

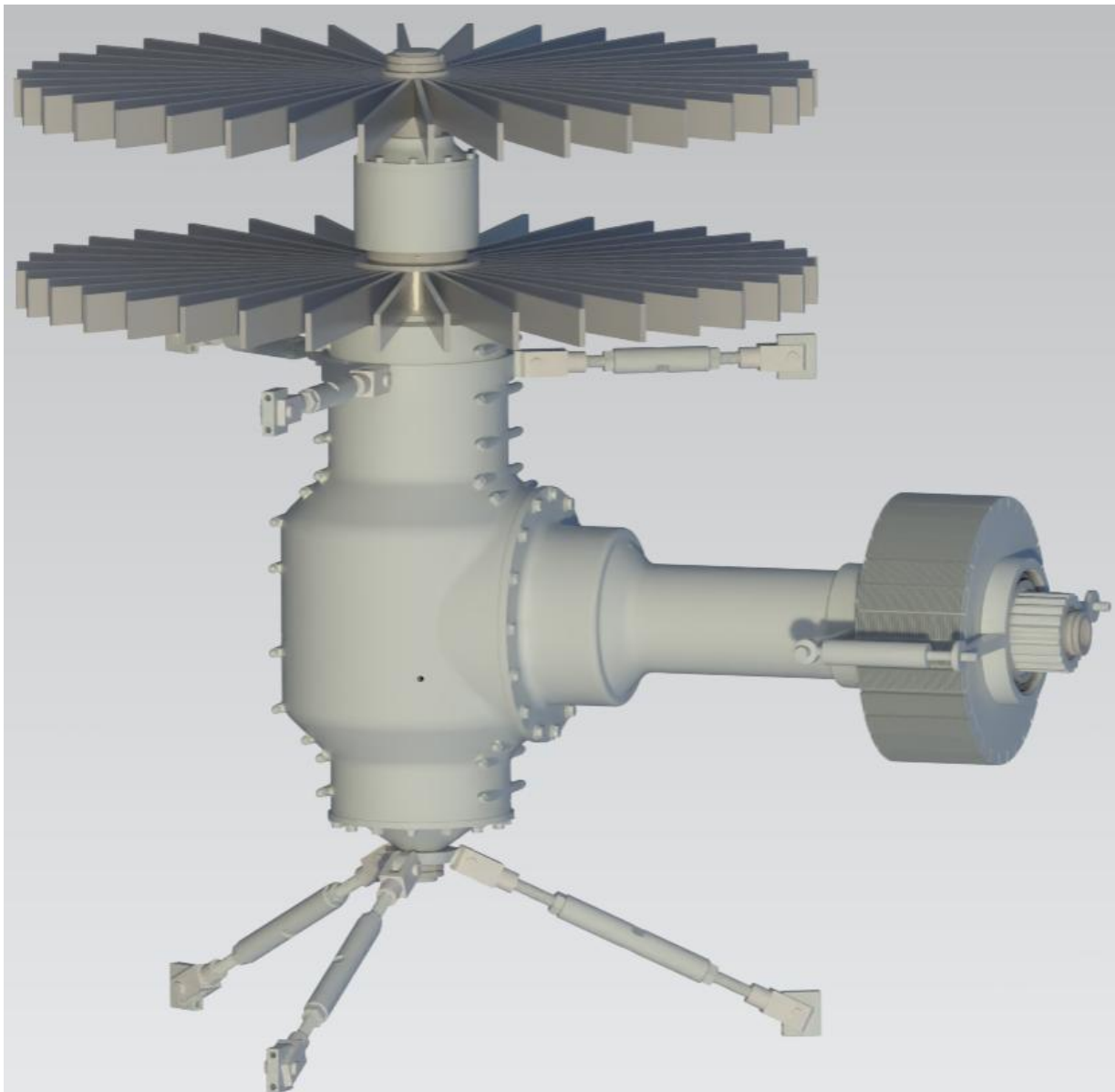
## Konstruktion 4

Konstruktion eines Getriebes mit Kupplung für den Lift-Fan des F35-B

Michael Vogl

Matr. Nr.: 3430808

Betreuer: Carsten Schulz



Ich Michael Vogl bestätige diese Arbeit ist von mir:

*Michael Vogl*

---

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
Recherche .....	4
Anforderungsliste .....	7
Berechnung.....	14
Kupplung.....	16
Berechnung der erforderlichen Reibpaarungen.....	16
Temperaturerhöhung einer Lamellenkupplung.....	17
Auslegung der Tellerfeder.....	19
Diskussion der Sicherheiten/Fehlermeldungen.....	21
Verzahnung.....	22
Maßabschätzung .....	22
KissSoft Verzahnung .....	23
Berechnung Hohlwellen / Lager in KissSoft.....	24
Antriebswelle.....	25
Abtriebswelle innen .....	27
Abtriebswelle außen .....	29
Plausibilität / Berechnung der Lagerkräfte.....	31
Berechnung der Lagerkräfte.....	33
Sonstige Berechnungen.....	35
Axiale Wärmeausdehnung der Wellen.....	35
Berechnung der Keile der Kupplungsscheiben in KissSoft .....	35
Berechnung des Presssitz der Kegelräder am Abtrieb.....	35
Berechnung des P4C-Polygons am Antrieb.....	35
Berechnung der Zahnwellen.....	36
Wanddicke des Gehäuses .....	37
Hilfsfunktionen.....	38
Anpresskraft zwischen den Kupplungsscheiben.....	38
Berechnungsfunktion der Lagerkräfte.....	38
Federkraft nach DIN 2092 .....	40
Zahnwellen Modul und Zähnezahl Bestimmungsfunktion.....	41

Zeichnungen und Stückliste.....	42
Konstruktionsbegründung.....	43
Verzahnung.....	44
Antriebswelle.....	45
Kupplung.....	46
Abtriebswelle innen.....	48
Abtriebswelle Außen.....	49
Gehäuse.....	51
Montageanleitung.....	54
1. Antriebsstrang mit Kupplung.....	54
2. Abtriebsstrang.....	56
3. Einbau in den Luftschaft.....	57
Handskizze.....	59
Literaturverzeichnis.....	60
Abbildungsverzeichnis.....	61
Eigenständigkeitserklärung.....	63

# Recherche

## 1. Antrieb und Leistungsdaten

Die F-35B, ein STOVL-Flugzeug (Short Take-Off and Vertical Landing), verwendet ein hybrides Antriebskonzept mit einem zusätzlichen Mantel-Hubgebläse (LiftFan). Der Antrieb des Fans erfolgt mechanisch über eine Getriebewelle vom Haupttriebwerk aus. Die Eingangsdrehzahl an der Getriebeseite beträgt 8000 U/min, bei einer Leistung von ca. 21,6 MW, was einem Drehmoment von ca. 25 780 Nm entspricht. Die mechanische Leistung ergibt sich aus der Impulserhaltung  $P=F \cdot v$  mit einer Schubkraft von 80 kN und einer Luftaustrittsgeschwindigkeit von etwa 270 m/s.

Die Blattspitzengeschwindigkeit des Gebläses beträgt 270 m/s. Diese ist jedoch bei militärischen Anwendungen vertretbar. Die thermodynamische und mechanische Belastung der Wellen ist entsprechend hoch, was sich direkt auf die Anforderungen an Werkstoffe, Schmierung und Lagerung auswirkt.

## 2. Kupplungskonzept und Drehdurchführung

Die Kraftübertragung erfolgt über eine **Mehrscheibenlamellenkupplung**, die nur während des Leerlaufs aktiviert ist beziehungsweise einkuppelt. Das Kupplungssystem ist als *Anlaufkupplung* konzipiert, das heißt, es überträgt zunächst über Reibschluss und wird im Lastfall über eine Formschlussverzahnung überbrückt. Aufgrund der hohen Drehzahl (8000 U/min) ist die Integration einer Öldrehdurchführung eine große Herausforderung. Als Lösung wird entweder ein stationärer Aktor mit axialem Kolben oder eine radiale Druckmittelzuführung über Schleifring und Axiallager diskutiert. Der Formschluss wird dann in der Regel mit einer Art Schaltmuffe realisiert welche eine lange Zahnwelle darstellt. Ich will aber eine Lösung, welche mit nur einer Bewegung zwischen Form und Reibschluss unterscheiden kann, also ein Zylinder der steuert ob Reibschluss, Formschluss oder keine Verbindung entsteht. Auf diese Weise wird Material gespart und die Funktion ist durch die Bauart fest definiert.

**Alternativen:** Keramische Hybridlager (z.B.  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -Wälzkörper) können drehzahlbedingte Lagerprobleme entschärfen. Auch eine elektromagnetisch aktivierte Kupplung ist denkbar, aber mechanisch und thermisch deutlich anspruchsvoller.

