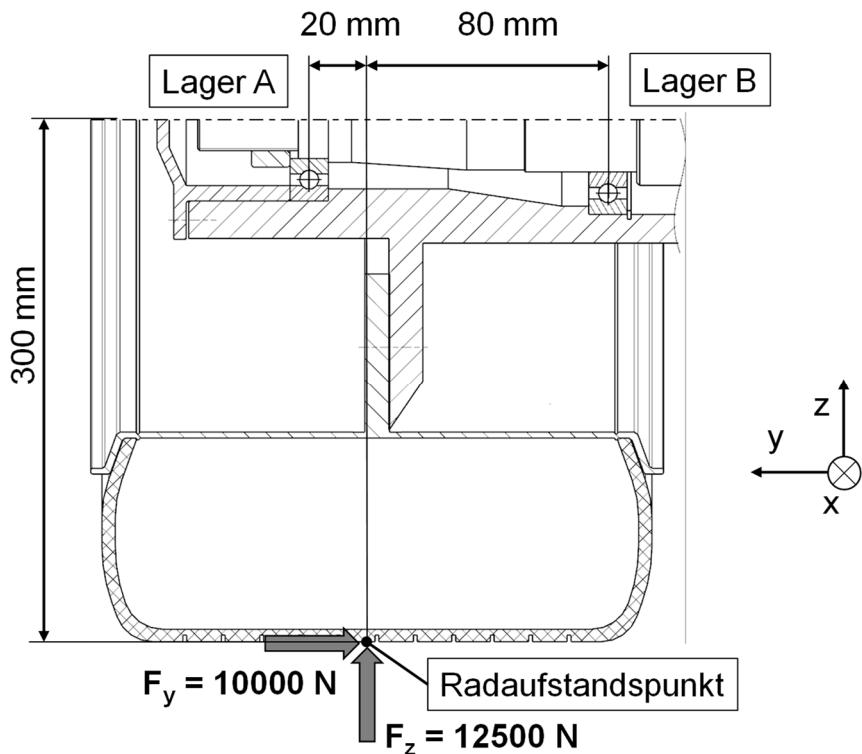


Aufgabe 1 (22 Punkte)

Die Radlagerung der angetriebenen Achse eines Rennwagens soll für eine Rennsaison (15 Rennen á 3h) ausgelegt werden. Als Lagerkonzept kommt eine Fest-Los-Lagerung mit zwei Rillenkugellagern zum Einsatz.



Parameter Lager A

| | | | |
|------------------------------|--------------|-------------------------|-------------------------|
| Dynamischer Radiallastfaktor | $X = 0,5$ | Dynamische Tragzahl | $C = 12 \text{ kN}$ |
| Dynamischer Axiallastfaktor | $Y = 1,5$ | Statische Tragzahl | $C_0 = 22,5 \text{ kN}$ |
| Statischer Radiallastfaktor | $X_0 = 0,45$ | Innendurchmesser Lager | $d = 40 \text{ mm}$ |
| Statischer Axiallastfaktor | $Y_0 = 0,6$ | Außendurchmesser Lager | $D = 60 \text{ mm}$ |
| Grenzwert | $e = 0,32$ | Ermüdungsgrenzbelastung | $C_u = 600 \text{ N}$ |

Weitere Parameter

| | | | |
|-----------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------|
| Außendurchmesser Rad | $D_R = 600 \text{ mm}$ | Verunreinigungsbeiwert | $e_c = 0,9$ |
| Betriebstemperatur Öl | $\vartheta = 80^\circ \text{C}$ | Ausfallwahrscheinlichkeit | 2 % |

Hinweise:

- Nutzen Sie zur Lösung der Aufgabe die Diagramme auf Hilfsblatt 1 zu Aufgabe 1.
- Alle externen Kräfte, die auf das Rad wirken, greifen am Radaufstandspunkt an.

1.1 Geben Sie an, welches Lager das Loslager ist. (**1 Punkt**)

Zunächst soll die statische Tragsicherheit gegenüber dem maximal auftretenden Lastfall berechnet werden. Dieser tritt während des Überfahrens eines Randsteins (Curbs) bei gleichzeitiger Kurvenfahrt auf. Die Lasten auf die Lager können Sie der Abbildung in der Aufgabenstellung entnehmen. Während dieses Lastfalls treten keine Kräfte in x-Richtung auf. Sie untersuchen Lager A.

1.2 Prüfen Sie die statische Tragsicherheit des Lagers A. (**6 Punkte**)

- | | |
|-------|--|
| 1.2.1 | Berechnen Sie die Last A_z für das Lager A für den gegebenen Lastzustand in N. |
| 1.2.2 | Berechnen Sie die Last A_y für das Lager A für den gegebenen Lastzustand in N. |
| 1.2.3 | Berechnen Sie die statisch äquivalente Lagerlast $P_{0,A}$ für das Lager A in N. |
| 1.2.4 | Berechnen Sie die statische Tragsicherheit S_0 für das Lager A. |
| 1.2.5 | Ist das Lager A für die statische Tragsicherheit auf Basis Ihrer Ergebnisse ausreichend dimensioniert? |

1.3 Wie ändert sich die maximal zulässige Flächenpressung hinsichtlich der statischen Tragsicherheit qualitativ, wenn man die Rillenkugellager mit Zylinderrollenlager gleicher Baugröße austauschen würde? (**1 Punkt**)

1.4 Wie viel % bleibende Gesamtverformung des Rollkörperdurchmessers im höchst belasteten Wälzkontakt der verbauten Rillenkugellager dürfen sich bei maximal zulässiger statischer Last ergeben? (**1 Punkt**)

Im Folgenden soll geprüft werden, ob das Lager einer Rennsaison standhält. Eine Rennsaison besteht aus 15 Rennen á 3h. Die auf die Lager wirkenden Lasten während einer Runde können vereinfacht in drei unterschiedliche Lastfälle (Geradeausfahrt, Rechtskurve, Linkskurve) zusammengefasst werden. Lager A ist das höherbelastete Lager. Die auf Lager A wirkenden Lasten sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst. Bestimmen Sie im Folgenden die noch fehlenden Werte an den leeren Stellen in der Tabelle.

| | Geradeausfahrt | Rechtskurve | Linkskurve |
|-----------------------------|----------------|---------------|---------------|
| F_x | 2500 N | 0 N | 0 N |
| F_y | 0 N | - 4500 N | 900 N |
| F_z | 3200 N | 4800 N | 1200 N |
| Zeitanteil q_i | 0,7 | 0,21 | 1.5.1 |
| Geschwindigkeit v_i | 240 km/h | 90 km/h | 80 km/h |
| Raddrehzahl n_i | 1.5.2 | 795,775 U/min | 707,355 U/min |
| Äquivalente Lagerlast P_i | 1.5.4 | 1.5.5 | 1950 N |

| | |
|-------|--|
| 1.5 | Berechnen Sie die Ersatzbelastung des Lagers A über eine Rennsaison. (5 Punkte) |
| 1.5.1 | Berechnen Sie den Zeitanteil der Linkskurven q_{links} für eine Runde. |
| 1.5.2 | Berechnen Sie die Raddrehzahl bei Geradeausfahrt n_{gerade} in min^{-1} . |
| 1.5.3 | Berechnen Sie die Ersatzdrehzahl n_m in min^{-1} . |
| 1.5.4 | Berechnen Sie die äquivalente Lagerlast des Lagers bei Geradeausfahrt P_{gerade} in N. |
| 1.5.5 | Berechnen Sie die äquivalente Lagerlast des Lagers während der Rechtskurven P_{rechts} in N. |
| 1.5.6 | Berechnen Sie die Ersatzbelastung P_m für das Lager in N. |

Falls Sie Aufgabenteil 1.5 nicht lösen konnten, rechnen Sie mit $P_m = 4858 \text{ N}$ und $n_m = 1651 \text{ min}^{-1}$ weiter.

| | |
|--|--|
| 1.6 Berechnen Sie die erweiterte Lebensdauer für Lager A nach PALMGREN-MINER. (6 Punkte) | |
| 1.6.1 | Berechnen Sie den Beiwert $\frac{e_c \cdot c_u}{P_m}$. |
| 1.6.2 | Berechnen Sie das Viskositätsverhältnis κ . |
| 1.6.3 | Bestimmen Sie den Faktor a_{ISO} . |
| 1.6.4 | Bestimmen Sie den Faktor a_1 . |
| 1.6.5 | Berechnen Sie die erweiterte Lagerlebensdauer L_{nm} für Lager A in 10^6 Umdrehungen |
| 1.6.6 | Berechnen Sie die erweiterte Lagerlebensdauer L_{nmh} für Lager A in Betriebsstunden. |
| 1.6.7 | Hält das Lager auf Basis Ihrer Ergebnisse einer Rennsaison stand? |
| 1.7 | Wie ändert sich die erweiterte Lebensdauer der Lager qualitativ, wenn ein Öl einer niedrigeren Viskositätsklasse verwendet wird? (1 Punkt) |
| 1.8 | Nennen Sie neben dem Rillenkugellager und dem Zylinderrollenlager eine weitere Lagerbauform? (1 Punkt) |

Hilfsblatt 1 zu Aufgabe 1

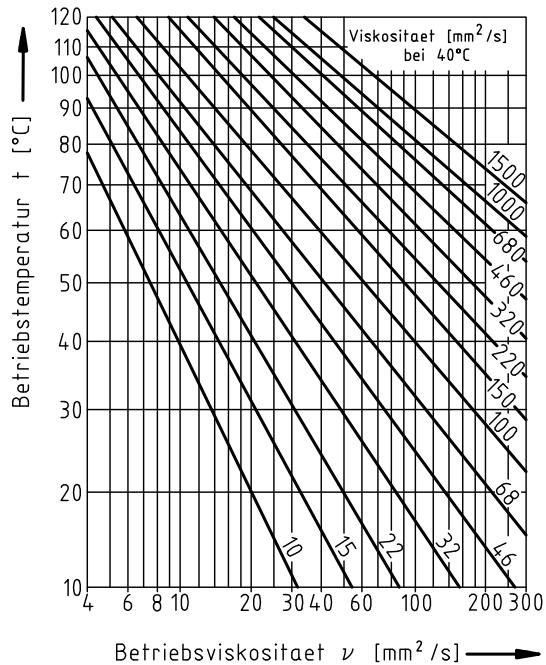


Bild 1.1: Betriebsviskosität ν

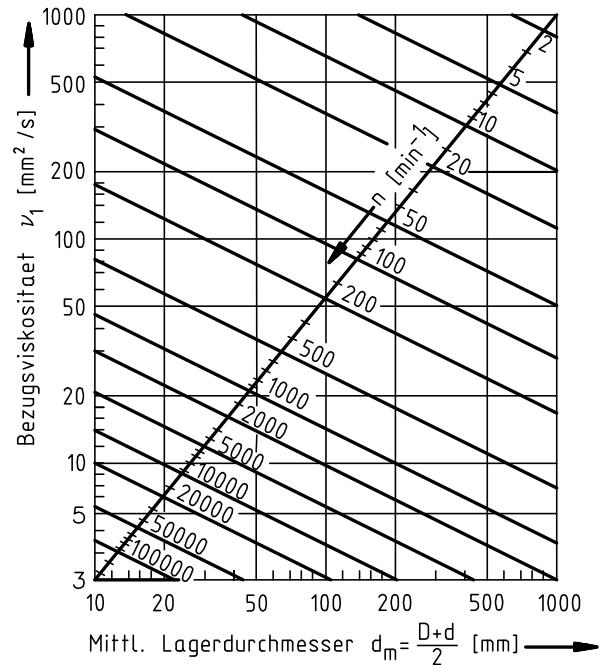


Bild 1.2: Bezugsviskosität v_1

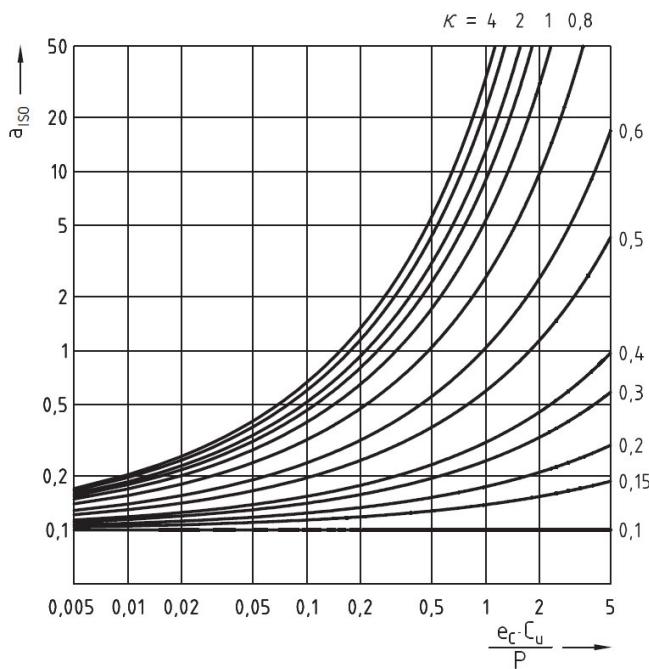


Bild 1.3: a_{ISO} Radial-Rollenlager

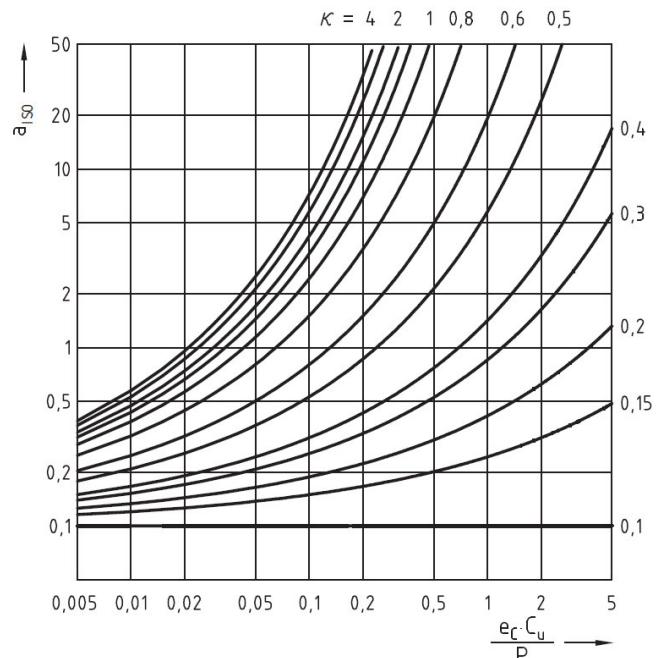


Bild 1.4: a_{ISO} Radial-Kugellager

Lösung zur Aufgabe 1

1.1 Loslager

Σ 1 P

Lager B ist das Loslager.

1 P

1.2 Statische Sicherheit des Lagers

Σ 6 P

$$\Sigma M_{x,B} = 0 = A_z \cdot 0,1 \text{ m} + 12500 \text{ N} \cdot 0,08 \text{ m} - 10000 \text{ N} \cdot 0,3 \text{ m}$$

$$A_z = 20000 \text{ N}$$

1,5 P

$$\Sigma F_y = 0 = A_y - 10000 \text{ N}$$

$$A_y = 10000 \text{ N}$$

1 P

$$P_{0,A} = \max\{X_0 \cdot F_{r,A} + Y_0 \cdot F_{a,A}; F_{r,A}\}$$

$$X_0 \cdot F_{r,A} + Y_0 \cdot F_{a,A} = 15000 \text{ N}$$

$$P_{0,A} = 20000 \text{ N}$$

1,5 P

mit:

$$F_{r,A} = |A_z| = 20000 \text{ N}$$

$$F_{a,A} = |A_y| = 10000 \text{ N}$$

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

$$S_0 = 1,125$$

1 P

mit:

$$P_0 = P_{0,A} = 20000 \text{ N}$$

$S_0 \geq S_{0,\min} = 1 \rightarrow \text{Ja}$, das Lager ist für die statische Sicherheit ausreichend dimensioniert

1 P

1.3 Maximal zulässige Belastung bei Zylinderrollenlagern anstelle von Rillenkugellagern

Σ 1 P

Die maximal zulässige Flächenpressung sinkt.

