

Klausur - Grundlagen des Konstruierens, März 2019

Platznummer:

Name, Vorname: _____

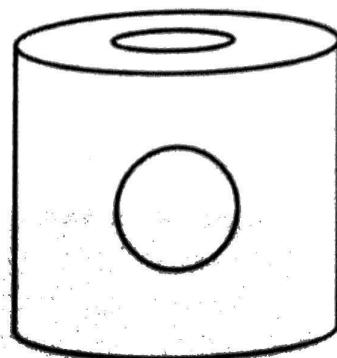
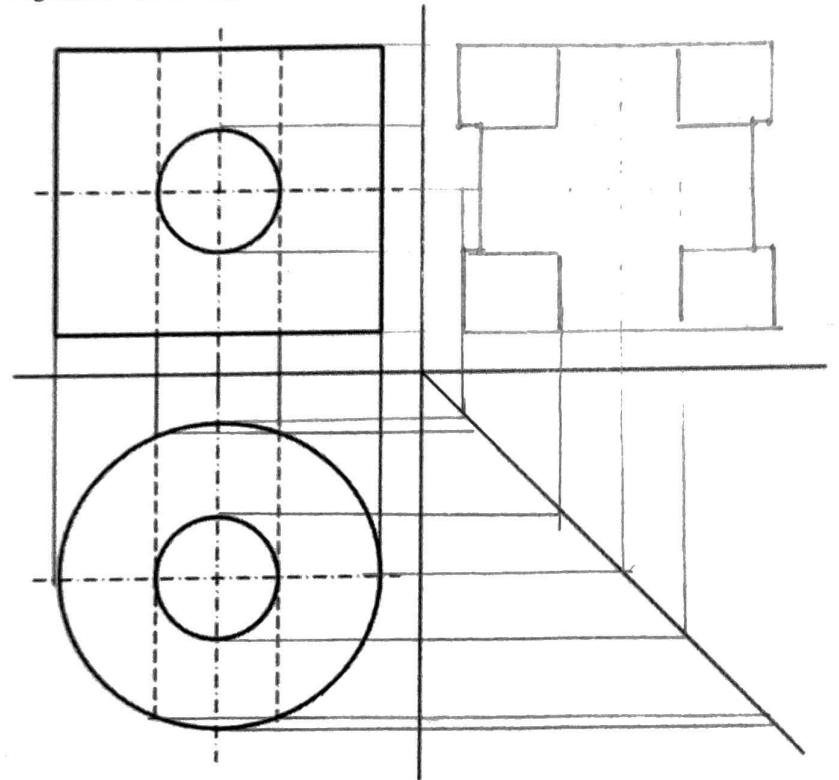
Matrikelnummer: _____

Bitte Klausurbögen zu Beginn auf Vollständigkeit kontrollieren!

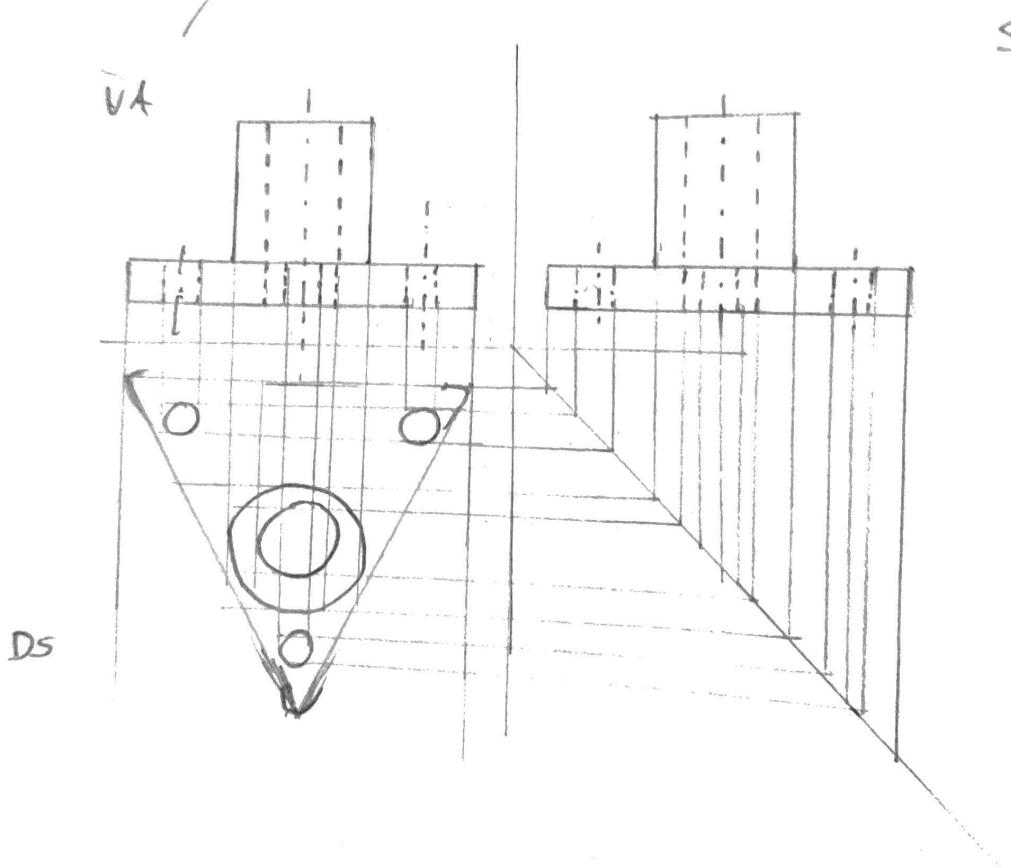
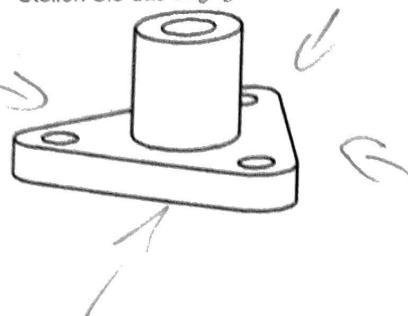
Bei fehlendem Platz bitte die Rückseiten benutzen und entsprechend kennzeichnen!
Formelsammlung s. letzte Anlage!

1. Drei-Tafel-Projektion und Schnittdarstellung (8P)

Ergänzen Sie die Seitenansicht im Vollschnitt.



2. Drei-Tafel-Projektion (9 Punkte)
Stellen Sie das angegebene Bauteil in einer Dreitafelprojektion dar.



3. Wie ist der Begriff „Konstruieren“ gemäß VDI-Richtlinie 2221 definiert?
(3P)

Der Begriff Konstruieren ist gemäß VDI-Richtlinie 2221
ein disziplinärer Unternehmensprozess zur Entwicklung
eines marktfähigen Produkts,
basierend auf der Der Definition initialer Ziele &
Anforderungen an das Produkt, die im
Laufe des Prozesses kontinuierlich weiterentwickelt
und iterativ angepasst werden

4. Beschreiben Sie stichwortartig die 7 Schritte beim Entwickeln und Konstruieren gemäß VDI-Richtlinie 2221. (7P)

Ergebnisse

- | | |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aufgabenstellung | ① Prazisieren der Aufgabenstellung → Anforderungen |
| Konzipieren | ② Ermittlungen von Funktionen und deren Strukturierung → Funktionsstruktur
③ Suche nach Lösungsprinzipien & deren Strukturen → Prinzipielle Lösungs-
konzepte |
| Entwerfen | ④ Gliedern in realisierbare Module Lösungskonzept
⑤ Gestalten der maßgebenden Module Systemarchitektur
Teilentwurf
⑥ Gestalten des gesamten Produkts Gesamtentwurf |
| Ausarbeiten | ⑦ Ausarbeitung der Ausführungs- & Nutzungsangaben Produktdokumentation |

5. Unterscheiden Sie Schraub-, Schweiß-, Löt- und Nietverbindungen anhand des Ordnungssystems für Verbindungen und nennen Sie zwei unterschiedliche Vor- und Nachteile von Schweißverbindungen im Vergleich zu Nietverbindungen. (6P)

Niet: - nicht losbar
- Sicherung durch Formschluss
- Warmnieten: Sicherung erfolgt durch Kraftschluss

Schweiß-Löt: - nicht losbar
- Sicherung durch Stoffschluss
- artfremder Füllstoff
- Bau teile gleicher Werkstoff

Schrauben: - losbar
- Sicherung durch Reib-/Kraftschluss
- Übertragung von Querkräften erfolgt durch Reibkraftschluss

Vor- & Nachteile

- keine Werkstoffbeeinflussung im Vergleich zum Schweißen
- Kostenintensiver als Schweißen

Einfache Welle

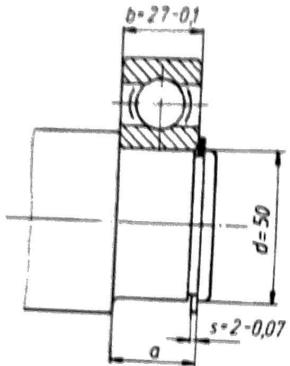
6. Toleranzen und Passungen (8P)

Ein Rillenkugellager 6310 soll auf dem Lagerzapfen mit $d = 50k11$ durch einen Sicherungsring axial festgelegt werden. Nach DIN 616 hat der Lagerinnenring die Breite $b = 27 - 0,1$ mm, der Sicherungsring die Dicke $s = 2 - 0,07$ mm.