**Normbezug:** Vgl. DIN 740-2 (Kupplungsauslegung) und SAE J286 (Reibmaterialien).

### 3. Getriebekonzept und Verzahnungsauswahl

Die rechtwinklige Kraftumlenkung wird durch ein Kegelradpaar mit Bogenverzahnung realisiert. Bogenverzahnte Kegelräder haben ein günstigeres Tragbild und höhere Tragfähigkeit bei gleichem Bauraum im Vergleich zu geradverzahnten. Die Zahngeometrie wurde mit KissSoft optimiert - dabei stellte sich heraus, dass nur Module ab  $m_n=10\text{mm}$  ausreichende Zahnfußsicherheit bieten ( $SH \geq 1,1$ ;  $SF \geq 1,4$ ).

#### Weitere Aspekte:

- **Schrägungswinkel:**  $\beta = 18-30^\circ$
- **Breitenverhältnis:**  $b/d=0,21 - 0,6$  je nach Auslegung
- **Werkstoffauswahl:** 18CrNiMo7-6 mit Einsatzhärtung (DIN EN 10084), Oberflächenqualität Q6-Q8 (DIN 3962)

### 4. Wellen- und Lagerkonzepte

Die Konstruktion nutzt ein System aus konzentrischen Hohlwellen („Welle in Welle“). Dabei wird der untere Fan über die äußere Hohlwelle und der obere über die innere Welle angetrieben.

#### Lagerungskonzept:

- Doppelreihige Schrägkugellager oder Kegelrollenlager (X-Anordnung)
- Alternativ: Nadelkränze mit gegenläufiger Rotation → Reduktion der Zentrifugalkräfte auf Käfig und Wälzkörper

#### Schmierung:

Öleinspritzung an mehreren Punkten, Verwendung eines Spezialöls: *Klübersynth GH 6-1500* (ISO VG 1500, GL-5).  
Temperaturbereich:  $-10^\circ\text{C}$  bis  $+160^\circ\text{C}$ , Viskosität  $>1500\text{mm}^2/\text{s}$ .

**Normbezug:** DIN 51517 (Öle), DIN 3990/3996 (Zahnradfestigkeit), DIN 743 (Wellenberechnung)

### 5. Werkstoffe und Wärmehaushalt

Für Zahnräder und Wellen wird **18CrNiMo7-6 (DIN EN 10084)** eingesetzt - ein einsetzhärtbarer Vergütungsstahl mit hoher Dauerfestigkeit und Zähigkeit. Das Material vereint gute Zerspanbarkeit (im Weichzustand), hohe Oberflächenhärte (58 HRC) und gutes Dauerbruchverhalten dank zähem Kern. Im Gewaltbruch zeigt es durch seine hohe Bruchdehnung ( $A \approx 12\%$ ) ein duktilen Versagen.

Das Gehäuse besteht aus **Ti-6Al-4V (AMS 4928)**. Titanlegierungen sind leicht ( $\rho \approx 4,43\text{g/cm}^3$ ) und bieten hohe Festigkeit bei guter Temperaturbeständigkeit ( $>400^\circ\text{C}$ ). Allerdings ist Titan schwer zerspanbar - es erfordert niedrige

Schnittgeschwindigkeiten, Hochdruckkühlung und verschleißfeste Werkzeuge. Alternativ ist auch Feinguss oder additive Fertigung möglich.

Die geringere Dichte reduziert die Massenträgheit und verbessert die Schwingungs- und Fluglagestabilität. Kritisch ist jedoch das sprödere Gewaltbruchverhalten bei Kerben oder Stoßbelastung – konstruktiv sind daher große Radien und Kerbvermeidung essenziell.

## 6. Integration ins Flugzeugsystem

Das Getriebe ist in einen begrenzten Bauraum des Rumpfes einzupassen. Die tropfenförmige Außenkontur reduziert Luftwiderstand und verbessert die Aerodynamik im Horizontalflug. Besondere Schnittstellen:

- Ölstandskontrolle und Ölpartikelkontrolle mit Filterung
- Entlüftung
- Sensorik (z.B. für Temperatur, Drehzahl, Vibration)

Die Befestigung erfolgt über sechs Titanstangen, diese werden durch ein Loslager oben und ein Festlager unten realisiert.

## 7. Sicherheit, Wartung und Betrieb

- **Lebensdauer:** 200 h bei 500 Stück/Jahr (Militärstandard)
- **Zulässige Abweichungen:** Rundlauf max. 0,01 mm, Koaxialität  $\leq$  0,01 mm (DIN ISO 1101)
- **Spielausgleich:** schwer erreichbar → nachträglich elastische Verbindung sinnvoll (DIN 740-2)
- **Wartung:** Teilbares Gehäuse, zerstörungsfreie Demontage (DIN EN ISO 12100)

## 8. Weiterführende Literatur

- Roloff/Matek Maschinenelemente, 24. Auflage
- DIN-Taschenbuch 123: Zahnradtechnik
- "Design of Aircraft Gearboxes" – AGMA White Paper
- NASA-Report: „LiftFan Integration Challenges – F-35B STOVL“

## Anforderungsliste

<b>Anforderungsliste für F35-B Gebläsegetriebe+Kupplung</b>				
Firma: OTH.R		Projektnr.: 1		Ausgabe 06.07.2025
Bearbeiter: Michael Vogl				vom: Ers. Ausg. v.:
Nr.	Anforderungen	Beschreibung, Quantifizierung	Quelle	
0	Funktion			
A 0.1	Gesamt- Kraftausstoß	80 kN	Angabe	
A 0.2	Lebensdauer	L = 200h	Angabe	
A 0.3	Stückzahl	N = 500 Stück/Jahr	Angabe	
C 0.4	Preis	Militärisches Budget	Angabe	
A 0.5	Faktoren	Ka = 1,1 Kv = 1,487 K_max = 1,3	RM KissSoft Angabe	
<b>1</b>	<b>Kupplung</b>			
A 1.1	Schaltbar	Unter Leerlauf von n = 0 auf n = 4500 U/min	Angabe	
B 1.2	Kompaktheit	Platz für wichtige Bauteile beibehalten, und Gewicht sparen.		
A 1.3	Übertragbares Drehmoment	T = 25.800 Nm unter Volllast T = 8.410 Nm unter Reibschluss	Matlabberechnung	

## Anforderungsliste für F35-B Gebläsegetriebe+Kupplung

Firma: OTH.R	Projekt nr.: 1	Ausgabe 06.07.2025
Bearbeiter: Michael Vogl		vom:
		Ers.
		Ausg.
		v.:

Nr.	Anforderungen Priorität A, B, C	Beschreibung, Quantifizierung	Quelle
A 1.4	Welle-Narbe- Verbindung	Zahnwelle	DIN 5480
A 1.5	Drehzahl	Im Formschluss 8000 RPM Im Reibschluss 4500 RPM	Angabe
B 1.6	Schmierung	Trocken, da sonst Ölreibung im Leerlauf	DN 51805
B 1.7	Kühlung	Hitzebeständige Kühlkörper z.B. TZM	ASTM B387
A 1.8	Formschluss	Ineinandergreifende Zacken mit Kraftübertragenden Füßen	DIN 5480
A 1.9	Reibschluss	Carbonscheiben	SAE J286
B 1.11	Wartung	Möglich ohne andere Bauteile zu Beeinflussen	DIN EN ISO 12100
B 1.12	Steuerung der Momentenübertragung	Mit Tellerfeder und Einstellung der Federkraft über den Verfahrensweg	DIN 2093
B 1.13	Material der Scheiben	CCI 3D Carbon Disk	ISO 26865
B 1.14	Material des Gehäuses	Ti-6Al-4V	AMS 4928

## Anforderungsliste für F35-B Gebläsegetriebe+Kupplung

Firma: OTH.R	Projektnr.: 1	Ausgabe 06.07.2025 vom:
Bearbeiter: Michael Vogl		Ers. Ausg. v.:

Nr.	Anforderungen Priorität A, B, C	Beschreibung, Quantifizierung	Quelle
A 1.15	Anlaufverhalten	Stoßfrei, sodass Propeller oder andere Bauteile nicht beschädigt werden	DIN 740-2
A 1.16	Spielausgleich	Welle auf welle Verbindung mit nachträglicher Elastomerkupplung welche auf die Antriebswelle verbindet	DIN 740-2
C 1.17	Scheibenanzahl	13 Reibflächen, 14 Scheiben	Matlabberechnung
B 1.18	Reibwert	$\mu = 0,36$	<a href="https://doi.org/10.1504/IJVP.2016.078560">https://doi.org/10.1504/IJVP.2016.078560</a> (S. 29)
A 1.19	P_zulässig	3,10 MPa	/uploads/2018/07/Tribco-Clutchtex-Catalog.pdf
<b>2</b>	<b>Verzahnung</b>		
B 2.1	Übersetzung	$I = 1,0588$ <u>ins langsame!</u>	Angabe
A 2.2	Kraftfluss	$90^\circ$	Angabe
B 2.3	Verzahnungstyp	Bogenverzahnte Kegelräder	DIN 3971
B 2.4	Winkel	$\alpha = 20^\circ$	DIN 3965

