version EN 14399-6:2005. June 2006.
Entwurf Teil 7: System HR – Garnituren aus Senkschrauben und Muttern; Deutsche Fassung prEN 14399-7:2006. April 2006.
Draft Standard Part 7: System HR – Countersunk head bolt and nut assemblies; German version prEN 14399-7:2006. April 2006.
Entwurf Teil 8: System HV – Garnituren aus Sechskant-Paßschrauben und Muttern; Deutsche Fassung prEN 14399-8:2006. April 2006.
Draft Standard Part 8: System HV – Hexagon fit bolt and nut assemblies; German version prEN 14399-8:2006. April 2006.
- [7] DIN EN 15048: Garnituren für nicht planmäßig vorgespannte Schraubenverbindungen für den Metallbau. Non-preloaded structural bolting assemblies.
Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 15048-1:2007. Juli 2007.
Part 1: General requirements; German version EN 15048-1:2007. July 2007.
Teil 2: Eignungsprüfung; Deutsche Fassung EN 15048-2:2007. Juli 2007.
Part 2: Suitability test; German version EN 15048-2:2007. July 2007.
- [8] DIN 18800: Stahlbauten. Steel structures.
Teil 1:2008-11 Bemessung und Konstruktion. Design and construction.
- [9] DIN 18800: Stahlbauten.
Teil 1: Bemessung und Konstruktion. November 1990.
- [10] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6: Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, 20.04.09. Geltungsdauer bis 30.04.2014.
Sonderdruck 862, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf
www.edelstahl-rostoffrei.de
- [11] Hölbling, W., Misiek, Th., Saal, H.: Tragverhalten von Schrauben in Scher-Lochleibungs-Verbindungen mit ungenau hergestellten Schraubenlöchern. Stahlbau 78

(2009), Heft 1, S. 42–46. Die Daten für den Zugversuch wurden freundlicherweise von der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Universität Karlsruhe, zur Verfügung gestellt.

- [12] Knödel, P.: Lehrunterlagen Stahlbau an der Hochschule Augsburg, herunterladbar über <http://www.peterknoedel.de/lehre/lehre.htm>, laufend aktualisiert.
Skriptum zu
Grundaufgaben – Dauerhaftigkeit / Korrosion – Beschichtung
- [13] Knödel, P.: DIN EN 1090 vs. DIN 18800-7 – Auswirkungen für den Metallbauer. Vortrag in der SLV Mannheim am 28.01.2010. Skript enthalten in den Seminarunterlagen der SLV Mannheim und herunterladbar von www.peterknoedel.de.