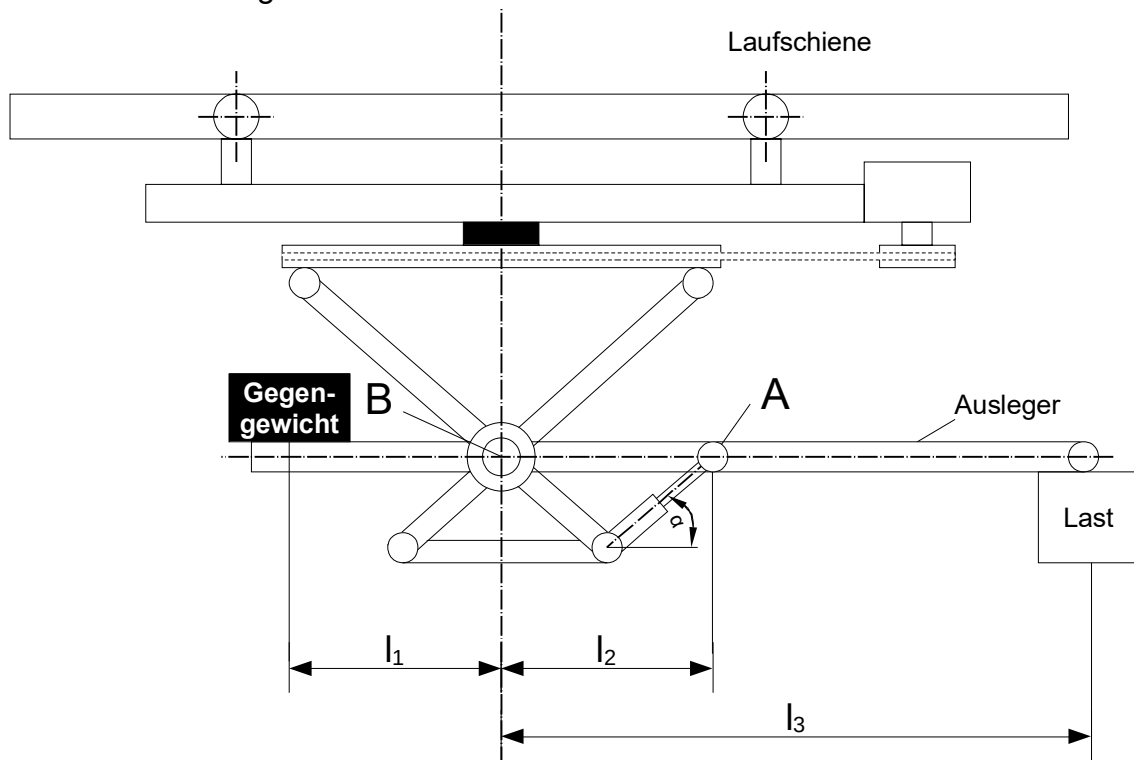




tgt HP 2019/20-1: Hallenkran mit Schwenkeinrichtung

(Pflichtaufgabe)

Ein hydraulisch neigbarer Hallenkran mit elektrischer Schwenkeinrichtung wird horizontal über eine Laufschiene bewegt.