Zu ermitteln sind:

- für den Abstand a von der Wellenschulter bis zum äußeren Nutrand das Nennmaß N und die Maßtoleranz T_a , bei der ein seitliches Lagerspiel S von 0 bis höchstens 0,3 mm zugelassen ist.
- welche Maßtoleranz würde sich ergeben für den Fall, dass das seitliche Lagerspiel 0 bis höchstens 0,15 mm betragen darf? Ist die Maßtoleranz zu erfüllen?

$$S_Q = 0,3 \\ S_A = 0$$



$$b = 27 \overset{27}{\underset{26,9}{\sim}}$$

$$S \leq 2 \overset{2}{\underset{-1,93}{\sim}}$$

$$g_{OB} = 29 \text{ mm}$$

$$g_{AW} = 28,83 \text{ mm}$$

Bohrungsausmaß:

$$S_A = g_{OB} - g_{OW} \rightarrow g_{OB} = 29 \text{ mm}$$

$$S_O = g_{OB} - g_{AW} \rightarrow g_{OB} = 28,83 + 0,15 = 28,98 \text{ mm}$$

$$\xleftarrow[28,98]{+0,15}$$

b)

$$S_A = 0$$

$$S_O = 0,15 \text{ mm}$$

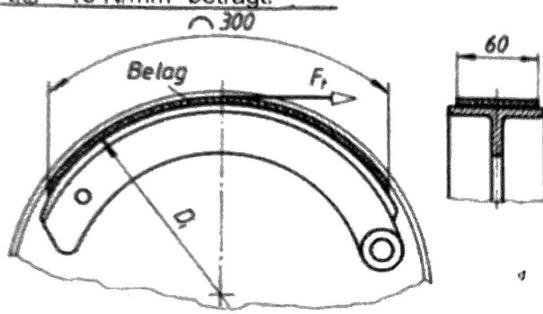
$$g_{OB} = 29 \text{ mm}$$

$$g_{OD} = 28,83 \text{ mm} + 0,15 \text{ mm} = 28,98 \text{ mm}$$

$g_{OD} < g_{OB}$ ✓

7. Klebverbindung (6P)

Der Bremstrommel-Innendurchmesser eines Lastkraftwagens beträgt $D_i = 265 \text{ mm}$. Die auf die Bremsbacken aufgeklebten Beläge haben 60 mm Breite und 300 mm Länge. Im ungünstigsten Fall kann damit gerechnet werden, dass ein einziger Belagstreifen durch eingedrungenes Wasser an der Trommel anfriert und das größte Rad-Drehmoment $T \approx 4,6 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$ von der Klebverbindung zu übertragen ist. Es ist zu prüfen, ob für die Klebverbindung Bruchgefahr besteht, wenn für den vorgesehenen Kleber die Bindefestigkeit $\tau_{KB} = 15 \text{ N/mm}^2$ beträgt.



- $D_i = 265 \text{ mm} \quad \phi$
- 60mm Breite / 300mm Länge
- $T = 4,6 \cdot 10^6$
- $\tau_{KB} = 15 \text{ N/mm}^2$

$$T = F \cdot \frac{d}{2} \quad \text{Gegeben}$$

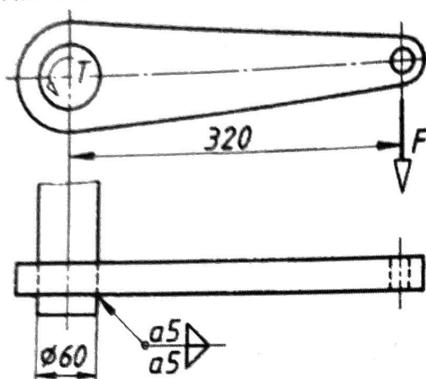
$$F = \frac{2 \cdot 4,6 \cdot 10^6}{265 \text{ mm}} = 34,716 \text{ N/mm} \quad \text{Gegeben} = 34,7 \text{ kN}$$

$$\text{Geleistete Spannung: } \sigma_{vor} = \frac{34,7 \text{ kN}}{300 \text{ mm}} = 1,152 \text{ kN/mm}$$

$\sigma_{vor} < \sigma_{KB}$ zulässig \circlearrowright

8. Schweißverbindung (14P)

Ein Hebel soll mit einer 5 mm dicken Doppelkehlnaht auf eine Welle Ø 60 mm geschweißt werden. Die Umfangskraft am Hebel tritt wechselnd zwischen $F = +6,3 \text{ kN}$ und $F = -2,0 \text{ kN}$ mit starken Stößen ($K_A = 1,6$) auf. Für den Bauteilwerkstoff S235JR ist zu prüfen, ob die Rundnaht dauerfest ist (s. Anlage Schweißverbindungen).



- 5mm dicke TOPPELKEHLNAHT
- oben aufend
- Welle 60 mm Ø
- $F_{\max} 6,3 \text{ kN}$
- $F_{\min} -2 \text{ kN}$
- $K_A = 1,6$
- S235 JR

Kerbfalllinie H

$$\sigma_{\text{vor}} = \frac{T}{2 \cdot \alpha \cdot \pi \cdot r^2}$$

$$\sigma_{\text{vor}} = \frac{320 \cdot 16 \cdot 6300 \text{ N}}{2 \cdot 5 \cdot 2 \cdot \pi \cdot (30 \text{ mm})^2} = 57,04 \text{ N/mm}^2$$

$$k = \frac{T_{\min}}{T_{\max}} = \frac{-2,0 \text{ kN}}{6,3 \text{ kN}} = -0,3117$$

$$\sigma_{\text{zul}} = \frac{2 \cdot (1 - 0,917 \cdot (-0,3117))}{1,17 \cdot (1 - (-0,3117))} \cdot \frac{\sigma_{\text{zul}, k=1}}{57,04 \text{ N/mm}^2} = 8936$$

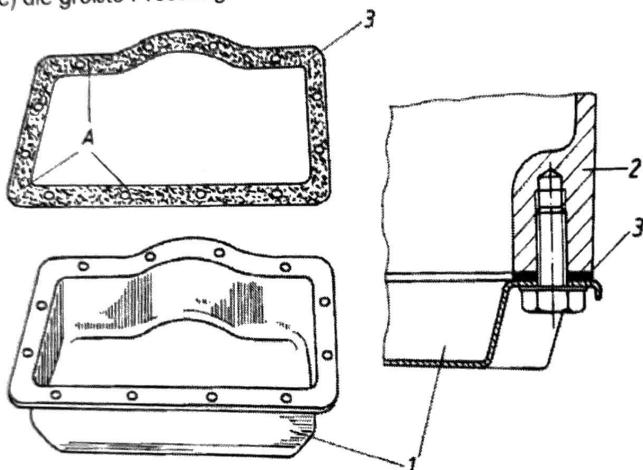
$$\sigma_{\text{zul}, 2} = 80,96 \cdot \left(\frac{10}{60}\right)^{0,1}$$

$$\sigma_{\text{vor}} < \sigma_{\text{zul}}$$

9. Schraubenverbindung (15P)

Eine als Blechziehteil hergestellte Ölwanne (1) soll mit dem Gussgehäuse (2) durch 12 Sechskantschrauben ISO 4017 - 8.8 öldicht verschraubt werden. Für die vorgesehene Weichstoff-Flachdichtung (3) beträgt nach Angabe des Herstellers die Mindestpressung (kritische Vorpressung) $p_{min} = 14 \text{ N/mm}^2$ und die maximal zulässige Pressung $p_{max} = 70 \text{ N/mm}^2$. Die Dichtfläche wird mit $A = 9500 \text{ mm}^2$ ausgeführt.

Zu ermitteln bzw. zu prüfen sind (s. Anlage Schraubverbindungen):
a) der Gewindedurchmesser der geschwärzten und geölten Schrauben, wenn diese mit Präzisionsdrehschraubern angezogen werden und das Setzen der Dichtung einen Vorspannkraftverlust $F_z = 4 \text{ kN}$ je Schraube erwarten lässt,
b) die Normbezeichnung der Schrauben bei einer Klemmlänge von ca. 3 mm,
c) die größte Pressung der Dichtung beim Vorspannen der Schrauben auf F_{sp} .



10. Bolzenverbindung (14P)

Zur Übertragung einer mit mittleren Stößen ($K_A = 1,4$) wechselnd wirkenden Kraft $F = 11,2 \text{ kN}$ ist ein ruhendes Bolzengelenk zu entwerfen. Vorgesehen ist ein mit merklichem Spiel sitzender genormter Bolzen mit Kopf, der durch einen Sicherungsring axial gesichert werden soll. Für Gabel und Stange ist der Werkstoff S235JR vorgesehen.

