

Übung 01

Anforderungsliste

In dieser Woche soll eine Anforderungsliste erstellt werden. Dazu gibt es eine entsprechende Norm, die über Perinorm gefunden werden kann.

Folgende Grundfunktionen sind zu erfüllen:

- Krankentrage:
 - Patient aufnehmen
 - benötigte Liegeposition einstellen
- Fahrgestell:
 - Krankentrage aufnehmen
 - Krankentrage fahrbar machen
 - Liegehöhe verstellen
- Aufnahme im Fahrzeug:
 - Krankentragesystem ergonomisch ins Fahrzeug verlasten
 - Krankentrage im Fahrzeug sichern
 - Liegehöhe im Fahrzeug verstellen

Für diese Grundfunktionen sind Anforderungen zu formulieren.

Beispiel: Aus der Funktion „Patient aufnehmen“ ergibt sich unter anderem die Forderung, dass die Trage mindestens über zwei Gurte mit Schnellverschluss verfügen muss.

Es können sich auch weitere Anforderungen aus den entsprechenden Normen ergeben. Diese sind zu berücksichtigen!

Ergänzen Sie selbstständig weitere sinnvolle Anforderungen und Wünsche (z. B. Bedienbarkeit mit Handschuhen, etc.).

Zusätzlich sind folgende Anforderungen gegeben:

- Stufenlose Winkelverstellung der Kopf-/Rückenstütze durch eine Gewindespindel
- Stufenlose Verstellung der Liegehöhe im Fahrzeug

Zusatzübung:

Sammeln Sie bereits während der Recherche und der Erstellung der Anforderungsliste erste Ideen und Konzepte, wie Sie die gewünschten Funktionen, festen Anforderungen und Wünsche am besten umsetzen können. Halten Sie diese Konzeptideen in Skizzen und/oder Stichworten fest. Eine Bewertung der Umsetzungsmöglichkeiten sollte zu diesem Zeitpunkt noch nicht erfolgen. Hier dürfen Sie kreativ sein, es gibt kein Richtig oder Falsch.

Hinweise:

- Für die Aufgabe haben Sie eine Wochen Zeit.
- Am **25.04.2023** müssen Sie Ihre Lösungen dem Tutor vorzeigen.
- Die Übung wird bestanden, wenn die Aufgaben vollständig bearbeitet wurden.

Anforderungsliste für Krankentrage					
Firma		Hübner Ein- Ausbau Medizintechnik		Projektnr. 1	
Bearbeiter		Marco Hübner		Ausgabe vom: 18.04.2023	
				Ers. Ausg. v.: 18.04.2022	
F W	Nr.	Anforderungen Forderung (F), Wunsch (W)	Beschreibung Quantifizierung	Verantw. / Quelle	Änderung
		Allgemein			
F	1.1	Sicherheitsrisiko minimierung auf Minimum	nach EN ISO 14971:2012	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	1.2	Kanten	radius min. 0,5mm, frei von scharfen Kanten	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	1.3	EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit aller Geräte	DIN EN 1789	21.04.2023
		Krankentrage			
F	2.1.1	Länge	(1959 ⁺²⁰ ₋₅₀) mm	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.1.2	Breite	(550 ± 20) mm	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.1.3	Höhe	max. 300 mm	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.1.4	Masse	max. 23 kg	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.1.5	Belastbarkeit	min. 150 kg	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.1.6	Rahmen	verbiegungsfrei, robuste leichtbauweise, Reanimation möglich, Ecken abgerundet	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.1.7	Verriegelung	gegenseitliche, Längsrichtung und senkrechte Bewegungen	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.1.8	Falls herunterklappbare Seitenstützen	Länge min. 500 mm, Mindesthöhe zwischen 150 mm -200 mm	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.1.9	falls Längsgriffe	Nicht drehbar und befestigt in ausgezogenem und Gebrauchszustand	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.1.10	korrosionsbeständiger Werkstoff	Desinfektionsmittel beständig	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.1.11	Falls Verwendung ohne Fahrgestelle	4 Räder min. d= 100 mm	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.1.12	Verwendung mit Fahrgestell	Verbindung ohne Hilfsmittel muss möglich sein, sicheres Bediene bei absenken und bedienen	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.1.13	falls trennbare Krankentrage	leichtes lösen und verbinden, kein unbeabsichtigtes trennen	DIN EN 1865-1	21.04.2023
W	2.1.14	Befestigung Infusionsständer		DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.1.15	Rückhaltesystem	min. 2 mit Schnellverschluss (auch geeignet für Kindersystem)	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.1.16	Entflammbarkeit	kein Fortschreitender Schwellbrand oder flammenbildende Entzündung nach EN 597-1:1994	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.1.17	Verbiegung des Rahmens	darf nicht brechen oder biegen mit Testgewicht 250 kg	DIN EN 1865-1	21.04.2023

Anforderungsliste für Krankentrage					
Firma		Hübner Ein- Ausbau Medizintechnik	Projektnr. 1	Ausgabe vom:	18.04.2023
Bearbeiter		Marco Hübner		Ers. Ausg. v.:	18.04.2022
F W	Nr.	Anforderungen Forderung (F), Wunsch (W)	Beschreibung Quantifizierung	Verantw. / Quelle	Änderung
F	2.1.18	Befestigung	Keine Verformung nach 5.1.2 DIN EN 1865-1	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.1.19	Verformung Liegefläche	Keine Verformung nach 5.1.3 DIN EN 1865-1	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.1.20	Verwindungsfstigkeit	Nach 5.1.4 DIN EN 1865-1	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.1.21	Spreizen der Räder	nach 5.1.5 DIN EN 1865-1 und max. 2mm	DIN EN 1865-1	21.04.2023
W	2.1.22	Befestigung Gerätschaften	EKG, Beatmungsgerät	DIN EN 1865-1	21.04.2023
		Liegefläche			
F	2.2.1	Oberfläche	eben, robuste Leichtbauweise, Thoraxbereich HLW möglich ohne federnd zu wirken oder nachzugeben Desinfektionsmittel beständig	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.2.2	Fläche	rutschhemmend, bequeme (Trage-)Matratze, geschweißte Nähte (Verhinderung Eindringung Körperflüssigkeiten und Desinfektionsbeständig)	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.2.3	Kopf-/Rückstütze	Sichere Befestigung verstellbar, Länge min. 600 mm, min. 75° anhebbar und min. 5 Feststellungen in dem Bereich)	DIN EN 1865-1	21.04.2023
W	2.2.4	Winkelverstellung Kopf-/Rückstütze	stufenlos durch Gewindespindel	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	2.2.5	Fußteil	verstellbar, min. 900 mm, Schoklage min. 15°	DIN EN 1865-1	21.04.2023
W	2.2.6	Aufwand für Bediener	System welches Aufwand verringert	DIN EN 1865-1	21.04.2023
	2.2.7	Liegefläche	Strapazierfähiges Material Beständig gegen Bakterien, Pilze, Flecken und Fäulnis Desinfizierbar, abwaschbar, waschbar und mineralölbeständig	DIN EN 1865-1	21.04.2023
		Fahrgestell			
F	3.1	Maße	Länge und Breite im RD - Fzg. Dar Krankentrage nicht überschreiten	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	3.2	Masse Fahrgestell einschließlich Krankentrage	max. 51 kg	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	3.3	Masse Krankentrage mit eingebautem Fahrgestell	einteilig 45 kg		21.04.2023

Anforderungsliste für Krankentrage					
Firma		Hübner Ein- Ausbau Medizintechnik		Projektnr. 1	
Bearbeiter		Marco Hübner		Ausgabe vom: 18.04.2023	
				Ers. Ausg. v.: 18.04.2022	
F W	Nr.	Anforderungen Forderung (F), Wunsch (W)	Beschreibung Quantifizierung	Verantw. / Quelle	Änderung
F	3.4	Räder	4 Räder min. d= 100 mm, min. 2 Räder am Fußende um 360° drehbar, min. 2 Räder mit Feststellun	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	3.5	Höhe Be- und Entladen Krankenkraftwagen	max. 750 mm	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	3.6	Höhenverstellbarkeit	einfach, min. 2 Höhen (Fahrzeugposition und ganz ausgeklappt)	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	3.7	Haltemechanismus	automatisch ganz ausgeklappte Stelle halten	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	3.8	Bedienelemente	ergonomisch, eindeutig und dauerhaft beschriftet (vorzugsweise graphische Symbole), Sicherung gegen unbeabsichtigte Bewegung auslösen	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	3.9	Funktionen Krankentrage und Fahrgestell	müssen unverändert bleiben	DIN EN 1865-1	21.04.2023
F	3.10	Material	Wasser- und kratzbeständiger Farbüberzug oder korrosionsbeständiger Werkstoff	DIN EN 1865-1	21.04.2023
		Krankentrageaufnahme			
F	4.1	Kanten	keine scharfen Kanten	DIN EN 1865-5	21.04.2023
F	4.2	Belastbarkeit	Erfüllung funktionstechnische Aufgaben bei > 220 kg, Beladung ohne Funktion min. 300 kg	DIN EN 1865-5	21.04.2023
F	4.3	Kraftbetriebene Krankentrageaufnahme	Handbedingung bei Stromausfall, bei vollständiger Automatisierung Not-AUS taste	DIN EN 1865-5	21.04.2023
W	4.4	Falls stoßdämpfende Krankentrageaufnahme	automatische selbst einstellende und selbst ausgleichend Feder, zeitspanne bis Beenden Neueinstellung max. 20s Sperrung und waagerechte Lage muss mögl. Sein Stromausfall: Druckspeicher nicht Unterdruck bleiben, niedrigste Stelle versetzen	DIN EN 1865-5	21.04.2023
W	4.5	Verstellung Liegehöhe	Stufenlose Verstellung der Liegehöhe im Fzg.		21.04.2023

Übung 02

Statik Krankenliege

Das Ziel dieser Statik-Berechnung ist es, die höchstbelastete Stelle am Längsträger des Rahmens zu ermitteln. Die verwendeten Begriffe für die jeweiligen Bestandteile der Trage sind in Abbildung 1 dargestellt. Die Liegefläche ist hierbei an mehreren Stellen auf dem Rahmen gelagert. Die beiden Bestandteile werden in der Statik-Berechnung nacheinander bearbeitet.

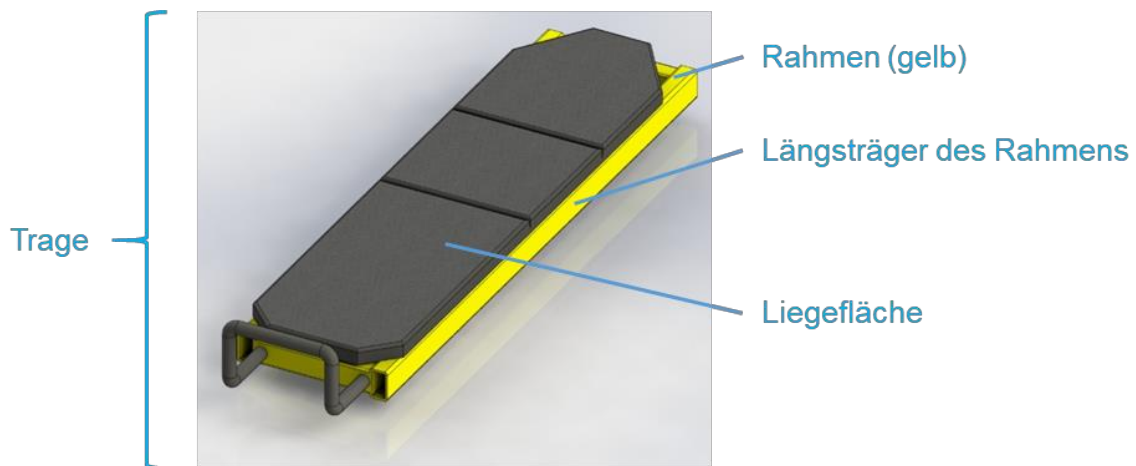


Abbildung 1: Die Trage und ihre Elemente.

Für die Statikberechnung muss ein Lastfall angenommen werden. Der Lastfall wird in Anlehnung an eines der Prüfverfahren aus der DIN EN 1865-1 (Abschnitt 5.1.1.1) gewählt. Um zu prüfen, ob eine Verformung des Rahmens stattfindet, wird eine Last von 250 kg auf der Liegefläche (nicht auf dem Rahmen) der Trage verteilt (siehe Abbildung 2). Dabei wird vom Kopf- und vom Fußende der Liegefläche jeweils ein Abstand von 290 mm gehalten. Der in der Norm beschriebene Lastfall sieht vor, die Trage mit voll ausgezogenen Griffen auf Halterungen zu lagern.

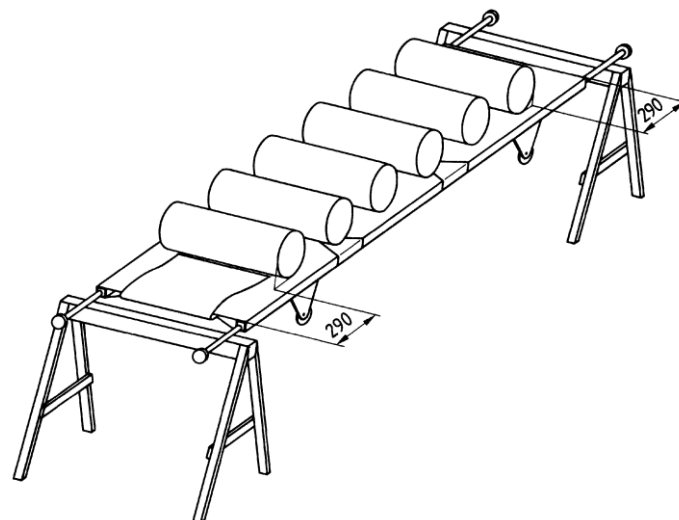


Abbildung 2: Lastfall aus DIN EN 1865-1, Abschnitt 5.1.1.1, zur Prüfung der Trage aufbleibende Verformung.

KMT 2 - Übung

Zunächst wird die Belastung der Liege betrachtet. Es werden zwei verschiedenen Zustände betrachtet; einmal den ebenen Zustand und einmal den angewinkelten mit aufgerichteter Oberkörperstütze (siehe Abbildungen 4 und 5). Ist die Liege in der hochgeklappten Position, so wirkt die senkrechte Stütze zum Lager E als Pendelstütze. Auch das Beinteil kann durch ein Gelenk angewinkelt werden, jedoch kann dieser Belastungsfall hier zur Vereinfachung vernachlässigt werden.

Gemäß der Belastung in der Norm, wirken folgende Kräfte auf die Liegefläche der Trage. Die Lagerung der Liegefläche auf dem Rahmen erfolgt durch mehrere Fest- und Loslager A bis D/E.

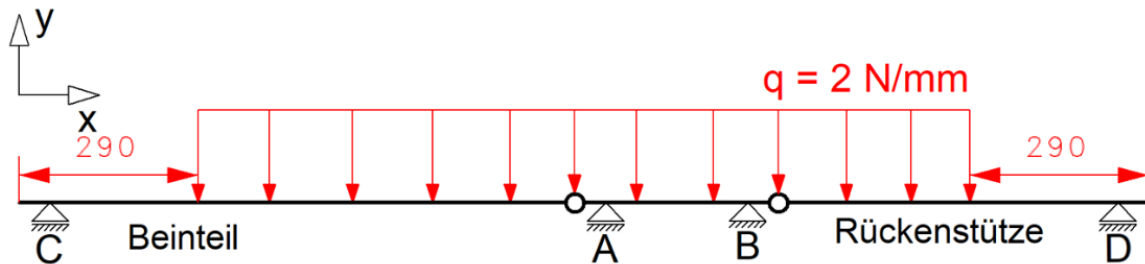


Abbildung 3: Belastung der Liege im ebenen Zustand.

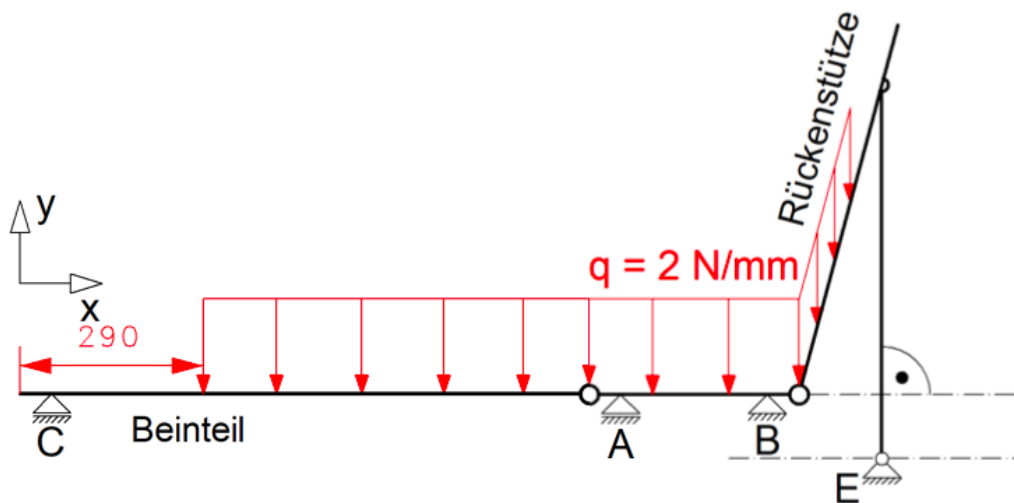


Abbildung 4: Belastung der Liege im angewinkelten Zustand.

Die Lagerung der Trage erfolgt jedoch nicht wie in der Norm beschrieben am Ende der Trage, sondern an vorgegebenen Lagerstellen K und L (Fest- und Loslager) durch das Fahrgestell (siehe Abbildung 5). Die Lager L können Kräfte in y- und z-Richtung aufnehmen. Die Lager K können Kräfte in x-, y- und z-Richtung sowie Momente um die x-Achse aufnehmen. Die Punkte A-E kennzeichnen die Stellen, an denen die Lager der Liegefläche auf dem Rahmen montiert werden.

