



tgtm HP 2008/09-1: Tiefbohranlage

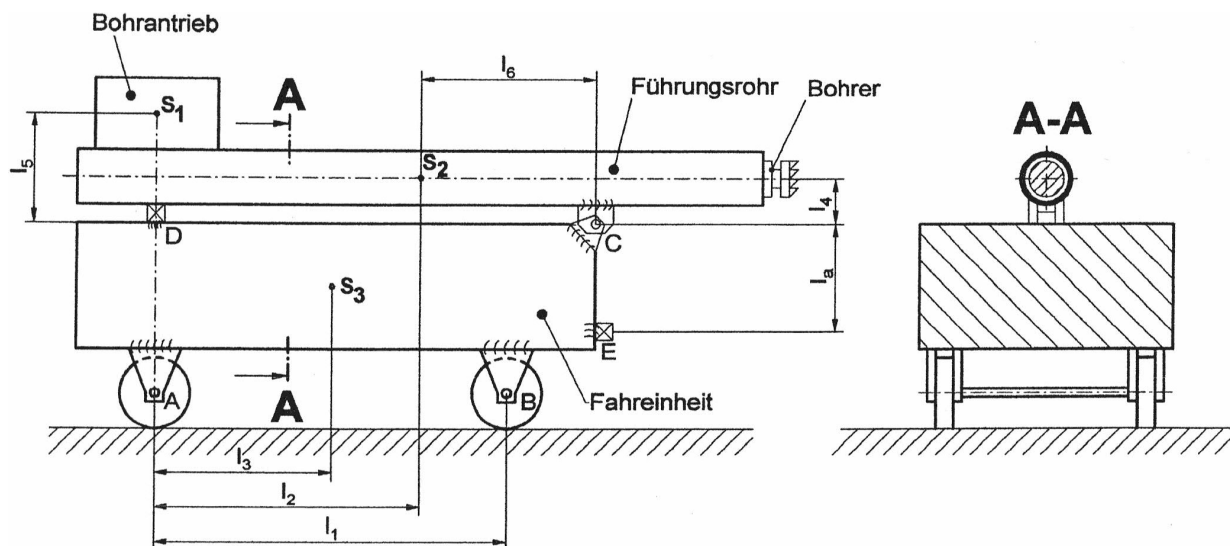
(Pflichtaufgabe)

Die mobile Tiefbohranlage führt Erdbohrungen zur geothermischen Wärmeengewinnung durch. Die dargestellte Anlage befindet sich im Fahrbetrieb. Für den Bohrbetrieb wird das Führungsrohr vertikal aufgerichtet.

Punkte

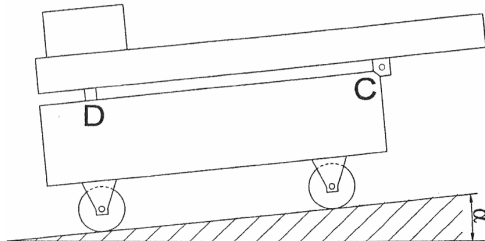
1 Tiefbohranlage (vereinfacht)

6,0



Bohrantrieb	$F_{G1} = 3 \text{ kN}$ in S_1	$l_1 = 4 \text{ m}$	$l_4 = 0,5 \text{ m}$
Führungsrohr mit Bohrer	$F_{G2} = 5 \text{ kN}$ in S_2	$l_2 = 3 \text{ m}$	$l_5 = 1,2 \text{ m}$
Fahreinheit	$F_{G3} = 20 \text{ kN}$ in S_3	$l_3 = 2 \text{ m}$	$l_6 = 2 \text{ m}$
		$l_a = \text{Abstand Lager / Anschlag E}$	

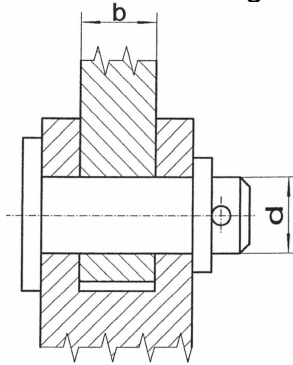
- 1.1 Zeichnen Sie die freigemachte Bohranlage zur Berechnung der Achskräfte. 2,0
- 1.2 Berechnen Sie die Achskräfte F_A und F_B für die oben gezeichnete Stellung. 4,0
- 1.3 Die Tiefbohranlage steht an einer Steigung mit dem Winkel $\alpha = 6^\circ$. Untersuchen Sie für die gezeichnete Stellung die Kräfte F_C und F_D in den Lagern C und D. 6,0