Zu bestimmen sind:

- die Hauptabmessungen (d , t_s , t_g und D) des Gelenkes (s. Formelsammlung),
- eine geeignete Spielpassung zwischen Bolzen und Stangen- bzw. Gabelbohrung im System Einheitsbohrung (s. Anlage Passungen).
- Das Gelenk ist auf Abscheren und auf Flächenpressung in der Gabelbohrung zu prüfen (s. Formelsammlung).

$$K_A = 1,4 / F = 11,2 / \text{ruhender Bolzen} / \text{Einbaufall 1}$$

$$\text{a) Nicht aufgelöst} = \text{ruhend} = K = 1,6$$

$$d = 1,6 \cdot \sqrt{\frac{11,2 \cdot 12000}{60 \cdot 1/\text{mm}^2}} = 25,86 = 25,86 - 27 \text{ mm TB 9-2}$$

$$\sigma_{\text{bzuL}} = 0,3 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 = 60 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{t_s}{d} = 1,0 \Rightarrow t_s = 1,0 \cdot 27 \text{ mm}$$

$$D = 2,5 \cdot 27 \text{ mm} = 67,5 \text{ mm} \approx 70 \text{ mm}$$

$$\frac{t_g}{d} = 1,0 \Leftrightarrow t_g = 1,0 \cdot 27 \text{ mm} = 27 \text{ mm} \rightarrow 25 \text{ mm}$$

$$\frac{t_g}{d} = 0,6 \Leftrightarrow t_g = 0,6 \cdot 27 \text{ mm} = 13,5 \text{ mm} \rightarrow 12,5 \text{ mm}$$

$$\text{b) merklich Spiel} (\rightarrow H8 / e8)$$

$$\text{c) Biegespannung: } \sigma_{\text{bmax}} = \frac{F \cdot (t_s + 2t_g)}{8} = 70000$$

$$W_b = \frac{\pi}{32} \cdot d^3 = \frac{\pi}{32} \cdot (27 \text{ mm})^3 = 1932,37 \text{ mm}^3 = 1932 \text{ mm}^2$$

$$\text{Berec.: } \sigma_{\text{bVorn}} = \frac{K_A \cdot M_b}{W_b} = \frac{1,4 \cdot 70000 \text{ Nmm}}{1932 \text{ mm}^2} = 1851,1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{bzuL}}$$

Seite 12 von 28

Abscheren

$$\hookrightarrow \text{Nördliche Seite} \quad \tau_{\text{max}} = \frac{4}{3} \cdot \frac{K_A \cdot F_{\text{renn}}}{t_s \cdot 2} = 18 \text{ N/mm}^2 \quad A_S = \frac{\pi}{4} \cdot (27 \text{ mm})^2 \\ P_{\text{zul. Ord.}} = 400 \text{ N/mm}^2 = 400 \text{ N/mm}^2 \quad 572,28$$

$$\text{Flächenpressung: } p_{\text{max}} = \frac{K_A \cdot F}{A_{\text{Flansch}}} \rightarrow A_{\text{Flansch}} = 27 \text{ mm}^2 \cdot 25 \text{ mm} \quad p_{\text{max}} = 23,22 \text{ N/mm}^2 \\ p_{\text{zul.}} = 0,125 \cdot 3600 \text{ N/mm}^2 = 450 \text{ N/mm}^2 / 100 \text{ N/mm}^2$$

Anlage Passungen (Quelle: Roloff/Matek – Maschinenelemente)

TB 2-9 Anwendungsbeispiele für Passungen¹⁾

System Einheits- bohrung	Pass-toleranz- feldlage	System Einheits- welle	Montagehinweise, Passcharakter und Anwendungsbeispiele
Übermaßpassungen			
H8/s8		X7/h6	Nur durch Erwärmen bzw. Kühlen fügbar. Auf Wellen festzuhaltende Zahnräder, Kupplungen, Schwungräder; Schrumpfringe. Zusätzliche Sicherung gegen Verdrehen nicht erforderlich.
H8/u8		U7/h6	
H7/s6		S7/h6	Teile unter größerem Druck oder Erwärmen bzw. Kühlen fügbar. Lagerbuchsen in Gehäusen, Buchsen in Radnaben; Flansche auf Wellenenden. Zusätzliche Sicherung gegen Verdrehen nicht erforderlich.
H7/r6		R7/h6	
Übergangspassungen			
H7/n6		N7/h6	Teile unter Druck fügbar. Radkränze auf Radkörpern; Lagerbuchsen in Gehäusen und Radnaben; Kupplungen auf Wellenenden. Gegen Verdrehen zusätzlich sichern.
H7/k6		K7/h6	Teile mit Hammerschlägen fügbar. Zahnräder, Riemenscheiben, Kupplungen, Bremscheiben auf längeren Wellen bzw. Wellenenden. Gegen Verdrehen zusätzlich sichern.
H7/j6		J7/h6	Teile mit leichten Hammerschlägen oder von Hand fügbar. Für leicht ein- und auszubauende Zahnräder, Riemenscheiben; Buchsen. Gegen Verdrehen zusätzlich sichern.
Spielpassungen			
H7/h6		H8/h9	Teile von Hand noch verschiebbar. Für gleitende Teile und Führungen; Zentrierflansche; Reitstockpinole; Stell- und Distanzringe.
H8/h9		H9/h11	
H11/h9		G7/h6	Teile ohne merkliches Spiel verschiebbar. Gleitlager für Arbeitsspindeln, verschiebbare Räder und Kupplungen.
H7/g6		F8/h6	Teile mit geringem Spiel beweglich. Gleitlager allgemein; Gleitbuchsen auf Wellen; Steuerkolben in Zylindern.
H7/t7		F8/h9	
H8/e8		E9/h9	Teile mit merklichem Spiel beweglich. Mehrfach gelagerte Welle; Kurbelwellen- und Schneckenwellenlagerung; Hebel-lagerungen.
H8/d9		D10/h9	Teile mit reichlichem Spiel beweglich. Für die Lagerungen an Bau- und Landmaschinen; Förderanlagen. Grobmaschinenbau allgemein.
H11/d9		C11/h9	Teile mit sehr großem Spiel beweglich. Lager mit hoher Verschmutzungsgefahr und bei mangelhafter Schmierung; Gelenkverbindungen, Waggonbau, Landmaschinen.
H11/c11		C11/h11	
H11/a11		A11/h11	

¹⁾ Für den praktischen Gebrauch genügt die Passungsauswahl nach DIN 7157, Reihe 1 (**Fettdruck**). Von dieser Empfehlung ist nur in Ausnahmefällen (z. B. Wälzlagereinbau, TB 14-8) abzuweichen. Die *kurziv* gedruckten Passungen sind DIN 7155-1 (ISO-Passungen für Einheitswelle) entnommen und zu vermeiden.

Anlage Schweißverbindungen (Quelle: Roloff/Matek – Maschinenelemente)