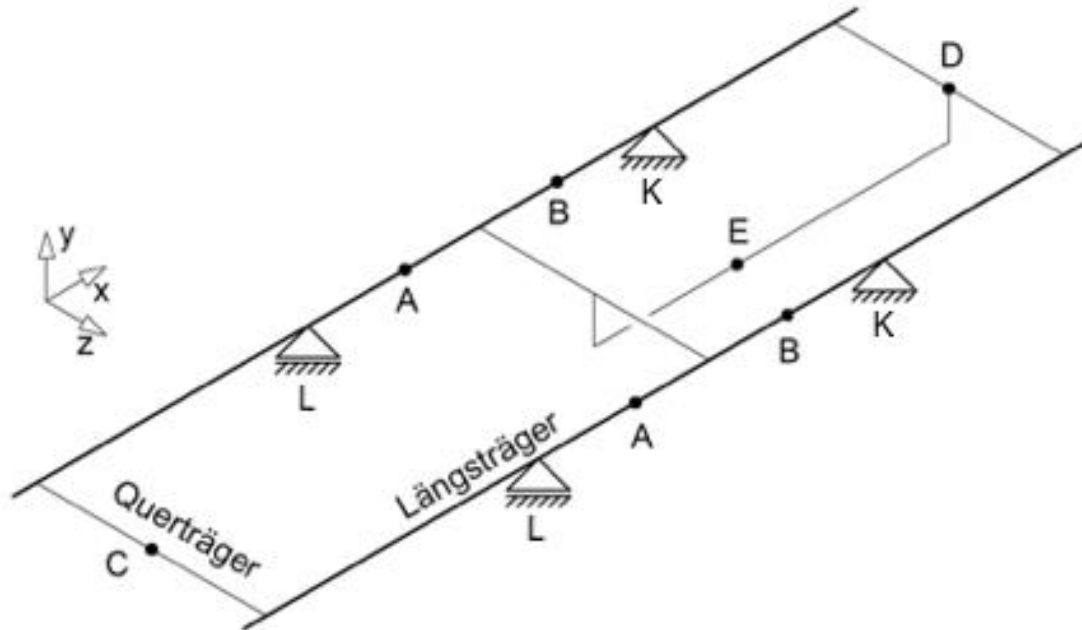


Abbildung 5: Übersicht der Lagerstellen am Rahmen durch das Fahrgestell.

Um die Lagerreaktionen des Rahmens zu bestimmen, kann angenommen werden, dass sich die Belastung symmetrisch auf beide Längsträger verteilt:

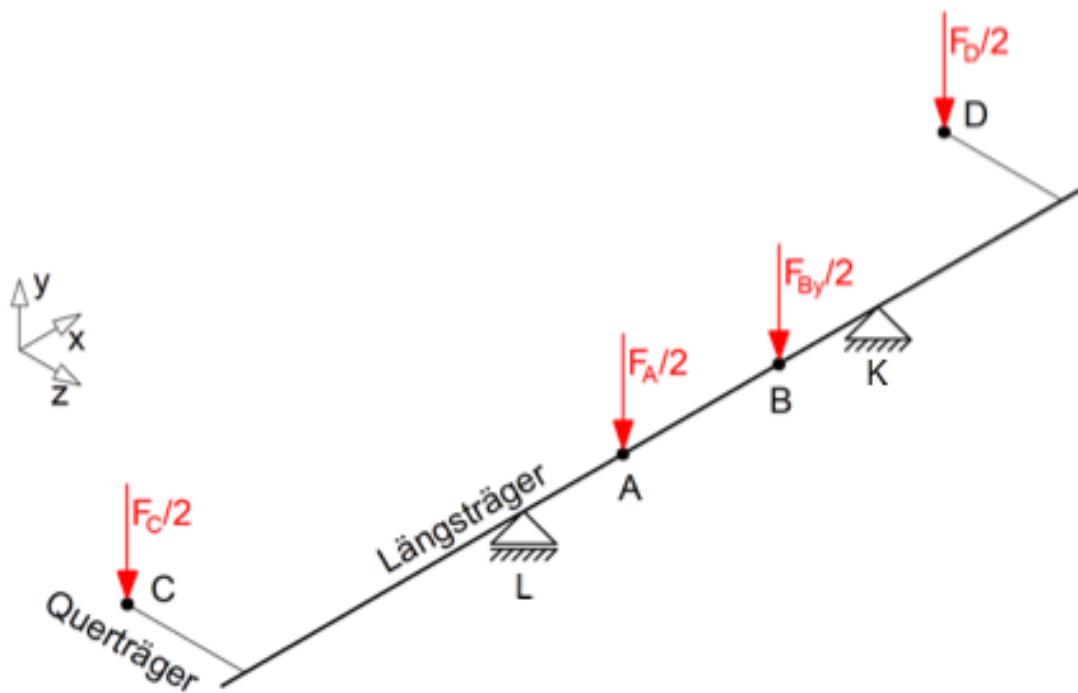


Abbildung 6: Verteilung der Kräfte auf einen der Längsträger (Beispiel für den ebenen Zustand)

Gehen Sie nach den folgenden Schritten vor:

- Ermitteln Sie die Lagerreaktionen an der Liegefläche in der ebenen Position. Diese Lagerreaktionen stellen gleichzeitig die Belastung des Rahmens dar.
- Ermitteln Sie die Lagerreaktionen am Rahmen für die ebene Position der Liegefläche.
- Ermitteln Sie die Querkraft-, Biegemomenten- und Torsionsmomentenverläufe des Längsträgers in der ebenen Liegeposition. Stellen Sie die Verläufe dar. Bestimmen Sie daraus die höchstbelasteten Stellen.
- Wiederholen Sie die ersten drei Schritte für die gekippte Position.
- Beurteilen Sie im Anschluss an Ihre Berechnung auch, ob der angenommene Lastfall angelehnt an die Norm geeignet ist.

Weitere Maße der Trage:

Alle weiteren Maße die Sie für die Berechnung benötigen, finden Sie in den Abbildungen 7, 8, 9 und 10.

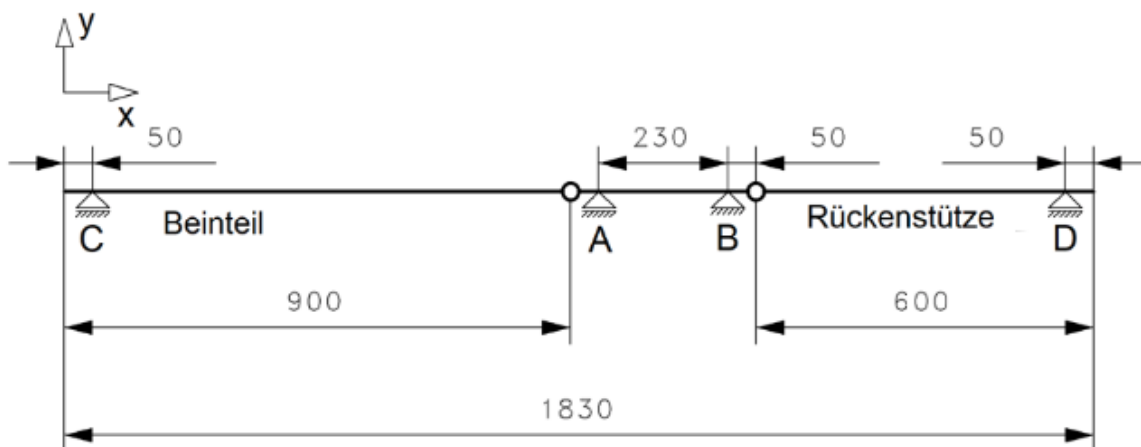


Abbildung 7: Maße der Liegefläche im ebenen Zustand.

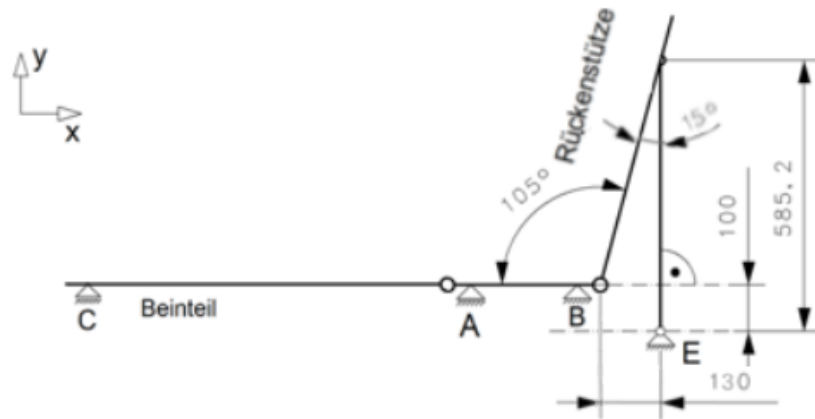


Abbildung 8: Maße der Liegefläche im angewinkelten Zustand.

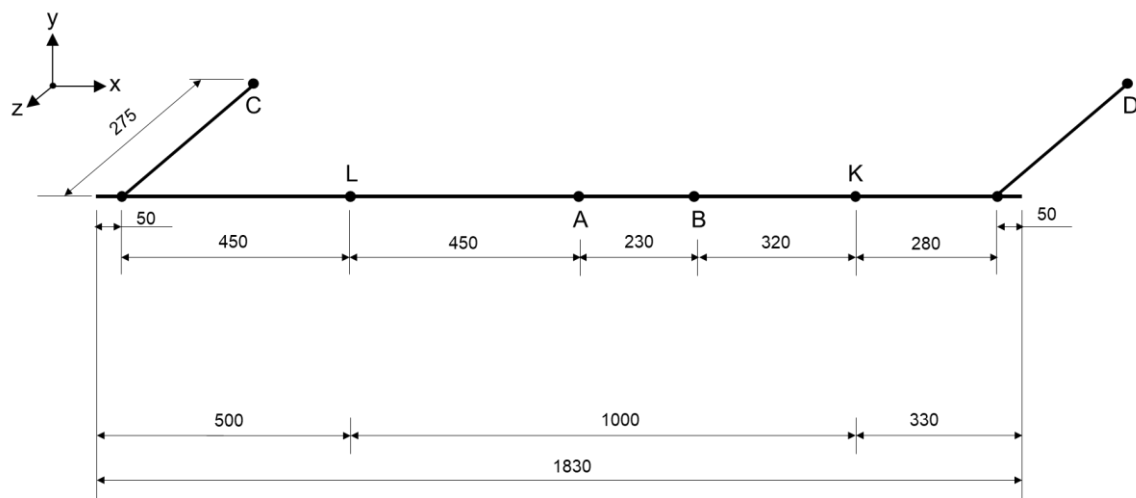


Abbildung 9: Maße des Rahmens für den ebenen Zustand.

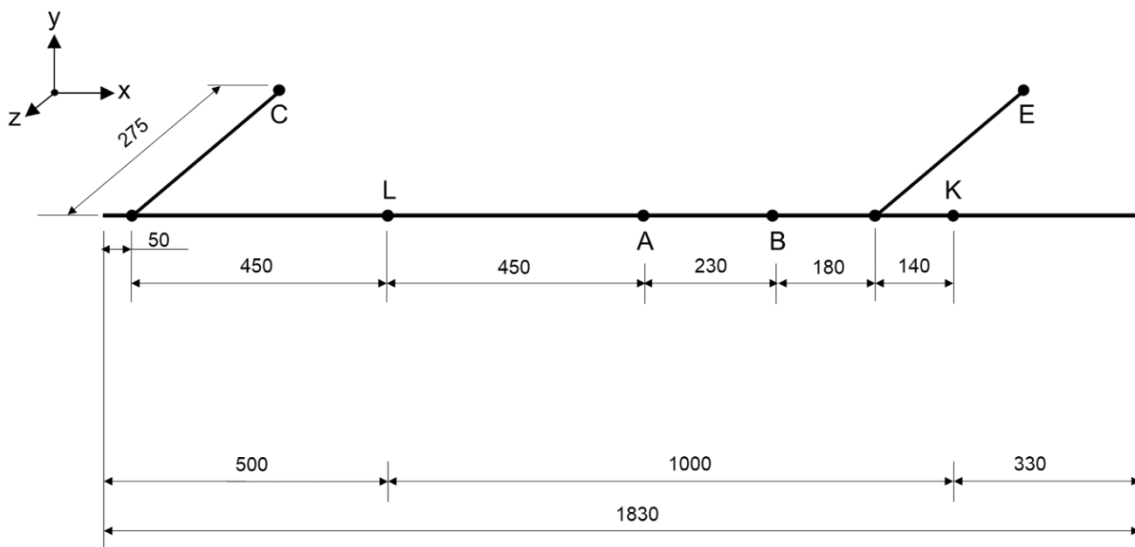
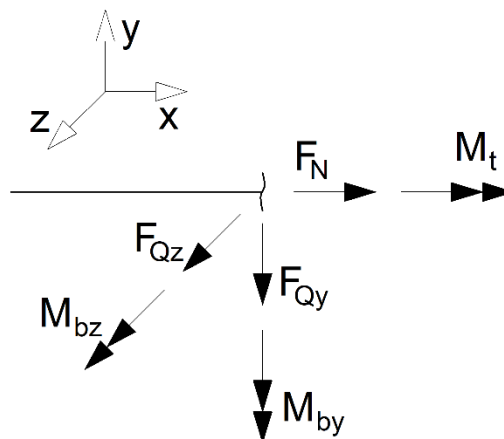


Abbildung 10: Maße des Rahmens für den angewinkelten Zustand.

Tipps für die Statikberechnung:

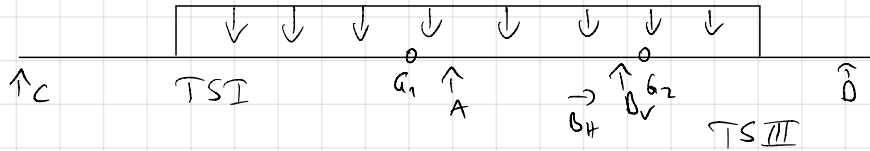
- Die Bauteile werden als Balken ohne Ausdehnung angenommen.
- Achten Sie auf eine eindeutige Bezeichnung der Kräfte und Momente.
- Machen Sie sich zu jedem Berechnungsschritt eine Skizze mit dem freigeschnittenen Bauteil.
- Achten Sie auf die korrekte Orientierung der inneren Kräfte und Momente.
- Runden Sie die Ergebnisse sinnvoll.
- Die Maße aus den Skizzen für die Statik-Berechnung sind nicht bindend für Ihr Konzept.
- Für die Lagerberechnung des Rahmens muss in drei Dimensionen gerechnet werden. Das heißt, Sie müssen drei Kräfte- und Momentengleichgewichte aufstellen (in x-, y- und z-Richtung). Bei den Momenten müssen Sie zu dem Punkt, um welchen Sie drehen wollen, auch eine Achse festlegen.
- Bitte verwenden Sie die in Abbildung 10 dargestellte Konvention für die Schnittufer.

*Abbildung 10: Schnittuferkonvention***Hinweise:**

Für die Aufgabe haben Sie zwei Wochen Zeit. Am **02.05.2023** müssen Sie Ihre Lösungen zum ebenen Zustand und am **09.05.2023** ihre Lösung im angewinkelten Zustand dem Tutor vorzeigen. Die Übung wird bestanden, wenn die Aufgaben vollständig und richtig berechnet wurden.

Übung 2 - Belastungsfall ebener Zustand

Auflagerkräfte



$$\text{TS I } \sum M_{G_1} = 0: 305 \text{ mm} \cdot 610 \text{ mm} \cdot 2 \text{ N/mm} - C_y \cdot 850 \text{ mm} = 0 \Rightarrow C_y = 637,8 \text{ N}$$

$$\text{TS II } \sum M_{G_2} = 0: 550 \text{ mm} \cdot D_y - 310 \text{ mm} \cdot 2 \text{ N/mm} \cdot 155 \text{ mm} = 0 \Rightarrow D_y = 174,7 \text{ N}$$

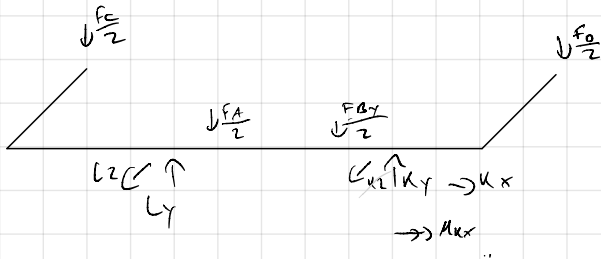
$$\text{GS } \sum H = 0: B_x = 0$$

$$\sum M_B = 0: D_y \cdot 600 \text{ mm} - A_y \cdot 230 \text{ mm} - C_y \cdot 1130 \text{ mm} + 1250 \text{ mm} \cdot 2 \text{ N/mm} \cdot 265 \text{ mm} = 0$$

$$\Rightarrow A_y = 1185,2 \text{ N}$$

$$\sum V = 0: A_y + B_y + C_y + D_y - 1250 \text{ mm} \cdot 2 \text{ N/mm} = 0 \Rightarrow B_y = 702,3 \text{ N}$$

Berechnung u und L



$$\sum M_{L_y} = 0: u_2 = 0$$

$$\sum x = 0: u_x = 0$$

$$\sum u_y = 0: L_2 = 0$$

$$\sum M_{u_2} = 0: \frac{F_{By}}{2} \cdot 320 \text{ mm} + \frac{F_A}{2} \cdot 550 \text{ mm} + 1650 \text{ mm} \cdot \frac{F_C}{2} - \frac{F_D}{2} \cdot 280 \text{ mm} - L_y \cdot 1000 \text{ mm} = 0$$

$$\Rightarrow L_y = 731,25 \text{ N}$$

$$\sum y = 0: L_y + u_y - \frac{F_C}{2} - \frac{F_A}{2} - \frac{F_{By}}{2} - \frac{F_D}{2} = 0 \Rightarrow u_y = 518,75 \text{ N}$$

$$\sum M_{u_x} = 0: M_{u_x} - \frac{F_D}{2} \cdot 275 \text{ mm} - \frac{F_C}{2} \cdot 275 \text{ mm} = 0$$

$$\Rightarrow M_{u_x} = 86218,75 \text{ N mm}$$

Schnittkräfte

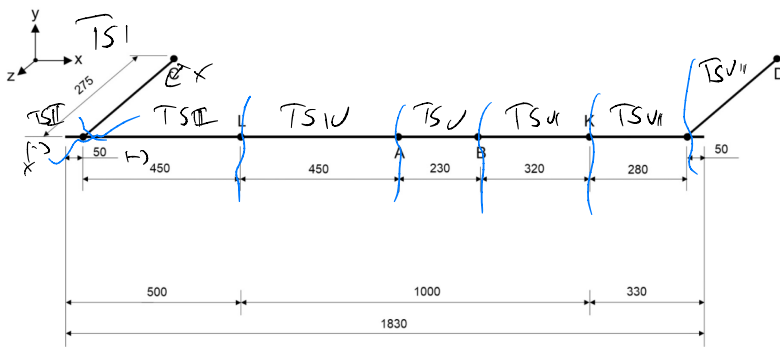
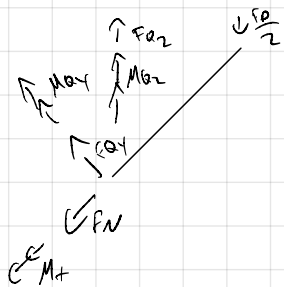


Abbildung 9: Maße des Rahmens für den ebenen Zustand.