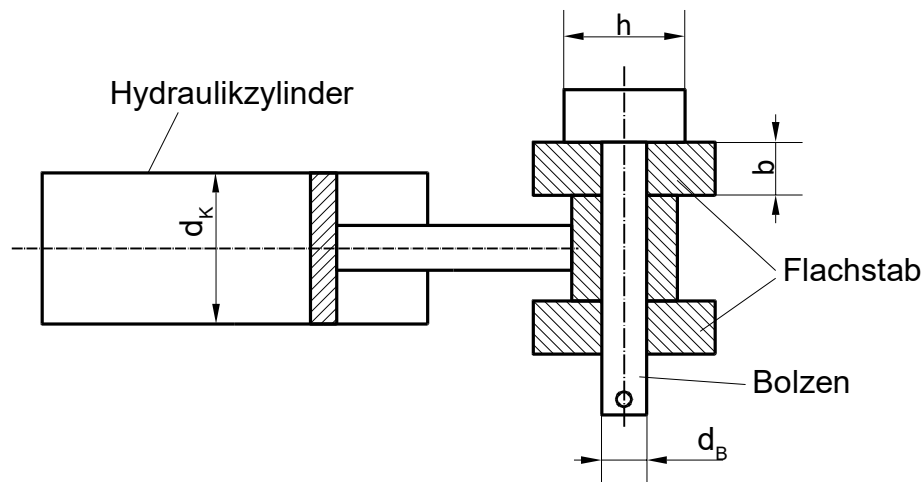


- Der Ausleger des Hallenkranes wird durch die Gewichtskraft der Last F_{GL} , die Gewichtskraft des Gegengewichts F_{GG} sowie durch seine eigene Gewichtskraft F_{GA} , welche im Schwerpunkt (Trägermitte) angreift, belastet.

Daten:

Gewichtskraft des Gegengewichts	F_{GG}	=	8000 N
Gewichtskraft des Auslegers	F_{GA}	=	1000 N
Gewichtskraft der Last	F_{GL}	=	4000 N
Länge 1	l_1	=	900 mm
Länge 2	l_2	=	900 mm
Länge 3	l_3	=	2650 mm
Winkel	α	=	40°

- Skizzieren Sie den freigemachten Ausleger. 2,0
 - Berechnen Sie die Lagerkräfte F_A und F_B . 5,0
 - Der Ausleger wird aufgrund der angreifenden Kräfte auf Biegung belastet. Bestimmen Sie die Position und den Betrag des maximal auftretenden Biegemoments. 3,0
 - Das maximale Biegemoment beträgt $M_{bmax} = 7200 \text{ Nm}$. Der Ausleger besteht aus zwei Flachstäben aus 20MnCr5. (Zeichnung siehe folgende Seite) Dimensionieren Sie die Höhe h des Flachstabes, wenn die Breite konstruktiv mit $b = 15 \text{ mm}$ vorgegeben ist und eine Sicherheit von 1,7 gegen plastische Verformung eingehalten werden muss. 5,0



- 2 Die Kolbenstange des Hydraulikzylinders ist durch einen Bolzen im Punkt A mit dem Ausleger verbunden. 4,0
 Dimensionieren Sie den erforderlichen Bolzendurchmesser d_B .

Daten:

Bolzenwerkstoff		C60E
Breite des Flachstabes	b	= 15 mm
Zulässige Flächenpressung	p_{zul}	= 20 N/mm ²
Sicherheit gegen Abscheren	v	= 4
Kraft des Hydraulikzylinders	F_A	= 7400 N

- 3 Berechnen Sie den erforderlichen Durchmesser des Hydraulikkolbens, wenn der Öldruck 60 bar beträgt und der Kolben einen Wirkungsgrad von 85% besitzt. 2,0
- 4 Die Werkstoffeigenschaften des Bolzens (C60E) sollen untersucht werden.
- 4.1. Nennen Sie für den Werkstoff ein geeignetes Wärmebehandlungsverfahren und geben Sie die notwendigen Temperaturen an. 2,0
- 4.2. Skizzieren Sie für den wärmebehandelten Werkstoff C60E ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm. Kennzeichnen Sie die Werkstoffkennwerte, die hieraus ermittelt werden können und geben Sie diese mit Hilfe des Tabellenbuchs an. 3,0
- 4.3. Nach der Wärmebehandlung wurde am Bolzen ein Härtetest nach Vickers durchgeführt und lieferte folgendes Ergebnis: 4,0

Prüfbedingung		HV30
Diagonale 1 des Eindrucks	d_1	= 0,42 mm
Diagonale 2 des Eindrucks	d_2	= 0,44 mm

Berechnen Sie den Härtewert und beurteilen Sie das Ergebnis.