- 1.4 Die Tiefbohranlage steht jetzt wieder **waagrecht**. Das Führungsrohr ist für den Bohrbetrieb senkrecht aufgerichtet und liegt am Anschlag E an. Skizzieren Sie die neue Situation und weisen Sie durch Rechnung die Auswirkung des Lagerabstands l_a auf die Kräfte F_E und F_C nach. 3,0



2 Bolzenverbindung im Lager C



$$F_{C,max} = 20 \text{ kN}$$

Bolzenwerkstoff: C22E

$$p_{zul} = 40 \text{ N/mm}^2$$

$$b = 50 \text{ mm}$$

$$v = 8 \text{ (gegen Abscheren)}$$

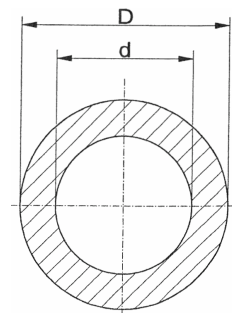
2.1 Ermitteln Sie den erforderlichen Bolzendurchmesser und nennen Sie den zu wählenden Bolzendurchmesser. 4,0

2.2 Ein Lieferant bietet Hohlbolzen aus C60E an. Der Außendurchmesser D ist durch das Ergebnis von Aufgabe 2.1 festgelegt.

Mögliche Durchmesserhältnisse D/d sind:

$D/d = 1,3$ oder $D/d = 1,5$ oder $D/d = 1,7$.

Überprüfen Sie, welches Durchmesser Verhältnis für das Lager C geeignet ist.



3 Antrieb der Fahreinheit

Die Fahreinheit wird von einem Viertaktmotor angetrieben. Das p-V-Diagramm auf dem Arbeitsblatt 1 beschreibt den Motorprozess.

3.1 Nennen Sie den Motortyp, dem das auf dem Arbeitsblatt 1 dargestellte p-V-Diagramm entspricht. 1,0

3.2 Bestimmen Sie die Ziffern in den Eckpunkten des Kreisprozesses auf dem Arbeitsblatt 1. Stellen Sie die Zustandsänderungen und die technischen Vorgänge in der Tabelle 1 auf dem Arbeitsblatt 1 dar. 3,0

3.3 Zeichnen Sie auf dem Arbeitsblatt 1 in das p-V-Diagramm ein: Q_{ab} , Q_{zu} , W_{nutz} , W_{ab} , W_{zu} . 2,0

3.4 Der 4-Zylindermotor besitzt einen Gesamthubraum von 3.000 cm^3 . Er saugt Luft bei 1 bar und $20 \text{ }^\circ\text{C}$ an. Berechnen Sie die angesaugte Luftmasse pro Zylinder. 2,0

3.5 Das Verdichtungsverhältnis beträgt $\epsilon = 20$. Im Anschluss an die Verdichtung erfolgt eine Volumenvergrößerung auf das 1,5-fache von V_{OT} . Berechnen Sie die Werte für Druck, Volumen und Temperatur des Kreisprozesses (ohne Ladungswechselschleife) und tragen Sie die Ergebnisse in Tabelle 2 auf dem Arbeitsblatt 1 ein. 5,0

Hinweis: Verdichtungsverhältnis $\epsilon = \frac{V_{UT}}{V_{OT}}$

4 Getriebe der Fahreinheit

4.1 Das Fahrzeug erreicht im Fahrbetrieb die Höchstgeschwindigkeit von 25 km/h bei einer Drehzahl des Antriebsmotors von 3000 1/min . Die Antriebsräder haben einen Durchmesser von 800 mm . Berechnen Sie das erforderliche Gesamtübersetzungsverhältnis. 2,0