TS I neg Schnittufer



$$\sum x=0: F_N=0$$

$$\sum y=0: -\frac{F_c}{2} + F_{Qy} = 0 \Rightarrow F_{Qy} = 218,9 \text{ N}$$

$$\sum z=0: F_{Qz} = 0$$

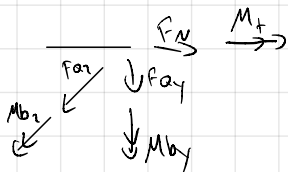
$$\sum M_x=0: M_t=0$$

$$\sum M_y=0: M_y=0$$

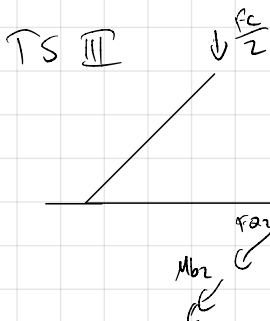
$$\sum M_z=0: -M_z - \frac{F_c}{2}$$

$$\Rightarrow M_z = 218,9 \text{ N} \cdot x - 60197,5 \text{ Nmm}$$

TS II



$$M_t = F_N = F_{Qy} = M_{by} = F_{Qz} = M_{bz} = 0$$



$$\sum x=0: F_N=0$$

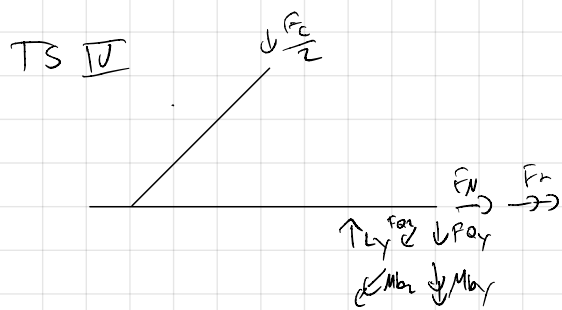
$$\sum z=0: F_{Qz} = 0$$

$$\sum y=0: -F_{Qy} - \frac{F_c}{2} = 0 \Rightarrow F_{Qy} = -218,9 \text{ N}$$

$$\sum M_x=0: M_t - \frac{F_c}{2} \cdot 275 \text{ mm} = 0 \Rightarrow M_t = 60197,5 \text{ Nmm}$$

$$\sum M_y=0: M_{by} = 0$$

$$\sum M_z=0: M_{bz} + \frac{F_c}{2} \cdot x_n = 0 \Rightarrow M_{bz} = -218,9 \text{ N} \cdot x$$



$$\sum x = 0 \quad F_N = 0$$

$$\sum y = 0: -\frac{F_C}{2} + F_y - F_{Qy} = 0 \Rightarrow F_{Qy} = 512,35 \text{ N}$$

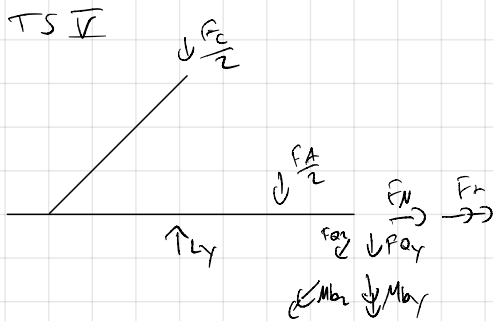
$$\sum z = 0: \quad F_{Qz} = 0$$

$$\sum M_x = 0 \quad M_t - \frac{F_C}{2} \cdot 275 \text{ mm} = 0 \Rightarrow M_t = 60197,5 \text{ Nmm}$$

$$\sum M_z = 0 - F_y x + M_{bz} + \frac{F_C}{2} (x + 450 \text{ mm}) = 0$$

$$\Rightarrow M_{bz} = F_y x - \frac{F_C}{2} x - \frac{F_C}{2} \cdot 450 \text{ mm} = 512,35 \text{ N} \cdot x - 98505 \text{ Nmm}$$

$$\sum M_y = 0: \quad M_{by} = 0$$



$$\sum x = 0 \quad F_N = 0$$

$$\sum y = 0: -\frac{F_A}{2} + F_y - \frac{F_C}{2} - F_{Qy} = 0 \Rightarrow F_{Qy} = -80,25 \text{ N}$$

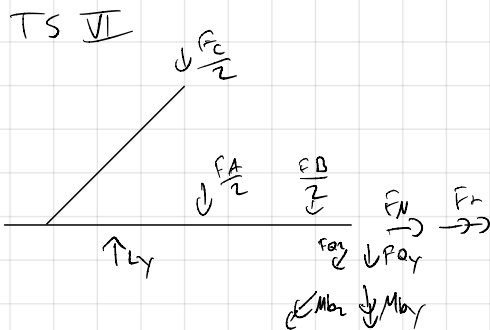
$$\sum z = 0: \quad F_{Qz} = 0$$

$$\sum M_x = 0 \quad M_t - \frac{F_C}{2} \cdot 275 \text{ mm} = 0 \Rightarrow M_t = 60197,5 \text{ Nmm}$$

$$\sum M_y = 0 \quad M_{by} = 0$$

$$\sum M_z = 0 \quad \frac{F_A}{2} x - F_y \cdot (450 \text{ mm} + x) + \frac{F_C}{2} (900 + x) + M_{bz} = 0$$

$$\Rightarrow M_{bz} = -80,25 \text{ N} \cdot x + 132052,5 \text{ Nmm}$$



$$\sum x = 0 \quad F_N = 0$$

$$\sum y = 0: -\frac{F_A}{2} + F_y - \frac{F_C}{2} - F_{Qy} - \frac{F_B}{2} = 0 \Rightarrow F_{Qy} = -431,4 \text{ N}$$

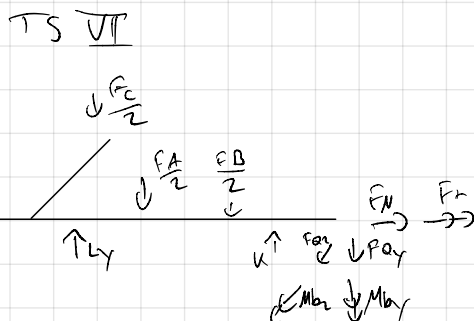
$$\sum z = 0: \quad F_{Qz} = 0$$

$$\sum M_x = 0: \quad M_t - \frac{F_C}{2} \cdot 275 \text{ mm} = 0 \Rightarrow M_t = 60197,5 \text{ Nmm}$$

$$\sum M_y = 0: \quad M_{by} = 0$$

$$\sum M_z = 0 \quad M_{bz} + \frac{F_B}{2} x + \frac{F_A}{2} (230 \text{ mm} + x) - F_y (x + 680 \text{ mm}) + \frac{F_C}{2} (1130 \text{ mm} + x) = 0$$

$$\Rightarrow M_{bz} = -431,4 x + 113595 \text{ Nmm}$$



$$\sum x = 0 \quad F_N = 0$$

$$\sum y = 0: -\frac{F_A}{2} + F_y - \frac{F_C}{2} - F_{Qy} - \frac{F_B}{2} + K = 0 \Rightarrow F_{Qy} = 87,35 \text{ N}$$

$$\sum z = 0: \quad F_{Qz} = 0$$

$$\sum M_x = 0: \quad M_t - \frac{F_C}{2} \cdot 275 \text{ mm} + M_{Kx} = 0 \Rightarrow M_t = -24021,25$$

$$\sum M_y = 0 \quad M_{by} = 0$$

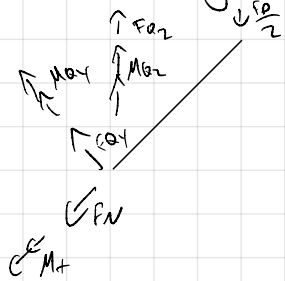
$$\sum M_z = 0: \quad M_{bz} + \frac{F_C}{2} (1450 \text{ mm} + x) - F_y (1000 + x) + \frac{F_A}{2} (550 + x) + \frac{F_B}{2} (300 \text{ mm}) - K x = 0$$

$$\Rightarrow M_{bz} = 87,35 x - 24453 \text{ Nmm}$$

TS VIII neg. Schnittufer

$$M_t = F_N = F_{Qy} = M_{by} = F_{Qz} = M_{bz} = 0$$

TS IV neg. Schnittufer



$$\sum x = 0 : F_N = 0$$

$$\sum y = 0 : -\frac{F_Q}{2} + F_{Qy} = 0 \Rightarrow F_{Qy} = 87,35 \text{ N}$$

$$\sum z = 0 : F_{Qz} = 0$$

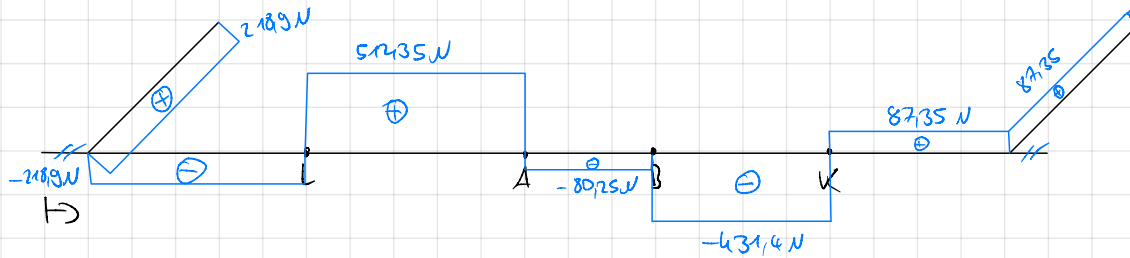
$$\sum M_x = 0 : M_x = 0$$

$$\sum M_y = 0 : M_y = 0$$

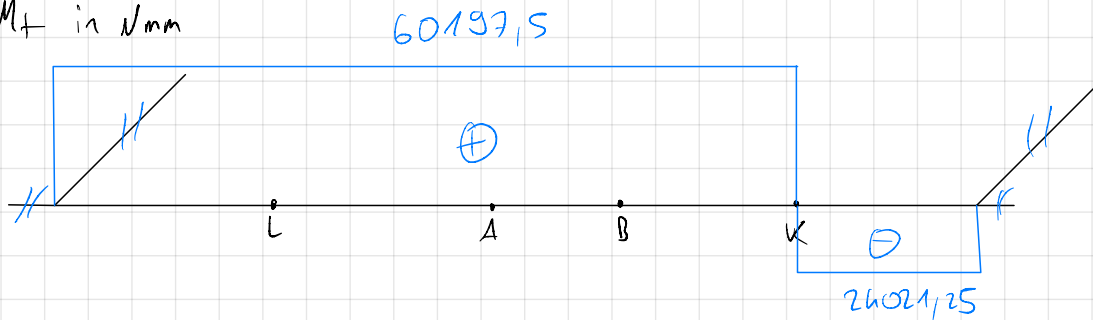
$$\sum M_z = 0 : -M_z - \frac{F_Q}{2} (75-x) = 0 \Rightarrow M_z = 87,35x - 24021,25 \text{ Nmm}$$

Da F_N , F_{Qz} und M_{by} in jeder Schnittgröße null ist, wird an dieser Stelle auf eine Zeichnung verzichtet.

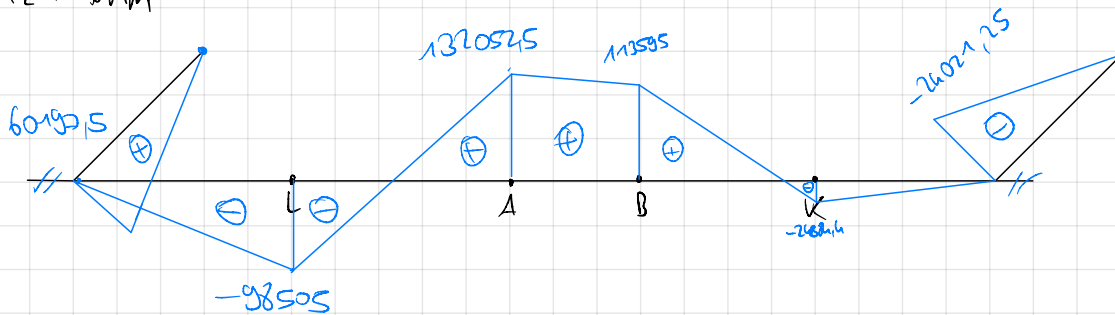
F_{Qy} in N



M_t in Nmm



M_z in Nmm

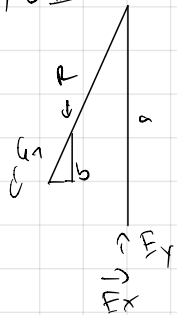


Auflagerkräfte



TSI $\sum M_{A1} = 0$: $305 \text{ mm} \cdot 610 \text{ mm} \cdot 2 \text{ N/mm} - C_y \cdot 850 \text{ mm} = 0 \Rightarrow C_y = 637,8 \text{ N}$

TSII $E_x = 0 \Rightarrow$ Pendelsäure



$$c = \sqrt{a^2 + b^2} = 502,31 \text{ mm}$$

$\sum M_{A2} = 0$: $E_y \cdot 130 \text{ mm} - 2 \text{ N/mm} \cdot 310 \text{ mm} \cdot 155 \cdot \cos(75^\circ) = 0$

$$\Rightarrow E_y = 191,33 \text{ N}$$

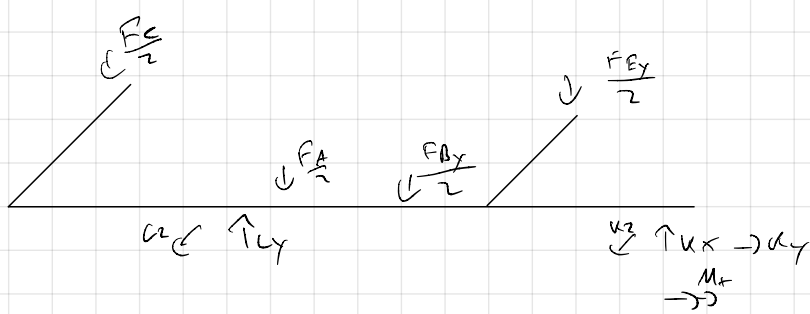
$$\sum V = 0: -G_2 + E_y - 620 \text{ N} = 0 \Rightarrow G_2 = -428,67 \text{ N}$$

TSII $\sum M_B = 0$: $-C \cdot 1130 \text{ mm} + 2 \text{ N/mm} \cdot 940 \text{ mm} \cdot 420 \text{ mm} - A \cdot 230 \text{ mm} + G_2 \cdot 50$
 $\Rightarrow A = 1188,92 \text{ N}$

$$\sum Y = 0 \quad A + B + C + G_2 - 2 \text{ N/mm} \cdot 940 \text{ mm} = 0$$

$$\Rightarrow B_y = 681,95$$

$$E_x = 0: B_x = 0$$



$$\sum \overset{\curvearrowleft}{M}_y = 0 : k_2 = 0$$

$$\sum \overset{\curvearrowleft}{M}_{k_y} = 0 : l_2 = 0$$

$$\sum x = 0 : k_x = 0$$

$$\sum \overset{\curvearrowleft}{M}_{k_2} = 0 : \frac{F_c}{2} \cdot 1450 \text{ mm} - l_y \cdot 1000 \text{ mm} + \frac{F_A}{2} \cdot 550 \text{ mm} + \frac{F_{B_x}}{2} \cdot 320 \text{ mm} + \frac{F_{B_y}}{2} \cdot 160 \text{ mm} = 0$$

$$\Rightarrow l_y = 766,86 \text{ N}$$

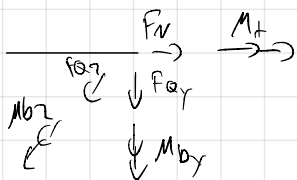
$$\sum \overset{\curvearrowleft}{M} = 0 : \frac{F_c}{2} \cdot 450 \text{ mm} - \frac{F_A}{2} \cdot 450 \text{ mm} - \frac{F_B}{2} \cdot 680 \text{ mm} - \frac{F_{E_y}}{2} \cdot 860 \text{ mm} + k_y \cdot 1000 = 0$$

$$\Rightarrow k_y = 683,14 \text{ N}$$

$$\sum \overset{\curvearrowleft}{M}_x = 0 : M_{k_x} - \frac{F_{E_y}}{2} \cdot 275 \text{ mm} - \frac{F_c}{2} \cdot 275 \text{ mm} = 0 \Rightarrow M_{k_x} = 86505,38 \text{ Nmm}$$

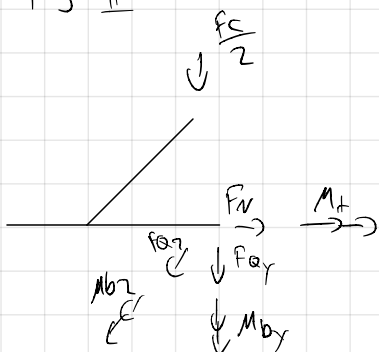
Schnittkräfte

TS I



$$M_t = F_N = F_{Q_y} = M_{b_y} = M_{b_z} = F_{b_z} = 0$$

TS II



$$\sum x = 0 : F_N = 0$$

$$\sum z = 0 : F_{Q_z} = 0$$

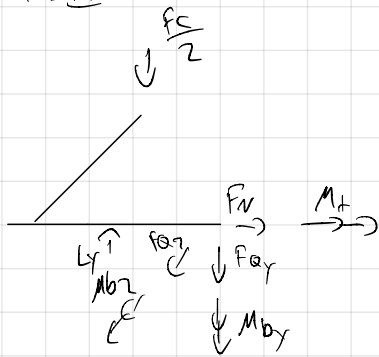
$$\sum y = 0 : -\frac{F_c}{2} - F_{Q_y} = 0 \Rightarrow F_{Q_y} = -218,9 \text{ N}$$

$$\sum M_x = 0 : -\frac{F_c}{2} \cdot 275 \text{ mm} + M_t = 0 \Rightarrow M_t = 60197,5 \text{ Nmm}$$

$$\sum M_y = 0 : M_{b_y} = 0$$

$$\sum M_z = 0 : \frac{F_c}{2} \cdot x + M_{b_z} = 0 \Rightarrow M_{b_z} = -218,9 \text{ N} \cdot x$$