1 P

1.4 % bleibende Gesamtverformung bei maximal zulässiger statischer Last

Σ 1 P

$$0,01 \%$$

1 P

1.5 Ersatzbelastung nach PALMGREN-MINER

Σ 5 P

$$q_{links} = 1 - q_{rechts} - q_{gerade} = 1 - 0,21 - 0,7 = \mathbf{0,09}$$

0,5 P

$$n_{gerade} = \frac{v_{gerade}}{\pi \cdot D_R} = \frac{240 \frac{km}{h} \cdot 60 \frac{s}{min}}{\pi \cdot 0,6 m \cdot 3,6 \frac{km \cdot s}{m \cdot h}} = \mathbf{2122,066 U/min}$$

0,5 P

mit

$$v = \omega \cdot r = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot \frac{D_R}{2}$$

$$n = \frac{v}{\pi \cdot D}$$

$$n_m = n_{gerade} \cdot q_{gerade} + n_{rechts} \cdot q_{rechts} + n_{links} \cdot q_{links} = \mathbf{1716,221 U/min}$$

1 P

$$P_{gerade} = F_r, \text{ da } F_a = 0 N$$

$$F_r = \sqrt{F_{x,gerade}^2 + F_{z,gerade}^2}$$

$$P_{gerade} = \sqrt{F_{x,gerade}^2 + F_{z,gerade}^2} = \sqrt{(2500 N)^2 + (3200 N)^2} = \mathbf{4060,788 N}$$

1 P

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{F_{z,rechts}}{F_{y,rechts}} = \frac{4800 N}{4500 N} = 1,067 > e = 0,32$$

$$\Rightarrow P_{rechts} = X \cdot F_{z,rechts} + Y \cdot F_{y,rechts} = 0,5 \cdot 4800 N + 1,5 \cdot 4500 N = \mathbf{9150 N}$$

1 P

$$P_m = \sqrt[p]{\frac{q_{gerade} \cdot n_{gerade} \cdot P_{gerade}^p + q_{rechts} \cdot n_{rechts} \cdot P_{rechts}^p + q_{links} \cdot n_{links} \cdot P_{links}^p}{n_m}} \\ = \mathbf{5102,224 N}$$

1 P

mit:

$$p = 3$$

1.6 Erweiterte Lebensdauer

Σ 6 P

$$\frac{e_c \cdot C_u}{P_m} = \mathbf{0,106}$$

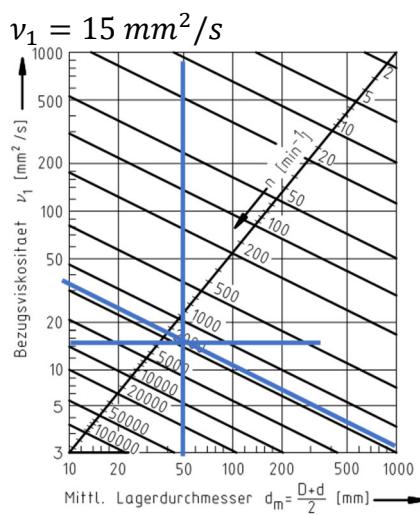
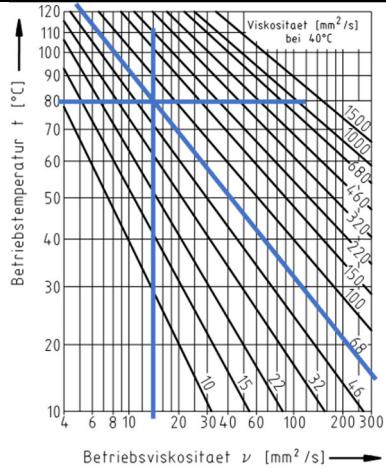
0,5 P

$$\kappa = \frac{\nu}{\nu_1} = \mathbf{0,933}$$

1,5

mit:

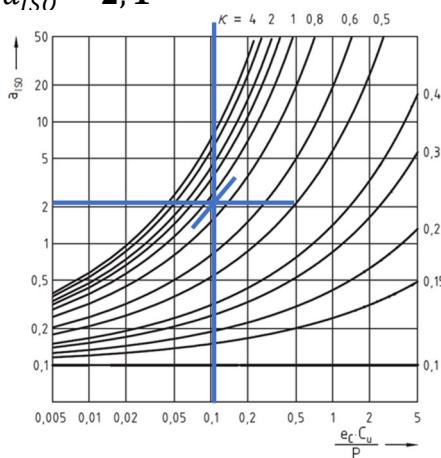
$$\nu = 14 \text{ mm}^2/\text{s}$$



$$d_m = \frac{D+d}{2} = 50 \text{ mm}$$

$a_{ISO} = 2,1$

1



$a_1 = 0,37$, da Ausfallwahrscheinlichkeit 2%

0,5

$$L_{nm} = a_1 \cdot a_{ISO} \cdot \left(\frac{C}{P_m} \right)^p = 10,108 \cdot 10^6 U$$

1 P

mit:

$$p = 3$$

$$L_h = \frac{L_{nm} \cdot 10^6}{60 \cdot n_m} = 98,161 \text{ h}$$

0,5 P

Betriebsstunden Rennsaison:

$$n_{Rennen} \cdot t_{Rennen} = 15 \cdot 3 \text{ h} = 45 \text{ h}$$

$$98,161 \text{ h} > 45 \text{ h}$$

→ Ja, das Lager hält einer Rennsaison stand.

1 P

Aufgabe 2 (22 Punkte)

Als Teil des Entwicklerteams eines Herstellers von Fahrgeschäften untersuchen Sie ein vielversprechendes Konzept eines elektrisch angetriebenen Karussells für eine große Aachener Kirmes. Das Karussell verfügt über einen Antrieb und zwei Abtriebe. Dabei werden das Karusseldach und der Turm um zwei unterschiedliche Drehachsen gedreht. Durch die Überlagerung der beiden Drehungen erfährt der Fahrgast eine Wellenbewegung.

Zur Realisierung des Antriebstrangs wollen Sie ein schaltbares Getriebe bestehend aus zwei Radsätzen (RS1 & RS2) verwenden. Das Karussell soll in drei Betriebsmodi betrieben werden, die über die Schaltung von zwei Kupplungen (K1 & K2) realisiert werden. Ihnen liegen die schematische Zeichnung des Antriebs, das Schaltungsschema der Kupplungen sowie einige Komponentendaten vor.

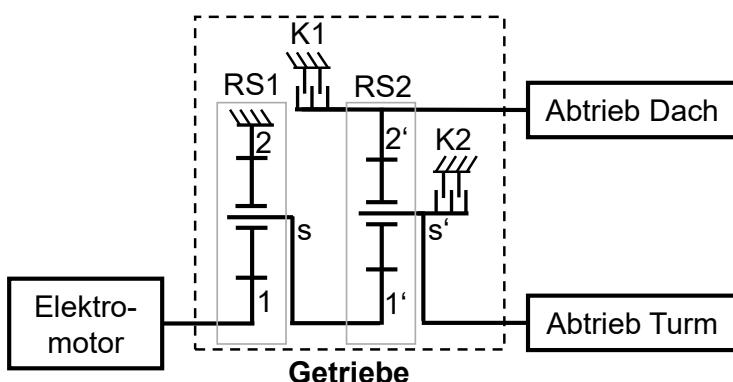


Abbildung 2.1: Schematischer Aufbau des Antriebs

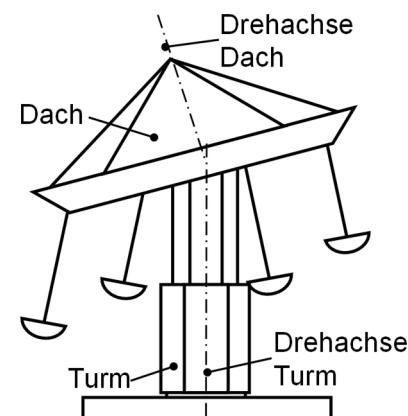


Abbildung 2.2: Schematische Zeichnung des Karussells

Getriebeparameter

| | | | |
|--------------------------|----------------|----------------------|-----------------|
| Zähnezahl Sonne RS2 | $z_{1'} = 18$ | Standübersetzung RS1 | $i_{12} = -3,4$ |
| Zähnezahl Hohlrad RS2 | $z_{2'} = -63$ | | |

Betriebsmodus 1

| | | | |
|----------------------------|--|------------------|---|
| Maximale Drehzahl Motor | $n_{\text{Motor},1,\text{max}} = 480 \text{ min}^{-1}$ | Drehzahl Motor | $n_{\text{Motor},2} = 450 \text{ min}^{-1}$ |
| Lastmoment Dach | $M_{\text{Dach},1} = 8 \text{ kNm}$ | Drehmoment Motor | $M_{\text{Motor},2} = 380 \text{ Nm}$ |

Betriebsmodus 2

$$\text{Drehzahl Dach} = n_{\text{Dach},2} = -25 \text{ min}^{-1}$$

Hinweise:

- Vernachlässigen Sie alle Verluste.

Tabelle 2.1: Schaltungsschema

| | K1 | K2 |
|-----------------|-------------|-------------|
| Betriebsmodus 1 | Offen | Geschlossen |
| Betriebsmodus 2 | Offen | Offen |
| Betriebsmodus 3 | Geschlossen | Offen |

Beim Anfahren des Karussells wird nur das Dach gedreht. Untersuchen Sie den Antrieb daher zunächst im Betriebsmodus 1 aus Tabelle 2.1.

| | |
|-------|--|
| 2.1 | Berechnen Sie die maximale Drehzahl des Dachs im Betriebsmodus 1. (5 Punkte) |
| 2.1.1 | Berechnen Sie die Übersetzung i_{1s} des Radsatzes 1. |
| 2.1.2 | Berechnen Sie die Übersetzung $i_{1'2'}$ des Radsatzes 2. |
| 2.1.3 | Berechnen Sie die Gesamtübersetzung zwischen Elektromotor und Dach $i_{I,II}$. |
| 2.1.4 | Berechnen Sie die maximale Drehzahl des Dachs $n_{Dach,1,max}$ in min^{-1} . |

Falls Sie Aufgabenteil 2.1 nicht lösen konnten, rechnen Sie mit $i_{1s} = 4,6$ und $i_{1'2'} = -3$ weiter.

| | |
|-------|---|
| 2.2 | Ermitteln Sie die Belastungen für den Motor und die Kupplung im Betriebsmodus 1. (5 Punkte) |
| 2.2.1 | Berechnen Sie die Übersetzung $i_{2's'}$ des Radsatzes 2. |
| 2.2.2 | Berechnen Sie das notwendige Haltemoment des Radsatzes 2 $M_{s'}$ in kNm. |
| 2.2.3 | Berechnen Sie das notwendige Drehmoment des Elektromotors M_{Motor} in kNm. |

Nachdem der Anfahrvorgang des Karussells beendet ist, wird die Drehung des Turms zugeschaltet. Hierzu wird das Getriebe in Betriebsmodus 2 versetzt und die Antriebsleistung auf den Abtrieb am Dach und am Turm verteilt. Betrachten Sie im Folgenden Betriebsmodus 2 aus Tabelle 2.1.

| | |
|---|--|
| 2.3 Legen Sie den Turmabtrieb in Betriebsmodus 2 aus. (7 Punkte) | |
| 2.3.1 | Berechnen Sie die Übersetzung $i_{1's'}$ des Radsatzes 2. |
| 2.3.2 | Berechnen Sie das Drehmoment, das zum Drehen des Turms genutzt wird, M_{Turm} in kNm. |
| 2.3.3 | Berechnen Sie die Drehzahl des Turms n_{Turm} in min^{-1} . |
| 2.3.4 | Berechnen Sie die Leistung des Abtriebs am Turm P_{Turm} in kW. |
| 2.3.5 | Berechnen Sie die Leistung des Abtriebs am Dach P_{Dach} in kW. |

| | |
|---|--|
| 2.4 Welchen Wert nimmt das Drehzahlverhältnis $k_{2's'}$ zwischen Dach- und Turmdrehzahl an, wenn Radsatz 2 nur Kupplungsleistung überträgt? (1 Punkt) | |
|---|--|

Nach dem Ende der Aachener Kirmes steht Betriebsmodus 3 für den Abbau und die Wartungsarbeiten des Karussells zur Verfügung. Betrachten Sie im Folgenden den Betriebsmodus 3 aus Tabelle 2.1.

| | |
|---|--|
| 2.5 Wird der Radsatz 2 für den Betriebsmodus 3 im zwei- oder drei Wellenbetrieb betrieben? (1 Punkt) | |
|---|--|

In Abbildung 2.3 sehen Sie das Getriebeschema nach WOLF des Radsatzes 2 im Betriebsmodus 3. Den drei Getriebewellen können die Begriffe *Antrieb*, *Abtrieb* und *gestellfest* zugeordnet werden.

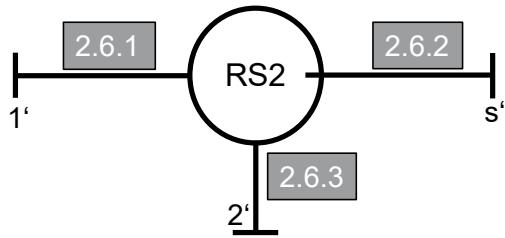


Abbildung 2.3: Getriebeschema nach WOLF des Radsatzes 2 für Betriebsmodus 3

| | |
|---|--|
| 2.6 Ordnen Sie den Wellen der Getriebedarstellung nach WOLF des Radsatzes 2 entsprechend der Schaltung des Getriebes die Begriffe <i>Antrieb</i> , <i>Abtrieb</i> und <i>gestellfest</i> zu (1,5 Punkte) | |
| 2.6.1 | Ordnen Sie der mit 2.6.1 markierten Welle die zugehörige Bezeichnung zu. |
| 2.6.2 | Ordnen Sie der mit 2.6.2 markierten Welle die zugehörige Bezeichnung zu. |
| 2.6.3 | Ordnen Sie der mit 2.6.3 markierten Welle die zugehörige Bezeichnung zu. |
| 2.7 Drehen sich der Elektromotor und der Turm in Betriebsmodus 3 gleichsinnig oder entgegengesetzt? (1,5 Punkte) | |
| 2.8 Der Satz von WILLIS beschreibt das Drehzahlverhältnis von Umlaufrädergetrieben als Überlagerung zweier Teilbewegungen. Bei der ersten Teilbewegung wird Kupplungsleistung übertragen. Welche Leistung wird bei der zweiten Teilbewegung übertragen? (1 Punkt) | |

Lösung zur Aufgabe 2

2.1 Maximale Drehzahl des Dachs

S 5 P

$$i_{1s} = 1 - i_{12} = 1 - (-3,4) = 4,4$$

1 P

$$i_{1'2'} = \frac{z_{2'}}{z_{1'}} = \frac{-63}{18} = -3,5$$

1 P

$$i_{I,II} = i_{1s} * i_{1'2'} = 4,4 \cdot (-3,5) = -15,4$$

1,5 P

$$n_{Dach,1,max} = n_{Motor,1,max} \cdot \frac{1}{i_{I,II}} = 480 \text{ min}^{-1} \cdot \frac{1}{-15,4} = -31,169 \text{ min}^{-1}$$

1,5 P

2.2 Belastung der wesentlichen Komponenten

S 4 P

$$i_{2's'} = 1 - \frac{1}{i_{1'2'}} = 1 - \frac{1}{-3,5} = 1,286 \quad \text{mithilfe der Tabelle A6.1}$$

1 P

$$M_{s'} = M_{2'} * (-i_{2's'}) = 8 \text{ kNm} \cdot (-1,286) = -10,288 \text{ kNm}$$