Lösungen

1

1.1. LS Ausleger¹

1.2.

$$\sum M_B = 0 = F_{GG} \cdot l_1 + F_{Ay} \cdot l_2 - F_{GA} \cdot \left(\frac{l_1 + l_3}{2} - l_1\right) - F_{GL} \cdot l_3$$

$$F_{Ay} = \frac{F_{GG} \cdot l_1 - F_{GA} \cdot \left(\frac{l_1 + l_3}{2} - l_1\right) - F_{GL} \cdot l_3}{l_2}$$

$$= \frac{8000 \text{ N} \cdot 0,9 \text{ m} - 1000 \text{ N} \cdot \left(\frac{0,9 \text{ m} + 2,65 \text{ m}}{2} - 0,9 \text{ m}\right) - 4000 \text{ N} \cdot 2,65 \text{ m}}{0,9 \text{ m}} = 4750 \text{ N}$$

$$F_A = \frac{F_{Ay}}{\sin \alpha} = \frac{4750 \text{ N}}{\sin 40^\circ} = 7389,69 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 = -F_{GG} + F_{By} - F_{GA} + F_{Ay} + F_{GL}$$

$$F_{By} = F_{GG} + F_{GA} + F_{GL} - F_{Ay} = 8000 \text{ N} + 1000 \text{ N} + 4000 \text{ N} - 4750 \text{ N} = 8250 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0 = -F_{Bx} - F_{Ax}$$

$$\Rightarrow F_{Bx} = -F_{Ax} = F_A \cdot \cos \alpha = -7389,69 \text{ N} \cdot \cos 40^\circ$$

$$\Rightarrow F_{Bx} = -5660,83 \text{ N} \Rightarrow \text{Kraft wirkt in die entgegengesetzte Richtung.}$$

$$F_B = \sqrt{F_{Bx}^2 + F_{By}^2} = \sqrt{(5660,83 \text{ N})^2 + (8250 \text{ N})^2} = 10005,37 \text{ N}$$

$$\beta_B = \arctan \frac{F_{By}}{F_{Bx}} = \arctan \frac{8250 \text{ N}}{5660,83 \text{ N}} = 55,55^\circ \quad (\text{nach links oben gegen die Waagerechte})$$

1.3. Das maximale Biegemoment M_{bmax} muss an einem inneren Kräfteinleitungspunkt liegen, also entweder im Lager B, im Lager A oder an der Stelle, an der F_{GA} angreift.

Querkraft- und Biegemomentenverlauf

$$M_{bB}(\text{von links}) = F_{GG} \cdot l_1 = 8000 \text{ N} \cdot 0,9 \text{ m} = 7250 \text{ Nm}$$

$$M_{bGA}(\text{von links}) = \left| (F_{By} - F_{GG}) \cdot \left(\frac{l_1 + l_3}{2} - l_1\right) - F_{GG} \cdot l_1 \right|$$

$$= \left| (8250 \text{ N} - 8000 \text{ N}) \cdot \left(\frac{0,9 \text{ m} + 2,65 \text{ m}}{2} - 0,9 \text{ m}\right) - 8000 \text{ N} \cdot 0,9 \text{ m} \right|$$

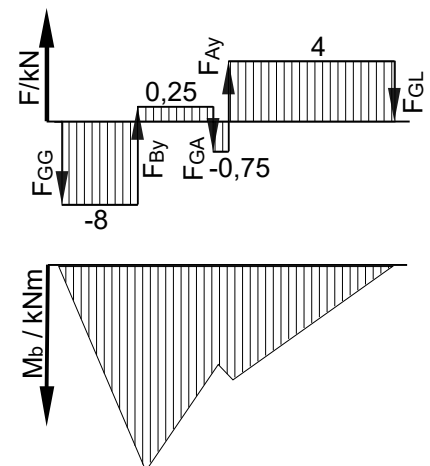
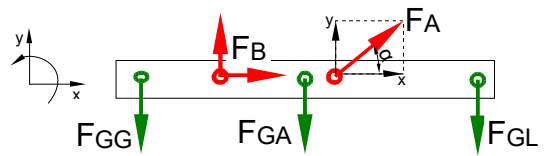
$$= 6981,25 \text{ Nm}$$