TS III



$$\sum x = 0: F_N = 0$$

$$\sum z = 0: F_{Qz} = 0$$

$$\sum y = 0: -\frac{F_c}{2} - F_{Qy} + L_y = 0 \Rightarrow F_{Qy} = 547,96 \text{ N}$$

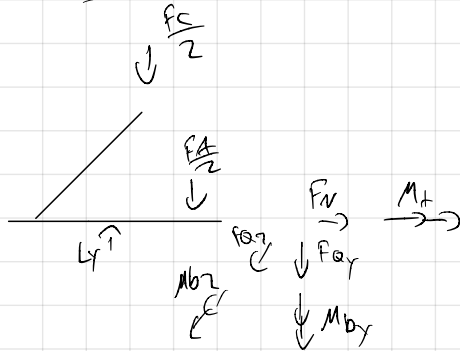
$$\sum M_x = 0: -\frac{F_c}{2} \cdot 275 \text{ mm} + M_t = 0 \Rightarrow M_t = 60197,5 \text{ Nmm}$$

$$\sum M_y = 0: M_{By} = 0$$

$$\sum M_z = 0: \frac{F_c}{2} \cdot (x + 450 \text{ mm}) - L_y \cdot x + M_{Bz} = 0$$

$$\Rightarrow M_{Bz} = 547,96 \text{ N} \cdot x - 98505 \text{ Nmm}$$

TS IV



$$\sum x = 0: F_N = 0$$

$$\sum z = 0: F_{Qz} = 0$$

$$\sum y = 0: -\frac{F_c}{2} - F_{Qy} + L_y - \frac{F_A}{2} = 0 \Rightarrow F_{Qy} = -46,5 \text{ N}$$

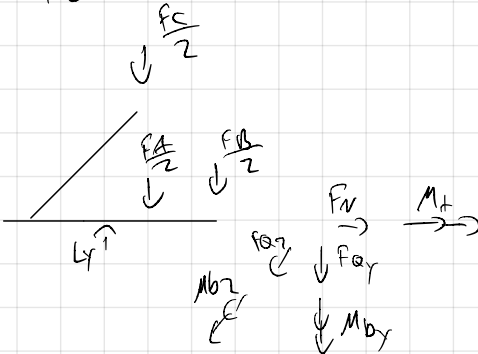
$$\sum M_x = 0: -\frac{F_c}{2} \cdot 275 \text{ mm} + M_t = 0 \Rightarrow M_t = 60197,5 \text{ Nmm}$$

$$\sum M_y = 0: M_{By} = 0$$

$$\sum M_z = 0: \frac{F_c}{2} \cdot (x + 900 \text{ mm}) - L_y \cdot (x + 450 \text{ mm}) + M_{Bz} + \frac{F_A}{2} \cdot x = 0$$

$$\Rightarrow M_{Bz} = -46,5 \text{ N} \cdot x + 148077 \text{ Nmm}$$

TS V



$$\sum x = 0: F_N = 0$$

$$\sum z = 0: F_{Qz} = 0$$

$$\sum y = 0: -\frac{F_c}{2} - F_{Qy} + L_y - \frac{F_A}{2} - \frac{F_B}{2} = 0 \Rightarrow F_{Qy} = -387,48 \text{ N}$$

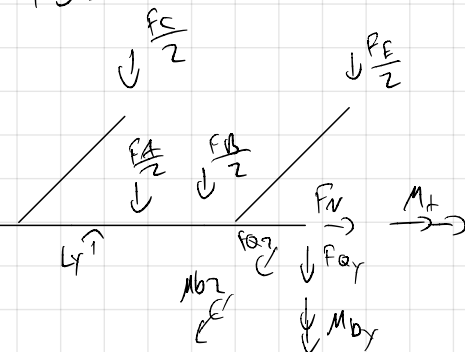
$$\sum M_x = 0: -\frac{F_c}{2} \cdot 275 \text{ mm} + M_t = 0 \Rightarrow M_t = 60197,5 \text{ Nmm}$$

$$\sum M_y = 0: M_{By} = 0$$

$$\sum M_z = 0: \frac{F_c}{2} \cdot (x + 1130 \text{ mm}) - L_y \cdot (x + 680 \text{ mm}) + M_{Bz} + \frac{F_A}{2} \cdot (x + 230) + \frac{F_B}{2} \cdot x = 0$$

$$\Rightarrow M_{Bz} = -387,48 \text{ N} \cdot x + 137382 \text{ Nmm}$$

TS VI



$$\sum x = 0: F_N = 0$$

$$\sum z = 0: F_{Qz} = 0$$

$$\sum y = 0: -\frac{F_c}{2} - F_{Qy} + L_y - \frac{F_A}{2} - \frac{F_B}{2} - \frac{F_{Ey}}{2} = 0 \Rightarrow F_{Qy} = -483,15 \text{ N}$$

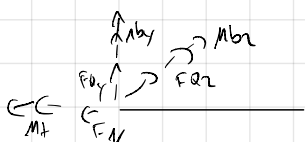
$$\sum M_x = 0: -\frac{F_c}{2} \cdot 275 \text{ mm} + M_t - \frac{F_{Ey}}{2} \cdot 275 \text{ mm} = 0 \Rightarrow M_t = 86505,38 \text{ Nmm}$$

$$\sum M_y = 0: M_{By} = 0$$

$$\sum M_z = 0: \frac{F_c}{2} \cdot (x + 1310 \text{ mm}) - L_y \cdot (x + 860 \text{ mm}) + M_{Bz} + \frac{F_A}{2} \cdot (x + 400 \text{ mm}) + \frac{F_B}{2} \cdot (x + 180 \text{ mm}) + \frac{F_{Ey}}{2} \cdot x = 0$$

$$\Rightarrow M_{Bz} = -483,15 \cdot x + 67636,5 \text{ Nmm}$$

TS VII neg. Schnittufer



$$M_t = F_N = F_{Qy} = M_{By} = M_{Bz} = F_{Qz} = 0$$

Der Belastungsfall nach DIN EN 1865-1 Abs. 5.1.1.1 erscheint ähnlich dem Lastfall in diesem Bsp. Änderungen ergeben sich durch in der DIN benutzten Rollen, statt einer durchgängigen Flächenlast. Dadurch kommt es zu 6 Punktlasten bzw. Flächen in 2-Richtung. In der DIN ist zudem σ aufgetragene Testung vorgesehen. Trotzdem ist der Lastfall geeignet für die DIN-EN 1865-1 Prüfung.

Übung 03

Vorauslegung Spindel

Um die Rückenlehne der Liege zwischen dem ebenen und dem angewinkelten Zustand verstellen zu können, kann das Lager E mit Hilfe einer Spindelmutter auf einer Spindel verschoben werden. Die Spindel kann für die Auslegung vereinfacht als Welle angenommen werden. Wird diese in eine Drehbewegung versetzt, bewegt sich die Spindelmutter entlang der Wellenachse und die Rückenlehne der Liege wird verstellt.

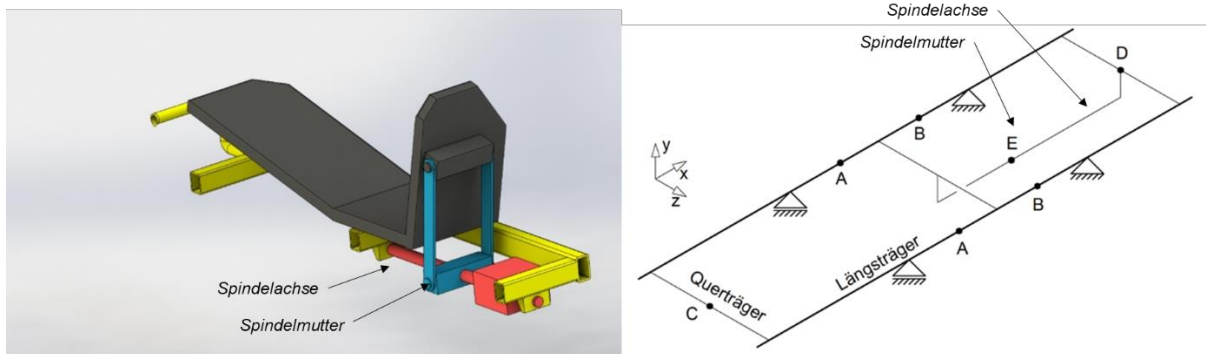


Abbildung 1: Höhenverstellung der Rückenstütze und Übersicht der Lagerpunkte am Rahmen.

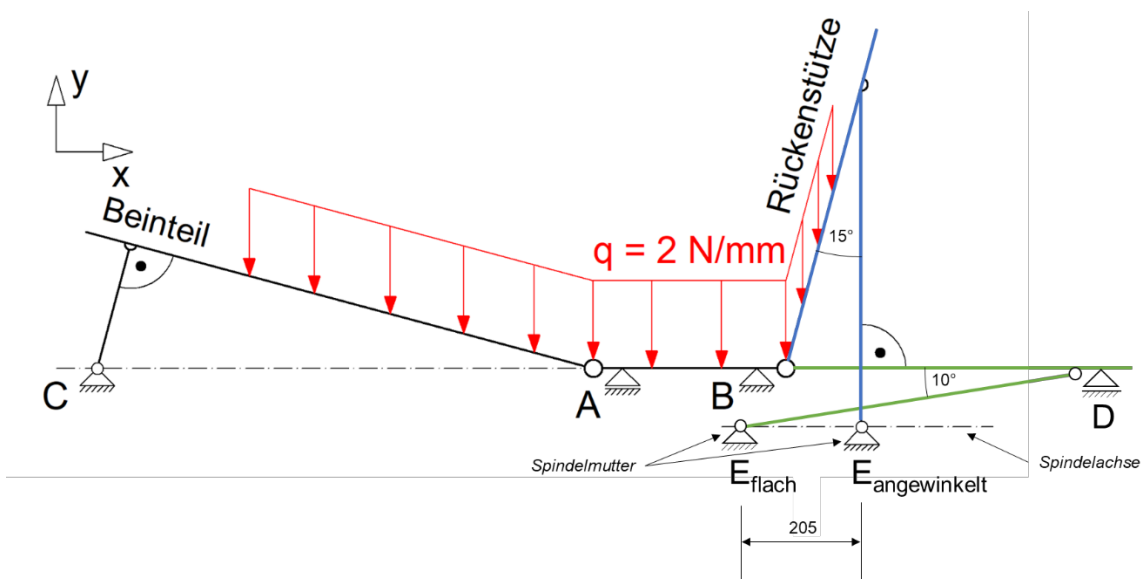


Abbildung 2: Extrempositionen der Liege: flach (grün) und angewinkelt (blau)

Hinweis:

Das Lager E (Spindelmutter) kann aktiv auf der Spindel verfahren werden. Steht die Spindel jedoch still, ist das Lager E in seiner Position fixiert. Lager E ist also nach wie vor als Festlager anzusehen.

KMT 2 - Übung

Die Spindel hat die Aufgabe, das Drehmoment des Antriebsmotors in eine Axialkraft umzuwandeln. Für die Vordimensionierung der Spindel wird eine maximale Axialkraft von 1100 N in Lagerstelle 3 festgelegt. Da die Spindel vereinfacht als Welle angenommen wird, kann die Dimensionierungsformel für Wellen verwendet werden. Für den erforderlichen Durchmesser bei Torsionsbeanspruchung muss gelten:

$$d_{\text{erf}} \geq d_{\text{ü}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot \tau_{t,\text{zul}}}} = 1,72 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_t}{\tau_{t,\text{zul}}}} \quad \text{GL. 11.5}$$

→ Achse 11.6

Mit:	$[d_{\text{erf}}]$	= mm	erforderlicher Durchmesser
	$[d_{\text{ü}}]$	= mm	überschlägiger Durchmesser
	$[M_t]$	= Nmm	Torsionsmoment
	$[\tau_{t,\text{zul}}]$	= N/mm ²	zulässige Torsionsspannung

Die zulässige Torsionsspannung $\tau_{t,\text{zul}}$ ist abhängig vom verwendeten Werkstoff, der Belastungsart und dem gewählten Sicherheitsbeiwert. Für die Vordimensionierung wird die Welle auf Dauerfestigkeit geprüft, daher muss die Torsionsschwellfestigkeit genutzt werden. Dabei handelt es sich um einen werkstoffspezifischen dynamischen Festigkeitswert.

$$\tau_{t,\text{zul}} = \frac{\tau_{t,\text{sch}}}{S}$$

Mit: $\tau_{t,\text{sch}}$ in N/mm² Torsionsschwellfestigkeit

S Sicherheitsbeiwert

Eine Krankenliege steht in direktem Kontakt zum Menschen. Neben dem statischen Patientengewicht muss sie zusätzlichen Belastungen standhalten, die sehr hoch ausfallen können und schwer abzuschätzen sind (Herz-Lungen-Wiederbelebung, zusätzlicher Sanitäter auf der Liege, dynamische Belastungen durch Fahrt über Unebenheiten, ...). Deshalb wird ein Sicherheitsbeiwert von 12 gewählt.

Das Torsionsmoment ist abhängig von der Axialkraft, die auf das Spindelgewinde wirkt. Vereinfacht kann der Gewindegang der Spindel mit Steigungswinkel φ als schiefe Ebene dargestellt werden und das Muttergewinde als Gleitkörper (siehe Abbildung 3). Am Gleitkörper wirken verschiedene Kräfte: eine Axialkraft F_A , eine Umfangskraft F_U und eine Ersatzkraft F_E . Im Gleichgewicht muss die resultierende Kraft F_{res} aus Axialkraft und Umfangskraft der Ersatzkraft F_E entsprechen, sodass das Kräfteck geschlossen ist.

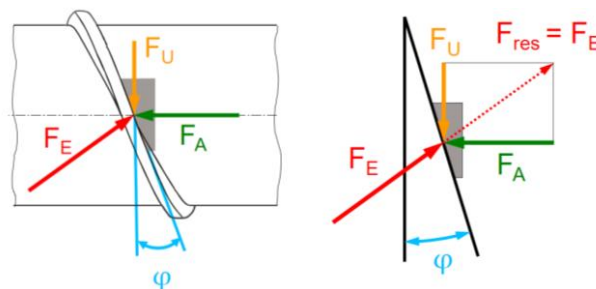


Abbildung 3: Trapezgewinde mit Axialkraft, Umfangskraft und Ersatzkraft

KMT 2 - Übung

Die Ersatzkraft F_E setzt sich aus der Normalkraft F_N und der Reibungskraft F_R zusammen. Der Winkel zwischen der Normalkraft und der Ersatzkraft wird als Gewindereibungswinkel ϱ bezeichnet. Der Winkel zwischen der Normalkraft und der Axialkraft entspricht dem Steigungswinkel φ (siehe Abbildung 4).

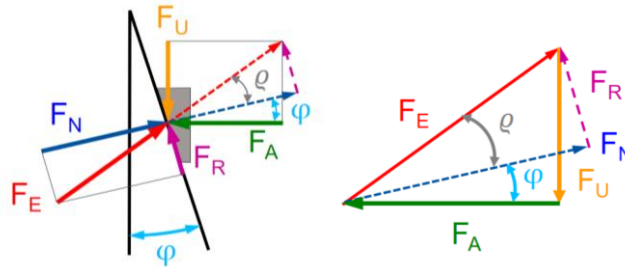


Abbildung 4: Ersatzkraft und Gewindereibungswinkel

Der Zusammenhang zwischen der Axialkraft und der Umfangskraft lässt sich somit beschreiben als:

$$F_U = F_A \cdot \tan(\varphi + \varrho)$$

Der Steigungswinkel φ ist abhängig vom Flankendurchmesser d_2 und der Steigung P des Gewindes (vgl. Abbildung 5):

$$\tan \varphi = \frac{P}{d_2 \cdot \pi}$$

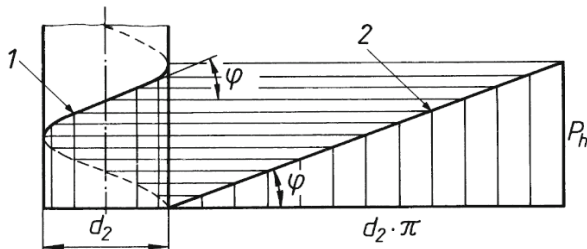


Abbildung 5: Schraubenlinie (1) und abgewinkelte Schraubenlinie (2)

Für den Gewindereibungswinkel gilt für Nicht-Flachgewinde:

$$\varrho = \tan^{-1} \left(\frac{\mu_G}{\cos(\beta/2)} \right)$$

Mit: μ_G Gewindereibungszahl
 β Flankenwinkel

Für das Torsionsmoment ergibt sich schließlich:

$$M_t = F_U \cdot \frac{d_2}{2} = F_A \cdot \tan(\varphi + \varrho) \cdot \frac{d_2}{2}$$

Vorgaben für die Rechnung

- Maximale Axialkraft $F_A = 1100 \text{ N}$
- Spindel:
 - Gewinde: TR24x5 (für Trapezgewinde beträgt der Flankenwinkel 30°)
 - Werkstoff: C45E
 - Gewindereibungskoeffizient: $\mu_G = 0,1$
- Gewählter Sicherheitsbeiwert: 12

Gehen Sie in dieser Reihenfolge vor:

1. **Bestimmung der Axialkraft:** Erklären Sie, warum und wo die größte Axialkraft im Gewinde auftritt. Hierfür ist keine Berechnung notwendig.
2. **Berechnung des Drehmoments:** Die folgenden Berechnungsschritte sind dafür notwendig:
 - a. Berechnung des Steigungswinkels
 - b. Berechnung des Gewindereibungswinkels
 - c. Berechnung des DrehmomentsFehlende Werte können mit Hilfe des Tabellenbuchs ermittelt werden.
3. **Vordimensionierung:** Prüfen Sie, ob die gegebene Spindel geeignet ist und korrigieren Sie diese gegebenenfalls.

Hinweise:

Für die Aufgabe haben Sie eine Woche Zeit. Am **16.05.2023** müssen Sie Ihre Lösungen der Tutorin vorzeigen. Die Übung wird bestanden, wenn die Aufgaben vollständig und richtig berechnet wurden.

Übung 3

Bestimmung der Axialkraft

Die Axialkraft ist kurz vor den flachen Zustand am größten im Lager E. Der Grund dafür ist, dass im komplett flachen Zustand das Auflager D die komplette Kraft aufnimmt. Beim leichten „anheben“ wird die komplette Kraft auf Lager E übertragen.