1 P

Mit $M_{2'} = M_{Dach,1}$

$$M_{Motor,1} = M_{Dach,1} \cdot \frac{1}{-i_{I,II}} = 8 \text{ kNm} \cdot \frac{1}{-(-14,5)} = 0,519 \text{ kNm}$$

2 P

Alternativlösung über Leistungsbilanz

$$P_{Dach,1} = \omega_{Dach,1,max} \cdot M_{Dach,1} = -3,264 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 8 \text{ kNm} = -26,112 \text{ kW}$$

$$\text{mit } \omega_{Dach,1,max} = \frac{2\pi}{60} \cdot n_{Dach,1,max} = \frac{2\pi}{60} \cdot (-31,169 \text{ min}^{-1}) = -3,264 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P_{Motor,1} = -P_{Dach,1} = 26,112 \text{ kW}$$

$$M_{Motor,1} = P_{Motor,1} \cdot \frac{1}{\omega_{Motor,1}} = 26,112 \text{ kW} \cdot \frac{1}{50,265 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 0,519 \text{ kNm}$$

$$\text{mit } \omega_{Motor,1,max} = \frac{2\pi}{60} \cdot n_{Motor,1,max} = -\frac{2\pi}{60} \cdot (480 \text{ min}^{-1}) = 50,265 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

2.3 Turmabtrieb

S 7 P

$$i_{1's'} = 1 - i_{1'2'} = 1 - (-3,5) = 4,5$$

1 P

$$M_{Turm} = M_{2'} = M_{Motor} \cdot (-i_{1s}) \cdot (-1) \cdot (-i_{1's'}) = 380 \text{ Nm} \cdot (-4,4) \cdot (-1) \cdot (-4,5)$$

1 P

$$n_{Turm} = n_{s'} = \frac{n_1 - i_{1'2'} \cdot n_2}{1 - i_{1'2'}} = \frac{102,273 \text{ min}^{-1} - (-3,5) \cdot (-25 \text{ min}^{-1})}{1 - (-3,5)} = 3,283 \text{ min}^{-1}$$

2 P

$$\text{mit } n_1 = n_{Motor} \cdot \frac{1}{i_{1s}} = 450 \cdot \frac{1}{4,4} = 102,273 \text{ min}^{-1}$$

$$P_{Turm} = \omega_{Turm} \cdot M_{Turm} = 0,344 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot (-7,524 \text{ kNm}) = -2,588 \text{ kW}$$

1,5 P

$$\text{mit } \omega_{Turm} = n_{Turm} \cdot \frac{2\pi}{60} = 3,283 \cdot \frac{2\pi}{60} = 0,344 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P_{Dach} = -P_{Motor} - P_{Turm} = -17,907 \text{ kW} - (-2,588) \text{ kW} = -\mathbf{15,319 \text{ kW}} \quad 1,5 \text{ P}$$

mit $P_{Motor} = \omega_{Motor} \cdot M_{Motor} = 47,124 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 380 \text{ Nm} = 17,907 \text{ kW}$

mit $\omega_{Motor} = n_{Motor} \cdot \frac{2\pi}{60} = 450 \cdot \frac{2\pi}{60} = 47,124 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

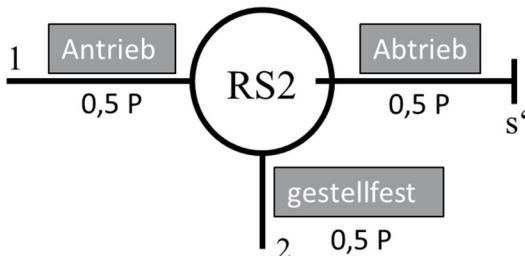
2.4 Drehzahlverhältnis $k_{2's}$ $\Sigma 1 \text{ P}$

$$k_{2's} = \frac{n_{2'}}{n_{s'}} = \frac{n_{2'K}}{n_{s'K}} = \frac{n_{s'}}{n_{s'K}} = 1 \quad 1 \text{ P}$$

2.5 Betriebsmodus Radsatz 2 $\Sigma 1 \text{ P}$

Zweiwellenbetrieb, da Kupplung 1 für Betriebsmodus 3 das Hohlrad 2' festsetzt. 1 P

2.6 Wellenzuordnung $\Sigma 1,5 \text{ P}$



Antrieb 0,5 P

Abtrieb 0,5 P

gestellfest 0,5 P

2.7 Drehrichtungen $\Sigma 1,5 \text{ P}$

gleichsinnig

Für beide Radsätze erfolgt der Antrieb am Sonnenrad und der Abtrieb über den Steg.

Es ergibt sich eine positive Übersetzung für i_{1s} und $i_{1's'}$. Somit findet keine Drehrichtungsumkehr im Gesamtgetriebe statt und An- und Abtrieb drehen gleichsinnig

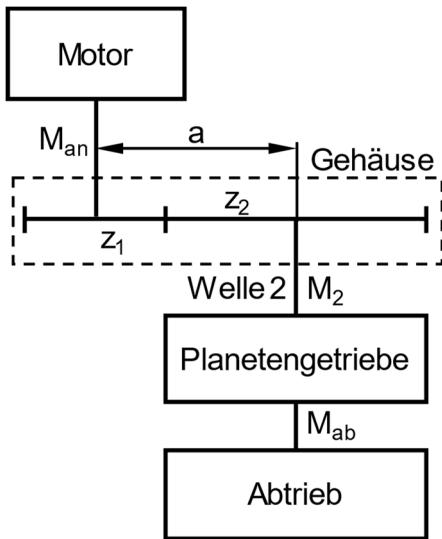
1,5 P

2.8 Teilbewegungen $\Sigma 1 \text{ P}$

Wälzleistung 1 P

Aufgabe 3 (22 Punkte)

Sie legen das Getriebe einer Pistenraupe aus. Das Getriebe besteht aus einer Stirnradstufe und einem dahinterliegenden Planetengetriebe. Sie sind für die Auslegung der Stirnradstufe verantwortlich. Die Getriebeübersetzung ergibt sich zum einen aus den erforderlichen Drehzahlen am Abtrieb und zum anderen aus den maximal zulässigen Momenten zur Bereitstellung der Zugkraft der Pistenraupe. Sie legen im Folgenden die Geometrie der Verzahnung so aus, dass die Anforderungen an die Übersetzung erfüllt sind und das Getriebe in den vorgegebenen Bauraum passt.



Betriebspunkt und Übersetzungen

| | | | | |
|------------------------------|---------------|---|-------|----|
| Maximalmoment Abtrieb | $M_{ab, max}$ | = | 25000 | Nm |
| Antriebsmoment | M_{an} | = | 1600 | Nm |
| Übersetzung Planetengetriebe | i_{Pl} | = | -8 | |
| Minimale Gesamtübersetzung | i_{min} | = | 15 | |

Getriebegrößen

| | | | | |
|---------------------------|------------|---|---------------|----|
| Achsabstand | a | = | 96 | mm |
| Normaleingriffswinkel | α_n | = | 23 | ° |
| Schrägungswinkel | β | = | 30 | ° |
| Modul | m_n | = | 2,5 | mm |
| Zähnezahl Rad 1 | z_1 | = | 23 | |
| Wärmebehandlungsverfahren | | | Einsatzhärten | |

Hinweise:

- Nutzen Sie zur Lösung der Aufgabe die Diagramme auf Hilfsblatt 1 zu Aufgabe 3.
- Nehmen Sie alle Komponenten als verlustfrei an.
- Die Fuß- und Kopfhöhen sind entsprechend DIN 867 festgelegt.

| | |
|--|---|
| 3.1 Bestimmen Sie die Zähnezahl des Rads 2 z_2 der Stirnradstufe. (3 Punkte) | |
| 3.1.1 | Berechnen Sie die minimal erforderliche Übersetzung $i_{min,St}$ der Stirnradstufe. |
| 3.1.2 | Berechnen Sie das aus dem maximalen Abtriebsmoment M_{ab} resultierende Maximalmoment an der Welle 2 M_2 in Nm. |
| 3.1.3 | Berechnen Sie die maximal erforderliche Übersetzung der Stirnradstufe $i_{max,St}$. |
| 3.1.4 | Berechnen Sie die Zähnezahl z_2 des Rads 2 der Stirnradstufe. |

Falls Sie Aufgabenteil 3.1 nicht lösen konnten, rechnen Sie mit $z_2 = 46$ weiter.

- 3.2 Wie ändert sich die Ausgangsdrehzahl einer Stirnradstufe qualitativ bei konstanter Eingangsdrehzahl und geringerem Wirkungsgrad? (1,5 Punkte)

Die Positionen von Motor und Planetengetriebe und damit der Achsabstand der Stirnradstufe im Getriebe sind im Vorfeld bereits vorgegeben worden. Damit die Stirnradstufe unter Einhaltung des Achsabstands in den Antriebsstrang integriert werden kann, wollen Sie daher eine Profilverschiebung vornehmen. Im Folgenden ermitteln Sie die Profilverschiebungsfaktoren der Zahnräder.

- 3.3 Welcher Effekt begrenzt den maximalen Betrag der negativen Profilverschiebung eines Zahnrads? (1 Punkt)

- 3.4 Ermitteln Sie die zur Einhaltung des vorgegebenen Achsabstands erforderliche Profilverschiebung. (6 Punkte)

| | |
|-------|--|
| 3.4.1 | Berechnen Sie den Stirneingriffswinkel α_t in Grad. |
| 3.4.2 | Berechnen Sie den Null-Achsabstand a_d in mm. |
| 3.4.3 | Berechnen Sie den Betriebseingriffswinkel α_{wt} in Grad. |
| 3.4.4 | Berechnen Sie die Summe der Profilverschiebungsfaktoren $\sum x$. |
| 3.4.5 | Bestimmen Sie den Profilverschiebungsfaktor x_1 mithilfe des Diagramms auf dem Hilfsblatt. |
| 3.4.6 | Berechnen Sie den Profilverschiebungsfaktor x_2 . |

Falls Sie Aufgabenteil 3.4 nicht lösen konnten, rechnen Sie mit $\sum x = -0,4$, $x_1 = 0,05$ und $a_d = 96,2$ mm weiter.

Aufgrund Ihrer Erfahrung in der Verzahnungsauslegung wissen Sie, dass bei positiven Profilverschiebungen die Gefahr von Spitzzahnbildung besteht. Daher wollen Sie im Folgenden sicherstellen, dass Ihre Verzahnung die Anforderungen hinsichtlich Spitzzahnbildung erfüllt.

| | |
|--|---|
| 3.5 Prüfen Sie Rad 1 hinsichtlich des Risikos auf Spitzzahnbildung. (7 Punkte) | |
| 3.5.1 | Berechnen Sie den Teilkreisdurchmesser des Zahnrad 1 d_1 in mm. |
| 3.5.2 | Berechnen Sie den Grundkreisdurchmesser des Zahnrad 1 d_{b1} in mm. |
| 3.5.3 | Berechnen Sie die Kopfkürzung der Verzahnung k in mm. |
| 3.5.4 | Berechnen Sie den Kopfkreisdurchmesser des Zahnrad 1 d_{a1} in mm. |
| 3.5.5 | Berechnen Sie den Stirneingriffswinkel am Kopfkreis des Zahnrad 1 α_{at1} in Grad. |
| 3.5.6 | Bestimmen Sie die Zahnkopfdicke des Zahnrad 1 am Kopfkreis s_{an1} in mm. |
| 3.5.7 | Besteht auf Basis Ihrer Ergebnisse ein Risiko hinsichtlich Spitzzahnbildung? |
| 3.6 Welcher Durchmesser ist für den Bauraum eines Zahnrad maßgebend? (1 Punkt) | |
| 3.7 | Welche Zahnflankenkorrektur eignet sich, um den Eingriffsstoß einer Verzahnung, das heißt den vorzeitigen Eingriff eines Zahns zu vermindern? (1 Punkt) |
| 3.8 | Eine Verzahnung hat den Schrägungswinkel $\beta = 20^\circ$ und die Teilung $p_t = 5$ mm. Bestimmen Sie die für geringe Kraftschwankungen bestgeeignete gemeinsame Breite b in mm. (1,5 Punkte) |

Hilfsblatt 1 zu Aufgabe 3

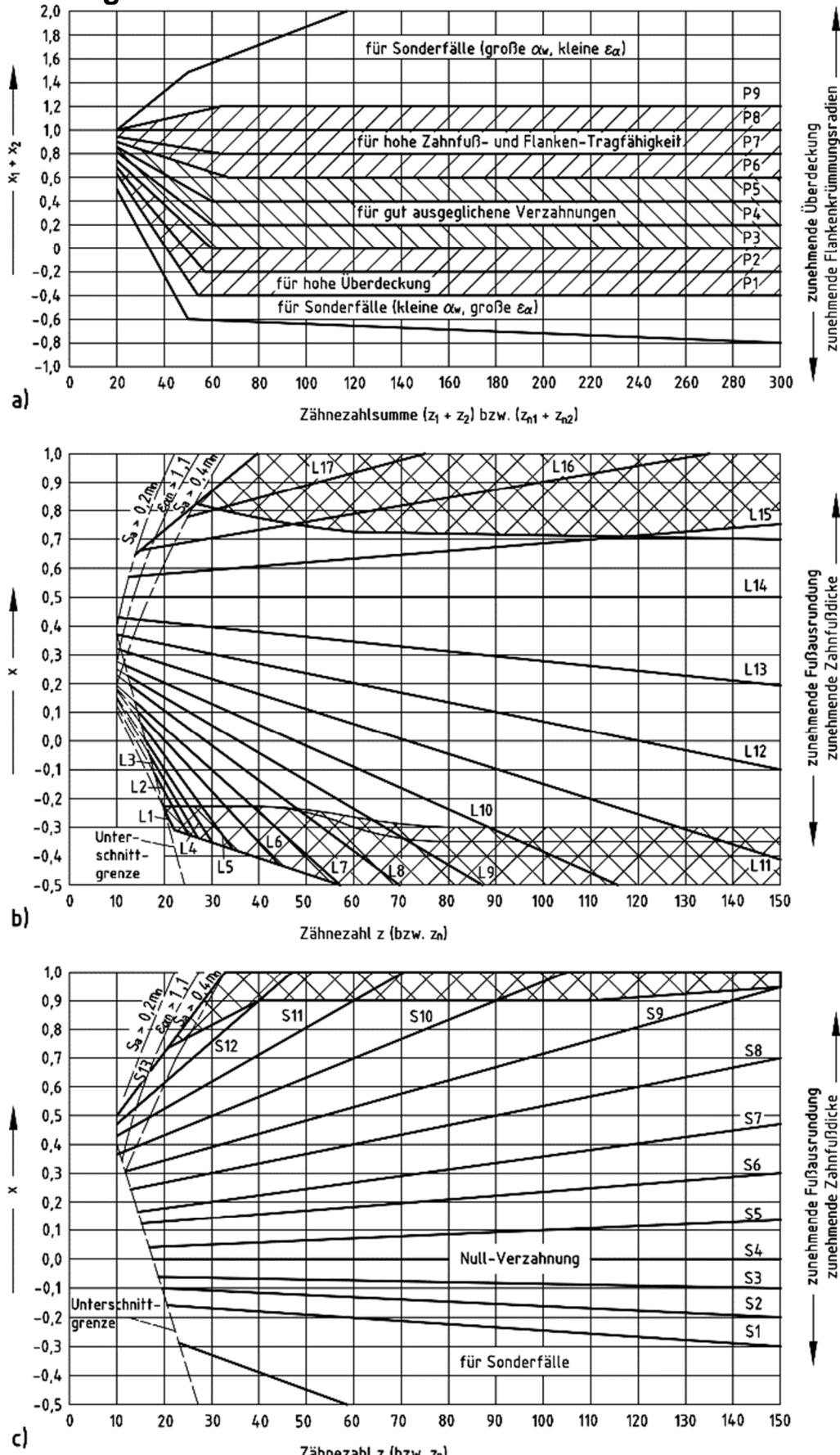


Bild 3.1: Wahl der Profilverschiebung für Außenradpaare nach DIN 3992; Diagramm a: Empfehlungen für die Summe der Profilverschiebungsfaktoren; Diagramm b: Aufteilung der Profilverschiebungssumme auf Ritzel und Rad für Übersetzungen ins Langsame (Paarungslinien L1 bis L17); Diagramm c: Aufteilung der Profilverschiebungssumme auf Ritzel und Rad für Übersetzungen ins Schnelle (Paarungslinien S1 bis S17)