## Anforderungsliste für F35-B Gebläsegetriebe+Kupplung

Firma: OTH.R	Projekt nr.: 1	Ausgabe 06.07.2025 vom:
Bearbeiter: Michael Vogl		Ers. Ausg. v.:

Nr.	Anforderungen Priorität A, B, C	Beschreibung, Quantifizierung	Quelle
		Beta_m = 30°	
B 2.5	Zähnezahl	Z1 = 17; Z2 = 18; Z3 = 18	DIN 3960, DIN 3990
C 2.6	Modul	mn = 12	DIN 780
B 2.7	Lastverteilung	2 Abtriebsräder	DIN 3990
A 2.8	Drehmoment	M_Abtrieb = 13 650 Nm	Angabe
B 2.9	Oberflächenvergütung	Geschliffen (Q6)	DIN 3962
B 2.10	Schmierung	Öleinspritzschmierung: Klübersynth GH 6-1500 (API GL 5)	DIN 51517, DIN 3996
A 2.11	Sicherheiten	Zahnfuß: SF = 1.4 Zahnflanke: SH = 1.1 Fressen: SB = 0.5	DIN 3990, DIN 3996
B 2.12	Werkstoff	18CrNiMo7-6	DIN EN 10084
<b>3</b>	<b>Antriebswelle</b>		
B 3.1	Werkstoff	18CrNiMo7-6	DIN EN 10084
B 3.2	Hohlwelle	bevorzugt d/D = 0,6	DIN 743

<b>Anforderungsliste für F35-B Gebläsegetriebe+Kupplung</b>			
Firma: OTH.R		Projektnr.: 1	Ausgabe 06.07.2025
Bearbeiter: Michael Vogl			vom: Ers. Ausg. v.:
Nr.	Anforderungen Priorität A, B, C	Beschreibung, Quantifizierung	Quelle
B 3.3	Art der WNV	Zahnwelle	DIN 5480
B 3.4	Fest-Los-Lagerung	Ausgleich der Wärmedehnung	
B 3.5	Wellenabsätze	Größtmögliche Radien	
B 3.6	Befestigung der Kupplung	Externer Abschnitt für Lagerung der Kupplung	
B 3.7	Kleines Trägheitsmoment	Kleinstmöglicher Durchmesser	
B 3.8	Befestigung des Zahnrades	P4C-Polygon mit Übermaß für axiale Sicherung	DIN 7190
A 3.9	Unwucht frei	Gesamtrundlauf 0,05 Koaxialität 0,05 Rechtwinkligkeit 0,05	DIN ISO 1101
<b>4</b>	<b>Gehäuse</b>		
B 4.1	Anbindung Gehäuse am Flugzeug	6 Stangen, 3 oben und 3 unten, unten Festlager oben Loslager	<a href="https://www.hs-m-stahl.de/werksstoff/37164/">https://www.hs-m-stahl.de/werksstoff/37164/</a>
B 4.2	Fertigungsart	Titan Feinguss, mit Fräsen und Drehen als Nachbearbeitung	<a href="https://www.zoellern.com/de/">https://www.zoellern.com/de/</a>

## Anforderungsliste für F35-B Gebläsegetriebe+Kupplung

Firma: OTH.R	Projekt nr.: 1	Ausgabe 06.07.2025 vom:
Bearbeiter: Michael Vogl		Ers. Ausg. v.:

	Nr.	Anforderungen Priorität A, B, C	Beschreibung, Quantifizierung	Quelle
A	4.3	Teilbar	Vereinfacht Montage / Wartung / Einstellbarkeit der Verzahnung	Eigenleistung
C	4.4	Aerodynamik	Tropfenförmig	Praktikumsvers uche Zweites Fachsemester
B	4.5	Werkstoff	Ti-6Al-4V	<a href="https://www.nipponsteel.com/en/tech/report/nssmc/pdf/106-05.pdf">https://www.nipponsteel.com/en/tech/report/nssmc/pdf/106-05.pdf</a> (S.23)
	<b>5</b>	<b>Dichtungen</b>		
A	5.1	Hohe Drehzahl	Berührungslose Labyrinth Dichtungen	Angabe
B	5.2	Verschleiß- /Wartungsarm/-frei	Berührungslose Labyrinth Dichtungen	Angabe
A	5.3	Keine Kerbwirkungen	Selbstfixierend durch Umfangspannung im Ring um Wellenabsatz zu vermeiden	KissSoft
B	5.4	Werkstoff	Wegen Verschleiß wartungsfrei halten	Polyurethan
	<b>6</b>	<b>Schmierung</b>		

## Anforderungsliste für F35-B Gebläsegetriebe+Kupplung

Firma: OTH.R	Projekt nr.: 1	Ausgabe 06.07.2025 vom:
Bearbeiter: Michael Vogl		Ers. Ausg. v.:

Nr.	Anforderungen Priorität A, B, C	Beschreibung, Quantifizierung	Quelle
B 6.1	Mindestvolumen	für ca. 45,5 Liter Hohlraum im Gehäuse	DIN ISO 12164
B 6.2	Viskosität	1500 mm <sup>2</sup> /s @40°C	DIN 51517
A 6.3	Temperaturbereich/ Beständigkeit	-10 bis +160°C	DIN 51502
A 6.4	Drehzahlbereich	16000 U/min bzw. 8000 U/min	Angabe
B 6.5	Einspritzung	Düsen an verschiedenen Stellen	DIN ISO12164
<b>7</b>	<b>Montage</b>		
B 7.1	Kurze Servicezeit	Zusammenbau innerhalb eines Tages	
C 7.2	Wenig Werkzeug nötig	Keine Kräne benötigt	
B 7.3	Zerstörungsfrei	Kein Auswechseln teurer Komponenten nötig nach Wartung	
<b>8</b>	<b>Abtriebswellen</b>		
B 8.1	Fest-Los-Lagerung	Lager nah an der Verzahnung ist Festlager	

## Anforderungsliste für F35-B Gebläsegetriebe+Kupplung

Firma: OTH.R	Projekt nr.: 1	Ausgabe 06.07.2025 vom:
Bearbeiter: Michael Vogl		Ers. Ausg. v.:

	Nr.	Anforderungen Priorität A, B, C	Beschreibung, Quantifizierung	Quelle
B	8.2	Verbindungsart Zahnrad	Presspassung H7/x6	
B	8.3	Werkstoff	18CrNiMo7-6	DIN EN 10084
C	8.4	Hohlwelle	bevorzugt $d/D = 0,6$	DIN 743
B	8.5	Art der WNV bei Properller	Zahnwelle	DIN 5480
B	8.6	Wellenabsätze	Für Lager/Sicherungsmuttern; große Radien, wegen Kerbwirkung	DIN 981
A	8.7	Drehmoment	13.650 Nm	Matlabberechnung
B	8.8	Wärmeausdehnung	Lager nah an der Verzahnung ist Festlager	Matlabberechnung

### Berechnung

```
clear
% Eingabe allgemeiner und festgesetzter Größen
z1 = 17;           % Zähnezahl Antrieb
z2 = 18;           % Zähnezahl Abtrieb
z3 = z2;
i = z1/z2;         % Übersetzung
n_an = 8000;       % Drehzahl an der Kupplung
n_ab = n_an*i;     % Drehzahl am Rotor
```

```

n_k = 4500;           % Drehzahl während des Einkuppelns
F_auftrieb = 80000;  % Auftriebskraft
F0 = F_auftrieb/2;   % Kraft die an den Wellen zieht
v_Luft = 270;        % Luftgeschwindigkeit
P = F_auftrieb*v_Luft; % Hubleistung
eta_z = 0.97;        % Wirkungsgrad der Verzahnung
w_an = 2*pi*n_an/60; % Winkelgeschwindigkeit Antrieb
w_ab = 2*pi*n_ab/60; % Winkelgeschwindigkeit Abtrieb
w_k = 2*pi*n_k /60;  % Winkelgeschwindigkeit im Leerlauf
% Faktoren
K_max = 1.3;         % Stoßfaktor
K_a = 1.1;           % Anwendungsfaktor
C_v = 4;             % Vorauslegungsfaktor
% Vernachlässigung des "Figure of Merit" FM = 1 (eigentlich FM =
0,55)
% FM = "Wirkungsgrad des Propellers/Luftreibung/Verwirbelungen"
M_ab = P/w_ab/2;     % Abtriebsmoment
M_an = P/w_an/eta_z; % Antriebsmoment
M_an/2
= 1.3290e+04

```

In diesem MATLAB-Skript wurde die Leistungsanforderung für das Hubgebläsegetriebe der F-35B berechnet. Ausgehend von der Auftriebskraft und der Luftgeschwindigkeit wurde die Hubleistung bestimmt und daraus das erforderliche Antriebs- und Abtriebsmoment ermittelt. Dabei wurden die Drehzahlen an der Kupplung sowie am Abtrieb berücksichtigt, ebenso wie der Wirkungsgrad der Verzahnung. Zusätzlich wurden Stoß-, Anwendungs- und Vorauslegungsfaktoren definiert, um realistische Belastungsszenarien in späteren Berechnungen berücksichtigen zu können. Die Auftriebskraft wurde zur Berechnung der resultierenden Wellenkräfte auf zwei Abtriebsstränge verteilt.