Berechnung des Drehmomentes

a) $d_2 = 24 \text{ mm} - 0,5 \cdot 5 = 21,5$ — Wert auch direkt aus Tab. 8

$$\tan(\varphi) = \frac{P}{d_1 \cdot \pi} = \frac{5 \text{ mm}}{21,5 \text{ mm} \cdot \pi} = 0,074 \Rightarrow \varphi = 4,23^\circ$$

$$b) \rho = \tan^{-1} \left(\frac{M_a}{\cos(\beta/2)} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0,1}{\cos(30/2)} \right) = 5,91^\circ$$

$$c) M_t = F_0 \cdot \frac{d_2}{2} = F_A \cdot \tan(\varphi + \rho) \cdot \frac{d_2}{2} = 1100 \text{ N} \cdot \tan(5,91^\circ + 4,23^\circ) \cdot \frac{21,5 \text{ mm}}{2} = 2114,87 \text{ Nmm}$$

Vordimensionierung

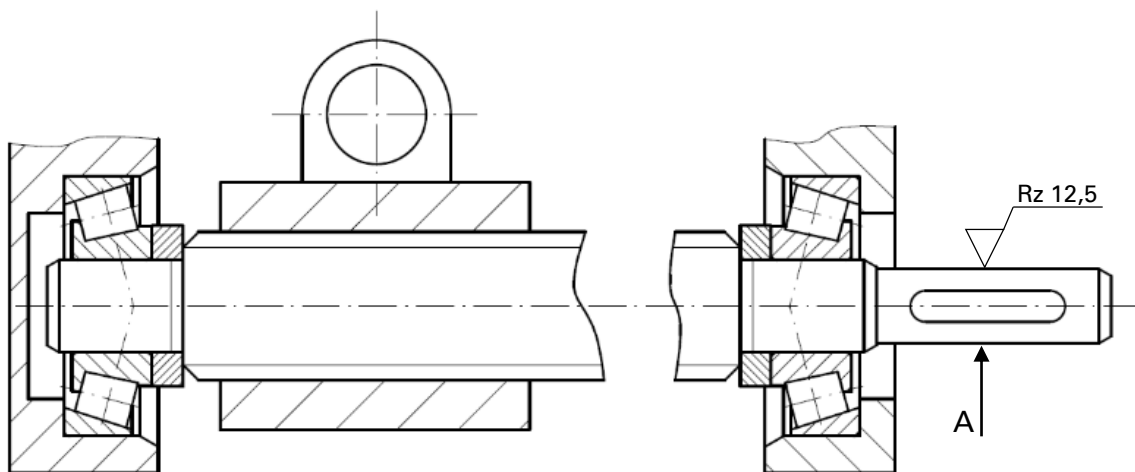
$$\tau_{t, \text{zul}} = \frac{\tau_{\text{tisch}}}{5} = \frac{360 \text{ N/mm}^2}{12} = 28,33 \text{ N/mm}^2$$

$$d_{\text{erf}} \geq d_0 = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot \tau_{t, \text{zul}}}} = 1,72 \sqrt[3]{\frac{M_t}{\tau_{t, \text{zul}}}} = 1,72 \sqrt[3]{\frac{2114,87 \text{ Nmm}}{28,33 \text{ N/mm}^2}} = 7,24 \text{ mm} < 24 \text{ mm}$$

Übung 04

Festigkeitsnachweis bei einem Zapfen mit Passfedernut

Zum Antrieb der Spindel ist ein Motor über eine Kupplung angebracht. Die Kupplung ist an der Spindel auf einem Zapfen mit Passfedernut zu befestigen. Der Zapfen ($d = 10 \text{ mm}$) aus dem Werkstoff E295 mit einer Passfedernut wird auf Torsion rein schwellend mit einem Nennmoment von $T_{\text{nenn}} = 2,5 \text{ Nm}$ beansprucht. Im Betrieb treten antriebsseitig gleichmäßige und abtriebsseitig mittlere Stöße auf. Das kurzzeitig auftretende maximale Moment ist 3-fach höher als das Nennmoment.



Führen Sie für die Stelle A

- a) den statischen Festigkeitsnachweis und
- b) den dynamischen Festigkeitsnachweis.

Falls die Mindestsicherheit nicht eingehalten wird, sind Lösungen zur Einhaltung der Mindestsicherheit vorzuschlagen.

Hinweise:

Für die Aufgabe haben Sie eine Woche Zeit. Am **23.05.2023** müssen Sie Ihre Lösungen der Tutorin vorzeigen. Die Übung wird bestanden, wenn die Aufgaben vollständig und richtig berechnet wurden.

Statischer Festigkeitsnachweis

Der statische Festigkeitsnachweis wird zum Vermeiden von bleibenden Verformungen, Anriss oder Gewaltbruch geführt. Da bei duktilen Werkstoffen (z. B. Bau- und Vergütungsstähle) auch bei gehärteten Randschichten keine Anrisse und kein Gewaltbruch vor einer bleibenden Verformung zu erwarten ist, ist der statische Nachweis als Grundnachweis zu betrachten. Er erfolgt zweckmäßig nach Abbildung 1.

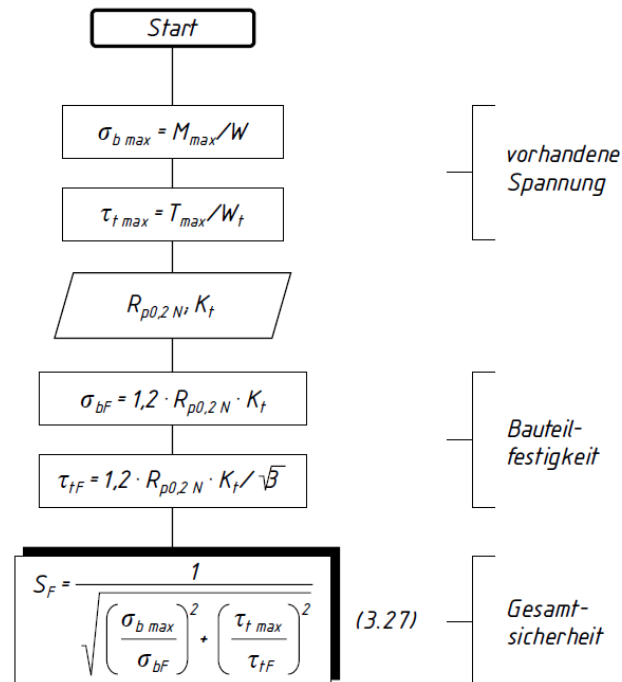


Abbildung 1: Vereinfachter statischer Festigkeitsnachweis gegen Fließen (duktiler Rundstäbe; Biegung und Torsion)

Dynamischer Festigkeitsnachweis

Der prinzipielle Ablauf des dynamischen Festigkeitsnachweises ist in Abbildung 2 für den Überlastungsfall 2 dargestellt.

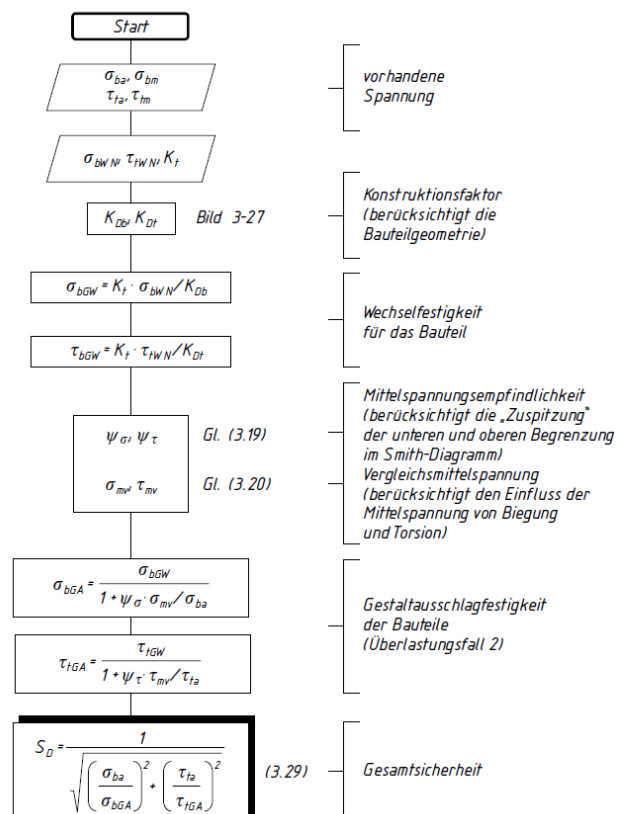


Abbildung 2: Dynamischer Festigkeitsnachweis für Überlastungsfall 2 (duktiler Rundstäbe, Biegung und Torsion)

Übung 4

a) stat. Festigkeitsnachweis

$$\sigma_{0,max} = 0$$

$$\tau_{t,max} = \frac{T_{max}}{W_t} = \frac{3,25 Nm}{0,2 d^3} = 88,9 \text{ N/mm}^2 \quad T_{max}$$

$$\text{mit } d = 0,25 \text{ mm} = 0,5 \text{ mm}$$

$$\tau_{tF} = 1,2 \cdot R_{p0,2} \cdot \frac{v_t}{\sqrt{3}} = 204,38 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{mit } R_{p0,2} = 295 \quad \text{und } v_t = 1,0$$

$$SF = \frac{1}{\sqrt{\underbrace{\left(\frac{\sigma_{0,max}}{\sigma_{0F}}\right)^2}_{=0} + \left(\frac{\tau_{t,max}}{\tau_{tF}}\right)^2}} = \frac{\tau_{tF}}{\tau_{t,max}} = 2,3 > 1,5$$

b) dynamischer Festigkeitsnachweis

$$\tau_{tGA} = \frac{\tau_{tGW}}{1 + \psi_t \cdot \underbrace{\frac{\tau_{mv}}{\tau_{te}}}_{=1}} = 109,92 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{mit } \tau_{tGW} = \frac{\tau_{tU}}{k_{Dt}} = \frac{115 \text{ N/mm}^2}{1,38} = 105,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{mit } k_{Dt} = \left(\frac{\beta_{kt}}{k_g} + \frac{1}{k_{or}} - 1 \right) \frac{1}{k_v} = 1,38$$

$$\text{mit } \beta_{kt} = \beta_{kprobe} \cdot \underbrace{\frac{v_{a,probe}}{v_a}}_{\approx 1} = 1,38$$

$$\text{mit } k_g = 0,98$$

$$\text{mit } k_{os} = 0,91 \rightarrow k_{or} = 0,948$$

$$\text{mit } k_v = 1$$

$$\psi_{\tau} = f_{\tau} \cdot \psi_d = 0,04147$$

$$\text{mit } \psi_g = a_m \cdot R_m + b_m = 0,0715$$

$$\text{mit } f_{\tau} = 0,58$$

$$\text{mit } a_m = 0,00035 \text{ mm}^2/\text{N}$$

$$\text{mit } b_m = -0,1$$

$$\text{mit } R_m = 680 \text{ N/mm}^2$$

$$S_D = \frac{T_{\pm GA}}{T_{\pm a}} = 3,52 > 1,5$$

$$\text{mit } T_{\pm a} = \frac{T_m}{w_{\tau}} = \frac{5625 \text{ Nmm}}{\frac{\gamma_{16}}{16} \cdot d^3} = 28,65 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{mit } T_m = \frac{T_{eq}}{2} = \frac{k_A \cdot T_{nem}}{2} = \frac{1,5 \cdot 7,5 \text{ Nm}}{2} = 5,625 \text{ Nmm}$$

Übung 05

Lager Spindel

Zu prüfen ist die statische Tragsicherheit der Kegelrollenlager 30202 (Innendurchmesser von 15 mm) und ob die Lager eine Lebensdauer von >4000 h erreicht.

Vorgehensweise:

1. Berechnung der Lagerkräfte
2. Nachrechnen der gegebenen Drehzahl
3. Berechnung der statischen Tragsicherheit
4. Berechnung der nominellen Lebensdauerberechnung

1. Berechnung der Lagerkräfte

Für die Berechnung der Lagerkräfte werden nur die ebene und die geneigte Liegeposition berücksichtigt. Bei einer Kegelrollenlagerung in X-Anordnung nimmt nur eines der Lager Axialkräfte auf – hier: linkes Lager. Der eingeschlossene Winkel beträgt 10° . Die Abstände der Krafteinleitung durch die Kraft F_E sind Abbildung 3 zu entnehmen.

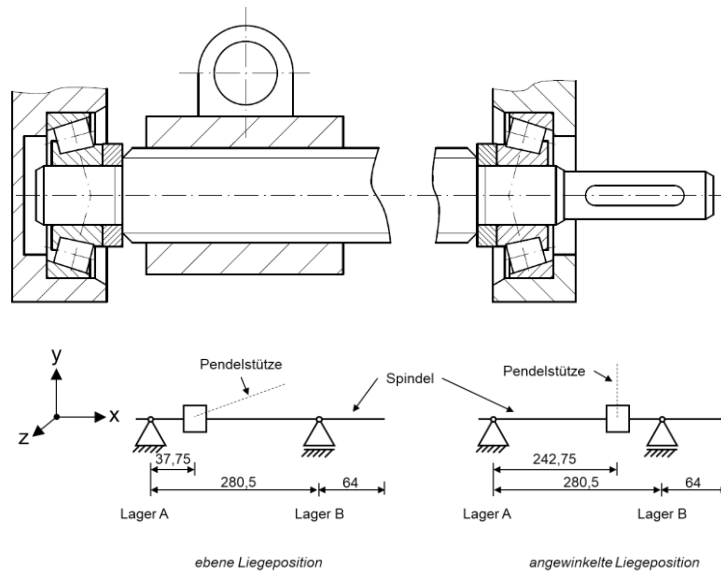


Abbildung 3: Abstände der Krafteinleitung in Abhängigkeit der Liegeposition

Für den angewinkelten Zustand beträgt die Kraft $F_E = 191 \text{ N}$. Für den flachen Zustand muss die Kraft F_E bestimmt werden. Es wird der Moment betrachtet, in dem die Rückenlehne gerade nicht mehr im Lager D aufliegt und somit die gesamte Kraft von der Pendelstütze und damit vom Lager E aufgenommen wird. Vereinfacht wird die Rückenlehne als flach angenommen.

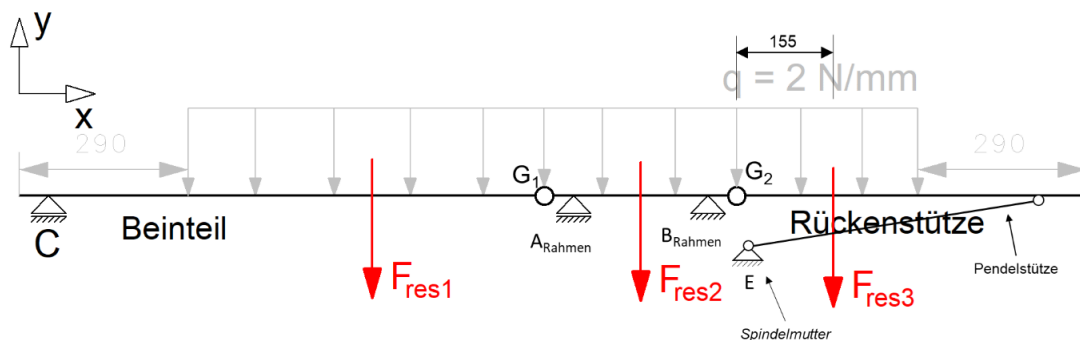


Abbildung 4: Lagerung der Rückenlehne im Lager E

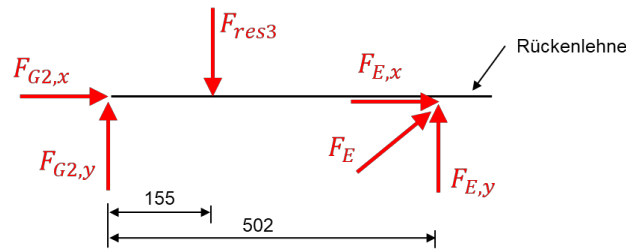


Abbildung 5: Angriffspunkt der Kraft F_E an der Rückenlehne

2. Nachrechnen der gegebenen Drehzahl

Idealerweise kann die Rückenlehne innerhalb von 5 Sekunden vom flachen in den angewinkelten Zustand hochgefahren werden. Überprüfen Sie ob die gegebene Drehzahl von 10 s^{-1} dieser Anforderung entspricht.

Tipp:

Mithilfe der Gewindesteigung kann die Länge berechnet werden, die bei einer Umdrehung zurückgelegt wird. Wie viele Umdrehungen sind nötig um $l=205 \text{ mm}$ zurückzulegen?

3. Berechnung der statischen Tragsicherheit

Ein Wälzlager gilt als nur statisch beansprucht, wenn es unter einer Belastung stillsteht, kleine Pendelbewegungen ausführt oder sich mit einer Drehzahl $n < 10 \text{ min}^{-1}$ dreht. Für diese Betriebszustände ist eine solche Belastung noch zulässig, die maximal eine plastische Gesamtverformung an den Wälzkörpern (Abplattung) und Laufbahnen (Eindrückungen) hervorruft, welche die geforderten Laufeigenschaften des Lagers nicht beeinträchtigen.

Der Nachweis für ein ausreichend tragfähiges Lager ist die statische Tragsicherheit S_0

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0}$$

C_0 – statische Tragzahl nach Tb 14-2 bzw. WLK

Die statische Tragzahl C_0 ist eine rein radiale (bei Axiallagern eine rein axiale) Lagerbelastung, die bei stillstehenden Lagern an der höchstbeanspruchten Berührungsstelle zwischen Wälzkörper und Rollbahn eine bleibende Verformung von 0,01% des Wälzkörperdurchmessers hervorruft; sie wird in Listen der Wälzlagerhersteller bzw. ist in TB 14-2 angegeben.

P_0 – statisch äquivalente Belastung des Lagers

Die statisch äquivalente (= gleichwertige) Belastung P_0 ist eine rechnerische, rein radiale Belastung bei Radiallagern bzw. rein axiale und zentrische Belastung bei Axiallagern, die an den Wälzkörpern und Rollbahnen die gleiche plastische Verformung bewirkt, wie die tatsächlich wirkende kombinierte Belastung. Sie ergibt sich, ausgenommen für die Axial-Pendelrollenlager, allgemein aus

$$P_0 = X_0 \cdot F_{r0} + Y_0 \cdot F_{a0}$$

F_{r0} statische radiale Lagerkraft

F_{a0} statische axiale Lagerkraft

X_0 statischer Radialfaktor nach TB 14-3b bzw. WLK

Y_0 statischer Axialfaktor nach TB 14-3b bzw. WLK

Bei nur radial belasteten Lagern, also bei $F_{a0} = 0$, wird $P_0 = F_{r0}$,

bei nur axial belasteten Lagern, also bei $F_{r0} = 0$, wird $P_0 = F_{a0}$.