Lösung zur Aufgabe 3

3.1 Bestimmen Sie die Zähnezahl des Rads 2 z_2 der Stirnradstufe.

Σ 3 P

Die minimale Getriebeübersetzung ergibt sich aus der minimalen Gesamtübersetzung und der bereits feststehenden Übersetzung des Planetengetriebes

$$i_{Getr,min} = \frac{i_{min}}{i_{Pl}} = \frac{15}{-8} = -1,875$$

0,5 P

Das Maximalmoment an der Welle 2 M_2 ergibt sich aus dem Maximalmoment am Abtrieb, welches über die Planetengetriebe-Übersetzung auf die Welle 2 übersetzt werden kann

$$M_2 = -\frac{M_{ab}}{i_{Pl} \cdot \eta} = 3125 \text{ Nm}$$

0,5 P

mit $\eta = 1$, da verlustfrei

Die maximal erforderliche Getriebeübersetzung ergibt sich aus dem maximal erforderlichen Moment an der Welle 2 und dem Motormoment

$$i_{Getr,max} = -\frac{M_2}{M_{an} \cdot \eta} = -1,953$$

0,5 P

Die minimale und maximale Grenze für z_2 ergeben sich aus den minimalen und maximalen Übersetzungen des Getriebes

$$z_{2,min} = -i_{Getr,min} \cdot z_1 = 43,125$$

$$z_{2,max} = -i_{Getr,max} \cdot z_1 = 44,919$$

z_2 ist dann ein ganzzahliger Wert in diesen Grenzen

$$z_2 = 44$$

1,5 P

3.2 Wie ändert sich die Ausgangsdrehzahl einer Verzahnung bei konstanter Eingangs drehzahl und geringerem Wirkungsgrad?

Σ 1,5 P

Garnicht, das Drehzahlverhältnis bei Verzahnungen (die Übersetzung) ist wirkungsgradunabhängig (Formschluss)

1,5 P

3.3 Welcher Effekt begrenzt den maximalen Betrag der negativen Profilverschiebung eines Zahnrads?

Σ 1 P

Unterschnitt

1 P

3.4 Ermitteln Sie die zur Einhaltung des vorgegebenen Achsabstands erforderliche Profilverschiebung.

Σ 6 P

$$\alpha_t = \arctan\left(\frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta)}\right) = 26,111^\circ$$

0,5 P

$$a_d = \frac{(z_1 + z_2) \cdot m_n}{2 \cdot \cos(\beta)} = 96,706 \text{ mm}$$

0,5 P

$$\alpha_{wt} = \arccos\left(\frac{a_d}{a} \cdot \cos(\alpha_t)\right) = 25,238^\circ$$

1 P

$$\Sigma x = \frac{(z_1 + z_2) \cdot (\text{inv}(\alpha_{wt}) - \text{inv}(\alpha_t))}{2 \cdot \tan(\alpha_n)} = -0,278 \quad 1,5 \text{ P}$$

mit

$$\text{inv}(\alpha_{wt}) = \tan(\alpha_{wt}) - \hat{\alpha}_{wt} = 0,030888 \text{ und } \text{inv}(\alpha_t) = \tan(\alpha_t) - \hat{\alpha}_t = 0,034410$$

$$x_1 = 0,02 \quad 2 \text{ P}$$

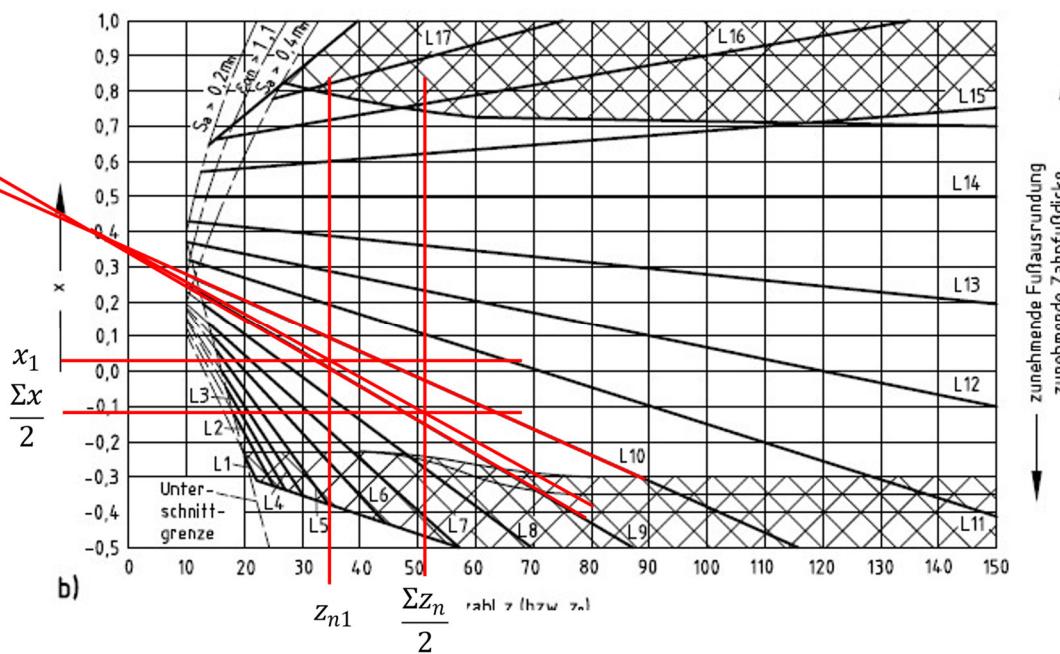
Berechnung der Ersatzzähnezahlen

$$z_{n1} = \frac{z_1}{\cos^3(\beta)} = 35,411$$

$$z_{n2} = \frac{z_2}{\cos^3(\beta)} = 67,742$$

$$\frac{z_{n1} + z_{n2}}{2} = 51,577$$

$$\frac{\Sigma x}{2} = -0,139$$



$$x_2 = \Sigma x - x_1 = -0,298 \quad 0,5 \text{ P}$$

3.5 Prüfen Sie Rad 2 hinsichtlich des Risikos auf Spitzzahnbildung. Σ 7 P

Berechnung Teilkreisdurchmesser Rad 1

$$d_1 = z_1 \cdot \frac{m_n}{\cos(\beta)} = 66,395 \text{ mm} \quad 0,5 \text{ P}$$

Berechnung Grundkreisdurchmesser Rad 1

$$d_{b1} = d \cdot \cos(\alpha_t) = 59,619 \text{ mm} \quad 0,5 \text{ P}$$

Berechnung Kopfkürzung k

$$k = a - a_d - m_n \cdot \Sigma x = -0,011 \text{ mm} \quad 0,5 \text{ P}$$

Berechnung Kopfkreisdurchmesser

$$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot x_1 \cdot m_n + 2 \cdot h_{ap} + 2 \cdot k = 71,473 \text{ mm}$$

1 P

Mit $h_{ap} = 1 \cdot m_n$ nach DIN 867

Berechnung Stirneingriffswinkel am Kopfkreis α_{at}

Es gilt für einen allgemeinen Punkt auf der Evolente

$$r_b = r_y \cdot \cos(\alpha_y)$$

Daraus folgt für den Stirneingriffswinkel am Kopfkreis ($y \rightarrow a$)

$$\alpha_{at1} = \arccos\left(\frac{r_b}{r_a}\right) = \arccos\left(\frac{d_b}{d_a}\right) = 33,473^\circ$$

1,5 P

Für die Zahnkopfdicke s_{an1} gilt

$$s_{an1} = s_{at1} \cdot \cos(\beta) = 1,637 \text{ mm}$$

2 P

$$\text{Mit } s_{at1} = d_{a1} \cdot \left(\frac{(\pi + 4 \cdot x_1 \cdot \tan(\alpha_n))}{2 \cdot z_1} + \operatorname{inv}(\alpha_t) - \operatorname{inv}(\alpha_{at}) \right) = 1,890 \text{ mm}$$

$$\operatorname{inv}(\alpha_t) = \tan(\alpha_t) - \hat{\alpha}_t = 0,034410$$

$$\operatorname{inv}(\alpha_{at}) = \tan(\alpha_{at}) - \hat{\alpha}_{at} = 0,076994$$

$$s_{an1\ min} = 0,4 \cdot m_n = 1 \text{ mm für gehärtete Zähne. Damit } s_{an1} > s_{an1\ min}$$

1 P

→ **Nein**, es besteht kein Risiko hinsichtlich Spitzzahnbildung

3.6 Welcher Durchmesser ist für den Bauraum eines Zahnrad s maßgebend? Σ 1 P

Der **Kopfkreisdurchmesser**, da es der äußerste Durchmesser ist

1 P

3.7 Welche Zahnflankenkorrektur eignet sich, um den Eingriffsstoß einer Verzahnung, d.h. den vorzeitigen Eingriff eines Zahns zu verhindern? Σ 1 P

Kopfrücknahme, Fußrücknahme oder Höhenballigkeit

1 P

3.8 Eine Verzahnung hat den Schrägungswinkel β = 20° und die Teilung pt = 5 mm. Bestimmen Sie die für geringe Kraftschwankungen bestgeeignete gemeinsame Breite b. Σ 1,5 P

Maßgebend für geringe Kraftschwankungen ist die Sprungüberdeckung ε_β . Diese muss dazu einen ganzzahligen Wert annehmen.

$$\varepsilon_\beta = b \cdot \frac{\tan(\beta)}{p_t} = \text{ganzzahlig} (= 1,2,3, \dots)$$

$$b = 13,737 \text{ mm, alternativ Vielfache davon (27,474 mm, 41,211 mm)}$$

1,5 P

Aufgabe 4 (22 Punkte)

Die Geräuschemission einer Flugzeugturbine soll zur Steigerung des Wohlbefindens der Fluggäste gesenkt werden. Dazu soll die Radialwälzlagerung durch eine Radialgleitlagerung ersetzt werden, da Gleitlager gute Dämpfungseigenschaften aufweisen. Die auf die Lagerung wirkenden Kräfte werden auf zwei Radialgleitlager aufgeteilt. Dabei erfährt das höherbelastete Lager die doppelte Last des geringer belasteten Lagers. Die Wärmeabgabe erfolgt über Konvektion. Für den Wechsel von einer Wälzlagerung auf eine Gleitlagerung soll bei gegebenem Bauraum die Machbarkeit des Wechsels eingeschätzt werden. Sie betrachten hierbei das höherbelastete Lager.

| | | | | | |
|--|---------------------|---------------------|--|---------------------|------------------------------|
| Lager-durchmesser | D | = 100 mm | Rotordrehzahl bei Reisegeschwindigkeit | n | = 25000 min ⁻¹ |
| Lagerbreite | B | = 120 mm | Unwucht | U | = 500 g·mm |
| Schmierstoff | | ISO VG 68 | Rotormasse | m | = 2,5 t |
| Lagerwerkstoff | | Aluminium-Legierung | Relatives Lagerspiel | Ψ | = 1,3 % |
| Fertigungsgüte | C_u | = 1 m ⁻¹ | Grenztemperatur Öl | ϑ_{Grenz} | = 80 °C |
| Umgebungs-temperatur bei Reiseflughöhe | ϑ_{Reise} | = -20 °C | Wärmeübergangskoeffizient | α | = 11820 W/(m ² K) |
| Umgebungs-temperatur auf Bodenniveau | ϑ_{Boden} | = 20 °C | Eintrittstemperatur des Öls am Lager | ϑ_e | = 50 °C |

Hinweise:

- Nutzen Sie zur Lösung der Aufgabe die Diagramme auf den Hilfsblättern 1 bis 3 zu Aufgabe 4.
- Nehmen Sie für die Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ an.
- Die Unwuchtkräfte berechnen sich nach $F_U = U \cdot \omega^2$.
- Für die wärmeabgebende Lageroberfläche schätzen Sie zur sicheren Seite ab.

Weisen Sie zunächst die Werkstofffestigkeit nach. Die Lagerung wird durch die Gewichtskraft und die Unwuchtkraft des Rotors belastet.

| | |
|--|---|
| 4.1 Prüfen Sie die Werkstofffestigkeit des Gleitlagers. (4 Punkte) | |
| 4.1.1 | Berechnen Sie die Unwuchtkraft F_U in kN. |
| 4.1.2 | Berechnen Sie die Gewichtskraft F_G in kN. |
| 4.1.3 | Berechnen Sie die maximale Gesamtkraft, welche auf das höherbelastete Lager wirkt, F_{Ges} in kN. |
| 4.1.4 | Berechnen Sie die mittlere Flächenpressung für das höherbelastete Lager \bar{p} in MPa. |
| 4.1.5 | Ist die Werkstoffsicherheit auf Basis Ihrer Ergebnisse gegeben? |

Falls Sie Aufgabenteil 4.1 nicht lösen konnten, rechnen Sie mit $F_{Ges} = 19 \text{ kN}$ weiter.

- | | |
|-----|---|
| 4.2 | Wie ändert sich das Tragverhalten eines Radialgleitlagers qualitativ bei Verringerung der Breite und gleichbleibender Sommerfeldzahl? (1 Punkt) |
|-----|---|

Für die Wälzlagierung wurde ein Öl der Viskositätsklasse ISO VG 68 verwendet. Da bei dem Fluglinienbetreiber noch ein großer Bestand des Öls vorhanden ist, soll geprüft werden, ob das ISO VG 68 Öl auch für den Betrieb der Gleitlagerung geeignet ist. Prüfen Sie zunächst, ob die Gleitlagerung temperatursicher mit dem Öl betrieben werden kann. Die Wärmeabgabe erfolgt über Konvektion. Nehmen Sie an, dass $So < 1$ gilt. Beachten Sie den erhöhten Wärmeübergangskoeffizienten aus der Aufgabenstellung.

- | | |
|-----|---|
| 4.3 | Prüfen Sie die Temperatursicherheit des Gleitlagers bei Reiseflughöhe. (4 Punkte) |
|-----|---|

- | | |
|-------|--|
| 4.3.1 | Berechnen Sie die Umfangsgeschwindigkeit u des Gleitlagers bei Reisegeschwindigkeit in m/s. |
| 4.3.2 | Berechnen Sie die Erwärmungszahl W' bei Reisegeschwindigkeit in $\frac{K}{Pa \cdot s}$. |
| 4.3.3 | Bestimmen Sie die Temperatur T im Gleitlager bei Reisegeschwindigkeit in °C. |
| 4.3.4 | Kann das Gleitlager mit dem ISO VG 68 Öl auf Basis Ihrer Ergebnisse temperatursicher betrieben werden? |

Falls Sie Aufgabenteil 4.3 nicht lösen konnten, rechnen Sie mit $u = 129 \text{ m/s}$ und $T = 72^\circ\text{C}$ weiter.

- | | |
|-----|--|
| 4.4 | Wie ändert sich die maximale Betriebstemperatur bei Vergrößerung des Lagerdurchmessers und gleichbleibendem Lagerspiel qualitativ? (1 Punkt) |
|-----|--|

Während des Landeprozesses wird die Drehzahl des Rotors abrupt auf 1.200 min^{-1} reduziert. Prüfen Sie, ob bei dieser Drehzahl die Verschleißsicherheit gegeben ist. Aufgrund der Drehzahlreduktion verringert sich die auf das Lager wirkende Gesamtkraft auf $F_{Ges} = 16,355 \text{ kN}$. Gehen Sie weiterhin davon aus, dass $So < 1$ gilt.