$$M_{bB}(\text{von rechts}) = F_{GL} \cdot (l_3 - l_2)$$

$$= 4000 \text{ N} \cdot (2,65 \text{ m} - 0,9 \text{ m})$$

$$= 7000 \text{ Nm}$$

$$\Rightarrow M_{bmax} \text{ an der Stelle B mit } M_{bmax} = 7250 \text{ Nm}$$



1 Für die Lösung und Ermittlung der Trägermitte muss der Anteil des Ausleger, der links von F_{GG} bzw. links von l_1 liegt, vernachlässigt werden, weil diese Länge nicht bemaßt ist. Wenn der Schwerpunkt des Gegengewichts in der Körpermitte liegt und die Gewichtskraft F_{GG} dort angreift, ist ohne eine Bemaßung des Gegengewichts unklar wie lang der ganze Ausleger ist. Somit kann die Trägermitte, an der das Eigengewicht des Trägers (F_{GG}) angreift, nicht ermittelt werden. Es wird von einer Gesamträgerlänge von $l = l_1 + l_3$ ausgegangen.



- 1.4. Zwei Flachstäbe bedeutet, dass diese nebeneinander angeordnet werden, im Idealfall so, dass eine gerade Biegung um die $x-x$ Achse stattfindet.

Das Biegemoment M_{bmax} verteilt sich also gleichmäßig auf beide Flachstäbe.

$$R_e = 685 \text{ N/mm}^2$$

(aus 20MnCr5 \rightarrow [EuroTabM] „Legierte Einsatzstähle“)

$$\sigma_{bF} = 1,2 \cdot R_e \quad (\rightarrow \text{[EuroTabM] „Biegebeanspruchung“})$$

$$\sigma_{bF} = 1,2 \cdot R_e = 1,2 \cdot 685 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 822 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

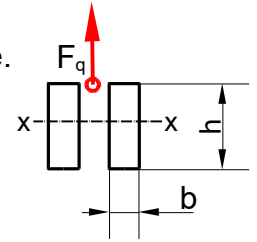
$$\frac{\sigma_{bF}}{v} = \sigma_{bzul} > \sigma_b = \frac{M_{bmax}}{W} \Rightarrow$$

$$\sigma_{bzul} = \frac{\sigma_{bF}}{v} = \frac{822 \text{ N/mm}^2}{1,7} = 483,53 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$W_{erf} = \frac{M_{bmax}}{\sigma_{bzul}} = \frac{7200000 \text{ Nm}}{483,53 \text{ N/mm}^2} = 7445,25 \text{ mm}^3$$

$$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$\Rightarrow h = \sqrt{\frac{W_x \cdot 6}{b}} = \sqrt{7445,25 \frac{\text{mm}^3 \cdot 6}{15}} \text{ mm} = 54,57 \text{ mm}$$



Da für den zu dimensionierende Flachstab keine Norm vorgegeben ist, könnte man für $h = 60 \text{ mm}$ wählen. (bspw. Flachstab EN 10058 – 60 x 15 x 3550 E – Stahl 10087 20MnCr5). In der Regel reicht hier jedoch eine ganze Zahl $\geq 55 \text{ mm}$
 * Achtung: In der Norm sind die *Breite* b und *Höhe* h umgekehrt angegeben wie in der Aufgabe bzw. in der Formel zur Berechnung des Widerstandsmoments.

2 Gegen Abscheren:

$R_e = 520 \text{ N/mm}^2$ (C60E \rightarrow [EuroTabM] „Unlegierte Vergütungsstähle“)

$$\tau_{aF} = 0,6 \cdot R_e = 0,6 \cdot 520 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 312 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\tau_{aF}}{v} = \tau_{azul} > \tau_a = \frac{F}{2 \cdot S} \Rightarrow \tau_{azul} = \frac{\tau_{aF}}{v} = \frac{312 \text{ N/mm}^2}{4} = 78 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{erf} = \frac{F_A}{2 \cdot \tau_{azul}} = \frac{7400 \text{ N}}{2 \cdot 78 \text{ N/mm}^2} = 47,44 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Rightarrow d_{Berf} = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 47,44 \text{ mm}^2}{\pi}} = 7,77 \text{ mm}$$

Gegen Flächenpressung:

$$p_{zul} > p = \frac{F}{A} \Rightarrow A_{erf} = \frac{F_A}{p_{zul}} = \frac{7400 \text{ N}}{20 \text{ N/mm}^2} = 370 \text{ mm}^2$$

$$A = d_{erf} \cdot 2 \cdot b \Rightarrow d_{Berf} = \frac{A}{2 \cdot b} = \frac{370 \text{ mm}^2}{2 \cdot 15 \text{ mm}} = 12,33 \text{ mm}$$