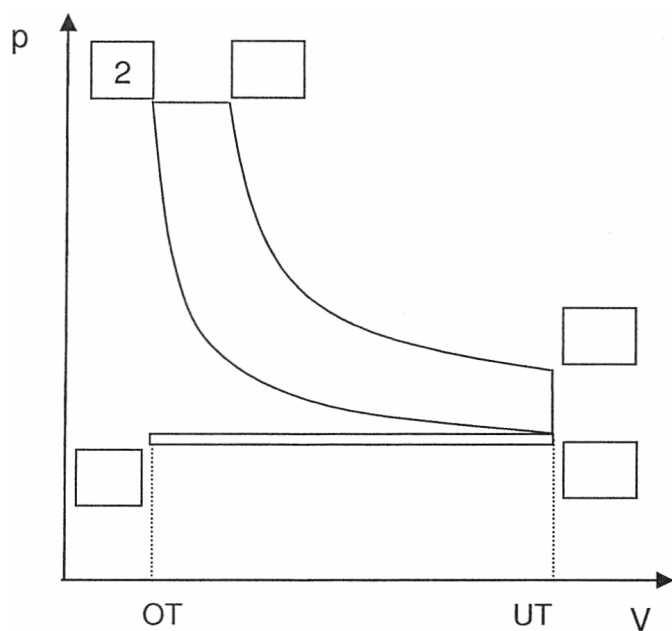
4.2 Für den Fahrtrieb soll ein zweistufiges Stirnradgetriebe verwendet werden. Entwerfen Sie den Getriebeaufbau und bestimmen Sie die Zähnezahlen der Stirnräder. 2,0

$\Sigma = 40,0$



Arbeitsblatt 1

zu Aufgabe 3.2 und 3.3



zu Aufgabe 3.2: Tabelle 1

Zustand	Zustandsänderung	Vorgang
0-1	isobar	ansaugen
1-2		
2-3		
3-4		
4-1		
1-0		

zu Aufgabe 3.5: Tabelle 2

Zustand	p [bar]	V [cm ³]	T [K]
1			
2			
3			
4			



Lösungen 1

1

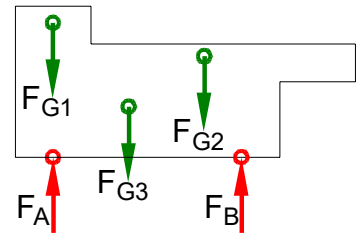
1.1 Lageskizze waagerechte Tiefbohranlage (siehe rechts)

$$1.2 \quad \Sigma M_A = 0 = -F_{G3} \cdot l_3 - F_{G2} \cdot l_2 + F_B \cdot l_1 \Rightarrow$$

$$F_B = \frac{F_{G3} \cdot l_3 + F_{G2} \cdot l_2}{l_1} = \frac{20 \text{ kN} \cdot 2 \text{ m} + 5 \text{ kN} \cdot 3 \text{ m}}{4 \text{ m}} = 13,75 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_y = 0 = F_A - F_{G1} - F_{G2} - F_{G3} + F_B \Rightarrow$$

$$F_A = F_{G1} + F_{G2} + F_{G3} - F_B = 3 \text{ kN} + 5 \text{ kN} + 20 \text{ kN} - 13,75 \text{ kN} = 14,25 \text{ kN}$$



1.3 Lageskizze geneigtes Führungsrohr (siehe rechts)

$$F_{G1x} = F_{G1} \cdot \sin \alpha = 3 \text{ kN} \cdot \sin 6^\circ = 0,314 \text{ kN}$$

$$F_{G1y} = F_{G1} \cdot \cos \alpha = 3 \text{ kN} \cdot \cos 6^\circ = 2,983 \text{ kN}$$

$$F_{G2x} = F_{G2} \cdot \sin \alpha = 5 \text{ kN} \cdot \sin 6^\circ = 0,523 \text{ kN}$$

$$F_{G2y} = F_{G2} \cdot \cos \alpha = 5 \text{ kN} \cdot \cos 6^\circ = 4,973 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_D = 0 = F_{G1x} \cdot l_5 + F_{G2x} \cdot l_4 - F_{G2y} \cdot l_2 + F_{Cy} \cdot (l_2 + l_5) \Rightarrow$$

$$F_{Cy} = \frac{-F_{G1x} \cdot l_5 - F_{G2x} \cdot l_4 + F_{G2y} \cdot l_2}{l_2 + l_6} = \frac{-0,314 \text{ kN} \cdot 1,2 \text{ m} - 0,523 \text{ kN} \cdot 0,5 \text{ m} + 4,973 \text{ kN} \cdot 3 \text{ m}}{3 \text{ m} + 2 \text{ m}} = 2,856 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_x = 0 = -F_{G1x} - F_{G2x} + F_{Cx} \Rightarrow F_{Cx} = F_{G1x} + F_{G2x} = 0,314 \text{ kN} + 0,523 \text{ kN} = 0,836 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_y = 0 = F_D - F_{G1y} - F_{G2y} + F_{Cy} \Rightarrow$$