## Kupplung

## Berechnung der erforderlichen Reibpaarungen

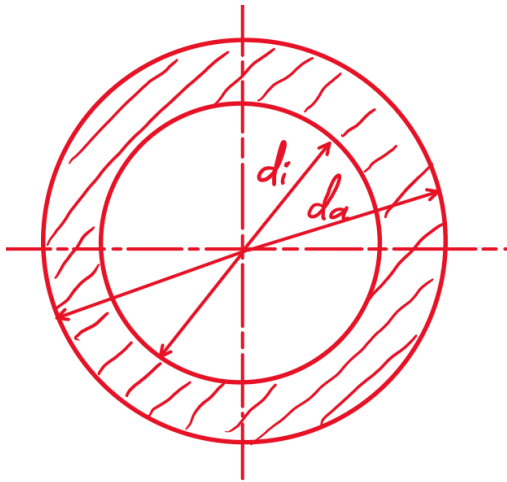


Abbildung 1: Reibfläche

```

% Gegebene Werte
mu = 0.35; % Reibungskoeffizient (Carbon auf Carbon)
F_k = 20000; % Anpresskraft in N
ra = 0.175; % Außenradius in m
ri = 0.100; % Innenradius in m
t_k = 0.007; % Dicke der Kupplungsscheiben in m

M_k = M_an*(n_k/n_an)^2; % Zu übertragendes Drehmoment in Nm
% Verkleinerung möglich da  $T \sim w^2$ ; RM

13.4a
M_k_scheibe = M_k/7; % von einer Scheibe aufzunehmendes Moment
(für KiSSsoft)

% Berechnung der exakten mittleren Reibradiusformel
M_single = mu * F_k * (2/3) * ((ra^3 - ri^3)/(ra^2 - ri^2));
% Erforderliche Anzahl Reibpaarungen (aufgerundet)
n_required = ceil(M_k*K_max / M_single)

n_required = 12

```

```

% -> wähle 14 Scheiben mit 13 Reibpaarungen
p_zul = 2; % zulässiger Flächendruck in MPa (z.B.
Dauerbetrieb)
F_N = zul_anpresskraft(ra, ri, p_zul)

```

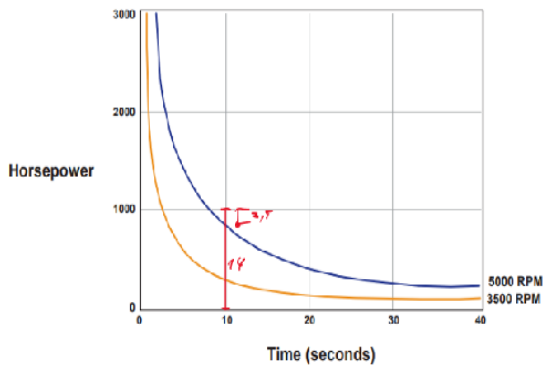
```
F_N = 1.2959e+05
```

```

% 130 kN >> 32 kN = maximale Federkraft; es besteht also keine Gefahr
des
% brechens der Scheiben

```

Temperaturerhöhung einer Lamellenkupplung



$$P(\omega, J) = \frac{1}{2} \cdot J \omega^2$$

$$\omega = 2\pi \cdot 5000 \cdot \frac{\text{rad}}{60 \cdot \text{s}} = 837.76 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P(5.000 \frac{\text{rad}}{\text{s}}, 10 \text{s}) = \frac{14.5}{14} \cdot 1000 \text{ W} = 820 \text{ hp} = 820 \cdot 0,7457 \text{ kW}$$

$$J = \frac{2 \cdot \text{HP} \cdot t}{\omega^2} = \frac{2 \cdot 820 \cdot 0,7457 \cdot 10}{\left(2\pi \frac{5000}{60}\right)^2} = 44,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$[J] = \frac{\text{kW} \cdot \text{s}}{\frac{1}{\text{s}^2}} = \text{kJ} \cdot \text{s}^2 = 1000 \cdot \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot \text{s}^2 = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Abbildung 2: Berechnung des Trägheitsmoments

```

% von de Kupplung aufzunehmende Energie:
J = 44.6; % Trägheitsmoment der zu beschleunigenden
Masse (graphisch Berechnet)
E_k = 0.5*J*w_k^2; % Von der Kupplung aufzunehmende Energie
% anhand aufgenommener Wärmeenergie Q = E_kin
% Eingabeparameter:
% ri = Innenradius der Reibscheibe [m]
% ra = Außenradius der Reibscheibe [m]
% t_k = Dicke einer Reibscheibe [m]
% rho = Dichte des Carbonmaterials [kg/m^3]
% c = spezifische Wärmekapazität [J/kg*K]
% E_k = zugeführte Wärmeenergie (z.B. durch Schlupf) [J]
% n_scheiben = Anzahl der Reibscheiben, die thermisch wirksam sind
    
```

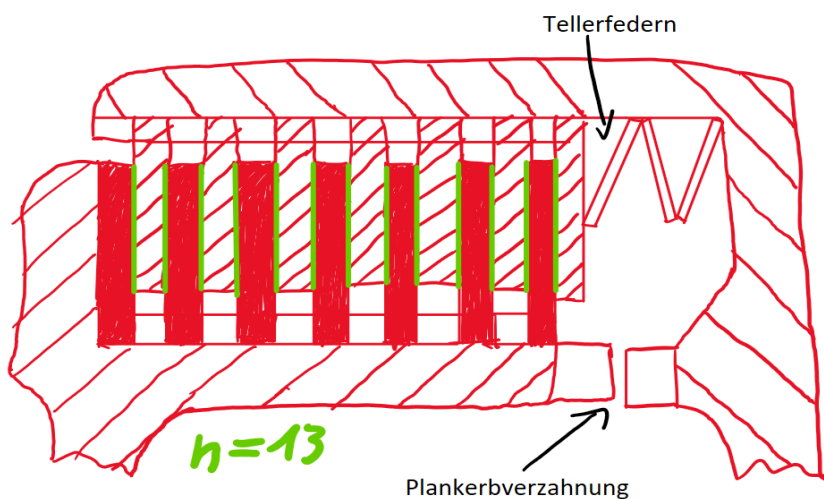


Abbildung 3: Prinzip der Kupplung

```

% Werte
rho = 1600; % [kg/m^3] - typischer Wert für Carbon
    
```

```

c = 800; % [J/kg*K] - spezifische Wärmekapazität
Carbon
n_scheiben = 14; % Anzahl Carbon-Reibscheiben
% Volumen einer Reibscheibe (Zylindermantel)
V_scheibe = pi * (ra^2 - ri^2) * t_k;
% Masse einer Reibscheibe
m_scheibe = V_scheibe * rho;
% Gesamtmasse aller Reibscheiben
m_gesamt = n_scheiben * m_scheibe;
% Temperaturerhöhung berechnen
T_diff = E_k / (m_gesamt * c)

```

```
T_diff = 609.2664
```

```

% Das bedeutet maximal ca. 600°C Temperatur der Kupplung nach den
einkuppeln. Was
% für Carbon sehr aushaltbar ist. Das Titangehäuse sollte mit
Kühlrippen
% versehen werden, da dieser nur bis maximal 500°C stabil bleibt.
Diese
% Methode muss natürlich auf einem Messstand auf Machbarkeit überprüft
werden.

```

Zunächst wird das zu übertragende **Drehmoment  $M_k$**  während des Einkuppelns berechnet. Da das Moment proportional zur Winkelgeschwindigkeit im Quadrat ist ( $M \sim \omega^2$ ), ergibt sich ein reduziertes Moment bezogen auf die Leerlaufdrehzahl. Zur Dimensionierung der Reibpaarungen wird die exakte Formel für Ringflächenreibung verwendet, mit gegebenem Reibwert und Anpresskraft. Daraus ergibt sich die Anzahl benötigter Reibpaarungen (hier: 13), wobei aus praktischen Gründen 14 Reibscheiben gewählt werden.