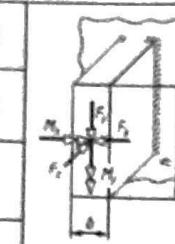
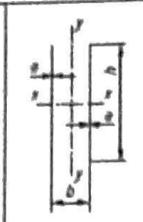
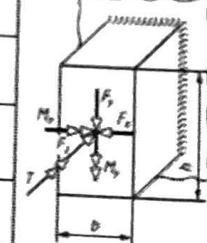
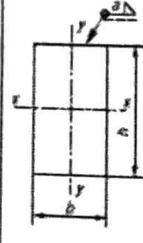
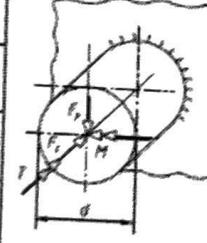
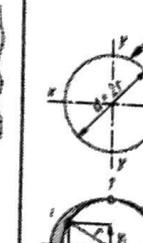
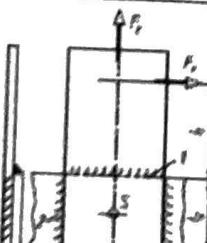
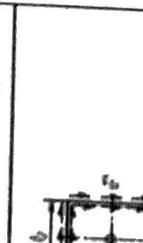
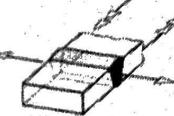
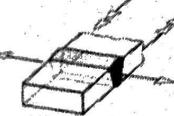
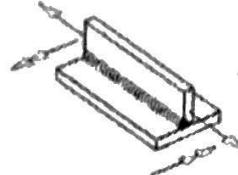
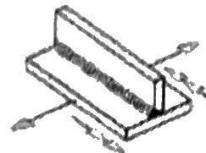
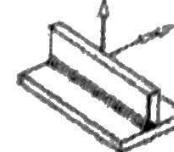
Zeilenummer	Belastungsbild	Nahrbild (Wurzellinie)	Querschnittswerte	Beanspruchungsart	Nennspannungen
V-Stoß mit 2 Kehlnähten (Ecken umschweißt)					
1			$A_w = 2 \cdot a \cdot h$ $I_x = \frac{1}{6} \cdot a \cdot h^3$ $I_y = \frac{1}{2} \cdot a \cdot h \cdot b^2$ $W_z = \frac{1}{3} \cdot a \cdot h^2$ $W_y = a \cdot h \cdot b$	Zug/Druck	$\sigma_{\perp} = \frac{F_Z}{2 \cdot a \cdot h}$
2				Biegung	$\sigma_{\perp} = \frac{M_x}{\frac{1}{6} \cdot a \cdot h^3} \cdot y$
3					$\sigma_{\perp} = \frac{M_y}{\frac{1}{2} \cdot a \cdot h \cdot b^2} \cdot x$
4			$A_w = 2 \cdot a \cdot h$	Schub (Mittelwert)	$\tau_{\parallel} = \frac{F_y}{2 \cdot a \cdot h}$
5					$\tau_{\perp} = \frac{F_x}{2 \cdot a \cdot h}$
Biegesteifer Anschluss eines umschweißten Rechteckprofils					
6			$A_w = 2 \cdot a \cdot (b+h)$ $I_x = 2 \cdot a \cdot h^2 \cdot \left(\frac{h}{12} + \frac{b}{4}\right)$ $I_y = 2 \cdot a \cdot b^2 \cdot \left(\frac{b}{12} + \frac{h}{4}\right)$ $A_{wy} = 2 \cdot a \cdot h$ $A_{wx} = 2 \cdot a \cdot b$ $W_t = 2 \cdot A_m \cdot a = 2 \cdot b \cdot h \cdot a$	Zug/Druck	$\sigma_{\perp} = \frac{F_Z}{A_w}$
7				Biegung	$\sigma_{\perp} = \frac{M_x}{2 \cdot a \cdot h^2 \cdot (h/12 + b/4)} \cdot y$
8					$\sigma_{\perp} = \frac{M_y}{2 \cdot a \cdot b^2 \cdot (b/12 + h/4)} \cdot x$
9				Schub (Mittelwert)	$\tau_{\parallel} = \frac{F_y}{2 \cdot a \cdot h}$
10					$\tau_{\parallel} = \frac{F_x}{2 \cdot a \cdot b}$
11				Torsion	$\tau_{\parallel} = \frac{T}{2 \cdot b \cdot h \cdot a}$
Biegesteifer Anschluss eines zylindrischen Bauteils (Rohr, Zapfen)					
12			$A_w = a \cdot \pi \cdot d$ $I_w = a \cdot \pi \cdot r^3$ $W_w = a \cdot \pi \cdot r^2$ $W_{wt} = 2 \cdot A_m \cdot a = 2 \cdot a \cdot \pi \cdot r^2$ $A_t = a \cdot \pi \cdot r$	Zug/Druck	$\sigma_{\perp} = \frac{F_Z}{a \cdot \pi \cdot d}$
13				Biegung	$\sigma_{\perp} = \frac{M}{a \cdot \pi \cdot r^3}$
14					$\tau_{\parallel} = \frac{F_y}{a \cdot \pi \cdot r} \cdot \frac{x_1}{r}$
15				Schub	$\tau_{\parallel} = \tau_{\max} = \frac{2 \cdot F_y}{a \cdot \pi \cdot d}$
16					
17					
Überlappter Anschluss mit Moment in der Blechebene					
18			Schub in der Stirnkehlnaht (1)	infolge F_x	$\tau_{\parallel} = \frac{F_x}{2 \cdot a \cdot b}$
19				infolge Drehmoment	$\tau_{\parallel} = \frac{F_x \cdot (l_1 + 0.5 \cdot l_2)}{2 \cdot a \cdot b \cdot l_2}$
20			Schub in der Plankenkehlnaht (2)	infolge F_y	$\tau_{\parallel} = \frac{F_y}{2 \cdot a \cdot l_2}$
21				infolge Drehmoment	$\tau_{\parallel} = \frac{F_y \cdot (l_1 + 0.5 \cdot l_2)}{2 \cdot a \cdot b \cdot l_2}$

Bild 6.46 Kehlnahtanschlüsse. Beispiele zur Berechnung der Kehlnaht-Nennspannungen bezogen auf die Anschlussebene.

TB 6-11 Bauformenkatalog für die Ausführung und Dauerfestigkeitsbewertung von Schweißverbindungen an Stählen im Maschinenbau nach DVS-Richtlinie 1612 (Auszug)
Zugehörige Kerbsfalllinien s. TB 6-12.

Nr.	Darstellung	Beschreibung	Nahtart	Nahtbearbeitung	Prüfart und -umfang ¹⁾	Bewertungsgruppe ²⁾	Kerbsfalllinie
				zIP	100% 10% Sichtprüfung		
Stumpf- und T-Stoßverbindungen, Normalbeanspruchung							
1		Grundwerkstoff (Vollstab) - mit Walzhaut, nicht reinigungs- gestrahlt, unbeeinflusst	ohne Naht			A	
2		- wärmebeeinflusst (thermisch getrennt)				AB	
3		Stumpfnaht zwischen Teilen gleicher Dicke	V-Naht und HV-Naht mit Gegenlage	ja	x	B+	B
4		beidseitig durchgeschweißt und einseitig durchgeschweißt mit Gegenlage	DV-Naht DHV-Naht	nein	x	B	C
5				nein	x	C	EI
6		einseitig durchgeschweißt ohne Badsicherung	I-Naht V-Naht HV-Naht	nein	x	B+	D
7				nein	x	B	EI
8				nein	x	C	EI-

TB 6-11 (Fortsetzung)

Nr.	Darstellung	Beschreibung	Nahtart	Nahtbearbeitung	Prüfart und -umfang ¹⁾			Bewertungsgruppe ²⁾	Kerbfalllinie
					100% zFP	10% zFP	Sichtprüfung		
9		beidseitig durchgeschweißt und einseitig durchgeschweißt mit Gegenlage	V-Naht, HV-Naht, DV-Naht, DHV-Naht, Nahtwinkel > 30°	ja nein nein nein	x			B+	B
10					x			B	D+
11						x		C	D
12						x		C	E1
13		einseitig durchgeschweißt ohne Badsicherung	I-Naht	nein	x			B	E1+
14			V-Naht	nein		x		B	E1
15			HV-Naht	nein			x	B	E1
16		Längsbeanspruchte T-Stoßverbindung	beidseitig durchgeschweißt mit Gegenlage	DHV-Naht HV-Naht mit Kehlnaht als Gegenlage HV-Naht mit Gegenlage	ja ja ja	x		C	F2
17					x			B+	B+
18						x		B	B
19							x	C	B-
20				nein	x			B+	C+
21				nein		x		B	C
22		beidseitig nicht durchgeschweißt	DHY-Naht, HY-Naht mit Kehlnaht als Gegenlage, Doppelkehlnaht	nein			x	C	C-
23			ja		x			B	B
24			ja			x		C	B-
25			nein		x			B	C
26		Querbeanspruchte T-Stoßverbindung, durchlaufender Gurt beansprucht	beidseitig durchgeschweißt mit Gegenlage	DHV-Naht, HV-Naht mit Kehlnaht als Gegenlage, HV-Naht mit Gegenlage	ja ja ja	x		B+	C+
27					x			B	C
28						x		B	C
29						x		C	C-
30				nein	x			B+	E4-
31		Anrißort: Nahtübergang		nein		x		B	E5+
32		beidseitig nicht durchgeschweißt	DHY-Naht, HY-Naht mit Kehlnaht als Gegenlage, Doppelkehlnaht	ja		x		C	E5
33			ja		x			B	C
34			ja			x		C	C-
35		Anrißort: Nahtübergang	nein		x			B	E5+
36		Querbeanspruchte T-Stoßverbindung, angeschlossener Steg beansprucht	beidseitig durchgeschweißt mit Gegenlage	DHV-Naht, HV-Naht mit Kehlnaht als Gegenlage, HV-Naht mit Gegenlage	ja ja ja	x		C	E5
37					x			B+	D-
38						x		B	E1+
39						x		C	E1
40						x		B+	E4-
41				nein	x			B	E5+
42		Anrißort: Nahtübergang		nein		x		C	E5
43		einseitig durchgeschweißt	HV-Naht, HV-Naht mit Badsicherung	nein	x			B+	E6+
44		beidseitig nicht durchgeschweißt	DHY-Naht Doppelkehlnaht	nein		x		C	E6-
				nein		x		C	F1

Nr.	Darstellung	Beschreibung	Nahrtart	Nahrbearbeitung	Prüfart und -umfang ¹⁾	Bewertungsgruppe ²⁾	Kerbfalllinie	
					100% zFP	10% zFP	Sicherungsprüfung	
45	Stumpfstoßverbindung von Bauteilen unterschiedlicher Dicke	beidseitig durchgeschweißt mit Gegenlage Neigung $\geq 1:4$	V-Naht mit Gegenlage. HV-Naht mit Gegenlage.	ja nein	*	-	B	B-
46			DV-Naht, DHV-Naht, I-Naht	nein	-	x	B	C-
47	1. Symmetrischer Stoß	Neigung $\geq 1:2$	I-Naht DHV-Naht	nein	-	x	B	E1-
48				nein	-	x	C	E4+
49		ohne Anschrägen des dickeren Bleches beidseitig nicht durchgeschweißt Anrißsort: Nahtübergang oder Nahtwurzel	DHY-Naht	nein	-	x	C	F2
50	2. unsymmetrischer Stoß	beidseitig durchgeschweißt mit Gegenlage Neigung $\geq 1:4$	I-Naht, V-Naht mit Gegenlage, HV-Naht mit Gegenlage,	ja nein nein	x	-	B+	B
51		Neigung $\geq 1:2$	DV-Naht, DHV-Naht	nein	-	x	B	D
52		ohne Anschrägen des dickeren Bleches Anrißsort: Nahtübergang oder Nahtwurzel			-	x	C	D-
53					-	x	C	E5-
54					-	x	C	F1+
Bauteilähnliche Verbindungen								
55	Längsbeanspruchte Kastenprofile	geschweißte Kastenträger	HV-Naht mit aufgesetzter Kehlnaht	ja nein	x	-	B	B
56					-	x	C	C-
57			HV-Naht mit aufgesetzter Kehlnaht oben und Doppelkehlnaht unten	ja nein	x	-	B	B
58					-	x	C	C+
59			HY-Naht mit aufgesetzter Kehlnaht	ja nein	x	-	B	C+
60					-	x	C	C-
61			einseitige Kehlnaht oben und unten	ja nein	x	-	B	E1+
62					-	x	C	E4