Maßgebend ist die größere Belastung Flächenpressung $\rightarrow d_{Berf} \geq 12,33 \text{ mm}$

Nicht gefordert, da keine Norm angegeben wurde, nach der man den Bolzen dimensionieren soll:

- \rightarrow Eine Norm ist nicht gegeben, es handelt sich jedoch um einen Bolzen mit Kopf und Splintloch (ISO 2340 \rightarrow [EuroTabM] „Bolzen“),
Gewählt: $d = 14 \text{ mm} \rightarrow$ (Bspw.: ISO 2341 – B – 14x100 – C60E)



$$3 \quad F_A = p_e \cdot A \cdot \eta \Rightarrow A_{\text{erf}} = \frac{F_A}{p_e \cdot \eta} = \frac{7400 \text{ N}}{6 \text{ bar} \cdot 85\%} = \frac{7400 \text{ N}}{0,6 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 0,85} = 1450 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \Rightarrow d_{\text{erf}} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{\text{erf}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1450 \text{ mm}^2}{\pi}} = 42,97 \text{ mm}$$

Nicht gefordert:

Gewählt: KolbenØ D = 50 mm
 → [EuroTabM] „Pneumatikzylinder, Abmessungen“
 Kraft wird nur beim Ausfahren benötigt.

4

4.1. Beim verwendeten Werkstoff handelt es sich um einen legierten Vergütungsstahl (C60E → [EuroTabM] „Unlegierte Vergütungsstähle“), daher liegt – nachdem man sich über die vorhandenen Wärmebehandlungsverfahren (→ [EuroTabM] „Wärmebehandlung, Stahl“) erkundigt hat – das Wärmebehandlungsverfahren Vergüten nahe.

Vergüten bedeutet Erwärmen – Abschrecken – (Hochtemperatur-) Anlassen. Benötigt werden also die Härtetemperatur sowie die Anlasstemperatur.

C60E → [EuroTabM] „Wärmebehandlung von unlegierten Vergütungsstählen“

Härtetemperatur: 810 – 850°C

Anlasstemperatur: 550 – 660°C

Zudem ist der Werkstoff unter Stähle für Flamm- und Induktionshärtung gelistet (C60E → [EuroTabM] „Stähle für Flamm- und Induktionshärtung“)

Härten bedeutet Erwärmen – Abschrecken – Anlassen. Benötigt werden also auch hier die Härtetemperatur (s.o.) und die Anlasstemperatur.

Härtetemperatur: 810 – 850°C

Anlasstemperatur: 100 – 300°C → [EuroTabM] „Wärmebehandlung, Stahl“
 (eine genauere Temperaturangabe ist dem [EuroTabM] für den Stahl C60E nicht zu entnehmen.)



4.2.

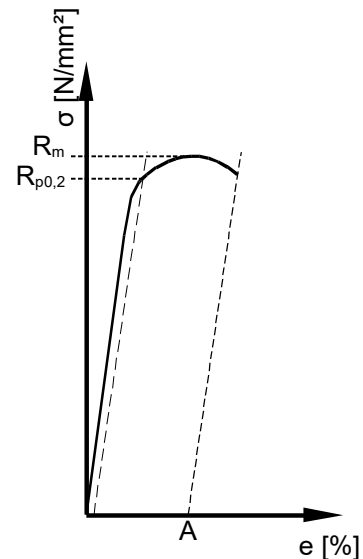
4.3. Zwar wird im → [EuroTabM] für den Werkstoff C60E eine Streckgrenze R_e angegeben, was vermuten lässt, dass sich dieser im Zugversuch wie ein Werkstoff mit ausgeprägter Streckgrenze verhält. Tatsächlich ist im Zugversuch bei vergüteten Stählen jedoch keine ausgeprägte Streckgrenze erkennbar, weshalb der „Ersatzwert“ der Dehngrenze $R_{p0,2}$ (0,2%-ige plastische Dehnung) herangezogen wird.²

Der Werkstoff C60E ist jedoch an einer anderen Stelle erneut gelistet (→ [EuroTabM] „Stähle für Blankstahlerzeugnisse“ → „Vergütungsstähle, blank“) und hier mit einer Dehngrenze von $R_{p0,2} = 580 \text{ N/mm}^2$, welche dann als Werkstoffkennwert für Aufg. 2 (s.o.) ebenfalls akzeptiert werden muss.