- | | |
|-------|--|
| 4.5 | Prüfen Sie die Verschleißsicherheit des Gleitlagers. (4 Punkte) |
| 4.5.1 | Bestimmen Sie die Viskosität η zu diesem Lastfall in Pas. Gehen Sie von einer isothermen Zustandsänderung während des Landeprozesses aus. |
| 4.5.2 | Berechnen Sie das Lagervolumen V in l. |
| 4.5.3 | Berechnen Sie die Übergangsdröhzahl $n_{\bar{u}}$ in min^{-1} . |
| 4.5.4 | Bestimmen Sie den minimal erforderlichen Sicherheitsabstand ($n/n_{\bar{u}}$) _{min} . |
| 4.5.5 | Berechnen Sie den Abstand $n/n_{\bar{u}}$. |
| 4.5.6 | Ist das Gleitlager auf Basis Ihrer Ergebnisse verschleißsicher ausgelegt? |

- 4.6 Nennen Sie eine Betriebsgröße durch deren Erhöhung die Tragfähigkeit des Lagers bei konstanter Belastung ansteigt? (**1 Punkt**)

Nach der Landung soll das Gleitlager durch einen zusätzlichen Ölkühlkreislauf auf eine Temperatur von 62°C gekühlt werden. Beachten Sie die Umgebungstemperatur auf Bodenniveau. Da das Gleitlagergehäuse nach der Landung nicht mehr von der entgegenkommenden Luft angeströmt wird, sinkt der Wärmeübergangskoeffizient auf $\alpha_{neu} = 15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Die auf das Lager wirkende Gesamtkraft beträgt weiterhin $F_{\text{Ges}} = 16,355 \text{ kN}$.

- 4.7 Berechnen Sie den erforderlichen Ölvolumenstrom, um das Gleitlager auf eine Temperatur von 62°C zu senken. (**5 Punkte**)

4.7.1 Berechnen Sie zunächst die sich einstellende Sommerfeldzahl So .

4.7.2 Berechnen Sie den Reibwert f .

4.7.3 Berechnen Sie die in das Gleitlager eingebrachte Wärme P_{th} in W.

4.7.4 Berechnen Sie die durch reine Konvektion abgeföhrte Wärme P_G in W.

4.7.5 Berechnen Sie den erforderlichen Ölvolumenstrom Q_k in l/min.

- 4.8 Um welchen Faktor erhöht sich der Vergleichsölstrom eines Gleitlagers, wenn sich der Durchmesser des Gleitlagers bei konstantem Lagerspiel und konstanter Drehzahl verdoppelt? (**1 Punkt**)

- 4.9 Nennen Sie eine Bauform eines Mehrflächengleitlagers (**1 Punkt**)

Hilfsblatt 1 zu Aufgabe 4

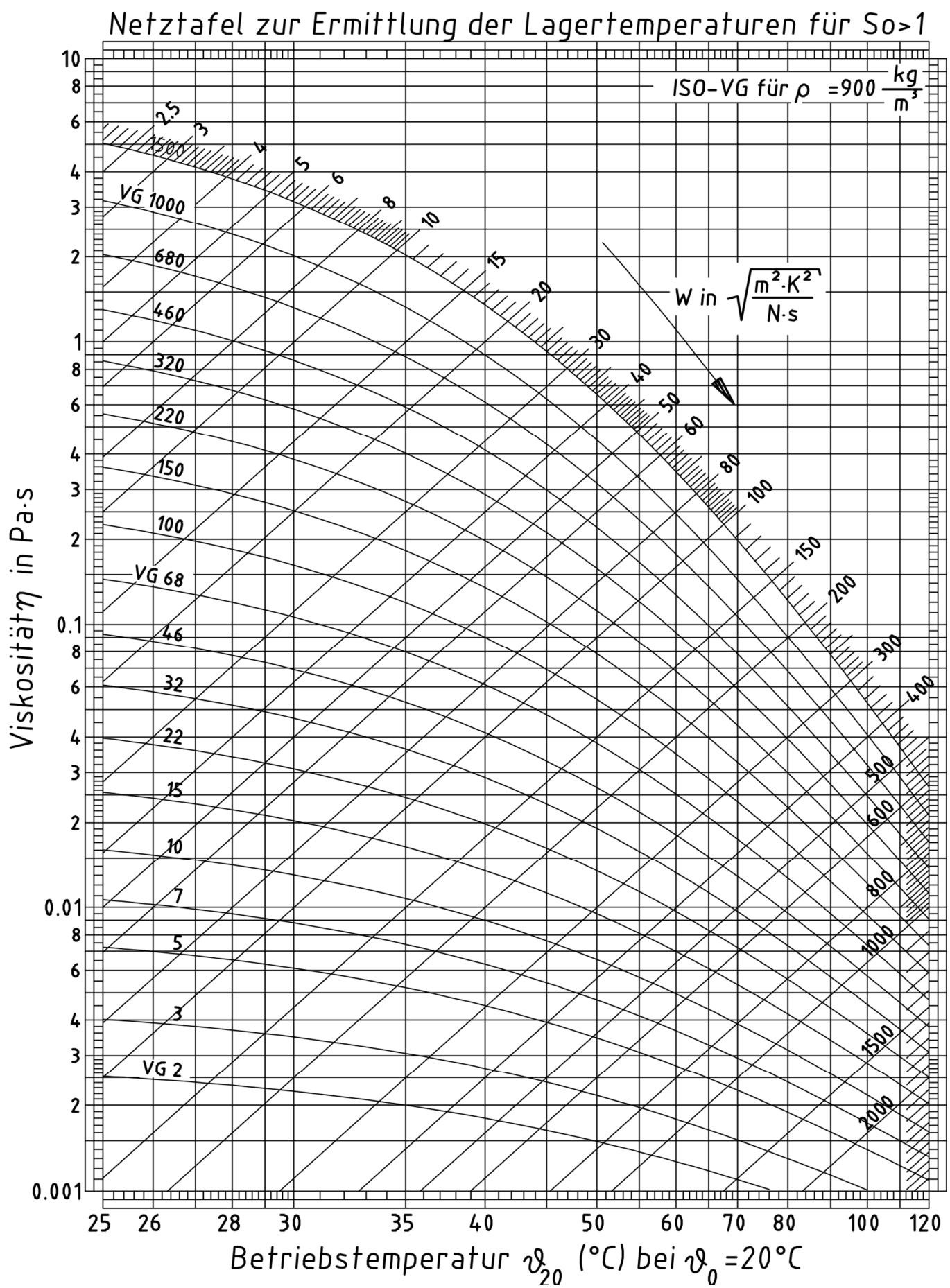


Bild 4.1: Netztafel für den Bereich $S_0 > 1$

Hilfsblatt 2 zu Aufgabe 4

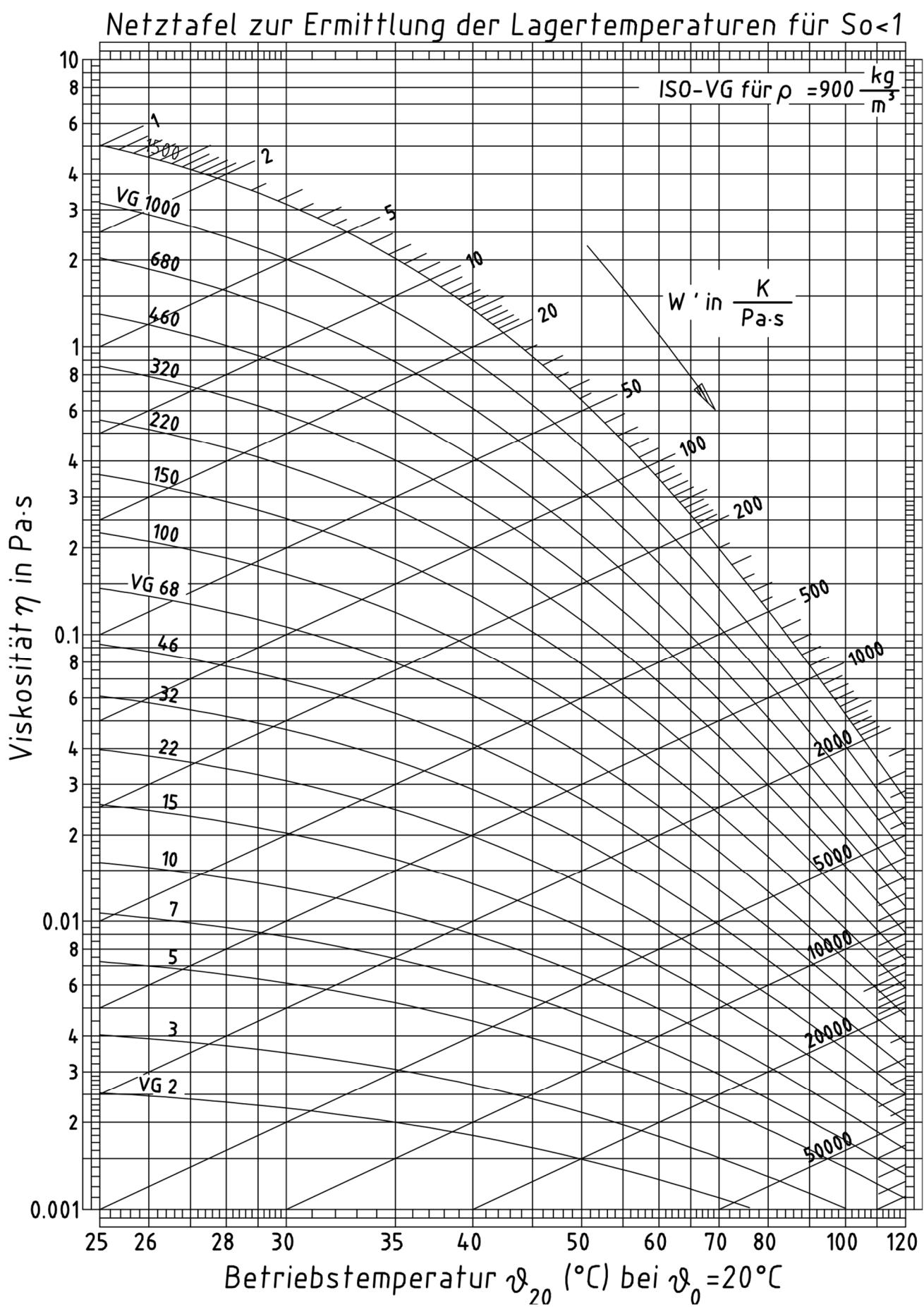


Bild 4.2: Netztafel für den Bereich $S_0 < 1$

Hilfsblatt 3 zu Aufgabe 4

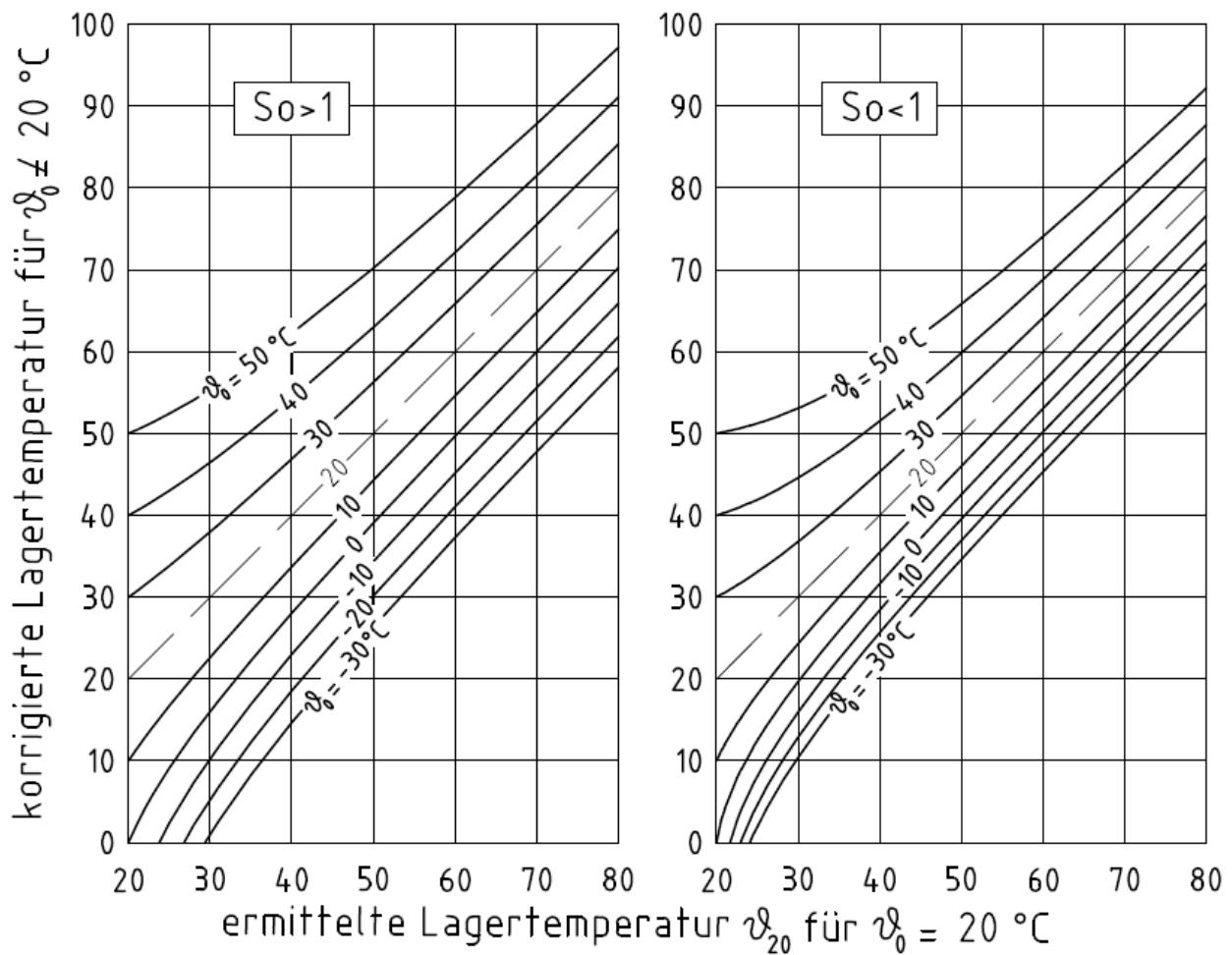


Bild 4.3: Korrektur der Lagertemperatur für von 20°C abweichende Umgebungstemperaturen

Lösung zur Aufgabe 4

4.1 Werkstofffestigkeit des Gleitlagers

Σ 4 P

$$F_U = U \cdot \omega^2 = 3,427 \text{ kN}$$

0,5 P

mit:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n = 2 \cdot \pi \cdot \frac{25000 \text{ U/min}}{60 \text{ s/min}} = 2617,994 \text{ rad/s}$$

$$F_G = m \cdot g = 2500 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 24,525 \text{ kN}$$

0,5 P

$$F_{Ges} = \frac{2}{3} \cdot (F_U + F_G) = 18,635 \text{ kN}$$

1 P

$$\bar{p} = \frac{F}{B \cdot D} = \frac{18,635 \text{ kN}}{120 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm}} = 1,553 \text{ MPa}$$

1 P

1,553 MPa \leq 7 MPa (p_{zul} für Aluminium Legierungen) → Ja, Werkstoffsicherheit ist gegeben. 1 P

4.2 Änderung des Tragverhaltens

Σ 1 P

Radialgleitlager haben - unabhängig von ihrer Baugröße - bei gleicher Sommerfeldzahl So das gleiche Tragverhalten.