Nr.	Darstellung	Beschreibung	Nahtart	Naht- bear- beitung	Prüfart und -umfang ¹⁾	Bewer- tungs- gruppe ²⁾	Kerb- fall- linie
				100% zfp	10% zfp	Sicht- prüfung	
63	Längsbeanspruchte durchlaufende Bauteile mit aufgeschweißter Gurtplatte	aufgeschweißte Gurtplatte und Kehlnähte an den Stirnflächen bearbeitet	Kehlnaht bzw. Überlappnaht	ja	x		B E1+
64				ja		x	C E1
65					x		B F1+
66					x		C F1
67	Längsbeanspruchte durchlaufende Bauteile mit aufgeschweißter Längssteife	aufgeschweißte Gurtplatte und unbearbeitete Kehlnähte Anrißort: Nahtübergang		nein	x		B E1
68				nein	x		B E4+
69					x		C E4
70							
71							
72	Schweißverbindungen an Rohren und rohrförmigen Bauteilen	mit unbearbeiteten Kehlnähten aufgeschweißte Längssteife Anrißort: Nahtwurzel	umlaufende Kehlnaht	nein nein	x x		B F+ C F1
73							
74							
75							
76							
77							

TB 6-11 (Fortsetzung)

Nr.	Darstellung	Beschreibung	Nahfert.	Naht- bear- beitung		Profil und -umfang		Bewer- tung		Kerbfall- linie
				100% zfP	10% zfP	nicht prüf	gruppe			
91	T-Stoßverbindung	durchgeschweißt	DHV-Naht, HY-Naht mit Gegenlage							H+
92		beidseitig nicht durchgeschweißt	DHY-Naht, Doppelkehl- naht							H-
93		einseitig nicht durchgeschweißt	HY-Naht, HY-Naht mit aufgesetzter Kehlnaht							H-

¹⁾ zfP zerstörungsfreie Schweißnahtprüfung; zfP-V volumenbezogene Prüfung bei durchgeschweißten Verbindungen (z. B. RT, UT), zfP-O Oberflächenrisprüfung bei nicht durchgeschweißten Verbindungen (z.B. PT)

²⁾ B+ zusätzliche Bewertungsgruppe, die ein höheres Qualitätsniveau gegenüber der Bewertungsgruppe DIN EN ISO 5817 erfordert (Anforderungen an die Unregelmäßigkeit der Nahtausbildung und 100% zfP-V)

³⁾ keine Angaben hinsichtlich Nahfbearbeitung und Prüfung. Bei mittlerem Sicherheitsbedürfnis Bewertungsgruppe C.

TB 6-12 Zulässige Dauerfestigkeitswerte (Oberspannungen) für Schweißverbindungen im Maschinenbau nach Richtlinie DVS 1612 (Gültig für Bauteildicke $2 \text{ mm} \leq t \leq 10 \text{ mm}$, $> 2 \cdot 10^6$ Lastwechsel, $S_D = 1,5$)

Erläuterung der Kerbfalllinien A bis H s. TB 6-11.

a) Rechnerische Bestimmung der zulässigen Dauerfestigkeitswerte

$$\text{Normalspannungen: } \sigma_{\text{zul}} = 150 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,04^{-x} \cdot \frac{2 \cdot (1 - 0,3 \cdot \kappa)}{1,3 \cdot (1 - \kappa)}$$

$$\kappa = \sigma_{\min}/\sigma_{\max} \quad (1 > \kappa \geq -1); \text{ Exponent } x, \text{ kerfall- und teilweise werkstoffabhängig}$$

Kerbfalllinie	A	AB	B	C	D	E1	E4	E5	E6	F1	F2
x	S235	5	7	9	11	13	15	18	21	24	27
	S355	0	3	6	9	12					41

$$\text{Schubspannungen: } \tau_{\text{zul}} = \frac{2 \cdot (1 - 0,17 \cdot \kappa)}{1,17 \cdot (1 - \kappa)} \cdot \tau_{\text{zul}, \kappa=-1}$$

$$\kappa = \tau_{\min}/\tau_{\max} \quad (1 > \kappa \geq -1)$$

Kerbfalllinie	G+	G	G-	H+	H	H-
$\tau_{\text{zul}, \kappa=-1} \text{ in N/mm}^2$	93	82	73	65	59	53

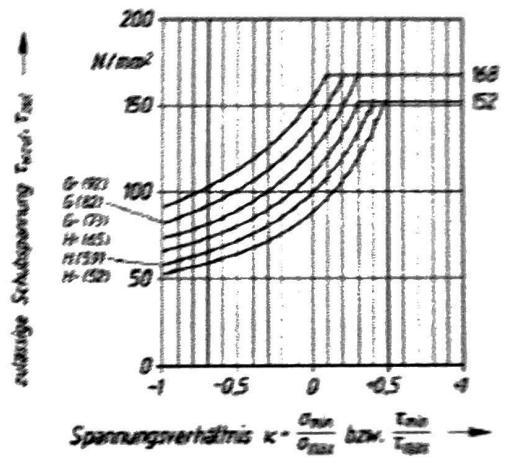
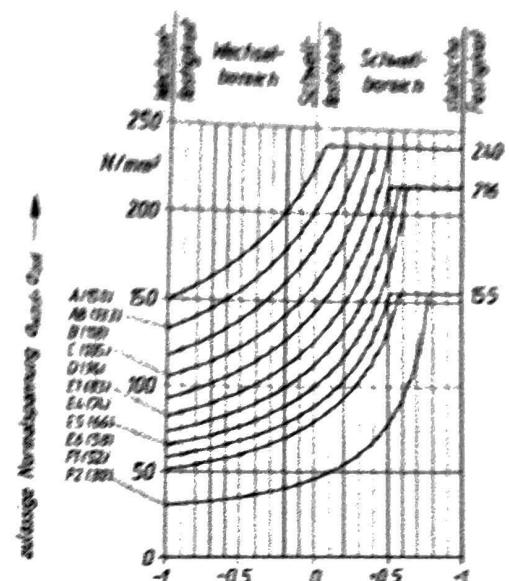
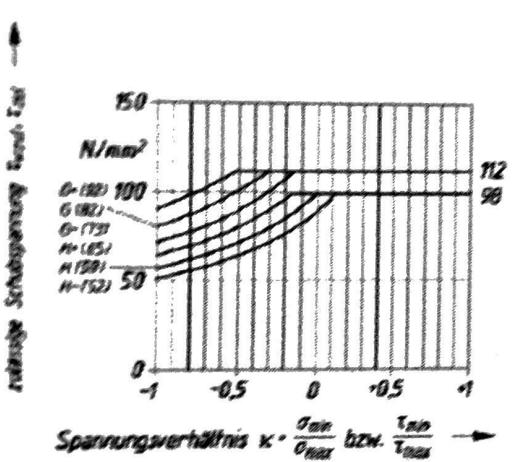
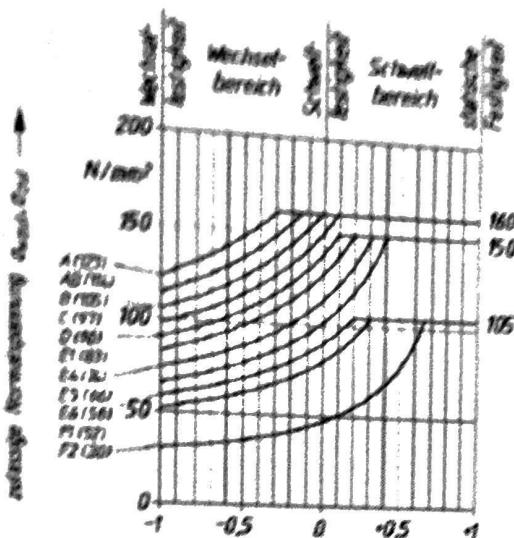
In den Diagrammen b1 und b2 sind die mit den Vorzeichen „+“ oder „-“ gekennzeichneten Kerbfalllinien für Normalspannungen nicht dargestellt. Sie liegen jeweils um den Faktor 1,04 höher

TB 6-12 (Fortsetzung)