Kegelrollenlager in Lagerpaar in O- oder X-Anordnung; siehe Tabelle 14-2

Richtwerte für statische Tragsicherheit:

Betriebsweise	umlaufende Lager Anforderungen an die Laufruhe						nicht umlaufende Lager	
	gering		normal		hoch			
	Kugel- lager	Rollen- lager	Kugel- lager	Rollen- lager	Kugel- lager	Rollen- lager	Kugel- lager	Rollen- lager
ruhig erschütterungsfrei	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
stark stoßbelastet	$\geq 1,5$	$\geq 2,5$	$\geq 1,5$	≥ 3	≥ 2	≥ 4	≥ 1	≥ 2

4. Lebensdauerberechnung

Die statistische Lebensdauer, die nominelle Lebensdauer L_{10} , ist die Anzahl der Umdrehungen oder bei unveränderlicher Drehzahl die Anzahl der Stunden, die 90% einer größeren Menge offensichtlich gleicher Lager (Kollektiv) erreichen oder überschreiten, bevor erste Ermüdungserscheinungen auftreten. Die Erlebenswahrscheinlichkeit entspricht 90%, die Ausfallwahrscheinlichkeit 10% (10% der Lager fallen vorher aus).

Die dynamische Tragzahl C ist für Radiallager bei umlaufendem Innenring und stillstehendem Außenring eine rein radiale (für Axiallager rein axiale) Belastung unveränderlicher Größe und Richtung, bei der 90% eines Kollektivs offensichtlich gleicher Lager eine nominelle Lebensdauer von 10^6 Umdrehungen bzw. 500 Laufstunden bei konstanter Drehzahl von $33,33 \text{ min}^{-1}$ erreichen. Sie ist eine Lagerkonstante, wird von den Wälzlagerherstellern durch zahlreiche Versuche ermittelt und in Listen herausgegeben (s. TB 14-2).

Die dynamisch äquivalente (= gleichwertige) Belastung P ist eine rechnerische, in Größe und Richtung konstante Radiallast, bei Axiallagern zentrische Axiallast, die die gleiche Lebensdauer ergibt wie die, die das Lager unter der tatsächlich vorliegenden kombinierten Belastung erreicht.

Durch Versuche ergab sich zwischen den genannten Bestimmungsgrößen die folgende Gleichung für die nominelle Lebensdauer in 10^6 Umdrehungen bzw. in Betriebsstunden:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \text{ bzw. } L_{10h} = \frac{10^6 \cdot L_{10}}{60 \cdot n}$$

L_{10}	L_{10h}	C, P	n
10^6 Umdr.	h	kN	min^{-1}

$L_{10}; L_{10h}$	nominelle Lebensdauer
C	dynamische Tragzahl, aus TB 14-2 oder WLK
P	dynamisch äquivalente Lagerbelastung nach 14.3.2-3
p	Lebensdauerexponent: Kugellager $p = 3$; Rollenlager $p = 10/3$
n	Drehzahl des Lagers

Der Quotient C/P wird als dynamische Tragsicherheit bezeichnet.

Hinweise:

Für die Aufgabe haben Sie einen Termin Zeit. Am Ende der Übungsstunde müssen Sie Ihre Lösungen dem Tutor vorzeigen. Die Übung wird bestanden, wenn die Aufgaben vollständig und richtig berechnet wurden.

Übung 5

1. a) flache Zustand

Abb. 5

$$\sum \overset{\curvearrowright}{M}_G = 0: -155 \sin 620 \text{ N} + F_{Ey} \cdot 502 \text{ mm} = 0 \Rightarrow F_{Ey} = 191,43 \text{ N}$$

$$\sum V = 0: F_{Gy} - F_{Gss} + F_{Ey} = 0 \Rightarrow F_{Gy} = 628,57 \text{ N}$$

$$\sum H = 0: F_{Ex} + F_{Gx} = 0 \Rightarrow F_{Gx} = -1085,65 \text{ N}$$

$$\text{mit } F_{Ex} = \frac{F_{Ey}}{\tan(10^\circ)} = 1085,65 \text{ N}$$

Lager berechnen

$$\sum x = 0: F_{Ax} + F_{Ex} = 0 \Rightarrow F_{Ax} = -1085,65 \text{ N}$$

$$\sum \overset{\curvearrowright}{A} = 0: F_B \cdot 280,5 \text{ mm} + F_{Ey} \cdot 37,75 \text{ mm} = 0 \Rightarrow F_B = -25,76$$

$$\sum y = 0: F_{Ey} + F_B + F_{Ay} = 0 \Rightarrow F_{Ay} = -165,67 \text{ N}$$

b) angewinkelter Zustand



$$\sum \overset{\curvearrowright}{M}_A = 0: F_B \cdot 280,5 \text{ mm} - F_E \cdot 242,75 \text{ mm} = 0 \Rightarrow F_B = 165,3 \text{ N}$$

$$\sum x = 0: F_{Ax} = 0$$

$$\sum y = 0: F_{Ay} - F_E + F_B = 0 \Rightarrow F_{Ay} = 25,7 \text{ N}$$

$$2. \quad k = \frac{L}{p} = \frac{205 \text{ mm}}{5 \text{ mm}} = 41$$

$$n = \frac{k}{t_{\text{gefordert}}}$$

$$\Rightarrow t_{\text{gefordert}} = \frac{k}{n} = \frac{41}{10^5} = 4,1 \text{ s} < 5 \text{ s} \Rightarrow \text{entspricht Anforderung}$$

③

Lager A

$$S_0 = \frac{C_{or}}{P_0} = \frac{14100 \text{ N}}{2228,04 \text{ N}} = 6,33$$

$$\text{mit } P_0 = F_0 + 2 \cdot \gamma_0 \cdot F_{A0} = 165,3 \text{ N} + 2 \cdot 0,95 \cdot 1085,65 \text{ N} = 2228,04 \text{ N}$$

$$\text{mit } \gamma_0 = 0,95$$

$$\text{mit } F_{0r} = F_{Ay}$$

$$\text{mit } F_{0a} = F_{Ax}$$

Lager B

$$S_0 = \frac{C_{or}}{P_0} = \frac{14100 \text{ N}}{169,3 \text{ N}} = 85,3$$

$$\text{mit } P_0 = F_{r0} + 2 \gamma_0 \cdot F_{A0} = 169,3 \text{ N}$$

$$\text{mit } F_{A0} = 0$$

④

$$L_{10h} = \frac{10^6 \cdot L_{10}}{60 \cdot n} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C_r}{P} \right)^p$$

$$\text{mit } C_r = 17700 \text{ N} \quad (\text{Produktkatalog Schaeffler})$$

$$\text{mit } n = 10 \frac{1}{s} = 600 \frac{1}{\text{min}}$$

$$\text{mit } p = 10/3$$

Lager A

$$\frac{F_{A0}}{F_{r0}} = \frac{-1085,65 \text{ N}}{-165,67 \text{ N}} = 6,55 > 0,35$$

$$P = 0,67 F_{Ar} + 1,68 \cdot \gamma \cdot F_{Ar} = 3266,33 \text{ N}$$

$$\text{mit } \gamma = 1,73$$

$$L_{10h} = 7763,81 \text{ h} \approx 323,5 \text{ Tage}$$

Lager B

$$\frac{F_a}{F_r} = 0 \leq 0,35$$

$$P = F_r + 1,12 \cdot \gamma \cdot F_a = 25,7 \text{ N}$$

$$\text{mit } \gamma = 1,73$$

$$L_{10h} = 8,56 \cdot 10^{10} \text{ h}$$

Übung 06

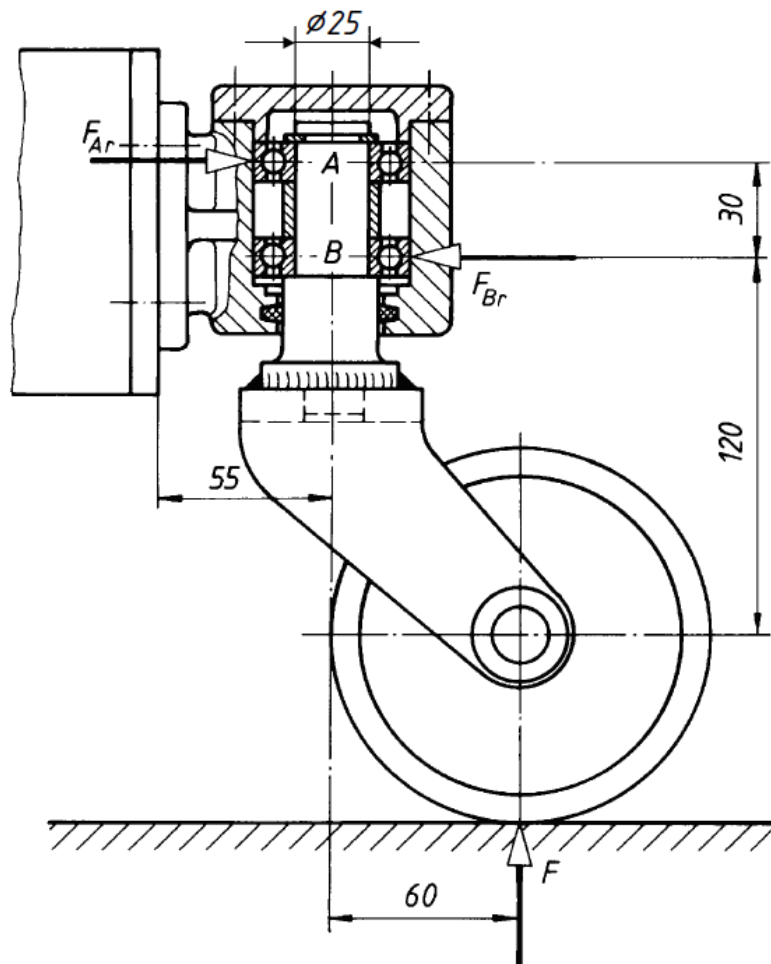
Wälzlager (Gabelbolzens)

Die Lagerung des Gabelbolzens einer schwenkbaren Laufrolle einer Krankeliege ist mit zwei Rillenkugellagern DIN 625 der Reihe 62 ausgebildet. Der Durchmesser des Gabelbolzens wurde mit 25 mm festgelegt.

Aus dem Entwurf ergeben sich die im Bild eingetragenen Abmessungen. Die größte Radkraft beträgt $F_{\text{Rad}} = 2,5 \text{ kN}$. Für normalen Betrieb ist die Tragfähigkeit beider Lager aufgrund der Lagerkräfte F_{Ar} , F_{Br} zu prüfen. Zunächst ist aus der Zeichnung abzuleiten, welches der beiden Lager die Axialkraft aufnimmt. Es ist von leicht stoßbelastetem Betrieb auszugehen.

Die Tragfähigkeit der Lager ist

- ☐ ausreichend
- ☐ nicht ausreichend

**Hinweise:**

Für die Aufgabe haben Sie einen Termin Zeit. Am Ende der Übungsstunde müssen Sie Ihre Lösungen dem Tutor vorzeigen. Die Übung wird bestanden, wenn die Aufgaben vollständig und richtig berechnet wurden.

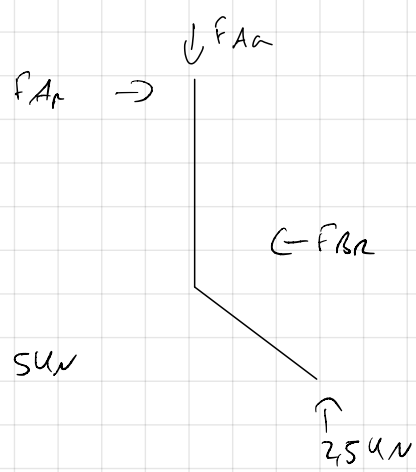
Übung 6

Auf Lager B nimmt Axialkräfte auf.

$$\sum y=0: F_{Aa} = 2,5 \text{ kN}$$

$$\sum M_A = 0: -F_{Ar} \cdot 30 \text{ mm} + 2,5 \text{ kN} \cdot 60 \text{ mm} = 0 \Rightarrow F_{Ar} = 5 \text{ kN}$$

$$\sum x=0: F_{Ar} - F_{Br} = 0 \Rightarrow F_{Ar} = F_{Br} = 5 \text{ kN}$$



Lager A

$$\frac{F_{0A}}{F_{0n}} = \frac{2,5 \text{ kN}}{5 \text{ kN}} = 0,5 < 0,8 \Rightarrow P_0 = 5 \text{ kN}$$

Lager B

$$\frac{F_{0A}}{F_{0n}} = 0 < 0,8 \Rightarrow P_0 = F_{0r} = 5 \text{ kN}$$

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0} = 1,56 > 1,35 \Rightarrow \text{ausreichend}$$

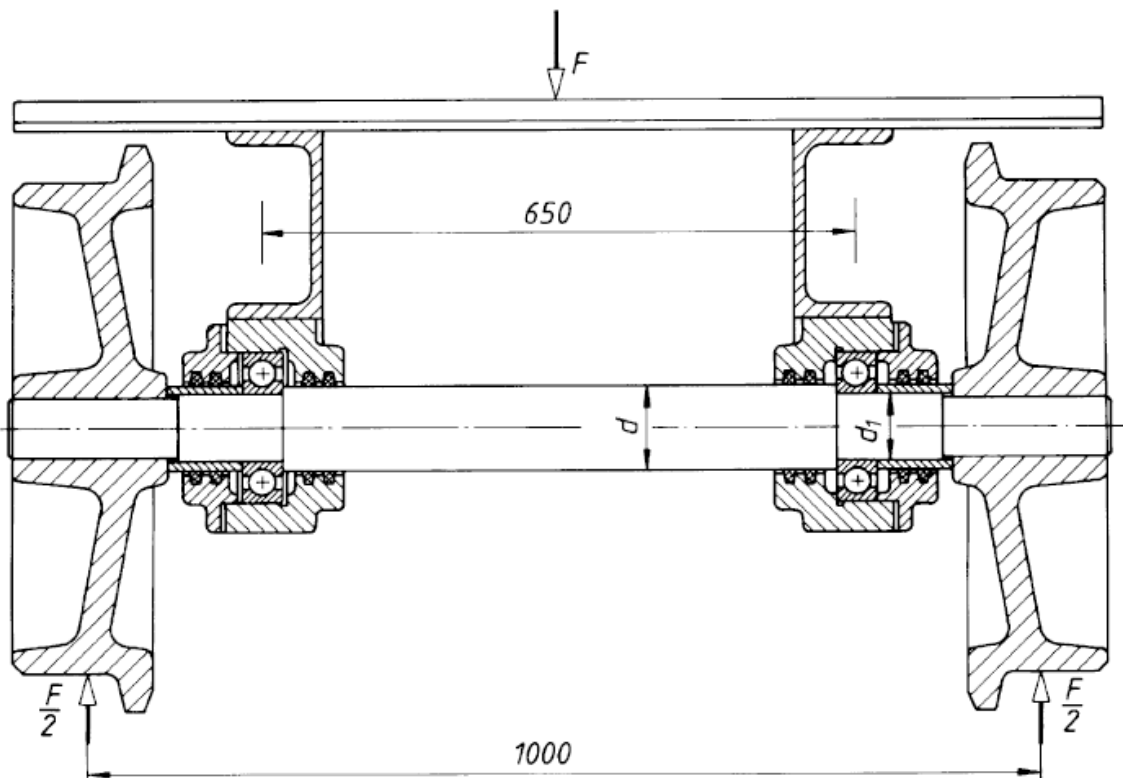
$$\text{mit } C_0 = 7,8$$

$$\text{mit Bohrungskennzahl} = \frac{d}{S} = \frac{25}{5} = 5$$

Übung 07

Achse Krankenliege

Die Krankenliege ist mit einer Achse wie in der Abbildung dargestellt zu konstruieren. Die Achse aus S275JR wird durch das Eigengewicht und die Zuladung mit einer Gewichtskraft $F = 4 \text{ kN}$ belastet. Die Betriebsverhältnisse werden durch $K_A = 1,25$ berücksichtigt. Einzelne Sonderereignisse können zu einer starken Erhöhung der Belastung führen, d. h. $F_{\max} = 2,5 \cdot F$. Konstruktiv wurde ein Durchmesser $d_1 = 60 \text{ mm}$ mit der für Wälzlager empfohlenen Toleranzklasse k6, ein Durchmesser d mit 70 mm , ein Übergangsradius $R = 1,5 \text{ mm}$ und eine Oberflächenrauheit $R_z = 10 \text{ }\mu\text{m}$ festgelegt. Ist die Achse ausreichend bemessen?

**Hinweise:**

Für die Aufgabe haben Sie eine Woche Zeit. Am **20.06.2023** müssen Sie Ihre Lösungen der Tutorin vorzeigen. Die Übung wird bestanden, wenn die Aufgaben vollständig und richtig berechnet wurden.

Tipp:

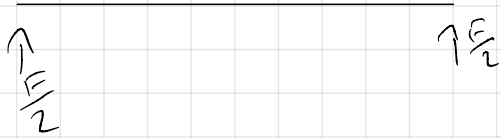
Bestimmen Sie zunächst den Biegemomentenverlauf. Fortfolgend können Sie den statischen und dynamischen Festigkeitsnachweis durchführen.