Im Anschluss wird die thermische Belastung berechnet, die beim Einkuppeln entsteht. Auf Basis des Trägheitsmoments  $J$  der beschleunigten Masse und der Winkelgeschwindigkeit wird die aufzunehmende **kinetische Energie  $E_k$**  berechnet. Diese wird als Wärme in die Reibscheiben eingetragen. Über die spezifische Wärmekapazität und Dichte des Carbonmaterials wird die resultierende **Temperaturerhöhung** der Reibscheiben abgeschätzt - in diesem Fall etwa **609 °C**.

Die Analyse zeigt, dass Carbon diese Temperatur problemlos aushält, das **Titangehäuse jedoch durch geeignete Kühlrippen**, welche ich aus einer Kupferlegierung entwerfe, vor Überhitzung geschützt werden sollte, da dessen maximale Temperaturgrenze bei ca. 600 °C liegt.

## Auslegung der Tellerfeder

```

%% Eingabewerte zur Tellerfeder (optimierte Konfiguration)
De      = 2*ra;           % [m]   Außendurchmesser
Di      = 0.275;         % [m]   Innendurchmesser (mitte der
Reibscheiben)
t       = 0.003;         % [m]   Dicke der Tellerfeder
h0      = 0.0135;        % [m]   Freie Höhe
E       = 206000e6;      % [Pa]  Elastizitätsmodul (Stahl)
nu      = 0.3;           % [-]   Querkontraktionszahl
n_series = 3;           % [-]   Anzahl Federn in Serie

%% Einzelwertberechnung bei s = 10.5 mm Gesamtfederweg
s_probe_total = 0.0066;           % [m]   Verfahrensweg
s_probe_single = s_probe_total / n_series; % [m]   Federweg pro
Feder
FK = Federkraft_DIN2092(De, Di, t, h0, s_probe_single, E, nu);
fprintf('bei s = 6.6 mm : Federkraft = %.2f N\n', FK);

```

bei s = 6.6 mm : Federkraft = 19986.20 N

```

% bei s= 6.6 mm ist die Kraft F_k = 20 kN erreicht!
% das bedeutet, die Kupplung muss 6.6 mm gestaucht werden, um in den
% reibsschlüssigen Zustand zu kommen und hat anschließend noch 30-
6.6=23.4
% mm für den Formschlüssigen Teil als Verfahrensweg

%% Plot des Kraftverlaufs
s_max = (h0 - t) * n_series;           % realer max. Federweg
[m]
s_total = linspace(0, s_max, 200);     % Gesamtfederweg [m]
s_single = s_total / n_series;         % Weg pro Feder [m]
F = Federkraft_DIN2092(De, Di, t, h0, s_single, E, nu); % Kraft [N]

figure;
plot(s_total * 1000, F / 1000, 'b', 'LineWidth', 1.8);
xlabel('Federweg s [mm]');
ylabel('Federkraft F [kN]');
title('Tellerfeder-Kennlinie (n=3 in Serie)');
grid on;
yline(20, '--r', '20 kN');
legend('F(s)', 'Location', 'best');

```

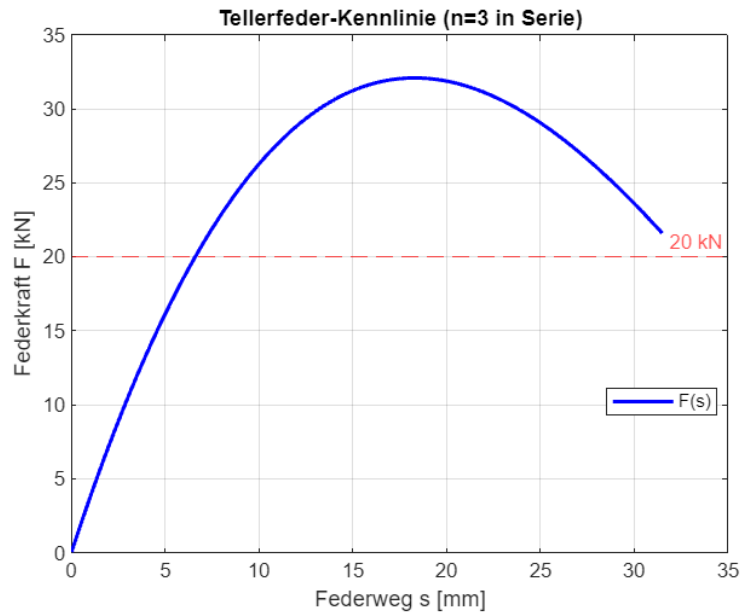


Abbildung 4: Kraft-Verformungsdiagramm der Tellerfedern

Für die Erzeugung der Reibschlusskraft in der Mehrscheibenlamellenkupplung wird ein Paket aus drei Tellerfedern in serieller Anordnung eingesetzt. Die Federn dienen zur Vorspannung der Reiblamellen im reibschlüssigen Zustand und sollen dabei eine definierte Federkraft von 20 kN aufbringen.

Die Tellerfedern werden aus Federstahl gefertigt und mit einem Elastizitätsmodul von  $E = 206 \text{ GPa}$  sowie einer Querkontraktionszahl von  $\nu = 0,3$  ausgelegt.

Da drei Federn in Serie geschaltet sind, verteilt sich der Gesamtfederweg gleichmäßig auf die Einzelkomponenten. Um bei einem Gesamtweg von  $s = 6,6 \text{ mm}$  die Zielkraft von  $F = 19986 \text{ N} \approx 20 \text{ kN}$  zu erreichen, ergibt sich ein Einzelweg von  $s_{\text{einzel}} = 2,2 \text{ mm}$  pro Feder.

Die Kraftberechnung basiert auf der Formel nach DIN 2092 für Tellerfedern, welche die geometrischen und materialtechnischen Parameter berücksichtigt. Zur Verifikation wurde eine Kennlinie über den gesamten Federweg erstellt. Die Simulation zeigt, dass die gewünschte Kraft im linearen Arbeitsbereich der Feder liegt, wodurch ein sicheres Ansprechen ohne Knick- oder Umklappeffekte gewährleistet ist.

Nach Erreichen des reibschlüssigen Zustands verbleiben 23,4 mm Verfahrweg in der Kupplung (bei insgesamt 30 mm verfügbarer Axialverstellung), was ausreichend ist, um den formschlüssigen Eingriff über eine Zahnverbindung herzustellen.

## Diskussion der Sicherheiten/Fehlermeldungen

Alle Sicherheiten sind in Ordnung. Die kleinste Sicherheit der Wellen weist die innere Abtriebswelle mit 1,78 als Ermüdungssicherheit auf. Die Lebensdauern der Lager sind überall über 200 Stunden. Die Sicherheit gegen das Fressen der Kegelräder ist nur mit 0,5 gefordert und somit mit 0,81 ebenfalls in Ordnung.



**Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 1':**  
Die Axialkraft ist wesentlich grösser als die Radialkraft. Unter Umständen ist hier ein Axiallager geeigneter.

Dieser Fehler ist bei allen Wellen vorhanden. Die Fehler über die Größe der Axialkraft hat recht, allerdings wurden keine reinen Axiallager welche 8000U/min aushalten gefunden.



**Die thermisch zulässige Betriebsdrehzahl des Lagers 'Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 1' könnte kritisch sein.**  
Bitte führen Sie die Berechnung der thermisch zulässigen Betriebsdrehzahl aus (Spezialtab im Menü 'Berechnung').

Der Fehler bezüglich der thermischen Betriebsdrehzahl ist berechtigt und wird gelöst, indem zum einen eine starke Ölkühlung mit Temperaturüberwachung an allen Lagern angebracht wird. Und zum anderen wird die Ölzufuhr sehr überdimensioniert und mehr Öl als üblich durch die Lager gefördert, sodass die Lager nicht überhitzen können.



**Rechenmethode nach DIN 743:**  
Diese Methode ist für die Festigkeitsberechnung von Wellen, die vor allem auf Scherung belastet sind, nicht geeignet!

Diese Warnung ist lediglich bei der äußeren Abtriebswelle. Die Warnung in KissSoft zur Rechenmethode nach DIN 743 ist bekannt und resultiert aus der vorliegenden reinen Torsionsbeanspruchung. Da diese Beanspruchung gezielt berücksichtigt und die Auslegung auf Basis bewährter Formeln aus Roloff/Matek erfolgt ist, ist die Berechnung dennoch zulässig.