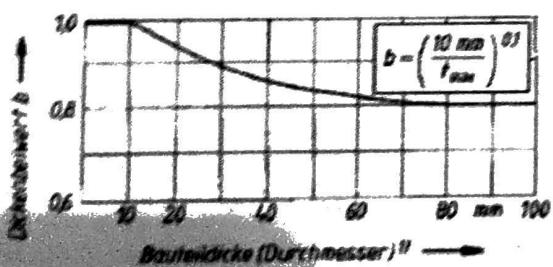
6) Dauerfestigkeitsfaktor

b1) für Bauteile aus 8215

b2) für Bauteile aus S154



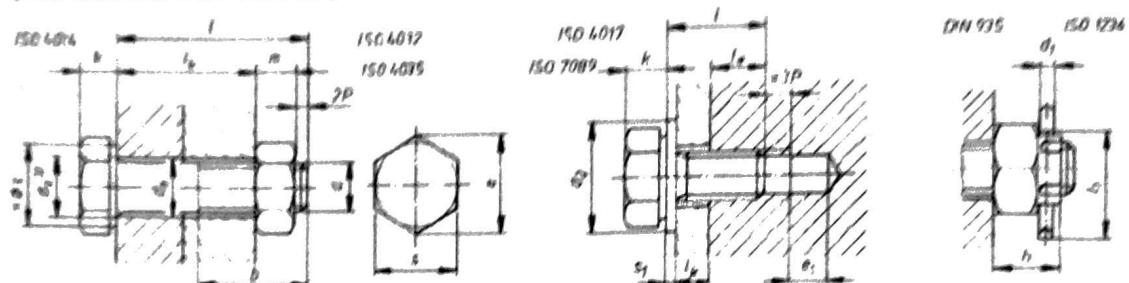
TB 6-13 Dickenbeiwert für geschweißte Bauteile im Maschinenbau nach DVS 1612



¹⁾ Maßgebend größte Dicke t_{\max} bzw. d_{\max} der zu verschweißenden Teile.

Anlage Schraubverbindungen (Quelle: Roloff/Matek – Maschinenelemente)

TB 8-8 Konstruktionsmaße für Verbindungen mit Sechskantschrauben (Auswahl aus DIN-Normen) Gewindemaße s. TB 8-1



Maße in mm

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
DIN EN 4014, 4032 u.a.	4014	4014	4014	4017	4014	4014	4032	4035			1234	7089, 7090	
ISO													
DIN EN													
DIN 475, ISO 272													935

Scheiben

Gewinde	Schlüsselweite SW	Eckennmaß	Kopfhöhe	Normalängenbereich	Normalängenbereich	Gewindelänge für $l \leq 125$ mm	Gewindelänge für $l > 125$ bis 200 mm	Mutterhöhe Typ 1	Mutterhöhe niedrige Form	Kronenmutter	Splint
M 3	5,5	6,01	2	20...30	6...30	12	18	2,4	1,8	-	-
M 4	7	7,66	2,8	25...40	8...40	14	20	3,2	2,2	5	1 × 10
M 5	8	8,79	3,5	25...50	10...50	16	22	4,7	2,7	6	1,2 × 12
M 6	10	11,05	4	30...60	12...60	18	24	5,2	3,2	7,5	1,6 × 14
M 8	13	14,38	5,3	40...80	16...80	22	28	6,8	4	9,5	2 × 16
M10	16	17,77	6,4	45...100	28...100	26	32	8,4	5	12	2,5 × 20
M12	18	20,03	7,5	50...120	25...120	30	36	10,8	6	15	3,2 × 22
M14	21	23,38	8,8	60...140	30...140	34	40	12,8	7	16	3,2 × 25
M16	24	26,75	10	65...160	30...200	38	44	14,8	8	19	4 × 28
M20	30	33,53	12,5	80...200	40...200	46	52	18	10	22	4 × 36
M24	36	39,98	15	90...240	50...200	54	60	21,5	12	27	5 × 40
M30	46	51,28	18,7	110...300	60...200	66	72	25,6	15	33	6,3 × 50
M36	55	61,31	22,5	140...360	70...200	-	84	31	18	38	6,3 × 63

¹⁾ Stufung der Längen l : 6 8 10 12 16 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 ... 500.

²⁾ Höhere Abstreiffestigkeit durch größere Mutterhöhen nach DIN EN ISO 4033 mit $m/d \approx 1$.

³⁾ Übergangsdurchmesser d_0 begrenzt den max. Übergang des Radius in die ebene Kopfaulage. Nach DIN 267 T2 gilt allgemein für die Produktklassen A(m) und B(mg) bis M18: $d_0 = \text{Durchgangsloch „mittel“} + 0,2 \text{ mm}$ und für M20 bis M39: $d_0 = \text{Durchgangsloch „mittel“} + 0,4 \text{ mm}$. Für die Produktklasse C(g) gelten die gleichen Formeln mit Durchgangsloch „grob“.

⁴⁾ Für Schrauben der hauptsächlich verwendeten Produktklasse A(m) Reihe „mittel“ ausführen, damit $d_0 \approx d_s$.

TB 8-11 Richtwerte für den Anziehfaktor k_A (Auswahl nach VDI 2230)

Anziehverfahren	Streuung der Vorspannkräfte	Bemerkungen	Anziehfaktor k_A
Anziehen mit Längsgewichtung bzw. -kontrolle per Ultraschall	$\pm 5\% \text{ bis } \pm 9\%$ ¹⁾	kleinerer Wert bei direkter mechanischer Ankopplung, größerer bei indirekter Ankopplung	1,1 bis 1,2
Hydraulisches Anziehen, reibungs- und torsionsfrei (Anwendung ab M20)	$\pm 5\% \text{ bis } \pm 17\%$	kleinerer Wert für Schrauben $l_e/d \geq 5$ größere k_A -Werte bei kleineren l_e/d bei Normschrauben und -muttern $k_A \geq 1,2$	1,1 bis 1,4
Streckgrenzgesteuertes oder drehwinkelgesteuertes Anziehen (von Hand oder motorisch)	$\pm 9\% \text{ bis } \pm 17\%$	Schrauben werden mit $F_{V,\min} = F_{MV}$ berechnet, d.h.	1,2 bis 1,4
Impulschrauber mit hydraulischer Pulszelle, drehmoment- und/oder drehwinkelgesteuert	$\pm 9\% \text{ bis } \pm 33\%$	kleinerer Wert nur bei Voreinstellung auf den Schraubfall über Drehwinkel, Druckluftservoventil und Pulszähler	1,2 bis 2,0
Drehmomentgesteuertes Anziehen mit Drehmomentschlüssel, signalgebendem Schlüssel oder motorischem Drehschrauber mit dynamischer Drehmomentmessung	$\pm 17\% \text{ bis } \pm 23\%$ $\mu_0 = \mu_K = 0,08 - 0,16$ $\pm 23\% \text{ bis } \pm 33\%$ $\mu_0 = \mu_K = 0,04 - 0,10$ $\pm 26\% \text{ bis } \pm 43\%$ $\pm 43\% \text{ bis } \pm 60\%$	kleinere Werte für große Anzahl von Einstell- bzw. Kontrollversuchen (z.B. 20); geringe Streuung des abgegebenen Moments (z.B. $\pm 5\%$) kleinere Werte für messende Drehmomentschlüssel bei gleichmäßigen Anziehen und für Präzisionsdrehschrauber; größere Werte für signalgebende oder ausknickende Drehmomentschlüssel kleinerer Wert für große Anzahl von Einstellversuchen (Nachziehmoment), spielfreie Impulsübertragung	1,4 bis 1,6 3) 1,6 bis 2,0 1,7 bis 2,5 2,5 bis 4,0
Anziehen mit Schlagschrauber, „Abwürgschrauber“ oder Impulschrauber; Anziehen mit Hand			

¹⁾ bei $l_e/d < 2$ progressive Fehlerzunahme beachten

²⁾ Die Vorspannkraftrastreuung wird wesentlich bestimmt durch die Streuung der Streckgrenze im verbauten Schraubenlos.

³⁾ kleinere Werte für kleine Drehwinkel, d.h. relativ steife Verbindungen; relativ geringe Härte der Gegenlage⁴⁾; Gegenlagen, die nicht zum „Pressen“ neigen, z.B. phosphatiert sind oder bei ausreichender Schmierung

größere Werte für: große Drehwinkel, d.h. relativ nachgiebige Verbindungen sowie Feingewinde; große Härte der Gegenlage, verbunden mit rauer Oberfläche

⁴⁾ Gegenlage: verspanntes Teil, dessen Oberfläche mit dem Anziehelement der Verbindung (Schraubenkopf oder Mutter) im Kontakt steht
Weitere Anziehverfahren ab ca. M24 siehe VDI-Richtlinie.