Übung 7

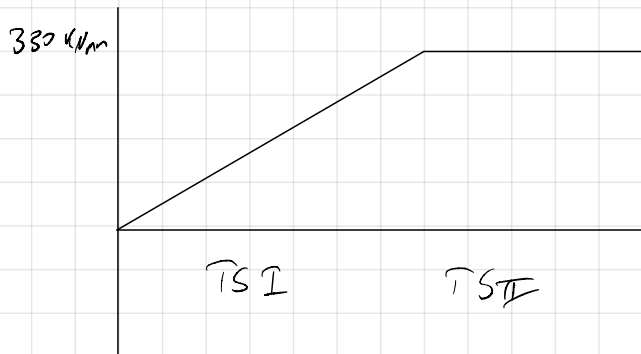
$$\text{TS I} \quad \sum \overset{\curvearrowright}{M} = 0 : Mb - \frac{F}{2} \cdot x = 0 \Rightarrow Mb = \frac{F}{2} \cdot x$$

$$\downarrow \frac{F}{2}$$

$$\downarrow \frac{F}{2} \quad \text{TS II} \quad \sum \overset{\curvearrowright}{M} = 0 : Mb + \frac{F}{2} x - \frac{F}{2} (x + 175 \text{ mm}) = 0 : Mb = 350 \text{ kNm}$$



Biegemomentenverlauf



Stat. Festigkeitsnachweis

$$s_f = \frac{\sigma_{bF}}{\sigma_{bmax}} = 7,3 > 1,5 \Rightarrow \text{ausreichend}$$

$$\text{mit } \sigma_{bmax} = 2,5 \cdot \frac{Mb}{W_b} = 41,26 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{mit } W_b = \frac{\pi}{32} \cdot d^3 = 21205,75 \text{ mm}^3$$

$$\text{mit } Mb = 350 \text{ kNm}$$

$$\text{mit } \sigma_{bF} = 1,2 \cdot R_{p0,2} \cdot \kappa_t = 300,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{mit } R_{p0,2} = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{mit } \kappa_t = 0,93$$

Dynamischer Festigkeitsnachweis

$$S_D = \frac{\sigma_{bGW}}{\sigma_{ba}} = 4,0 > 1,5 \Rightarrow \text{ausreichend}$$

$$\text{mit } \sigma_{ba} = \kappa_A \cdot \frac{M_b}{W_b} = 20,63 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{mit } \kappa_A = 1,25$$

$$\text{mit } M_b = 350 \text{ kNm}$$

$$\text{mit } W_b = 21205,75 \text{ mm}^3 \text{ (s. stat. Nachweis)}$$

$$\text{mit } \sigma_{bGW} = \frac{\sigma_{bWN} \cdot \kappa_r}{\kappa_{ob}} = 82,55 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{mit } \sigma_{bWN} = 215 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{mit } \kappa_r = 0,91 \text{ (} d = 70 \text{ mm)}$$

$$\text{mit } \kappa_{ob} = \left(\frac{\beta_{kb}}{\kappa_g} + \frac{1}{\kappa_{od}} - 1 \right) \frac{1}{\kappa_v} = 2,37$$

$$\text{mit } \beta_{kb} = \frac{\sigma_{kb}}{n} = 1,97$$

$$\text{mit } \sigma_{kb} = 2,5$$

$$\text{mit } D/d = 1,16$$

$$\text{mit } r/d = 0,025$$

$$\text{mit } n = 1,27$$

$$\text{mit } P_{p,02} = \kappa_t \cdot P_{p,02N} = 250,25$$

$$\text{mit } G = \frac{2,3}{r} (1 + \varphi) = 1,7$$

$$\text{mit } \varphi = \frac{1}{(\sqrt{8(B-b)/r}) + 2} \quad \text{+2} \quad \left(\text{da } (B-b)/b = \frac{7}{6} \leq 0,5 \right)$$
$$= 0,102$$

$$\text{mit } \kappa_g = 0,86$$

$$\text{mit } \kappa_{os} = 0,93$$

$$\text{mit } \kappa_v = 1$$

Übung 08

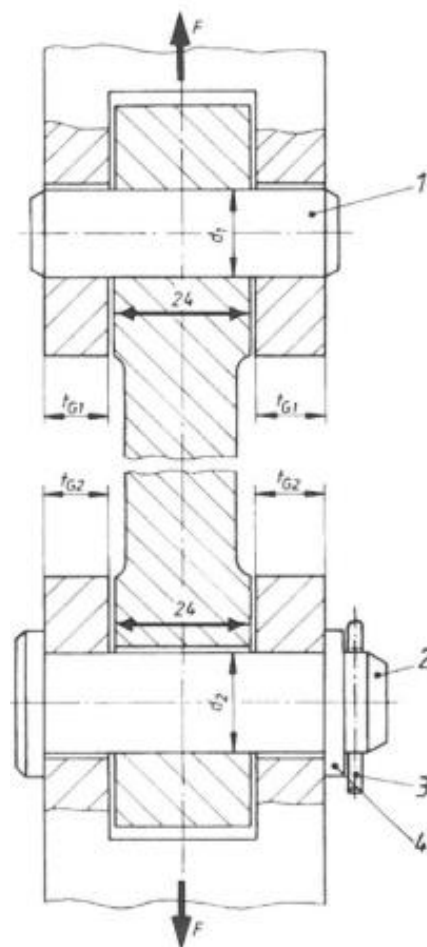
Bolzenverbindung

Eine Bolzenverbindung mit einer Zugstange aus S235JR und einer Stangenkopfdicke $t_s = 24$ mm wird mit mittleren Stößen mit einer schwelend auftretenden Kraft von 16 kN belastet und soll diese übertragen.

Bei Bolzen 1 handelt es sich um einen Bolzen der DIN EN 22340 der mit einer leichten Übermaßpassung in der Stange und reichlich Spiel in der Gabel sitzt. Bei Bolzen 2 handelt es sich um einen DIN EN 22341 der in Gabel und Stange mit reichlich Spiel sitzt.

Zu bestimmen sind:

die Bolzendurchmesser d_1 und d_2 , sowie die Gabeldicke t_G bei nicht gleitenden Flächen. Die Gabel besteht aus GJS-400-18.



Hinweise:

Für die Aufgabe haben Sie eine Woche Zeit. Am **27.06.2023** müssen Sie Ihre Lösungen der Tutorin vorzeigen. Die Übung wird bestanden, wenn die Aufgaben vollständig und richtig berechnet wurden.

Tipp:

Berechnen sie zuerst die Gabeldicke und dann den Durchmesser des Bolzens

Übung 8

1. Gabeldicken (Nicht gleitend)

$$\frac{t_s}{d} = 1,0 \quad (\Rightarrow) \quad d = t_s$$

$$\frac{t_a}{d} = 0,5 \quad (\Rightarrow) \quad d = \frac{t_a}{0,5}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{t_s}{d} = 1,0 \quad (\Rightarrow) \quad d = t_s \\ \frac{t_a}{d} = 0,5 \quad (\Rightarrow) \quad d = \frac{t_a}{0,5} \end{array} \right\} t_a = 0,5 \cdot t_s = 12 \text{ mm}$$

2. Bolzendurchmesser Bolzen 1

Einbaufall 3

$$\sigma_b = \frac{K_A \cdot M_{b, \text{norm}}}{0,1 \cdot d_1^3} \leq \sigma_{b, \text{zul}} \quad (\Rightarrow) \quad d_1 = \sqrt[3]{\frac{K_A \cdot M_{b, \text{norm}}}{0,1 \cdot \sigma_{b, \text{zul}}}} \approx 20 \text{ mm}$$

mit $K_A = 1,3$

mit $M_{b, \text{norm}} = M_{b, \text{max}} = \frac{F \cdot t_a}{4} = 48000 \text{ Nmm}$

mit $\sigma_{b, \text{zul}} = 0,2 R_m = 0,2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 = 80 \text{ N/mm}^2$

Probe auf Schub

$$d \approx u \cdot \sqrt{\frac{K_A \cdot F_{\text{norm}}}{\sigma_{b, \text{zul}}}} = 18,1 \text{ mm} \quad (\Rightarrow) \text{ Nach DIN EN 22340 nächsthöherer Bolzendurchmesser } d = 20 \text{ mm}$$

mit $u = 1,1$

mit $K_A = 1,4$

mit $F_{\text{norm}} = 16 \text{ kN}$

mit $\sigma_{b, \text{zul}} = 0,2 R_m = 80 \text{ N/mm}^2$

mit $R_m = 400 \text{ N/mm}^2$

Probe auf Schub

$$\tau_{\text{max}} = \frac{4 \cdot K_A \cdot F_{\text{norm}}}{3 \cdot 2 \cdot A_s} = 46,14 \text{ N/mm}^2$$

mit $F_{\text{norm}} = 16 \text{ kN}$

mit $K_A = 1,3$

mit $A_s = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 100 \text{ mm}^2 = 100 \pi \text{ mm}^2$

Probe auf Flächenpressung

$$p = \frac{F_{\text{Nenn}}}{A_{\text{proj}}} = 43,3 < p_{\text{zul}} = 0,25 \cdot R_m = 90$$

$$\text{mit } A_{\text{proj}} = 2 \cdot d \cdot t_g = 480 \text{ mm}^2$$

Bolzendurchmesser Bolzen 2 - Einbaufall 1

$$d \approx 1,6 \cdot \sqrt{\frac{1,3 \cdot 1600}{\sigma_{b, \text{zul}}}} = 27,19 \text{ mm} \Rightarrow \text{Nach DIN EN 22341} \\ \text{nächsthöhere } d = 30 \text{ mm}$$

Da der Durchmesser von Bolzen 1 kleiner als Bolzen 2 ist, benötigt man
eine erneute Sicherheitsberechnung.

Übung 09

Schraubverbindung

Um einen Patienten mit der Krankentrage anheben zu können, ist die Krankentrage an den Längsseiten mit je zwei Handgriffen versehen, die mit je zwei leicht geölten Außensechskantschrauben (ISO 4014 - M8 x 50 - 8.8) an der Krankentrage angeflanscht sind.

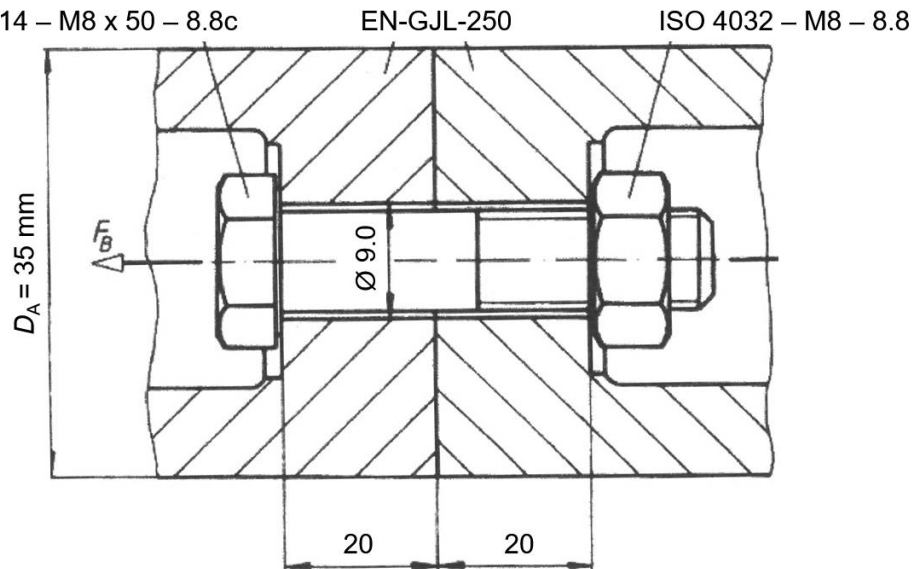


Abbildung 1: Schraubverbindung zwischen Handgriff und Krankentrage

Für die Berechnung wird eine Flächenlast von 300 kg angenommen, die sich gleichmäßig auf die Krankentrage verteilt. Das Eigengewicht der Krankentrage kann mit 25 kg angenommen werden.

Die an den Schraubverbindungen auftretenden Biege- und Torsionsmomente werden der Einfachheit halber vernachlässigt. Aufgrund der Symmetrie der Griffe genügt es, eine der insgesamt acht Schrauben zu berechnen. Zur ermitteln sind:

1. Die Spannkraft F_{SP} der Schraube.
2. Die Klemmkraft F_{KL} .
3. Den Vorspannkraftverlust durch Setzen F_Z .
4. Die Montagevorspannkraft, um die berechnete Mindestklemmkraft F_{KL} zu realisieren.
5. Sicherheitswert.

Nehmen Sie für die Berechnung folgende Werte an:

- $R_z = 6,3 \mu\text{m}$
- Anziehfaktor $k_A = 1,6$
- Haftreibungszahl in der Trennfuge $\mu_T = 0,25$
- E-Modul Schraube = 210.000 MPa
- E-Modul Bauteile = 110.000 MPa

Hinweis:

Für die Aufgabe haben Sie eine Woche Zeit. Am **04.07.2023** müssen Sie Ihre Lösung der Tutorin vorzeigen. Die Übung wird bestanden, wenn die Aufgabe vollständig und richtig berechnet wurde.

Übung 9

1. Spannkraft der Schraube

$$F_{sp} = \sigma_H \cdot A_s = \sigma_H \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 = 18134,16 \text{ N}$$

$$\text{mit } d_b = d_s = \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right) = \left(\frac{7,188 + 6,466}{2} \right) = 6,827$$

$$\text{mit } \sigma_H = \frac{0,9 \cdot R_{p0,2}}{\sqrt{1+3 \cdot \left[\frac{3}{d_1} \cdot (0,159 \cdot P + 0,577 \cdot \mu_G \cdot d_2) \right]^2}} = 495,39 \text{ MPa}$$

$$\text{mit } R_{p0,2} = 640 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{mit } d_2 = 7,188$$

$$\text{mit } P = 1,25$$

$$\text{mit } \mu_G = 0,10 - 0,16 \Rightarrow 0,14$$

2. Die Klemmkraft F_{kl}

$$F_{kl} = \frac{F_{\text{ges}}}{\mu_T \cdot z} = 1594,12$$

$$\text{mit } F_{\text{ges}} = \frac{F}{k} = 797,06$$

$$\text{mit } F = m_{\text{ges}} \cdot g = 325 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3188,25 \text{ N}$$

$$\text{mit } \mu_T = 0,25$$

$$\text{mit } z = 2$$

$$3. f_z = \frac{f_z}{\delta_s + \delta_T} = 1,33 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\text{mit } f_z = 11 \mu\text{N (Summe)}$$

$$\text{mit } h_z = 6,3 \mu\text{m}$$

$$\text{mit } \delta_s = \delta_{sk} + \delta_{\text{schaft}} + \delta_{\text{winde}} + \delta_{GM} = 710 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{mit } \delta_{sk} = \frac{L}{E \cdot A} = 0,000000187 = 187 \cdot 10^{-9}$$

$$\text{mit } E = 210000 \text{ MPa}$$

$$\text{mit } L = k = 53$$

$$\text{mit } A_{sk} = \frac{6 \cdot a^2 \cdot \sqrt{3}}{4} = 134,68 \text{ mm}^2$$

$$\text{mit } a = \frac{e}{2} = \frac{14,4}{2} = 7,2 \text{ mm}$$

$$\text{mit } \delta_{\text{Aschaft}} = \frac{L-b}{E \cdot A_{\text{Aschaft}}} = 2,65 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{mit } A_{\text{Aschaft}} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 164 \text{ mm}^2$$

$$\text{mit } L = 50$$

$$\text{mit } b = 22$$

$$\text{mit } \delta_{\text{Gew}} = \frac{b}{E \cdot A_{\text{Gew}}} = 2,86 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{mit } A_{\text{Gew}} = 36,6 \text{ mm}^2 \quad \left(\frac{d_{\text{Gew}}}{2}\right)^2 \cdot \pi = 105,60 \text{ mm}^2$$

$$\text{mit } d_{\text{Gew}} = 6,47 \text{ mm}$$

$$\text{mit } b = 22$$

$$\text{mit } E = 210000 \text{ MPa}$$

$$\text{mit } \delta_{\text{GM}} = \delta_G + \delta_M = 1,27 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{mit } \delta_G = \frac{L_{\text{Mutter}}}{E \cdot A_{\text{Gew}}} = 8,85 \cdot 10^{-7}$$

$$\text{mit } L_{\text{Mutter}} = m = 6,8 \text{ mm}$$

$$\text{mit } \delta_M = \frac{L_{\text{Mutter}}}{E \cdot A_M} = 3,84 \cdot 10^{-7}$$

$$\text{mit } A_M = A_{\text{Sh}} - \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 84,4 \text{ mm}^2$$

$$\text{mit } \delta_T = \frac{f_T}{F_V} = \frac{L_h}{A_{\text{vs}} \cdot E_T} = 1,45 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{mit } E_T = 110000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{mit } L_h = 40 \text{ mm}$$

$$\text{mit } A_{\text{vs}} = \frac{\pi}{4} (d_w^2 - d_h^2) + \frac{\pi}{8} \cdot d_w (D_A - d_w) \cdot [(\kappa + 1)^2 - 1] = 252,118 \text{ mm}^2$$

$$\text{mit } d_w = 11,6 \text{ mm}$$

$$\text{mit } d_h = 9,0 \text{ mm}$$

$$\text{mit } D_A = 35 \text{ mm}$$

$$\text{mit } \kappa = 3 \sqrt{\frac{d_h \cdot d_w}{D_A^2}} = 0,72$$

4. Die Montagevorspannkraft, um die berechnete Mindestklemmkraft F_{kl} zu realisieren

$$F_{\text{Vm}} = K_A \cdot (F_{\text{kl}} + F_Z) = 4678,6 \text{ N}$$

$$\text{mit } K_A = 1,6$$

$$\text{mit } F_{\text{kl}} = 1594,12 \text{ N}$$

$$\text{mit } F_Z = 1,33 \cdot 10^3 \text{ N}$$

5. Sicherheitsbeiwert

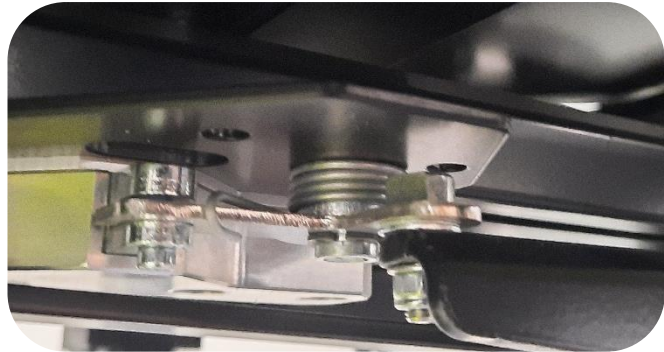
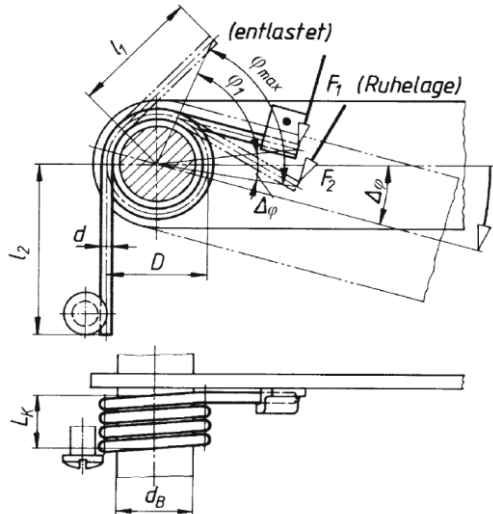
$$S = \frac{F_v}{F_{vm}} = 3,97$$

mit $F_v = 18,6 \text{ kN}$

Übung 10

Drehfeder

Eine ruhend beanspruchte Drehfeder mit (lose) anliegenden Windungen aus Federstahldraht SL nach DIN EN 10270-1 soll als Rückholfeder einen Hebel an der Krankenliege bewegen.