**Die Umfangsgeschwindigkeit ist sehr hoch (98.6707 m/s)!**  
Dies bewirkt folgendes:  
Die Schmierung ist nicht mehr gewährleistet.  
Die Berechnung ist nicht für diesen Fall vorgesehen!

Diese Meldung ist lediglich bei den Kegelrädern. In der Realität ist auch diese Umfangsgeschwindigkeit noch machbar, aber nicht mehr mit Standardnormen (DIN3990/ISO6336) auslegbar. Man müsste dafür CFD-Analysen der Ölversorgung erstellen.

## Verzahnung

### Maßabschätzung

```

T1_eq=K_a*M_an;           % Drehmoment treibend mit K_a in Nm
T1_eq_Nmm=T1_eq*1e3;     % Drehmoment treibend mit K_a in Nmm
de1=atan(z1/z2);        % Teilkegelwinkel Delta treibend
si_Flim1=400;           % Einsatzstahl (ungefaehr)
m_m_v=3.75*((T1_eq_Nmm*sin(de1))/(z1^2*si_Flim1))^(1/3); % Modul
Vorauslegung

m_m=12;                  % Modul
Ps_d=0.21;               % Breitenverhältnis Psi (RM TB 22-1)
be_m_deg=30;             % Spiralwinkel Beta in °
be_m=be_m_deg*pi/180;   % Spiralwinkel Beta in rad
d_m1=z1*m_m/cos(be_m);  % mittlerer Teilkreisdruchmesser treibend
b_1=Ps_d*d_m1;          % Zahnbreite (ungefaehr)

```

Ausgehend vom Antriebsmoment  $M_{an}$ , multipliziert mit einem Sicherheitsfaktor  $K_a$ , wurde das zu übertragende Moment  $T1_{eq}$  in Nmm berechnet. Anschließend wurde der Teilkegelwinkel  $\delta_1$  aus dem Verhältnis der Zähnezahlen  $z1/z2$  bestimmt. Mit einer zulässigen Biegespannung von  $\sigma_{F,lim} = 400$  MPa für den eingesetzten Vergütungsstahl ergab sich gemäß Roloff/Matek eine überschlägige Vorauslegung des Moduls über die Formel:

Das so ermittelte Modul wurde jedoch verworfen, da in KissSoft-Berechnungen bei kleineren Modulen keine ausreichenden Sicherheitsfaktoren für Zahnfuß- und Zahnflankenfestigkeit erreicht wurden. Stattdessen wurde ein Modul von  $m = 12$  mm gewählt, da dieser im weiteren Verlauf eine normgerechte Auslegung der Verzahnung mit angemessenen Sicherheiten erlaubte.

Für die geometrische Dimensionierung wurde ein Spiralwinkel von  $\beta = 30^\circ$  sowie ein Breitenverhältnis  $\Psi = 0,21$  angenommen. Der mittlere Teilkreisdurchmesser berechnete sich zu  $d_{m1} = z1 * m / \cos(\beta)$ , woraus sich die Zahnbreite als  $b = \Psi * d_{m1}$  ergibt. Diese Parameter bilden die Grundlage für die weitere Detailauslegung der Verzahnung und die Konstruktion des Getriebes in CAD.

KissSoft Verzahnung

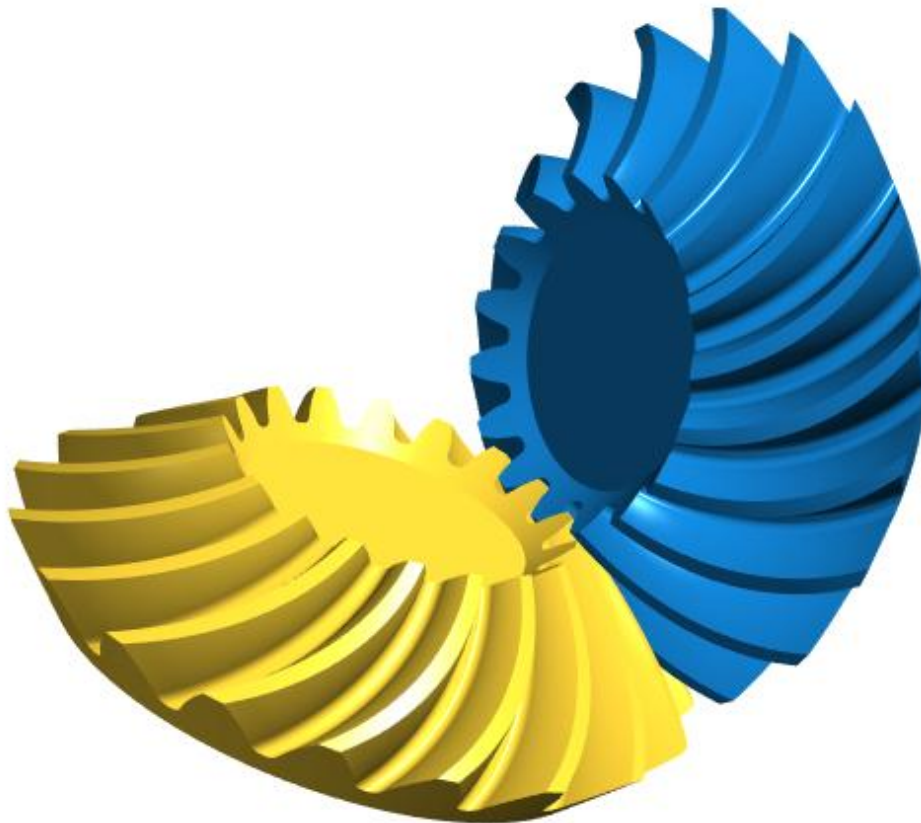


Abbildung 5: Verzahnung 3D

Geometrie		Rad 1	Rad 2
Normalm...(Mitte) $m_{mn}$	12.0000 mm		
Teilkrei...(Aussen) $d_{e2}$	329.3868 mm	Zähnezah $z$	17
Normale...swinkel $\alpha_n$	20.0000 °	Zahnbreit $b$	110.0000 mm
Rad 1	bogenverzahnt, linkssteigend	Pro...tor $x_{hmn}$	0.0490
Spiralwi... (Mitte) $\beta_{m2}$	30.0000 °	Zah...tor $x_{sm}$	0.0000
Kopfwinkel Rad 2 $\theta_{a2}$	3.8061 °	Qu...5) $Q$	6
Fusswinkel Rad 2 $\theta_{f2}$	5.1925 °	Achswink $\Sigma$	90.0000 °
		Ach...atz $a$	0.0000 mm

Werkstoffe und Schmierung	
Rad 1	Einsatzstahl $\downarrow$ 18CrNiMo7-6, einsatzgehärtet, ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernhärte $\geq 30$ HRC
Rad 2	Einsatzstahl $\downarrow$ 18CrNiMo7-6, einsatzgehärtet, ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernhärte $\geq 30$ HRC
Schmierung	Öl-Einspritz $\downarrow$ + Klübersynth GH 6-1500 (API GL 5)

		Rad 1	Rad 2
Kopfkreisdurchmesser Aussen (mm)	$[d_{a,e}]$	335.260	350.083
Zahnfussicherheit	$[S_F]$	1.449	1.429
Flankensicherheit	$[S_H]$	1.188	1.166
Sicherheitsfaktor für Fressen (Blitz-T.)	$[S_B]$		0.808

## Berechnung Hohlwellen / Lager in KissSoft

```

% Mindest-Innendurchmesser der Innenwelle aufgrund Ölung: 30 mm
% === Gegebene Werte ===
tau_zul = 380e6;           % Torsionswechselfestigkeit (abgeleitet aus
axialer Ermüdung)
k = 0.6;                  % Gutes Verhältnis d_i / d_a (für
Antriebswelle)
d_i_iw = 0.03;           % Mindest-Innendurchmesser Innenwelle [m]
% === Herleitung der Formel Schritt für Schritt ===
% (1) Torsionsspannung allgemein:
% tau = T * r / J          --> Roloff/Matek, Gl. (2.70)
% (2) Flächenträgheitsmoment J für Hohlwelle:
% J = (pi/32) * (d_a^4 - d_i^4)  --> Roloff/Matek, Gl. (2.47)
% (3) größter Radius r = d_a / 2:
% Einsetzen von J und r in tau ergibt:
% tau = (16 * T * d_a) / (pi * (d_a^4 - d_i^4)) --> Hergeleitet aus
(2.70) und (2.47)
% (4) Setze d_i = k * d_a:
% dann: d_i^4 = k^4 * d_a^4
% damit: (d_a^4 - d_i^4) = d_a^4 * (1 - k^4)
% (5) Vereinfachte Formel:
% tau = (16 * T) / (pi * d_a^3 * (1 - k^4))
% (6) Umgestellt nach d_a:
% d_a = [ (16 * T * C_v) / (pi * tau_zul * (1 - k^4)) ]^(1/3)

```

Ausgangspunkt ist die Torsionsbeanspruchung bei Hohlwellen, deren maximale Schubspannung sich aus dem Verhältnis von Drehmoment, größtem Radius und polarem Flächenträgheitsmoment ergibt.