TB 8-12 Reibungszahlen für Schraubenverbindungen bei verschiedenen Oberflächen- und Schmierzuständen

a) Gesamtreibungszahl $\mu_{\text{ges}} = \mu_k$ bei Normalausführung
(nach Bauer & Schaurte Karcher)

schwarz oder phosphatiert leicht geölt MoS ₂ geschmiert	galvanisch verzinkt 6...12 µm	galvanisch verkadmet 6...10 µm	mikroverkapselter Klebstoff (VERBUS-PLUS) ¹⁾
0,12...0,18	0,08...0,12	0,12...0,18	0,08...0,12 0,14...0,20

¹⁾ Für andere Klebstoffe $\mu_{\text{ges}} = 0,2...0,3$.
Die Berechnung erfolgt mit der niedrigsten Reibungszahl. Die Streuung der Reibungszahlen wird durch den Anzahlfaktor berücksichtigt.

b) Reibungszahl μ_G im Gewinde (nach Strelow)

Gewinde (Innen)	Außengewinde (Schraube)										
	Werkstoff	Stahl									
		Oberfläche		schwarzvergütet oder phosphatiert		galvanisch verzinkt (Zn6)		galvanisch verkadmet (Cd6)		Klebstoff	
Gewindefertigung		gewalzt		geschnitten		geschnitten		geschnitten oder gewalzt			
		trocken	geölt	MoS ₂	geölt	trocken	geölt	trocken	geölt	trocken	
Gussteil	Schraube	blank	blank	blank	blank	0,12 bis 0,18	0,10 bis 0,16	0,08 bis 0,12	0,10 bis 0,16	0,08 bis 0,14	
Guss	Schraube	blank	blank	blank	blank	0,10 bis 0,16	—	0,12 bis 0,20	0,10 bis 0,18	0,14 bis 0,25	
Temperguss	Schraube	blank	blank	blank	blank	0,08 bis 0,14	—	—	0,12 bis 0,16	0,12 bis 0,14	
AlMg	Schraube	blank	blank	blank	blank	—	0,10 bis 0,18	0,10 bis 0,18	0,10 bis 0,18	0,08 bis 0,16	
						—	—	—	—	—	
						0,08 bis 0,20	—	—	—	—	

TB 8-14 Spannkräfte F_{sp} und Spannmomente M_{sp} für Schaft- und Dehnschrauben bei verschiedenen Gesamtreibungszahlen $\mu_{ges}^{(1)}$

Regul. h/w. Feingewinde = μ_k	μ_{ges} = μ_i	Schaftschrauben						Dehnschrauben ($d_1 \leq 0,9 d_t$)						
		Spannkraft F_{sp} in kN			Spannmoment M_{sp} in Nm			Spannkraft F_{sp} in kN			Spannmoment M_{sp} in Nm			
		bei Festigkeitsklasse ⁽²⁾						bei Festigkeitsklasse ⁽³⁾						
M5		8,8	10,9	12,9	8,8	10,9	12,9	8,8	10,9	12,9	8,8	10,9	12,9	
	0,08	7,6	11,1	13,0	4,4	6,5	7,6	5,3	7,8	9,1	3,1	4,5	5,3	
	0,10	7,4	10,8	12,7	5,2	7,6	8,9	5,1	7,6	8,9	3,6	4,3	6,2	
	0,12	7,2	10,6	12,4	5,9	8,6	10,0	5,0	7,3	8,6	4,1	6,0	7,0	
	0,14	7,0	10,3	12,0	6,5	9,5	11,2	4,8	7,1	8,3	4,5	6,6	7,7	
M6		8,8	10,7	15,7	18,4	7,7	11,3	13,2	7,5	11,0	12,9	5,4	7,9	9,2
	0,08	10,7	15,3	17,9	9,0	13,2	15,4	7,3	10,7	12,5	6,2	9,1	10,7	
	0,10	10,4	15,3	17,9	9,0	13,2	15,4	7,3	10,7	12,5	6,2	9,1	10,7	
	0,12	10,2	14,9	17,5	10,1	14,9	17,4	7,0	10,3	12,1	7,0	10,3	12,0	
	0,14	9,9	14,5	17,0	11,3	16,5	19,3	6,8	9,9	11,6	7,7	11,3	13,2	
M8		8,8	19,5	28,7	33,6	18,5	27,2	31,8	13,8	20,3	23,8	13,1	19,2	22,5
	0,08	19,1	28,0	32,8	21,3	31,8	37,2	13,4	19,7	23,1	15,2	22,3	26,1	
	0,10	18,6	27,3	32,0	24,6	36,1	42,2	13,0	19,1	22,3	17,1	25,2	29,5	
	0,12	18,1	26,6	31,1	27,3	40,1	46,9	12,5	18,4	21,5	18,9	27,8	32,5	
M8 × 1		8,8	21,2	31,1	36,4	19,3	28,4	33,2	15,5	22,7	26,6	14,1	20,7	24,3
	0,10	20,7	30,4	35,6	22,8	33,5	39,2	15,0	22,1	25,8	16,6	24,3	28,5	
	0,12	20,2	29,7	34,7	26,1	38,3	44,9	14,6	21,4	25,1	18,8	27,7	32,4	
	0,14	19,7	28,9	33,9	29,2	42,8	50,1	14,1	20,7	24,3	20,9	30,7	35,9	
M10		8,8	31,0	45,6	53,3	35,9	52,7	61,7	22,1	32,5	38,0	25,6	37,6	44,0
	0,10	30,3	44,5	52,1	42,1	61,8	72,3	21,5	31,5	36,9	29,8	43,7	51,2	
	0,12	29,6	43,4	50,8	47,8	70,2	82,2	20,8	30,5	35,7	33,6	49,4	57,8	
	0,14	28,8	42,3	49,5	53,2	78,1	91,3	20,1	29,5	34,6	37,1	54,5	63,8	
M10 × 1,25		8,8	33,1	48,6	56,8	37,2	54,6	63,9	24,2	35,5	41,5	27,2	39,9	46,7
	0,10	32,4	47,5	55,6	43,9	64,5	75,4	23,5	34,4	40,4	31,9	46,8	54,8	
	0,12	31,6	46,4	54,3	50,2	73,7	86,2	22,8	33,5	39,2	36,2	53,2	62,2	
	0,14	30,8	45,2	53,0	56,0	82,3	96,3	22,1	32,4	37,9	40,2	59,0	69,0	
M12		8,8	45,2	66,3	77,6	62,7	92,0	108	32,3	47,5	55,6	44,9	65,9	77,1
	0,10	44,1	64,9	75,9	73,5	108	126	31,4	46,1	54,0	52,3	76,8	89,8	
	0,12	43,1	63,3	74,1	83,6	123	144	30,4	44,7	52,3	59,1	86,8	102	
	0,14	41,9	61,6	72,1	93,1	137	160	29,4	43,1	50,6	65,3	95,9	112	
M12 × 1,25		8,8	50,1	73,6	86,2	66,3	97,4	114	37,3	54,8	64,1	49,4	72,5	84,8
	0,10	49,1	72,1	84,4	78,8	116	135	36,4	53,4	62,5	52,3	85,6	100	
	0,12	48,0	70,5	82,5	90,5	133	155	35,3	51,9	60,7	66,6	97,8	114	
	0,14	46,8	68,8	80,5	101	149	174	34,2	50,3	58,9	74,2	109	127	
M14		8,8	62,0	91,0	106	99,6	146	171	44,5	65,3	76,4	71,5	105	123
	0,10	60,6	88,9	104	117	172	201	43,2	63,4	74,2	83,4	122	143	
	0,12	59,1	86,7	101	133	195	229	41,8	61,4	71,9	94,3	138	162	
	0,14	57,5	84,4	98,8	148	218	255	40,4	59,4	69,5	104	153	179	
M16		8,8	84,7	124	145	153	224	262	61,8	90,8	106	111	164	191
	0,10	82,9	122	142	180	264	309	60,1	88,3	103	131	192	225	
	0,12	80,9	119	139	206	302	354	58,3	85,7	100	148	218	255	
	0,14	78,8	116	135	230	338	395	56,5	82,9	97,0	165	242	283	

TB 8-15 Einschraublängen l_e für Grundlochgewinde – Anhaltswerte nach Schraubenvademecum

Werkstoff der Bauteile	R_m in N/mm ²	Mindest-Einschraublänge l_e ohne Ansenkung bei Festigkeitsklasse der Schraube			
		8.8	10.9	12.9	
		$d/P < 9$	$d/P \geq 10$	$d/P < 9$	$d/P \geq 10$
Stahl	> 360	1,0d	1,25d	1,25d	1,4d
	> 500	0,9d	1,0d	1,0d	1,2d
	> 800	0,8d	0,8d	0,9d	0,9d
GJL 250	> 220	1,0d	1,25d	1,25d	1,4d
AlMg-Leg.	> 180	(2...2,5)d	1,4d	1,4d	1,6d
	> 330	2,0d	1,4d	1,4d	1,6d
AlCuMg-Leg.	> 550	1,1d	1,4d	1,4d	1,6d
AlZnMgCu-Leg.	> 550	1,0d	1,4d	1,4d	1,6d
GMgAl9Zn1	> 230	(1,5...2)d	1,4d	1,4d	1,6d

Normalgewinde: Gewindefeinheit $d/P < 9$; Feingewinde: Gewindefeinheit $d/P \geq 10$.

Anlage Formelsammlung (Quelle: Roloff/Matek - Maschinenelemente)

Nahwirkverbindungen z.T. auch für Lötverbindungen
Widerstandsmomente und Vergleichsspannungen werden angegeben.