In der Ruhelage soll sie eine Kraft $F_1 \approx 1,5 \text{ N}$ und nach einem Hubwinkel $\Delta\varphi \approx 16^\circ$ eine Rückholkraft $F_2 \approx 2,5 \text{ N}$ ausüben. Aus der Konstruktion ergaben sich für den Führungsbolzen ein Durchmesser $d_B = 6 \text{ mm}$, für die Feder die Schenkellängen $l_1 = 10 \text{ mm}$ und $l_2 = 15 \text{ mm}$.

Zu ermitteln und zu prüfen sind:

- der Drahtdurchmesser d aus überschlägiger Vorwahl und der mittlere Windungsdurchmesser D als Normzahl nach DIN 323 R'20, wenn der innere Windungsdurchmesser D_i etwa 25% größer als d_B angenommen wird,
- der größte Drehwinkel $\varphi_{\max}$ und der Vorspann-Drehwinkel φ_1 , wenn Verhältnissgleichheit zwischen Drehwinkeln und Federkräften bzw. Federmomenten besteht,
- die Länge L_{K0} des unbelasteten Federkörpers für die zur ganzen Zahl gerundete Anzahl der federnden Windungen,
- die mit den festgelegten Federdaten sich tatsächlich ergebenden Drehwinkel $\varphi_{\max}$ und φ_1 und die Zulässigkeit der Biegespannung für die vorgesehene Drahtsorte.

Hinweise:

Für die Aufgabe haben Sie einen Termin Zeit. Am Ende der Übungsstunde müssen Sie Ihre Lösungen dem Tutor vorzeigen. Die Übung wird bestanden, wenn die Aufgaben vollständig und richtig berechnet wurden.

Extraaufgabe: Gehe zur Krankenliege im IMT und suche die Feder und finde ihre Funktion heraus. ☺

Grundlagen Drehfedern:

Drehfedern werden im Maschinen- und Apparatebau wie in der Feinmechanik hauptsächlich als Scharnier-, Rückstell- und Andrückfedern verwendet. Sie haben im Wesentlichen die gleiche Form wie zylindrische Schraubenfedern. Die Enden am Umfang des Federkörperdurchmessers sind als Schenkel abgebogen. Diese sind so ausgebildet, dass die Feder durch ein Verdrehen um die Federachse belastet werden kann. Infolge dieser Belastungsart ist die Beanspruchung des Federdrahtes eine Biegebeanspruchung.

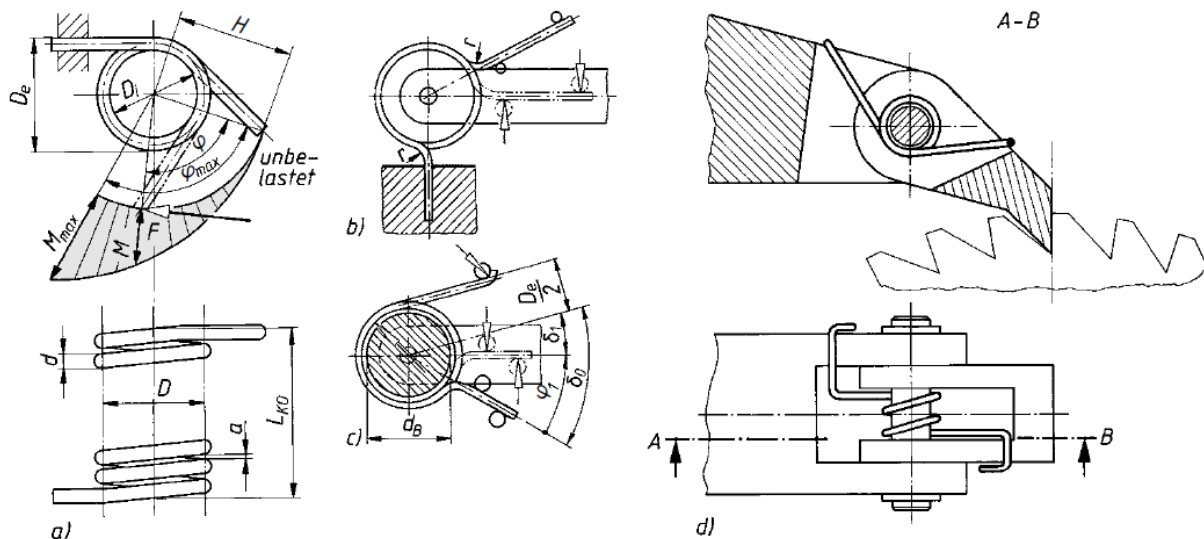


Bild Drehfedern: a) mit kurzen tangentialen Schenkeln, b) mit abgelenkten Schenkeln (gespannter, bewegter Schenkel Strich-Zweipunkt-Linie), c) mit Bolzenführung; Schenkelwinkel δ_0 bei unbelasteter, δ_1 bei belasteter Feder dem Drehwinkel φ_1 zugeordnet, d) als Andrückfeder für eine Sperrklinke

Mit der zulässigen Biegespannung $\sigma_{b\,zul} = f(d, \text{ Drahtwerkstoff})$ nach TB 10-3, dem Korrekturbeiwert $q = f_i D/d$ zur Berücksichtigung der Spannungserhöhung infolge der Drahtkrümmung nach TB 10-4 mit dem abzuschätzenden Windungsdurchmesser D und einem gewählten Werkstoff nach TB 10-2c könnte aus der Beziehung $\sigma_b = q \cdot M/W < \sigma_{b\,zul}$ mit $M = F_{max} \cdot H$ und $W = (\pi/32) \cdot d^3$ der Drahtdurchmesser d durch Iteration bestimmt werden. Für die Auslegung einer Drehfeder sind meist der Innendurchmesser D_i des Federkörpers bekannt, so dass für den ersten Entwurf mit der Gebrauchsformel der Drahtdurchmesser d überschlägig ermittelt werden kann aus

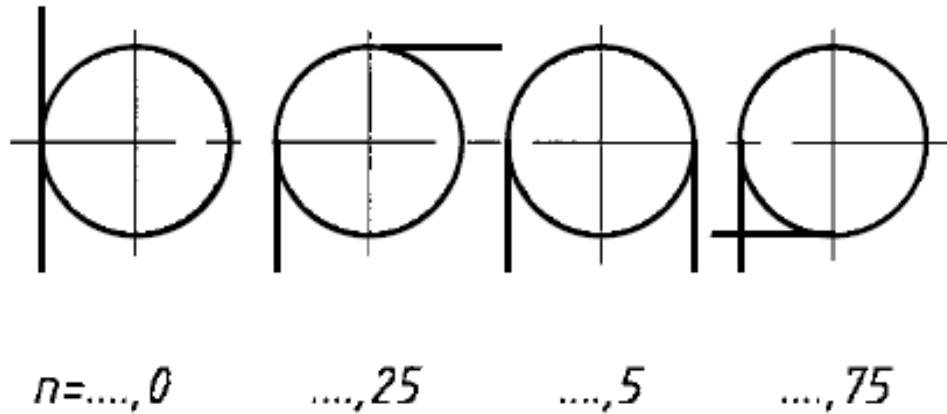
$$d \approx 0,23 \cdot \frac{\sqrt[3]{F \cdot H}}{1 - k} = 0,23 \cdot \frac{\sqrt[3]{M}}{1 - k} \text{ mit } k \approx 0,06 \cdot \frac{\sqrt[3]{M}}{D_i}$$

Die endgültige Festlegung des Drahtdurchmessers d nach DIN EN 10270 (TB 10-2) kann erst nach dem Festigkeitsnachweis erfolgen, da hierfür alle Bestimmungsgrößen bekannt sein müssen.

Die Windungszahl

$$n = \frac{\left(\frac{\pi}{64}\right) \cdot \varphi^\circ \cdot E \cdot d^4}{180^\circ \cdot F \cdot H \cdot D}$$

soll aus fertigungstechnischen Gründen festgelegt werden auf $n = \dots, 0 \dots, 25 \dots, 5 \dots, 75$.



Die Länge L_{K0} des unbelasteten Federkörpers wird bei anliegenden Windungen

$$L_{K0} = (n + 1,5) \cdot d$$

bei Windungsabstand

$$L_{K0} = n \cdot (a + d) + d$$

berechnet.

Für die Nachprüfung der festgelegten Feder gelten die folgenden Berechnungsgleichungen streng genommen nur für Federn mit fest eingespannten, kreisförmig geführten beweglichen Schenkeln ohne Berücksichtigung der Reibung. Vor jeder Berechnung ist zu klären, ob die Feder ruhend bzw. selten wechselnd (d. h. mit gelegentlichen Lastwechseln ($N < 10^4$ Lastspiele) während ihrer Lebensdauer) oder schwingend beansprucht wird. Bei Drehfedern mit praktisch unbegrenzter Lebensdauer ($N > 10^7$ Lastspiele) sind die Dauerfestigkeitswerte bis $d = 4$ mm nach TB 10-5 zu berücksichtigen, und in den Gleichungen wird dann anstelle F die Schwingkraft $F_h = F_2 - F_1$ (zugeordnet dem Hubwinkel $\varphi_h = \varphi_2 - \varphi_1$) eingesetzt und die Hubspannung σ_h bzw. $\sigma_{qh} < \sigma_{h\text{ zul}}$ bzw. die Hubfestigkeit σ_H ermittelt.

Unter Berücksichtigung der Spannungserhöhung durch die Drahtkrümmung gelten mit dem Spannungsbeiwert q für die Biegespannung

$$\sigma_q = q \cdot \frac{M}{W_b} = \frac{q \cdot M}{\left(\frac{\pi}{32}\right) \cdot d^3} \leq \sigma_{b\text{ zul}}$$

Übung 10

1. a) $D_i' = 1,25 \cdot D_B = 1,25 \cdot 6 \text{ mm} = 7,5 \text{ mm}$

$$d' \approx 0,23 \cdot \frac{\sqrt[3]{M}}{1-\mu} = 0,69 \text{ mm}$$

$$\text{mit } \mu \approx 0,06 \cdot \frac{\sqrt[3]{M}}{D_i} = 0,023$$

$$\text{mit } M = F \cdot l = 2,5 \text{ N} \cdot 10 \text{ mm} = 25 \text{ Nmm}$$

2. D' bestimmen aus geometrischen Verhältnissen

$$D' = D_i + d = 8,19$$

3. $D_i = 7,5 \text{ mm} \rightarrow 8,0$ nach Norm DIN 323 B20

$D = 8,29 \rightarrow 9,0$ nach Norm DIN 323 B20

b) Drehwinkel

$$\frac{p_{\max}}{\Delta p} = \frac{F_2}{F_2 - F_1} \quad (\Rightarrow) \quad p_{\max} = \frac{F_2 \cdot \Delta p}{F_2 - F_1} = 40^\circ$$

$$\text{mit } \Delta p = p_{\max} - p_1$$

$$\text{mit } \Delta p = 16^\circ$$

$$p_1 = p_{\max} - \Delta p = 24^\circ$$

c) L_{k0} bestimmen

$$n = \frac{\frac{\pi}{64} \cdot p^0 \cdot E \cdot d^4}{180^\circ \cdot F \cdot l \cdot D} \approx 9,9 \Rightarrow 10$$

$$\text{mit } p^0 = p^1$$

$$\text{mit } E = 206000 \text{ MPa}$$

$$\text{mit } d = 1,0 \text{ mm}$$

$$\text{mit } F = F_1 = 1,5 \text{ N}$$

$$\text{mit } l = L_1 = 10 \text{ mm}$$

$$\text{mit } D = 9,0 \text{ mm}$$

$$\text{mit } p^0 = p_1 = 24^\circ$$

$$\text{Unbelastet } L_{k0} = (n + 1,5) \cdot d = 11,5 \cdot 1 \text{ mm}$$

$$d) \quad \sigma_q = q \cdot \frac{I_b}{w_b} = \frac{q \cdot M}{\left(\frac{\pi}{32}\right) \cdot d^3} = 420,17 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{zul} = 1200 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

$\Rightarrow$ ausreichend

$$\text{mit } q = \frac{w + 0,07}{w - 0,75} = 1,1$$

$$\text{mit } w = D_d = 9,0 \text{ mm}$$

Übung 11

Klebeverbindung und Festigkeitsnachweis

Eine Blechlasche aus S235JR wird in der dargestellten Weise mit dem Klebstoff „Metallon K“ auf einen Rohrquerschnitt aufgeklebt, wobei die Kreisringfläche des Rohrquerschnittes die Klebefläche ergibt. Die Schwächung des Blechquerschnitts durch die Bohrung ist zu vernachlässigen. Scherspannungen im Blech infolge der Querkraft dürfen vernachlässigt werden. Die Festigkeit des Rohres gilt als unkritisch.

Gegeben sind:

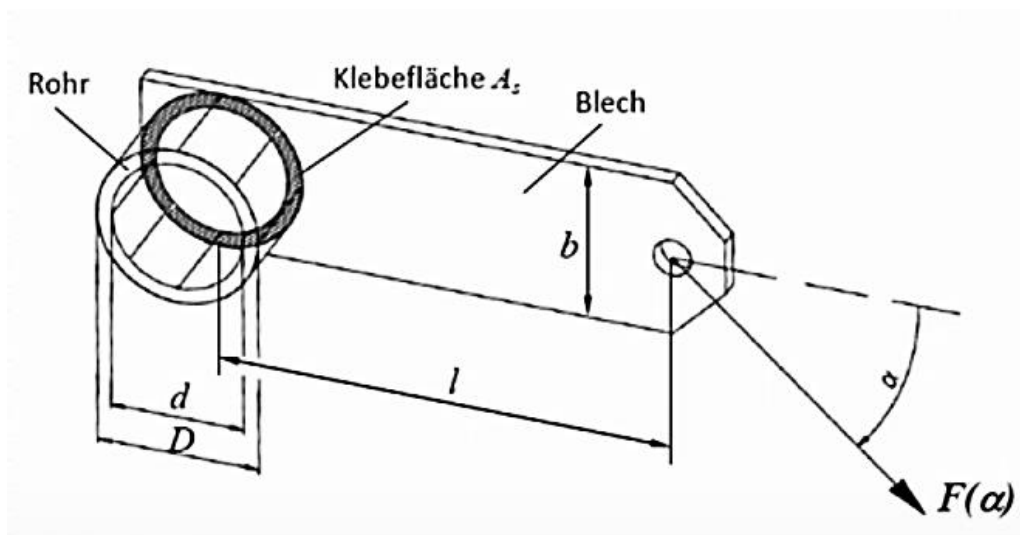
Blechdicke:	$s = 10 \text{ mm}$	Zugfestigkeit S235JR:	$R_{eH} = 235 \text{ N/mm}^2$
Blechbreite:	$b = 50 \text{ mm}$	Biegefestigkeit S235JR:	$R_{eH,b} = 280 \text{ N/mm}^2$
Abstand Bohrung zu Rohr:	$l = 60 \text{ mm}$	Scherfestigkeit Metallon K:	$\tau_B = 23 \text{ N/mm}^2$
Außendurchmesser Rohr:	$D = 45 \text{ mm}$	Sicherheit gegen Fließen (Blech):	$S_F = 1,5$
Innendurchmesser Rohr:	$d = 35 \text{ mm}$	Bruchsicherheit Metallon K:	$S_B = 2,6$

- a) Wie groß kann die Kraft F werden, wenn sie unter dem Winkel $\alpha = 0^\circ$ angreift?

$$F_{0^\circ} \leq$$

- b) Wie groß kann die Kraft F werden, wenn sie unter dem Winkel $\alpha = 90^\circ$ angreift?

$$F_{90^\circ} \leq$$



Hinweise:

Für die Aufgabe haben Sie eine Woche Zeit. Am **18.07.2023** müssen Sie Ihre Lösung der Tutorin vorzeigen. Die Übung wird bestanden, wenn die Aufgabe vollständig und richtig berechnet wurde.

Übung 11

① zulässige Spannungen berechnen

$$\sigma_{zul} = \frac{R_{eH}}{S} = 156,67 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{b,zul} = \frac{R_{eH,b}}{1,5} = 186,67 \text{ MPa}$$

$$\tau_{zul} = \frac{\tau_b}{S_B} = 8,85$$

② Welche Kräfte wirken?

$$\alpha = 0^\circ$$

Kleber: $\tau_s = \frac{F}{A_s} \leq \tau_{zul} = 8,85 \Leftrightarrow F = 8,85 \cdot 2000 \text{ mm}^2 = 556 \text{ kN}$ Nr. 5.5

$$\text{mit } A_s = \pi \cdot \left(\frac{65}{2}\right)^2 - \pi \cdot \left(\frac{35}{2}\right)^2 = 200\pi \text{ mm}^2$$

Blech: $\sigma_z = \frac{F}{A_z} \leq \sigma_{zul} = 156,67 \text{ MPa} \Leftrightarrow F \leq 156,67 \text{ MPa} \cdot 500 \text{ mm}^2 = 78,34 \text{ kN}$

$$\text{mit } A_z = 10 \text{ mm} \cdot 50 \text{ mm} = 500 \text{ mm}^2$$

$$F_{00} \leq 556 \text{ kN}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

Kleber: $\tau_{90} = \frac{M_t}{W_t} = \frac{60 \text{ mm} \cdot F}{W_t} + \frac{F}{A_s} \leq \tau_{zul} = 8,85 \text{ MPa} \Leftrightarrow F = \frac{8,85 \text{ MPa}}{\frac{60}{W_t} + \frac{1}{A_s}} = 1286 \text{ kN}$

S. 1103

$$\text{mit } W_t = \frac{\pi}{16} \frac{D^4 - d^4}{0} = 11366 \text{ mm}^3$$

Blech: $\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{60 \text{ mm} \cdot F}{W_b} \leq \sigma_{b,zul} = 186,67 \text{ MPa} \Leftrightarrow F = 186,67 \frac{W_b}{60 \text{ mm}} = 12963 \text{ kN}$

Tab 1-14 mit $W_b = \frac{s \cdot b^2}{6} = 4266,67 \text{ mm}^3$

$$F_{90} \leq 1286 \text{ kN}$$