Zur Vereinfachung wird ein festes Verhältnis  $k = d_i / d_a$  angenommen. Dieses erlaubt es, die Formel auf eine kompakte Darstellung der maximalen Schubspannung zu reduzieren. Die zulässige Torsionswechselfestigkeit  $\tau_{zul} = 380$  MPa wird als Auslegungsgrenze angesetzt.

Dabei berücksichtigt der Faktor  $C_v$  Sicherheits- bzw. Anwendungsbedingungen. Der Mindestinnendurchmesser der Innenwelle wird zusätzlich mit 30 mm festgelegt, da er konstruktiv für eine Schmiermittelbohrung freigehalten werden muss.

Es ist zu bemerken, dass eine Ölfilterung nach ISO 4461 verwendet wird, welche die Lagersicherheiten durch reinigen des Öls von Partikeln, um einiges erhöht.

## Antriebswelle

### Maßabschätzung

```
% Formelgrundlage:  
% tau_max = (16 * T) / (pi * d_a^3 * (1 - k^4))  
% Umstellen nach d_a:  
% d_a = [ (16 * T * C_v) / (pi * tau_zul * (1 - k^4)) ]^(1/3)  
numerator_an = 16 * C_v * K_max * M_an;  
denominator_an = pi * tau_zul * (1 - k^4);  
d_a_an = (numerator_an / denominator_an)^(1/3) % Außendurchmesser  
Antriebswelle [m]  
d_i_an = k * d_a_an % Innendurchmesser  
Antriebswelle [m]  
% Nach Überprüfung und Berechnung der Sicherheiten in KissSoft wurden  
die  
% Werte d_a_an = 125 mmm und d_i_an = 70 mm festgelegt.
```

In diesem Abschnitt des MATLAB-Skripts wird der erforderliche Außendurchmesser der Antriebs-Hohlwelle auf Basis der zulässigen Torsionsspannung und der wirkenden Drehmomente berechnet.

Dabei ist  $k$  das Verhältnis von Innen- zu Außendurchmesser und wurde mit 0,6 angenommen. Das berechnete Moment  $M_{an}$  wird zusätzlich mit Sicherheitsfaktoren  $C_v$  und  $K_{max}$  berücksichtigt. Die Berechnung liefert einen vorläufigen Außendurchmesser  $d_{a\_an}$ , aus dem sich direkt der zugehörige Innendurchmesser  $d_{i\_an} = k \cdot d_a$  ergibt. Nach abschließender Bewertung in KissSoft und unter Berücksichtigung der dort errechneten Sicherheiten wurden die finalen Werte auf 125 mm (Außendurchmesser) und 70 mm (Innendurchmesser) festgelegt. Diese Werte gewährleisten die erforderliche Festigkeit bei minimalem Bauraum.

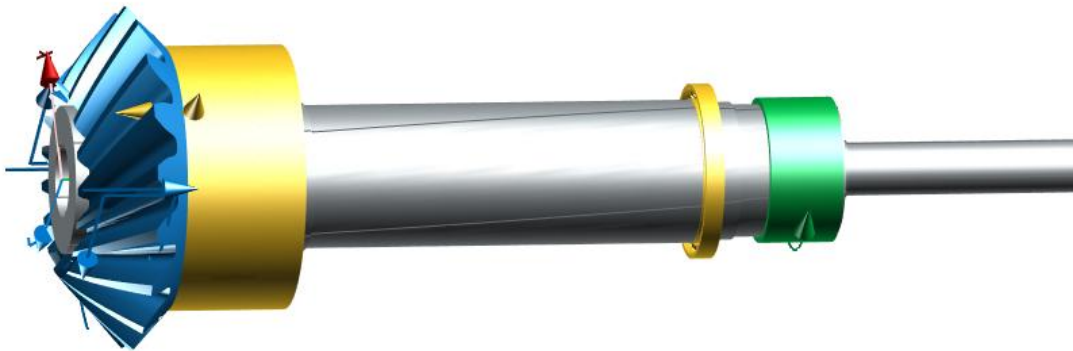
*KissSoft Antriebswelle*

Abbildung 6: Verformung der Antriebswelle

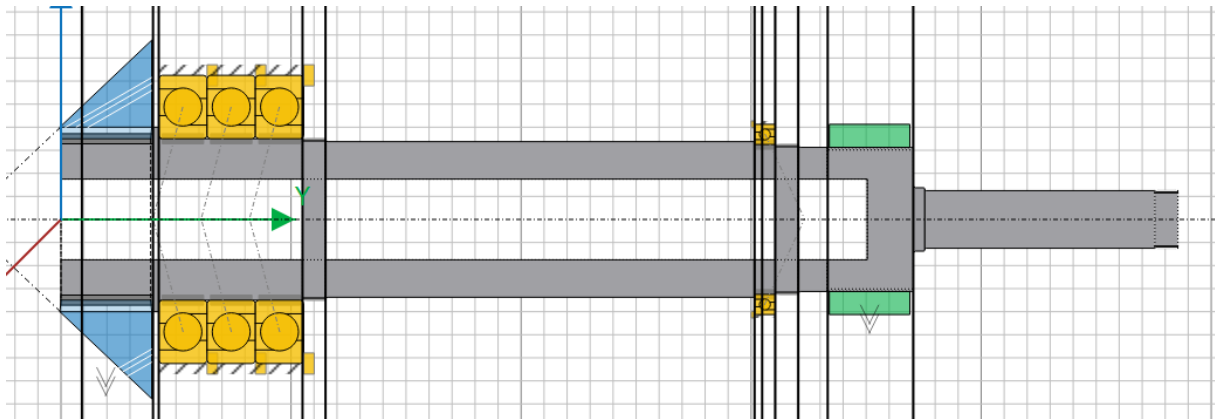


Abbildung 7: Antriebswelle in KissSoft

**Resultate**

maximale Durchbiegung	31.98 $\mu\text{m}$
maximale Vergleichsspannung	133.19 $\text{N}/\text{mm}^2$
minimale Lagerlebensdauer	290.55 h
minimale Lagersicherheit statisch	9.95
minimale Sicherheit Ermüdung	3.45
minimale Sicherheit statisch	2.43

## Abtriebswelle innen

*Maßabschätzung*

```
% Funktion zur Berechnung von d_a bei gegebenem d_i und Drehmoment
berechne_da = @(M, tau, C_v, d_i)...
    fzero(@(d_a) (pi/16) * tau / C_v / K_max * (d_a^4 - d_i^4) / d_a -
M, d_i + 0.01);
d_i_iw
```

```
d_i_iw = 0.0300
```

```
d_a_iw = berechne_da(M_ab, tau_zul, C_v, d_i_iw) % Außendurchmesser
Innenwelle [m]
```

```
d_a_iw = 0.0986
```

```
% Nach Überprüfung und Berechnung der Sicherheiten in KissSoft wurden
die
% Werte d_i_iw = 95 mmm und d_a_iw = 30 mm festgelegt.
```

Da der Außendurchmesser  $d_a$  in dieser Gleichung nicht direkt lösbar ist, wird eine numerische Nullstellenlösung mit der Funktion `fzero` durchgeführt. Dabei wird die Differenz der linken und rechten Seite der Gleichung als Zielgröße verwendet. Der Startwert ist geringfügig größer als der Innenradius, um eine realistische Lösung zu gewährleisten. Die Berechnung basiert auf dem Abtriebsmoment  $M_{ab}$  und der zulässigen Schubspannung  $\tau_{zul}$ . Zusätzlich werden Sicherheitsfaktoren  $C_v$  und  $K_{max}$  berücksichtigt. Der Innenradius wurde mit 30 mm festgelegt, um ausreichend Platz für eine zentrale Ölleitung zu gewährleisten. Nach Berechnung und Überprüfung in KissSoft wurden als minimale Werte für die Innenwelle ein Außendurchmesser von 85 mm und ein Innenradius von 30 mm festgelegt. Diese Geometrie ermöglicht eine ausreichende Festigkeit und erfüllt gleichzeitig die Anforderungen an Ölführung und Bauraum.