→ bleibt gleich

1 P

4.3 Temperatursicherheit des Gleitlagers

Σ 4 P

$$u = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot \frac{D}{2} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{25000 \text{ U/min}}{60 \text{ s/min}} \cdot \frac{0,1 \text{ m}}{2} = 130,900 \text{ m/s}$$

0,5 P

So < 1

$$\Delta\vartheta = W' \cdot \sqrt{\eta}$$

$$W' = \frac{6 \cdot B \cdot u^2}{\alpha \cdot A \cdot \psi}$$

$$W' = \frac{6 \cdot 0,12 \text{ m} \cdot (130,900 \text{ m/s})^2}{11820 \frac{W}{\text{m}^2 \text{K}} \cdot 0,18 \text{ m}^2 \cdot 0,0013} = 4460,448 \frac{\text{K}}{\text{Pa} \cdot \text{s}}$$

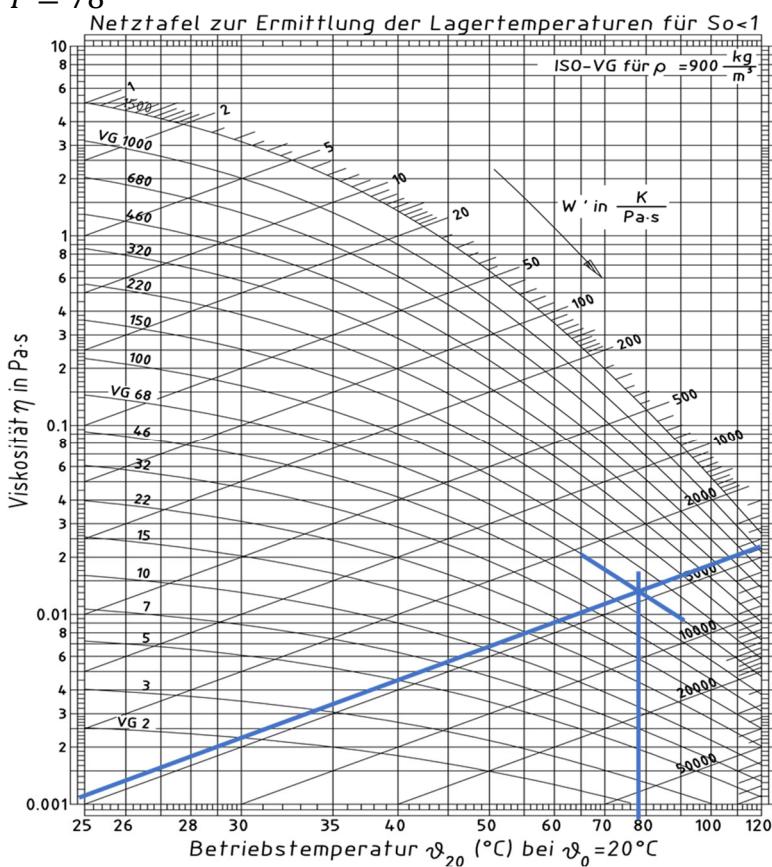
1,5 P

mit:

$$A = 15 \cdot 0,12 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ m} = 0,18 \text{ m}^2$$

Abgelesen in Netztafel $So < 1$:

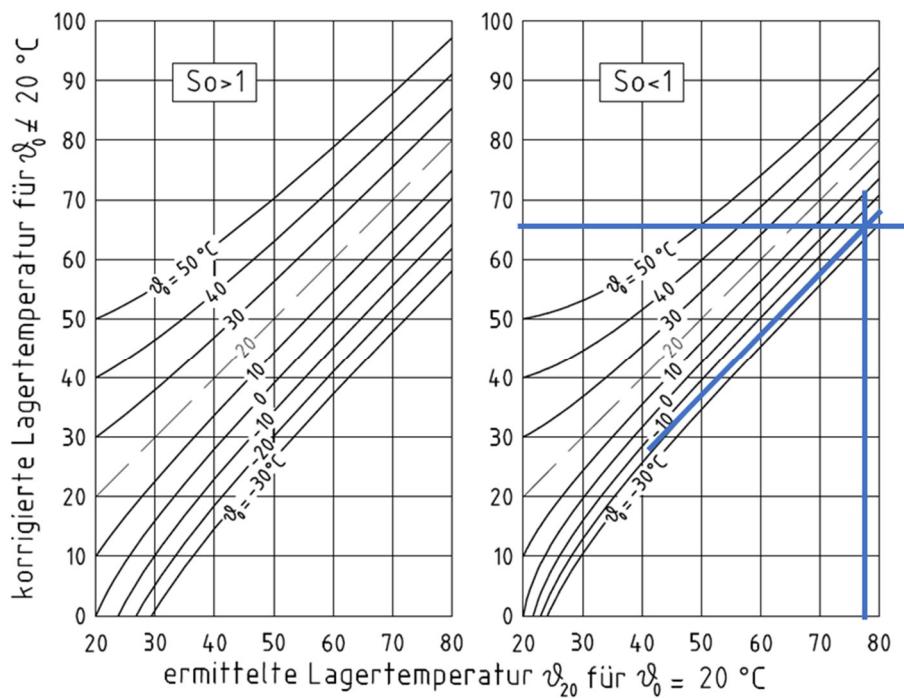
$$T = 78^\circ\text{C}$$



Abgelesen in Korrekturtafel $So < 1$:

$$T = 66^\circ\text{C}$$

1,5 P



$$\vartheta < \vartheta_{Grenz} = \min(\vartheta_{Grenz, Öl}, \vartheta_{Grenz, Werkstoff})$$

$$66^\circ C < 80^\circ C$$

→ Ja, das Gleitlager kann temperatursicher betrieben werden.

0,5 P

mit:

$$\vartheta_{Grenz, Öl} = 80^\circ \rightarrow \text{aus Aufgabenstellung}$$

$\vartheta_{Grenz, Werkstoff} = 150^\circ C \rightarrow \text{Für Aluminium-Legierungen (siehe Skript, Ausgabe 2024, S.99)}$

4.4 Änderung der maximalen Temperatur

Σ 1 P

$$W' = \frac{6 \cdot B \cdot u^2}{\alpha \cdot A \cdot \psi}$$

$D \uparrow \rightarrow A \uparrow, u \uparrow \rightarrow W \uparrow \rightarrow T \uparrow$

→ Die Temperatur steigt.

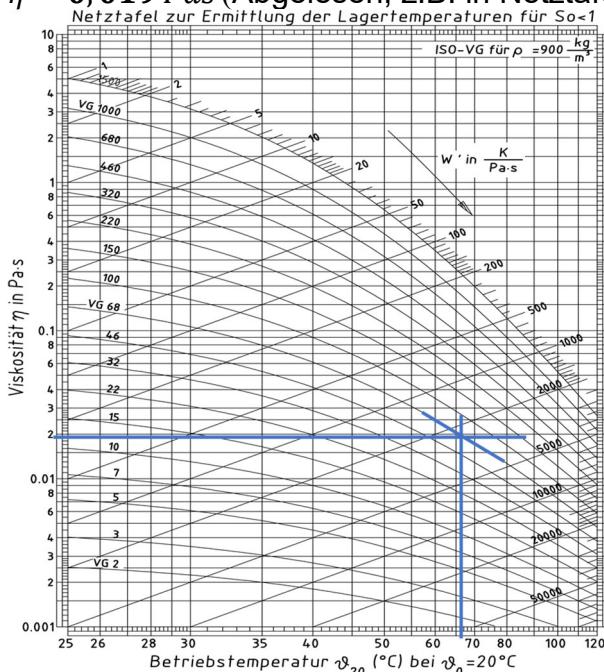
1 P

4.5 Verschleißsicherheit des Gleitlagers

Σ 4 P

$$\eta = 0,019 \text{ Pas (Abgelesen, z.B. in Netztafel So<1)}$$

0,5 P



$$V = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot B = \frac{\pi}{4} \cdot (0,1 \text{ m})^2 \cdot 0,12 \text{ m} = 0,942 \text{ l}$$

0,5 P

$$n_{\ddot{u}} = \frac{10^{-8} \cdot F}{6 \cdot C_{\ddot{u}} \cdot \eta \cdot V} = \frac{10^{-8} \cdot 16355 \text{ N}}{6 \cdot 1 \frac{1}{m} \cdot 0,019 \text{ Pas} \cdot 0,942 \text{ l} \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{l}} \cdot 60 \frac{s}{min} = 91,379 \frac{1}{min}$$

1 P

$$u = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot \frac{D}{2} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{1200 \text{ U/min}}{60 \text{ s/min}} \cdot \frac{0,1 \text{ m}}{2} = 6,283 \frac{m}{s}$$

$$\rightarrow \left(\frac{n}{n_{\ddot{u}}} \right)_{min} \geq |u| = 6,283$$

1 P

$$\frac{n}{n_{\ddot{u}}} = \frac{1200 \text{ U/min}}{91,379 \text{ U/min}} = 13,132$$

0,5 P

→ Ja, das Gleitlager ist verschleißsicher ausgelegt, da $\frac{n}{n_{\ddot{u}}} > \left(\frac{n}{n_{\ddot{u}}} \right)_{min}$

0,5 P

4.6 Proportionale Steigerung der Tragfähigkeit des Lagers

Σ 1 P

Die Tragfähigkeit des Lagers steigt proportional durch Erhöhung der

- Drehzahl
- Viskosität

1 P

Nennung von **einer** der beiden Größen.

4.7 Erforderlicher Ölvolumestrom, um das Gleitlager auf 62°C zu kühlen

Σ 5 P

$$So = \frac{\bar{p} \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega} = 0,797$$

1,5 P

mit:

$\eta = 0,023 \text{ Pas}$ (Abgelesen, z.B. in Netztafel So<1)

$$So < 1$$

0,5 P

$$f = \frac{3 \cdot \psi}{So} = \frac{3 \cdot 0,0013}{0,797} = 4,893 \cdot 10^{-3}$$

$$P_{th} = f \cdot F \cdot u = f \cdot F \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot \frac{D}{2} = 4,893 \cdot 10^{-3} \cdot 16,355 \text{ kN} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{1200 \text{ U/min}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} \cdot \frac{0,1 \text{ m}}{2} =$$

1 P

502,812 W

$$P_G = \alpha \cdot A \cdot (\vartheta - \vartheta_{Boden}) = 15 \frac{W}{m^2 K} \cdot 0,18 \text{ m}^2 \cdot (62^\circ C - 20^\circ C) = 113,400 \text{ W}$$

0,5 P

$$P_{th} = P_G + k \cdot Q_k \cdot (\vartheta_a - \vartheta_e)$$

$$\vartheta_a = 2 \cdot \vartheta - \vartheta_e = 74^\circ C$$

$$Q_k = \frac{P_{th} - P_G}{k \cdot (\vartheta_a - \vartheta_e)} = \frac{502,812 \text{ W} - 113,400 \text{ W}}{1,8 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{m^3 K} \cdot (74^\circ C - 50^\circ C)} \cdot 1000 \frac{l}{m^3} \cdot 60 \frac{s}{min} = 0,541 \frac{l}{min}$$

1,5 P

4.8 Änderung Vergleichsölstrom

Σ 1 P

Lösungsvariante 1: Relatives Lagerspiel konstant:

$$Q_V = \frac{1}{4} \cdot B \cdot U \cdot S = \frac{1}{4} \cdot B \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot \frac{D}{2} \cdot D \cdot \Psi = \left(\frac{1}{4} \cdot B \cdot \pi \cdot n \cdot \Psi \right) \cdot D^2$$

Verdoppelung des Gleitlagerdurchmessers:

$$\frac{Q_{V2}}{Q_{V1}} = \frac{(2 \cdot D)^2}{D^2} = 4$$

→ Der Vergleichsölstrom erhöht sich um den Faktor 4.

1 P

Lösungsvariante 2: Absolutes Lagerspiel konstant:

$$Q_V = \frac{1}{4} \cdot B \cdot U \cdot S = \frac{1}{4} \cdot B \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot \frac{D}{2} \cdot S = \left(\frac{1}{4} \cdot B \cdot \pi \cdot n \cdot S \right) \cdot D$$

Verdoppelung des Gleitlagerdurchmessers:

$$\frac{Q_{V2}}{Q_{V1}} = \frac{2 \cdot D}{D} = 2$$

→ Der Vergleichsölstrom erhöht sich um den Faktor 2.

(1 P)

4.9 Bauform eines Mehrflächengleitlagers

Σ 1 P

Eine der folgenden Antworten ist zu nennen:

1 P

- Zitronenlager
- Radial-Kippsegmentlager
- Mackensen-Lager
- Vierflächen-Lager

Aufgabe 5 (8 Punkte)

5.1 Benennen Sie die betragsmäßig größte Kraft im Zahnkontakt. (1 Punkt)

5.2 Benennen Sie die Zahnkräfte der Abwicklung in Abbildung 5.1. (2 Punkte)

5.2.1 Benennen Sie die mit 5.2.1 markierte Kraft.

5.2.2 Benennen Sie die mit 5.2.2 markierte Kraft.

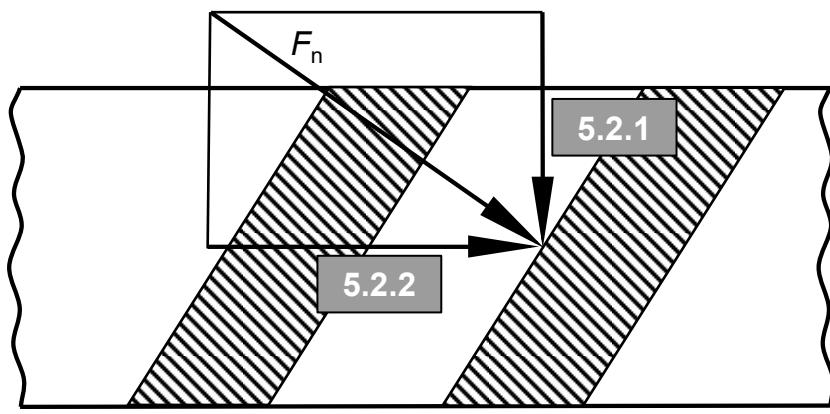


Abbildung 5.1: Zahnkräfte am Stirnrad (Abwicklung)

5.3 Auf welcher Theorie basiert die Berechnung der tatsächlichen Flankenpressung? (1 Punkt)

5.4 Wie groß ist der Schrägungswinkel der Standard-Referenz-Prüfräder nach DIN 3990? (1 Punkt)

5.5 Wie verändert sich der Dynamikfaktor qualitativ bei Verbesserung der Verzahnungsqualität? (1,5 Punkte)

5.6 Mit welchem Nachbehandlungsverfahren kann die Tragfähigkeit von Zahnrädern erhöht werden? (1,5 Punkte)

Lösung zur Aufgabe 5

5.1 Größte Kraft im Zahnkontakt

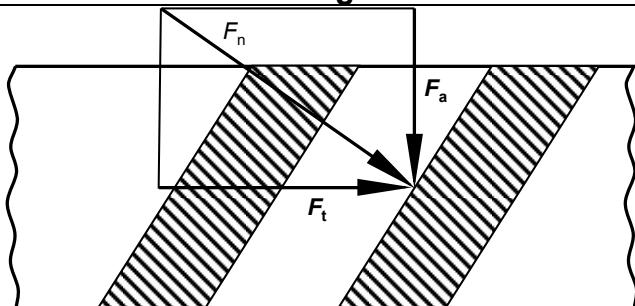
$\Sigma 1 P$

Zahnnormalkraft (F_{bn})

1 P

5.2 Stirnradabwicklung

$\Sigma 2 P$



Axialkraft

1 P

Tangentialkraft

1 P

5.3 Kontakttheorie

$\Sigma 1 P$

HERTZSCHE KONTAKTTHEORIE (HERTZSCHE PRESSUNG, HERTZSCHER KONTAKT)

1 P

5.4 Schrägungswinkel Prüfräder

$\Sigma 1 P$

0° da Standard-Referenz-Prüfräder nach DIN eine Geradeverzahnung aufweisen

1 P

5.5 Dynamikfaktor

$\Sigma 1,5 P$

Verringert sich (wird kleiner), da bei besseren Verzahnungsqualität die Einzelabweichungen sinken. Somit sinken auch die B-Faktoren (B_p, B_f), welche positiv in den Dynamikfaktor einfließen.