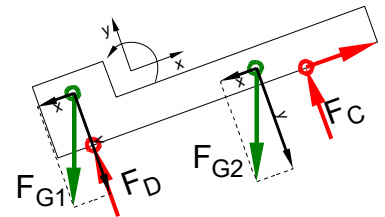
$$F_D = F_{G1y} + F_{G2y} - F_{Cy} = 2,983 \text{ kN} + 4,973 \text{ kN} - 2,856 \text{ kN} = 5,10 \text{ kN}$$

$$F_C = \sqrt{F_{Cx}^2 + F_{Cy}^2} = \sqrt{(0,836 \text{ kN})^2 + (2,856 \text{ kN})^2} = 2,98 \text{ kN}$$

$$\alpha_C = \arctan \frac{F_{Cy}}{F_{Cx}} = \arctan \frac{2,856 \text{ kN}}{0,836 \text{ kN}} = 73,7^\circ$$

$\alpha_A = 73,7^\circ$ nach links oben gegen die x-Achse im gewählten Koordinatensystem.

$\alpha_A = 79,7^\circ$ nach links oben gegen die Waagerechte.



1.4 Lageskizze senkrechtes Führungsrohr

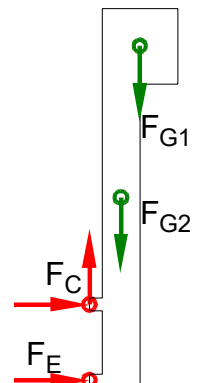
$$\Sigma M_C = 0 = -F_{G1} \cdot l_5 - F_{G2} \cdot l_4 + F_E \cdot l_a \Rightarrow F_E = \frac{F_{G1} \cdot l_5 + F_{G2} \cdot l_4}{l_a}$$

$$\Sigma F_x = 0 = F_E + F_{Cx} \Rightarrow F_{Cx} = -F_E$$

$$\Sigma F_y = 0 = -F_{G1} - F_{G2} + F_{Cy} \Rightarrow F_{Cy} = F_{G2} + F_{G1}$$

→ F_{Cy} ist von l_a unabhängig

→ F_E und F_{Cx} (und damit F_C) werden kleiner, je größer l_a wird.





2 Bolzen

2.1 Durchmesser

Erforderlicher Durchmesser gegen Flächenpressung

$$p_{zul} > p = \frac{F}{A} \Rightarrow A_{erf} = \frac{F_{Cmax}}{p_{zul}} = \frac{20 \text{ kN}}{40 \text{ N/mm}^2} = 500 \text{ mm}^2$$

$$A = d \cdot b \Rightarrow d_{erf} = \frac{A}{b} = \frac{500 \text{ mm}^2}{50 \text{ mm}} = 10 \text{ mm}$$

Erforderlicher Durchmesser gegen Abscheren

$R_e = 210 \text{ N/mm}^2$ (C22E → [EuroTabM] „Vergütungsstähle“)

$$\tau_{aB} = 0,6 \cdot R_e = 0,6 \cdot 210 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 126 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\tau_{aB}}{\sqrt{V}} = \tau_{azul} > \tau_a = \frac{F}{2 \cdot S} \Rightarrow$$

$$\tau_{azul} = \frac{\tau_{aB}}{\sqrt{V}} = \frac{126 \text{ N/mm}^2}{8} = 15,75 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{erf} = \frac{F_{Cmax}}{2 \cdot \tau_{azul}} = \frac{20 \text{ kN}}{2 \cdot 15,75 \text{ N/mm}^2} = 634,9 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Rightarrow d_{erf} = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 637,9 \text{ mm}^2}{\pi}} = 28,4 \text{ mm}$$

gewählt: $d = 30 \text{ mm}$ (der größere der beiden Werte)

2.2 Hohlbolzen

Die Flächenpressung wird von der hohlen Form nicht berührt.