Grenzwerte bei Querschnittsstellen mit Dicken $t \geq 4\text{mm}$: $3\text{ mm} \leq a \leq 0,7t_{\min}$ und $a \geq \sqrt{t_{\max}} = 0,5$

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_{\text{zul}}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{\text{zul}}}\right)^2 \leq 1$$

$$t = \frac{\partial_B p_B}{2 \text{ oder } 4 \cdot \mu_B} + c_1 + c_2 \quad 2 \text{ oder } 4, K, S, V, c_1 \text{ und } c_2 \text{ werden angegeben.}$$

Schraubenverbindungen

$$A_s \text{ bzw. } A_T \geq \frac{F_B \cdot F_{KI}}{\frac{F_{B,2}}{k \cdot k_A} \beta \cdot E \cdot l_B} \quad \beta = 1,1 \text{ Schrauben; } 0,8 \text{ Ganzgewindeschrauben; } 0,6 \text{ Dehnschr.}$$

μ_g	0,08	0,10	0,12	0,14	0,20
K Schraube	1,11	1,15	1,19	1,24	1,41
Dehnschraube	1,15	1,20	1,25	1,32	1,52

$$\pm \sigma_a \approx \pm k \frac{F_{B,0} - F_{B,u}}{A_s} \leq \pm \sigma_A \quad k = 0,1 \text{ Stahl; } 0,125 \text{ Gusseisen; } 0,15 \text{ Aluminium}$$

$$p = \frac{F_{sp} + \phi \cdot F_B}{A_p} \approx \frac{F_{sp}/0,9}{A_p} \leq p_G \quad \pm \sigma_{A(SV)} \approx \pm 0,85(150/d+45) \quad \pm \sigma_{A(SG)} \approx (2 \cdot F_m/F_{0,2}) \sigma_{A(SV)}$$

$$F_{VM} = k_A [F_{KI} + F_B(1-\phi) + F_Z] \leq F_{sp}$$

$$\delta_T = \frac{l_h}{A_{ers} \cdot E_T}$$

$$A_{ers} = \frac{\pi}{4}(d_w^2 - d_h^2) + \frac{\pi}{8}d_w(D_A - d_w)[(x+1)^2 - 1] \quad x = \sqrt[3]{l_h \cdot d_w/D_A^2}$$

$$\delta_S = \frac{1}{E_S} \left(\frac{k_E}{A_N} + \frac{l_1}{A_{d1}} + \frac{l_2}{A_3} + \frac{l_{d2}}{A_3} \right) + \frac{l_H}{E_M A_H}$$

$$l_{K\theta} = 0,5 \cdot d \text{ Sechskantschraubenkopf}$$

$$l_{K\theta} = 0,4 \cdot d \text{ Innensechskantschraubenkopf}$$

$$l_{Ge} = 0,5 \cdot d \text{ eingeschraubtes Gewinde}$$

$$l_M = 0,4 \cdot d \text{ Durchsteckverbindung}$$

$$l_M = 0,33 \cdot d \text{ Einschraubverbindung}$$

$$\phi = n \cdot \phi_k = n \frac{\delta_T}{\delta_S + \delta_T}$$

$$f_S = F_V[\delta_S + (1-n) \cdot \delta_T]$$

$$F_Z = \frac{f_Z}{\delta_S + \delta_T}$$

$$F_{BS} = \phi \cdot F_B$$

$$\sigma_a = \pm \frac{\phi \cdot (F_{B,0} - F_{B,u})}{2 \cdot A_s}$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_{a,max}^2 + 3(k_\tau \cdot \tau_t)^2} \quad k_\tau = 0,5$$

$$t_t = \frac{F_{sp}(0,159 \cdot P + 0,577 \cdot \mu_G \cdot d_2)}{\frac{\pi}{16} d_s^3}$$

$$F_{KI} = \frac{F_Q \cdot g_{es}}{\mu_T \cdot z}$$

$$M_A = 0,5 \cdot F_{VM} \cdot d_2 \cdot \left[\mu_{ges} \cdot \left(\frac{1}{\cos(\frac{\theta}{2})} + \frac{d_w + d_h}{2 \cdot d_2} \right) + \tan \varphi \right] \quad d_w \approx 1,4 \text{ d; } \mu_{ges} \approx 0,12 \text{ unbehandelt, geölt}$$

Nietverbindungen

$$d_1 = \sqrt{50t_{\min}} = 2 \text{ mm}$$

einschnittige Verbindungen: $\tau_{s,zul} = 0,6 \cdot \sigma_{zul}$ und $\sigma_{l,zul} = 1,5 \cdot \sigma_{zul}$

mehr schnittigen Verbindungen: $\tau_{s,zul} = 0,8 \cdot \sigma_{zul}$ und $\sigma_{l,zul} = 2,0 \cdot \sigma_{zul}$

Bolzenbindungen

Einbaufall 1: Der Bolzen sitzt in der Gabel und in der Stange mit einer Spielpassung

$$M_{b \max} = \frac{F \cdot (t_s + 2t_G)}{8}$$

Einbaufall 2: Der Bolzen sitzt in der Gabel mit einer Übermaßpassung und in der Stange mit einer Spielpassung
 $M_{b \max} = \frac{F t_s}{8}$

Einbaufall 3: Der Bolzen sitzt in der Stange mit einer Übermaß- und in der Gabel mit einer Spielpassung
 $M_{b \max} = \frac{F t_G}{4}$

nicht gleitende Flächen: $t_s/d = 1,0$ und $t_G/d = 0,5$

gleitende Flächen: $t_s/d = 1,6$ und $t_G/d = 0,6$

$\sigma_{b \text{ zul}} = 0,3 \cdot R_m$ bei ruhender, $0,2 \cdot R_m$ bei schwellender und $0,15 \cdot R_m$ bei wechselnder Belastung. Richtwert $R_m = 400 \text{ N/mm}^2$.

$$\tau_{\max} = \frac{4}{3} \cdot \frac{K_A \cdot F_{\text{nenn}}}{A_S \cdot 2} \leq \tau_{a \text{ zul}}$$

$\tau_{a \text{ zul}} = 0,2 \cdot R_m$ bei ruhender, $0,15 \cdot R_m$ bei schwellender und $0,1 \cdot R_m$ bei wechselnder Belastung.

Nicht gleitende Flächen: $p_{\text{zul}} = 0,35 \cdot R_m$ bei ruhender und $0,25 \cdot R_m$ bei schwellender Belastung.

$$d \approx k \cdot \sqrt{\frac{K_A \cdot F_{\text{nenn}}}{\sigma_{b \text{ zul}}}} \quad (9.1)$$

F_{nenn} Stangenkraft

K_A Anwendungsfaktor zur Berücksichtigung stoßartiger Belastung nach TB 3-5
 $\sigma_{b \text{ zul}}$ zulässige Biegespannung

Abhängig von der Mindestzugfestigkeit $R_m = K_t \cdot R_{mN}$ (mit K_t nach TB 3-1 1a und R_{mN} nach TB 1-1) gilt erfahrungsgemäß: $0,3 \cdot R_m$ bei ruhender, $0,2 \cdot R_m$ bei schwellender und $0,15 \cdot R_m$ bei wechselnder Belastung.

Für nicht gehärtete Normbolzen und Normstifte (Härte 125 bis 245 HV) kann mit dem Richtwert $R_m = 400 \text{ N/mm}^2$ gerechnet werden.

- k Einspannfaktor, abhängig vom Einbaufall (Klammerwerte bei Gleitverbindungen)
 $k = 1,6$ (1,9) für Einbaufall 1 (Bolzen lose in Stange und Gabel)
 $k = 1,1$ (1,4) für Einbaufall 2 (Bolzen mit Übermaßpassung in der Gabel)
 $k = 1,1$ (1,2) für Einbaufall 3 (Bolzen mit Übermaßpassung in der Stange)

Genormte Bolzen- bzw. Stiftdurchmesser s. TB 9-2 bzw. TB 9-3.

Die Augen der Stange und Gabel werden, wesentlich abhängig vom Spiel bzw. Übermaß zwischen Bolzen und Bohrung, vergleichsweise hoch beansprucht. Erfahrungsgemäß wählt man für den Augen(Naben)-Durchmesser: $D \approx (2,5 \dots 3) \cdot d$ für Stahl und GS, $D \approx (3 \dots 3,5) \cdot d$ für GJL, vgl. Bild 9.2a. Die größeren Werte gelten bei stramm eingepressten Bolzen (Sprengkraft!).

TB 9-3 Abmessungen in mm von ungehärteten Zylinderstiften DIN EN ISO 2338 (Auswahl). Lehrbuch Bild 9.6a

$d \text{ mm}$	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50
$e \text{ mm}$	0,3	0,35	0,4	0,5	0,63	0,8	1,2	1,6	2	2,5	3	3,5	4	5	6,3	8
$l \text{ von}$	4	6	6	8	8	10	12	14	16	22	26	35	50	60	80	95
$l \text{ bis}$	16	20	24	30	40	50	60	80	95	140	180	200	200	200	200	200

Stufung der Länge l : 4, 5, 6 bis 32 Stufung 2 mm, 35 bis 95 Stufung 5 mm, 100 bis 200 und darüber Stufung 20 mm
 Werkstoff: St - Stahl mit Härte 125 HV30 bis 245 HV30

A1 = austenitischer nichtrostender Stahl (Härte 210 HV30 bis 280 HV30)

Oberflächenbeschaffenheit: blank, falls nichts anderes vereinbart.

Bezeichnung eines ungehärteten Zylinderstiftes aus austenitischem nichtrostendem Stahl der Sorte A1, mit Nenndurchmesser $d = 12 \text{ mm}$, Toleranzklasse h8 und Nennlänge $l = 40 \text{ mm}$: Zylinderstift ISO 2338-1 2b8 < 40-A1.