1,5 P

5.6 Verfahren zur verbesserten Tragfähigkeit

$\Sigma 1,5 P$

Wärmebehandlungsverfahren

1,5 P

(Vergüten, Gasnitrieren, Einsatzhärten)

Konstruktionsaufgabe (24 Punkte)

K.1 Bearbeiten Sie als Hilfestellung zu Aufgabenteil K.2 zunächst Tabelle 1 zur Konstruktionsaufgabe auf dem folgenden Blatt. (6 Punkte)

K.2 Setzen Sie auf dem Hilfsblatt 1 zur Konstruktionsaufgabe eine funktionierende und montierbare Portalachse aus den im Elementkatalog vorgegebenen Maschinenelementen zusammen.

Eine Portalachse erhöht die Bodenfreiheit eines Fahrzeugs, indem durch eine Stirnradstufe ein Versatz zwischen An- und Abtriebswelle erzeugt wird. Geben Sie auf dem Hilfsblatt für jedes Element den Bauraum, das gewählte Maschinenelement, die gewählte Variante und das jeweilige charakteristische Maß an. (18 Punkte)

Beachten Sie folgende Aufgabenstellung:

Gestalten Sie die Lagerungen, die Verzahnung, die Welle-Nabe-Verbindungen (WNV) und die Abdichtungen einer Portalachse. Das Gussgehäuse der Stirnradstufe ist senkrecht zur Zeichenebene geteilt. Die Radnabe ist ein Frästeil.

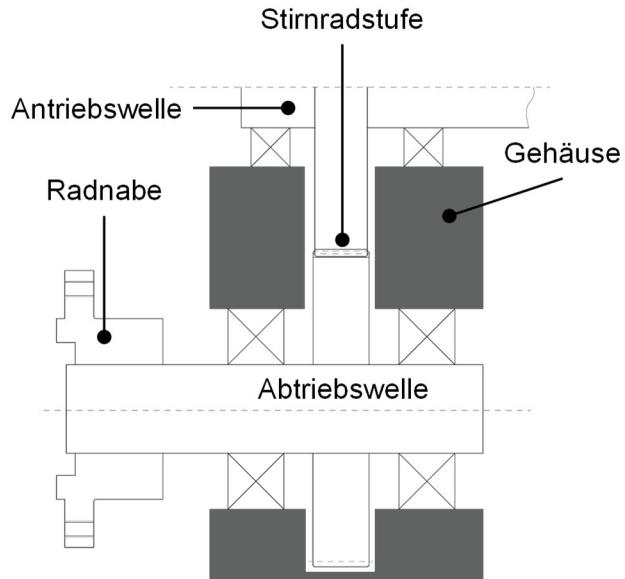


Abbildung 1: Prinzipskizze der Portalachse

Teil der Aufgabe ist die Darstellung des gesamten in Abbildung 1 gezeigten Bereichs.

Lagerung:

- Die Antriebswelle erfährt geringe Lasten bei hohen Drehzahlen. Zur exakten Positionierung des antreibenden Zahnrads ist eine spielfreie axiale Führung notwendig. Die Last auf die Antriebswelle ergibt sich ausschließlich aus der Verzahnung.
- Die Stirnradstufe hat ein Übersetzungsverhältnis von $i = 1$.
- Die Lagerung der Abtriebswelle muss zusätzlich die Last aufnehmen, die sich aus der Unwucht des Reifens ergibt. Dafür ist eine Lageranordnung mit größtmöglicher Stützweite zu wählen.

Welle-Nabe-Verbindung (WNV):

- Die Verbindung der Radnabe mit der Abtriebswelle erfolgt mittels einer formschlüssigen WNV.
- Die WNV soll das zu übertragende Drehmoment gleichmäßig auf den Umfang der Abtriebswelle verteilen.
- Die Verzahnung auf der Antriebswelle ist aus dem Vollen gefräst.

Abdichtung:

- Wählen Sie einen für Wärmetransport geeigneten Schmierstoff.
- Dichten Sie das Lagergehäuse vollständig gegen den Austritt dieses Schmierstoffes ab. Verwenden Sie hierzu nicht mehr Dichtungen als unbedingt erforderlich.

Verzahnung:

- Alle Verzahnungen sind schrägverzahnt und normgerecht im Schnitt darzustellen.

Gehäuse:

- Stellen Sie sicher, dass beide Gehäuseteile eindeutig positioniert und montiert werden können.
- Zur Abdichtung zwischen den Gehäuseteilen wird eine Papierdichtung verwendet, die nicht in der Zeichnung darzustellen ist.

Viel Erfolg!

Tabelle 1 zur Konstruktionsaufgabe**K.1 Fragen zur Konstruktion (6 Punkte)****Lagerung Antriebswelle**

| | |
|-------|---|
| K.1.1 | Welche Kontaktart zwischen Wälzkörper und Lagerring eignet sich für hohe Drehzahlen, wenn gleichzeitig geringe Lasten übertragen werden sollen? |
| K.1.2 | Wie müssen sich die Durchmesser der Wellenabsätze in Richtung des freien Wellenendes verändern, damit Lager und Dichtung montierbar sind? |

Lagerung Abtriebswelle

| | |
|-------|--|
| K.1.3 | Welche Lageranordnung zeichnet sich durch eine maximale Stützweite aus? |
| K.1.4 | An welchem Lagerring wird die Vorspannung bei einer angestellten Lagerung mit O-Anordnung aufgeprägt? |
| K.1.5 | Welcher Lagerring erfährt Umfangslast, wenn die Hauptbelastung durch die Unwucht der Welle hervorgerufen wird? |
| K.1.6 | Wie sind Lagerringe zu passen, wenn diese Umfangslast erfahren? |

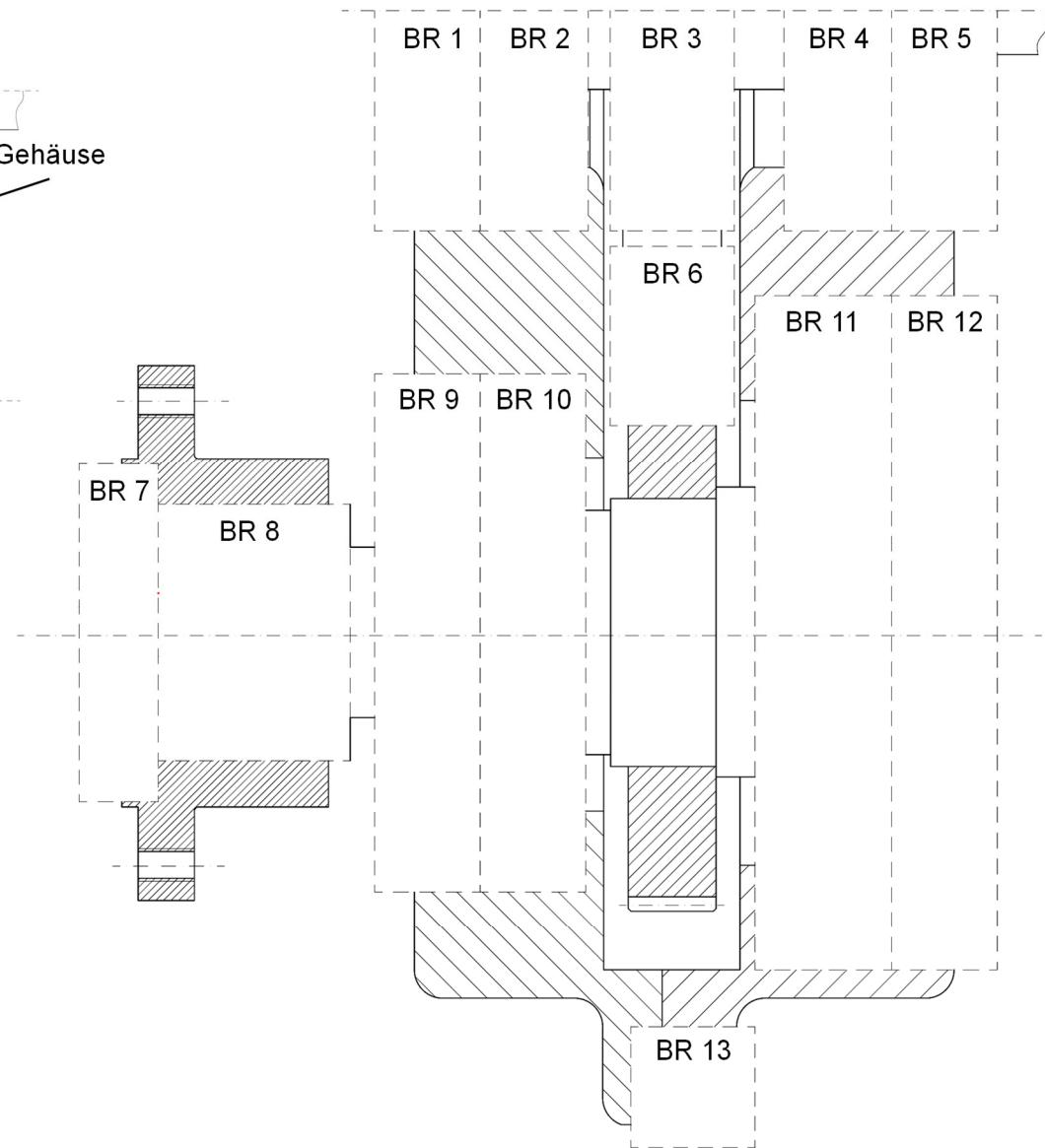
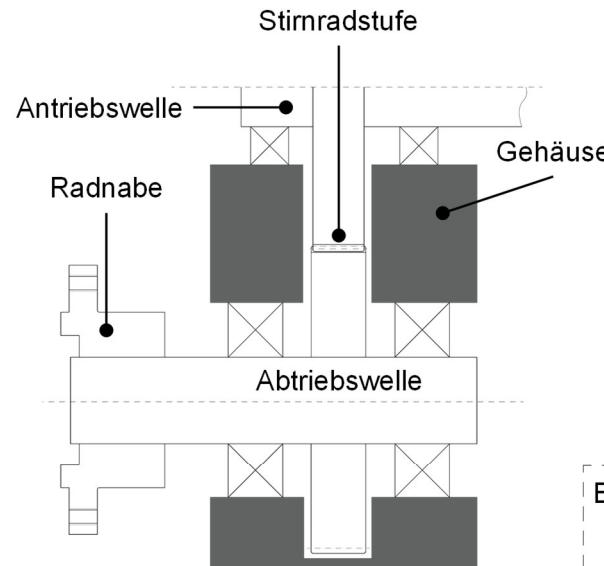
Dichtung

| | |
|-------|---|
| K.1.7 | Welcher Schmierstoff eignet sich nicht für Wärmetransport? |
| K.1.8 | Welche Dichtung eignet sich zur Abdichtung von zueinander unbewegten Gehäuseteilen? |
| K.1.9 | Nennen Sie eine wartungsfreie Dichtung. |

Allgemeines

| | |
|--------|---|
| K.1.10 | Nennen Sie einen Vorteil einer formschlüssigen Welle-Nabe-Verbindung. |
| K.1.11 | Nennen Sie neben den formschlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen eine weitere Verbindungsart. |
| K.1.12 | Warum müssen Funktionsflächen von Gussbauteilen nachbearbeitet werden? |

Hilfsblatt 1 zur Konstruktionsaufgabe



Musterlösung zur Konstruktionsaufgabe

K.1 Fragen zur Konstruktion (6 Punkte)

Lagerung Antriebswelle

| | |
|-------|---|
| K.1.1 | Welche Kontaktart zwischen Wälzkörper und Lagerring eignet sich für hohe Drehzahlen, wenn gleichzeitig geringe Lasten übertragen werden sollen? (Punktkontakt) (0,5 P) |
| K.1.2 | Wie müssen sich die Durchmesser der Wellenabsätze in Richtung des freien Wellenendes verändern, damit Lager und Dichtung montierbar sind? (kleiner werden) (0,5 P) |

Lagerung Abtriebswelle

| | |
|-------|---|
| K.1.3 | Welche Lageranordnung zeichnet sich durch eine maximale Stützweite aus? (O-Anordnung) (0,5 P) |
| K.1.4 | An welchem Lagerring wird die Vorspannung bei einer angestellten Lagerung mit O-Anordnung aufgeprägt? (Innenring) (0,5 P) |
| K.1.5 | Welcher Lagerring erfährt Umfangslast, wenn die Hauptbelastung durch die Unwucht der Welle hervorgerufen wird? (Außenring) (0,5 P) |
| K.1.6 | Wie sind Lagerringe zu passen, wenn diese Punktlast erfahren? (lose) (0,5 P) |

Dichtung

| | |
|-------|---|
| K.1.7 | Welcher Schmierstoff eignet sich für Wärmetransport? (Öl) (0,5 P) |
| K.1.8 | Welche Dichtung eignet sich zur Abdichtung von relativ zueinander unbewegten Gehäuseteilen? (O-Ring) (0,5 P) |
| K.1.9 | Nennen Sie eine wartungsfreie Dichtung. (Labyrinth-, Spaltdichtung) (0,5 P) |

Allgemeines

| | |
|--------|---|
| K.1.10 | Nennen Sie einen Vorteil einer formschlüssigen Welle-Nabe-Verbindung. (Demontierbar) (0,5 P) |
| K.1.11 | Nennen Sie neben den formschlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen eine weitere Verbindungsart. (Kraft- oder Stoffschlüssig) (0,5 P) |
| K.1.12 | Warum müssen Funktionsflächen von Gussbauteilen nachbearbeitet werden? (Verbesserung der Oberflächenqualität) (0,5 P) |

| | Bauraum | Element | Variante | Maß |
|----------------------|---------|---------|----------|-----|
| Antriebswelle | | | | |
| Lager 1 | 2 | 3 | 2 | 100 |
| Lager 2 | 4 | 4 | 3 | 100 |
| Abdichtung 1 | 1 | 1 | 8 | - |
| Abdichtung 2 | 5 | 2 | 6 | 80 |
| WNV | 3 | 6 | 6 | - |
| Abtriebswelle | | | | |
| Lager 1 | 10 | 3 | 9 | 80 |
| Lager 2 | 11 | 3 | 10 | 90 |
| Abdichtung 1 | 9 | 1 | 5 | 70 |
| Abdichtung 2 | 12 | 2 | 9 | - |
| Radnabe | | | | |
| WNV | 7 | 6 | 5 | - |
| Abdichtung | 8 | 1 | 7 | - |
| Stirnradstufe | | | | |
| Verzahnung | 6 | 7 | 2 | - |
| Gehäuse | | | | |
| Verschraubung | 13 | 5 | 2 | - |

Gehäuse (1 P)