Sofern der Schüler auf der Suche nach dem Werkstoff C60E, der im → [EuroTabM] mehrfach gelistet ist, zuerst eine Stelle mit der Angabe für R_e trifft und daraus die Schlussfolgerung zieht, dass C60E eine ausgeprägte Streckgrenze habe, würde ich das ebenfalls akzeptieren.

Das → [EuroTabM] für den Werkstoff C60E („Unlegierte Vergütungsstähle“) liefert folgende Werte:

Zugfestigkeit R_m	= 800 ... 950 N/mm ²
Dehngrenze $R_{p0,2} \approx R_e$	= 520 N/mm ²
Bruchdehnung A	= 13 %



² Wenn man sich hiervon nicht verwirren lässt, sind dies einfach gewonnene Punkte. Wenn man beginnt das Tabellenbuch zu hinterfragen, was ja durchaus an vielen Stellen auch sinnvoll sein kann, vergeudet man wichtige Zeit.



4.4.

4.5. Auch hier ist ein Blick ins → [EuroTabM] „Härteprüfung nach Vickers“ schon die halbe Miete. (Stichwort „Härteprüfung“)

Härteprüfung nach Vickers	HV 30	Prüfkraft F 30 • 9,80665 N = 294,2 N
------------------------------	-------	---

$$HV = \frac{0,1891 \cdot F [N]}{d^2 [mm]}$$

$$F = 294,2 \text{ N}$$

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{0,42 \text{ mm} + 0,44 \text{ mm}}{2} = 0,43 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow HV = \frac{0,1891 \cdot 294,2}{(0,43 \text{ mm})^2} = 301$$

Beurteilung des Ergebnisses:

Die Gesamtaufgabe verlangt die Werkstoffeigenschaften des Bolzens zu untersuchen. Man kann den Härtewert z.B. beurteilen, indem man prüft, ob die Vergütung erfolgreich war. Andere Ansätze sind denkbar.

Für die Überprüfung einer erfolgreichen Vergütung sollte man Härtewerte interpretieren können (bedeutet eine Vickershärte 301, dass der Werkstoff hart ist?!). Idealerweise schaut man im → [EuroTabM] „Umwertungstabellen für Härtewerte und Zugfestigkeiten“ noch eine Seite weiter und hat dann – hoffentlich – eine bessere Orientierung wie eine Vickershärte von 301 HV 30 einzuschätzen ist.

Die Umrechnung für „Vergütungsstähle im vergüteten Zustand“ ergibt: 300HV bedeutet etwa einen R_m - Wert von 940 N/mm².

Da das → [EuroTabM] „Unlegierte Vergütungsstähle“ für C60E eine Zugfestigkeit³ von $R_m = 800 - 950 \text{ N/mm}^2$ angibt und der erreichte Wert für die Zugfestigkeit nach Umrechnung bei $R_m = 940 \text{ N/mm}^2$ an der oberen Grenze liegt, kann die Wärmebehandlung als Erfolg verbucht werden.

Statik (7 P): Statik mit Drehmoment;

Festigkeitslehre (12 P): maximales Biegemoment, Biegebeanspruchung, Bolzendurchmesser;

Steuerungstechnik (2 P): Kolbendurchmesser ermitteln;

Werkstoffkunde (9 P): Wärmebehandlungsverfahren, Spannungs-Dehnungs-Diagramm, Härteprüfung nach Vickers;

3 Dummerweise gibt das Tabellenbuch diese Werte für einen Walzdurchmesser von $16 \text{ mm} < d \leq 40 \text{ mm}$ an, wohingegen der ausgewählte Durchmesser $d_B = 14 \text{ mm}$ (Kopfdurchmesser $d_k = 22 \text{ mm}$), bzw. $d_{Berf} = 12,33 \text{ mm}$ beträgt.