$\tau_{aF} = 0,6 \cdot R_e$ (→ [EuroTabM] „Abscherung, Beanspruchung“)

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

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

$$\frac{\tau_{aF}}{\sqrt{V}} = \tau_{azul} > \tau_a = \frac{F}{2 \cdot S} \Rightarrow$$

$$\tau_{azul} = \frac{\tau_{aF}}{\sqrt{V}} = \frac{312 \text{ N/mm}^2}{8} = 39 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{erf} = \frac{F_{Cmax}}{2 \cdot \tau_{azul}} = \frac{20 \text{ kN}}{2 \cdot 39 \text{ N/mm}^2} = 256,4 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \Rightarrow d_{erf} = \sqrt{D^2 - \frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{(30 \text{ mm})^2 - \frac{4 \cdot 256,4 \text{ mm}^2}{\pi}} = 23,9 \text{ mm} (= d_{max})$$

$$D/d = \frac{30 \text{ mm}}{23,9 \text{ mm}} = 1,25$$

gewählt: $D/d = 1,3$

Hinweis 1:

- Entweder: Zweimal um die Ecke denken – das Durchmesser Verhältnis D/d muss größer werden, damit der Innendurchmesser d kleiner wird.
- Oder: Einfach für jedes Durchmesser Verhältnis D/d den Innendurchmesser d berechnen und einen geeigneten Wert auswählen:
 - $D/d = 1,3 \rightarrow d = D/1,3 = 30 \text{ mm} / 1,3 = 23,1 \text{ mm}$ (geeignet)
 - $D/d = 1,5 \rightarrow d = D/1,5 = 30 \text{ mm} / 1,5 = 20 \text{ mm}$ (geeignet)
 - $D/d = 1,7 \rightarrow d = D/1,7 = 30 \text{ mm} / 1,7 = 17,6 \text{ mm}$ (geeignet)



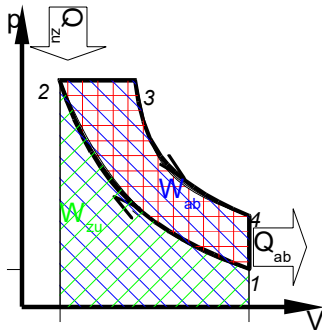
3 Antrieb der Fahrinheit

3.1 Viertakt-Dieselmotor

3.2 Tabelle 1

Zustand	Zustandsänderung	Vorgang
0-1	isobar	ansaugen
1-2	adiabatisch	verdichten
2-3	isobar	verbrennen und expandieren/arbeiten
3-4	adiabatisch	expandieren / arbeiten
4-1	isochor	Abgase ablassen
1-0	isobar	Restgase ausstoßen

3.3 rote Fläche: W_{Nutz}



$$3.4 \quad V_h = \frac{V_H}{z} = \frac{3000 \text{ cm}^3}{4} = 750 \text{ cm}^3$$

$$p \cdot V = m \cdot R_i \cdot T \Rightarrow m_h = \frac{p_1 \cdot V_h}{R_i \cdot T_1} = \frac{1 \text{ bar} \cdot 750 \text{ cm}^3}{287 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot (273 + 20) \text{ K}} = \frac{10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 750 \cdot \left(\frac{\text{m}}{100}\right)^3}{287 \text{ Nm} \cdot 293} \text{ kg} = 0,892 \text{ g}$$

3.5 Tabelle 2

Zustand	p [bar]	V [cm ³]	T [K]
1	1	789,5	293
2	66,3	39,5	971
3	66,3	59,25	1457
4	1,8	789,5	517

$$\epsilon = \frac{V_{UT}}{V_{OT}} = \frac{V_{OT} + V_h}{V_{OT}} = 1 + \frac{V_h}{V_{OT}} \Rightarrow$$

$$V_{OT} = \frac{V_h}{\epsilon - 1} = \frac{750 \text{ cm}^3}{20 - 1} = 39,5 \text{ cm}^3 = V_2$$

$$V_{UT} = V_{OT} \cdot \epsilon = 39,5 \text{ cm}^3 \cdot 20 = 789,5 \text{ cm}^3 = V_1 = V_4$$

$$V_3 = V_{OT} \cdot 1,5 = 39,5 \text{ cm}^3 \cdot 1,5 = 59,25 \text{ cm}^3$$



Zustandsänderung 1 – 2: Adiabatische Verdichtung:

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{1005 \text{ J/kgK}}{718 \text{ J/kgK}} = 1,40$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa-1}$$

$$\Rightarrow p_2 = p_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa} = p_1 \cdot \epsilon^{\kappa} = 1 \text{ bar} \cdot 20^{1,40} = 66,3 \text{ bar}$$

$$\Rightarrow T_2 = T_1 \cdot \left[\frac{V_1}{V_2} \right]^{\kappa-1} = T_1 \cdot \epsilon^{\kappa-1} = (273+20) \text{ K} \cdot 20^{1,40-1} = 971,1 \text{ K}$$

Zustandsänderung 2 – 3: Isobare Verbrennung

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} \Rightarrow T_3 = T_2 \cdot \frac{V_3}{V_2} = T_2 \cdot 1,5 = 971 \text{ K} \cdot 1,5 = 1456,7 \text{ K}$$

$$p_3 = p_2$$

Zustandsänderung 3 – 4: Adiabatische Entspannung

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa-1}$$

$$\Rightarrow p_4 = p_3 \cdot \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{\kappa} = 66,3 \text{ bar} \cdot \left(\frac{1,5}{20} \right)^{1,4} = 1,76 \text{ bar}$$

$$\Rightarrow T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{\kappa-1} = 1457 \text{ K} \cdot \left(\frac{1,5}{20} \right)^{1,4-1} = 516,9 \text{ K}$$

4 Getriebe der Fahrinheit

$$4.1 \quad v = 25 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 25 \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 6,94 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v = \pi \cdot n \cdot d \Rightarrow n_{ab} = \frac{v}{\pi \cdot l_2} = \frac{6,94 \text{ m/s}}{\pi \cdot 800 \text{ mm}} = 2,76 \text{ s}^{-1} = 165,8 \text{ min}^{-1}$$

$$i = \frac{n_{zu}}{n_{ab}} = \frac{3000 \text{ min}^{-1}}{168,5 \text{ min}^{-1}} = 18,1$$

4.2 Randbedingungen: Mehrstufige Übersetzungen innerhalb eines Getriebes sollen gleichmäßig verteilt sein.

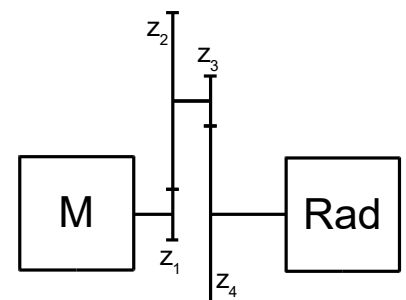
$$z_1 \approx z_3 \quad \text{und} \quad z_2 \approx z_4$$

$$i = \frac{z_2 \cdot z_4}{z_1 \cdot z_3} \approx \frac{z_2^2}{z_1^2} = \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^2 \Rightarrow z_2 \approx z_1 \cdot \sqrt{i} = z_1 \cdot \sqrt{18,1}$$

$$\text{gewählt:} \quad z_1 = 13 \quad z_2 = 55$$

Hinweise:

- Wenn die Zähnezahlen einer Übersetzungsstufe keinen gemeinsamen Teiler haben, treffen zwei beliebige Zähne möglichst selten aufeinander → verringert Verschleiß
- Mehrstufige Übersetzungen können auch ungleichmäßig verteilt sein, z.B. wenn eine zwischenliegende Kardanwelle mit einem niedrigen Drehmoment belastet werden soll.



Statik (15 P): Freimachen mit geg. Baugruppe; Kräfte; schiefe Ebene; Auswirkung von Abständen bewerten;
 Festigkeit (8 P): BolzenØ gegen Abscherung und Flächenpressung; BolzenØ speziell;
 Energie (13 P): Motortyp aus p,V-Diagramm; p,V-Diagramm ergänzen; Luftmasse; Zustandsänderungen;
 Getriebe (4 P)