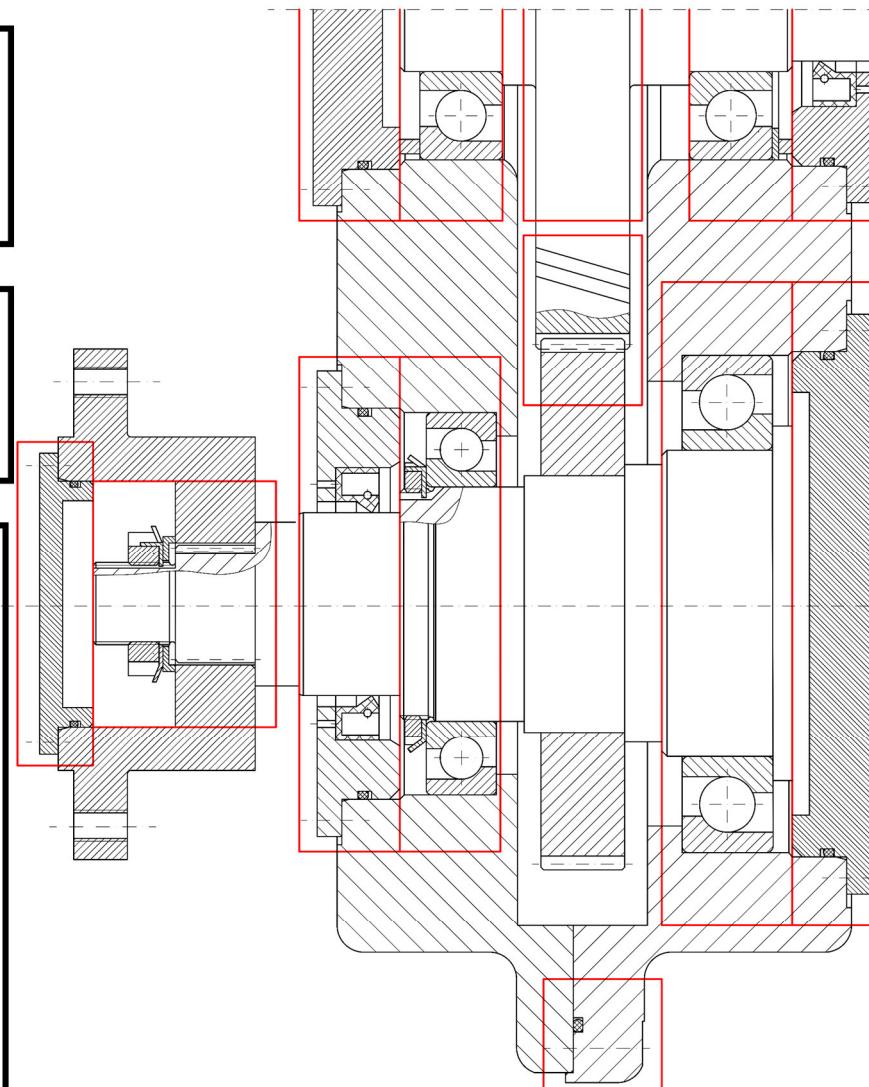
- Verschraubung vorhanden (0,5 P)
- Verschraubung gussgerecht (0,5 P)

Verzahnung (1 P)

- Verzahnung vorhanden (0,5 P)
- Verzahnung schrägverzahnt und normgerecht (0,5 P)

Abtriebswelle (5,5 P)

- Lager vorhanden (0,5 P)
- Punktkontakt (0,5 P)
- Lager für angestellte Lagerung (0,5 P)
- O-Anordnung (0,5 P)
- Spiegelung Lager korrekt (0,5 P)
- Abdichtung vorhanden (0,5 P)
- Berührende dynamische Dichtung (0,5 P)
- Statische Dichtung (0,5 P)
- Deckel gussgerecht (0,5 P)
- Spiegelung Deckel korrekt (0,5 P)
- Maße korrekt (0,5 P)

**Abtriebswelle (7,5 P)**

- Lager vorhanden (0,5 P)
- Punktkontakt (0,5 P)
- Lager für angestellte Lagerung (0,5 P)
- X-Anordnung (0,5 P)
- Spiegelung Lager korrekt (0,5 P)
- Abdichtung vorhanden (1 P)
- Berührende dynamische Dichtung (0,5 P)
- Statische Dichtung (0,5 P)
- Deckel gussgerecht (0,5 P)
- Spiegelung Deckel korrekt (0,5 P)
- Maße korrekt (0,5 P)
- WNV vorhanden (0,5 P)
- WNV fräsgerecht (0,5 P)
- WNV ungeschnitten (0,5 P)

Radnabe (3 P)

- WNV vorhanden (0,5 P)
- WNV formschlüssig und mit axialer Vorspannung (0,5 P)
- Abdichtung vorhanden (0,5 P)
- Statische Abdichtung (0,5 P)
- Deckel fräsgerecht (0,5 P)
- Spiegelung korrekt (0,5 P)

| Bauraum | Element | Variante | Maß |
|----------------------|--|--|----------------------|
| Antriebswelle | | | |
| Lager 1 | Lager vorhanden (0,5 P) | Punktkontakt (0,5 P) Lager für angestellte Lagerung (0,5 P) | |
| Lager 2 | Spiegelung Lager Korrekt (0,5 P) | X-Anordnung (0,5 P) | |
| Abdichtung 1 | Abdichtung vorhanden (0,5 P) | Berührende dynamische Dichtung (0,5 P) Deckel gussgerecht (0,5 P) | |
| Abdichtung 2 | Spiegelung Deckel korrekt (0,5 P) | Statische Dichtung (0,5 P) | Maße korrekt (0,5 P) |
| WNV | WNV vorhanden (0,5 P) | WNV fräsgerecht (0,5 P) WNV ungeschnitten (0,5 P) | |
| Abtriebswelle | | | |
| Lager 1 | Lager vorhanden (0,5 P) | Punktkontakt (0,5 P) Lager für angestellte Lagerung (0,5 P) | |
| Lager 2 | Spiegelung Lager Korrekt (0,5 P) | O-Anordnung (0,5 P) | |
| Abdichtung 1 | Abdichtung vorhanden (0,5 P) | Berührende dynamische Dichtung (0,5 P) Deckel gussgerecht (0,5 P) | |
| Abdichtung 2 | Spiegelung Deckel korrekt (0,5 P) | Statische Dichtung (0,5 P) | Maße korrekt (0,5 P) |
| Radnabe | | | |
| WNV | WNV vorhanden (0,5 P) | WNV formschlüssig und axialer Vorspannung (0,5 P) | |
| Abdichtung | Abdichtung vorhanden (0,5 P) Spiegelung korrekt (0,5 P) | Statische Dichtung (0,5 P) Deckel fräsgerecht (0,5 P) | |
| Stirnradstufe | | | |
| Verzahnung | Verzahnung vorhanden (0,5 P) | Verzahnung schrägverzahnt und normgerecht (0,5 P) | |
| Gehäuse | | | |
| Verschraubung | Verschraubung vorhanden (0,5 P) | Verschraubung gussgerecht (0,5 P) | |

Lagerung Antriebswelle

Σ 7,5 P

Lager vorhanden

Wenn für Lager 1 und Lager 2 in der Spalte Element jeweils ein Lager (E3,4) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Lager 1, Spalte Element.

0,5 P

Punktkontakt

Wenn für Lager 1 und Lager 2 in der Spalte Variante jeweils ein Lager mit Punktkontakt (E3; V1-6,9,10 & E3; V1-6,9,10) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Lager 1, Spalte Variante.

0,5 P

Lager für angestellte Lagerung

Wenn für Lager 1 und Lager 2 in der Spalte Variante jeweils Lager ausgewählt sind, die sich für eine angestellte Lagerung eignen (E3; V2,3,5,6,9-12 & E4; V2,3,5,6,9-12), dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Lager 1, Spalte Variante.

0,5 P

X-Anordnung

Wenn für Lager 1 und Lager 2 in der Spalte Variante jeweils ein Lager ausgewählt ist, dass sich für eine angestellte Lagerung eignet und das linke Lager Axialkräfte von links oben nach rechts unten (E3; V2,3,5,6,10,12 & E4; V9,11) und das rechte Lager Axialkräfte von rechts oben nach links unten (E3; V9,11 & E4; V2,3,5,6,10,12) überträgt, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Lager 2, Spalte Variante.

0,5 P

Spiegelung Lager Korrekt

Wenn für Lager 1 und Lager 2 in der Spalte Element Lager ausgewählt sind (E3,4) und das linke Lager von links montiert werden kann (E3) und das rechte Lager von rechts montiert werden kann (E4), dann gibt es Punkte in der Zeile Lager 2, Spalte Element.

0,5 P

Abdichtung vorhanden

Wenn für Abdichtung 1 und Abdichtung 2 in der Spalte Element jeweils eine Abdichtung (E1,2) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Abdichtung 1, Spalte Element.

0,5 P

Berührende dynamische Dichtung

Wenn für Abdichtung 1 oder Abdichtung 2 in der Spalte Variante eine dynamisch berührende Dichtung (E1; V4-6 & E2; V4-6) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Abdichtung 1, Spalte Variante.

Statische Dichtung

0,5 P

Wenn für Abdichtung 1 oder Abdichtung 2 in der Spalte Variante eine statische Dichtung (E1; V7-9 & E2; V7-9) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Abdichtung 2, Spalte Variante.

Deckel gussgerecht

0,5 P

Wenn für Abdichtung 1 und Abdichtung 2 in der Spalte Variante jeweils eine Dichtung ausgewählt ist, die für Gussgehäuse geeignet sind (E1; V2,5,8 & E2; V2,5,8), dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Abdichtung 1, Spalte Variante.

Spiegelung Deckel korrekt

0,5 P

Wenn für Abdichtung 1 und Abdichtung 2 in der Spalte Element Abdichtungen ausgewählt sind (E1,2) und der linke Deckel von links montiert werden kann (E1) und der rechte Deckel von rechts montiert werden kann (E2), dann gibt es Punkte in der Zeile Abdichtung 2, Spalte Element.

| | |
|---|----------------------------------|
| <u>Maße korrekt</u> | 0,5 P |
| Wenn für Lager 1, Lager 2, Abdichtung 1 und Abdichtung 2 Maße ausgewählt sind und die Maße von den Lagerstellen größer sind als die der Abdichtungen, dann gibt es Punkte in der Zeile Abdichtung 2, Spalte Maß. | |
| <u>WNV vorhanden</u> | 0,5 P |
| Wenn für WNV in der Spalte Element eine WNV (E6) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile WNV, Spalte Element. | |
| <u>WNV fräsgerecht</u> | 0,5 P |
| Wenn für WNV in der Spalte Variante eine fräsgerechte WNV (E6; V4,6) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile WNV, Spalte Variante. | |
| <u>WNV ungeschnitten</u> | 0,5 P |
| Wenn für WNV in der Spalte Variante eine ungeschnittene WNV (E6; V6) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile WNV, Spalte Variante. | |
| Lagerung Abtriebswelle | $\Sigma 5,5 P$ |
| <u>Lager vorhanden</u> | |
| Wenn für Lager 1 und Lager 2 in der Spalte Element jeweils ein Lager (E3,4) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Lager 1, Spalte Element. | 0,5 P |
| <u>Punktkontakt</u> | |
| Wenn für Lager 1 und Lager 2 in der Spalte Variante jeweils ein Lager mit Punktkontakt (E3; V1-6,9,10 & E3; V1-6,9,10) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Lager 1, Spalte Variante. | 0,5 P |
| <u>Lager für angestellte Lagerung</u> | |
| Wenn für Lager 1 und Lager 2 in der Spalte Variante jeweils Lager ausgewählt sind, die sich für eine angestellte Lagerung eignen (E3; V2,3,5,6,9-12 & E4; V2,3,5,6,9-12), dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Lager 1, Spalte Variante. | 0,5 P |
| <u>O-Anordnung</u> | |
| Wenn für Lager 1 und Lager 2 in der Spalte Variante jeweils ein Lager ausgewählt ist, dass sich für eine angestellte Lagerung eignet und das linke Lager Axialkräfte von links unten nach rechts oben (E3; V9,11 & E4 2,3,5,6,10,12) und das rechte Lager Axialkräfte von rechts unten nach links oben (E3; V2,3,5,6,10,12 & E4; V9,11) überträgt, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Lager 2, Spalte Variante. | 0,5 P |
| <u>Spiegelung Lager Korrekt</u> | |
| Wenn für Lager 1 und Lager 2 in der Spalte Element Lager ausgewählt sind (E3,4) und das linke Lager von links montiert werden kann (E3) und das rechte Lager von rechts montiert werden kann (E4), dann gibt es Punkte in der Zeile Lager 2, Spalte Element. | 0,5 P |
| <u>Abdichtung vorhanden</u> | |
| Wenn für Abdichtung 1 und Abdichtung 2 in der Spalte Element jeweils eine Abdichtung (E1,2) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Abdichtung 1, Spalte Element. | 0,5 P |
| <u>Berührende dynamische Dichtung</u> | |
| Wenn für Abdichtung 1 oder Abdichtung 2 in der Spalte Variante eine dynamisch berührende Dichtung (E1; V4-6 & E2; V4-6) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Abdichtung 1, Spalte Variante. | |

| | |
|--|-------|
| <u>Statische Dichtung</u> | 0,5 P |
| Wenn für Abdichtung 1 oder Abdichtung 2 in der Spalte Variante eine statische Dichtung (E1; V7-9 & E2; V7-9) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Abdichtung 2, Spalte Variante. | |
| <u>Deckel gussgerecht</u> | 0,5 P |
| Wenn für Abdichtung 1 und Abdichtung 2 in der Spalte Variante jeweils eine Dichtung ausgewählt ist, die für Gussgehäuse geeignet sind (E1; V2,5,8 & E2; V2,5,8), dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Abdichtung 1, Spalte Variante. | |
| <u>Spiegelung Deckel korrekt</u> | 0,5 P |
| Wenn für Abdichtung 1 und Abdichtung 2 in der Spalte Element Abdichtungen ausgewählt sind (E1,2) und der linke Deckel von links montiert werden kann (E1) und der rechte Deckel von rechts montiert werden kann (E2), dann gibt es Punkte in der Zeile Abdichtung 2, Spalte Element. | |
| <u>Maße korrekt</u> | 0,5 P |
| Wenn für Lager 1, Lager 2, Abdichtung 1 und Abdichtung 2 Maße ausgewählt sind und die Maße in der Reihenfolge Abdichtung, Lager, Lager, Abdichtung kleiner werden, dann gibt es Punkte in der Zeile Abdichtung 2, Spalte Maß | |
| Radnabe | 3 P |
| <u>WNV vorhanden</u> | 0,5 P |
| Wenn für WNV in der Spalte Element eine WNV (E6) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile WNV, Spalte Element. | |
| <u>WNV formschlüssig und mit axialer Vorspannung</u> | 0,5 P |
| Wenn für WNV in der Spalte Variante eine formschlüssige und axial vorgespannte WNV (E6; V5) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile WNV, Spalte Variante. | |
| <u>Abdichtung vorhanden</u> | 0,5 P |
| Wenn für Abdichtung in der Spalte Element eine Abdichtung (E1,2) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Abdichtung 1, Spalte Element. | |
| <u>Statische Dichtung</u> | 0,5 P |
| Wenn für Abdichtung in der Spalte Variante eine statische Dichtung (E1; V7-9 & E2; V7-9) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Abdichtung, Spalte Variante. | |
| <u>Deckel fräsgerecht</u> | 0,5 P |
| Wenn für Abdichtung in der Spalte Variante eine Dichtung ausgewählt ist mit einem fräsgerechten Deckel (E1; V1,3,6,7 & E2; V1,3,6,7), dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Abdichtung, Spalte Variante. | |
| <u>Spiegelung korrekt</u> | 0,5 P |
| Wenn für Abdichtung in der Spalte Element eine Abdichtung ausgewählt ist (E1,2) und der Deckel von links montiert werden kann (E1), dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Abdichtung, Spalte Element. | |

| | |
|---|-------|
| Stirnradstufe | 1 P |
| <u>Verzahnung vorhanden</u> | 0,5 P |
| Wenn für Verzahnung in der Spalte Element eine Verzahnung (E7) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Verzahnung, Spalte Element. | |

Verzahnung schrägverzahnt und normgerecht 0,5 P

Wenn für Verzahnung in der Spalte Variante eine schrägverzahnte und normgerecht dargestellte Verzahnung (E7; V2) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Verzahnung, Spalte Variante

Gehäuse 1 P

Verschraubung vorhanden 0,5 P

Wenn für Verschraubung in der Spalte Element eine Verschraubung (E5) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Verschraubung, Spalte Element.

Verschraubung gussgerecht 0,5 P

Wenn für Verschraubung in der Spalte Variante eine gussgerechte Verschraubung (E5; V2) ausgewählt ist, dann gibt es 0,5 Punkte in der Zeile Verschraubung, Spalte Variante