*KissSoft Abtriebswelle innen*

Abbildung 8: Verformung der Abtriebswelle innen

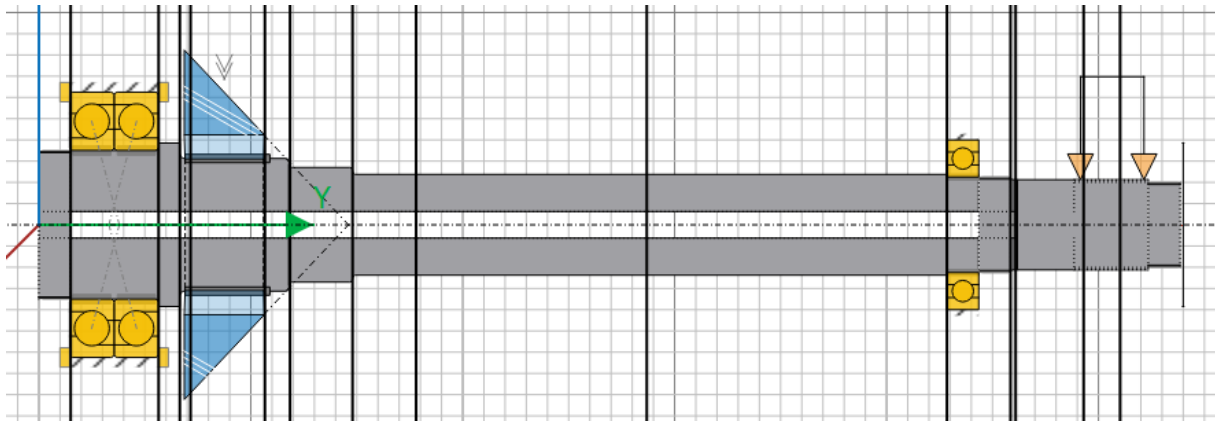


Abbildung 9: Abtriebswelle innen in KissSoft

**Resultate**

maximale Durchbiegung	667.03 $\mu\text{m}$
maximale Vergleichsspannung	193.20 $\text{N}/\text{mm}^2$
minimale Lagerlebensdauer	236.07 h
minimale Lagersicherheit statisch	2.69
minimale Sicherheit Ermüdung	1.74
minimale Sicherheit statisch	1.73

## Abtriebswelle außen

### Maßabschätzung

```
% Außenwelle umschließt Innenwelle, daher minimaler Abstand nötig
d_i_aw = d_a_iw + 0.005 % Sicherheitsabstand 5
mm
```

```
d_i_aw = 0.1036
```

```
d_a_aw = berechne_da(M_ab, tau_zul, C_v, d_i_aw) % Außendurchmesser
Außenwelle [m]
```

```
d_a_aw = 0.1235
```

```
% Nach Überprüfung und Berechnung der Sicherheiten in KissSoft wurden
die
% Werte d_a_a = 130 mmm und d_i_a = 105 mm festgelegt.
```

Da die Außenwelle konzentrisch um die Innenwelle angeordnet ist, muss ein ausreichender Mindestabstand zwischen beiden Wellen berücksichtigt werden. In diesem MATLAB-Skriptabschnitt wird dieser Abstand auf 5 mm festgelegt, um die Montage, Schmierung und thermische Ausdehnung sicherzustellen.

Der resultierende Innenradius der Außenwelle ergibt sich somit aus dem zuvor berechneten Außendurchmesser der Innenwelle zu  $d_{i\_aw} = d_{a\_iw} + 5 \text{ mm}$ . Anschließend wird der erforderliche Außendurchmesser der Außenwelle mithilfe der bekannten Torsionsformel für Hohlwellen über eine numerische Lösung (fzero) bestimmt. Dabei fließen das Abtriebsmoment  $M_{ab}$ , die zulässige Torsionsspannung  $\tau_{zul}$  sowie die Faktoren  $C_v$  und  $K_{max}$  in die Berechnung ein.

Nach der Simulation und Sicherheitsanalyse in KissSoft wurden als endgültige Geometriewerte für die Außenwelle ein Außendurchmesser von 130 mm und ein Innenradius von 105 mm festgelegt. Diese Auslegung stellt die strukturelle Integrität sicher und berücksichtigt gleichzeitig die geometrische Einpassung in die Welle-in-Welle-Konstruktion des Hubgebläsegetriebes.

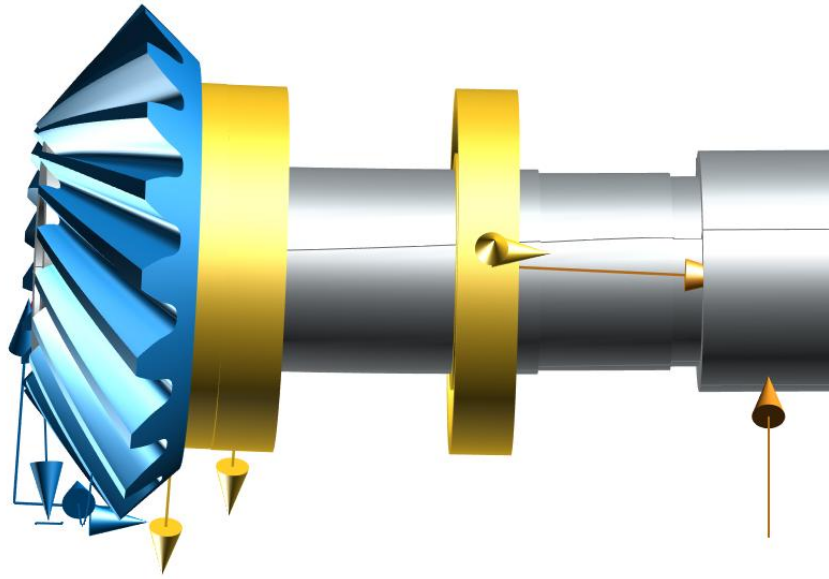
*KissSoft Abtriebswelle außen*

Abbildung 10: Verformung der Abtriebswelle außen

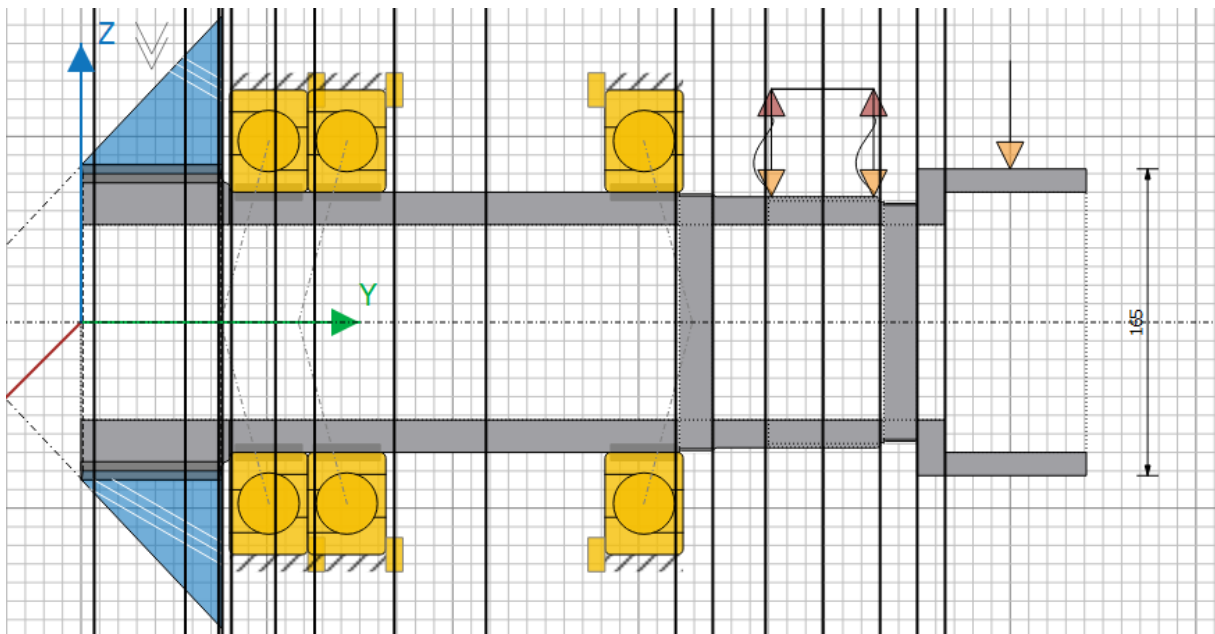


Abbildung 11: Abtriebswelle außen in KissSoft

**Resultate**

maximale Durchbiegung	263.81 $\mu\text{m}$
maximale Vergleichsspannung	142.08 $\text{N}/\text{mm}^2$
minimale Lagerlebensdauer	215.85 h
minimale Lagersicherheit statisch	2.42
minimale Sicherheit Ermüdung	2.43
minimale Sicherheit statisch	4.51

Plausibilität / Berechnung der Lagerkräfte

% Gesamtsystem als Freischnittskizze

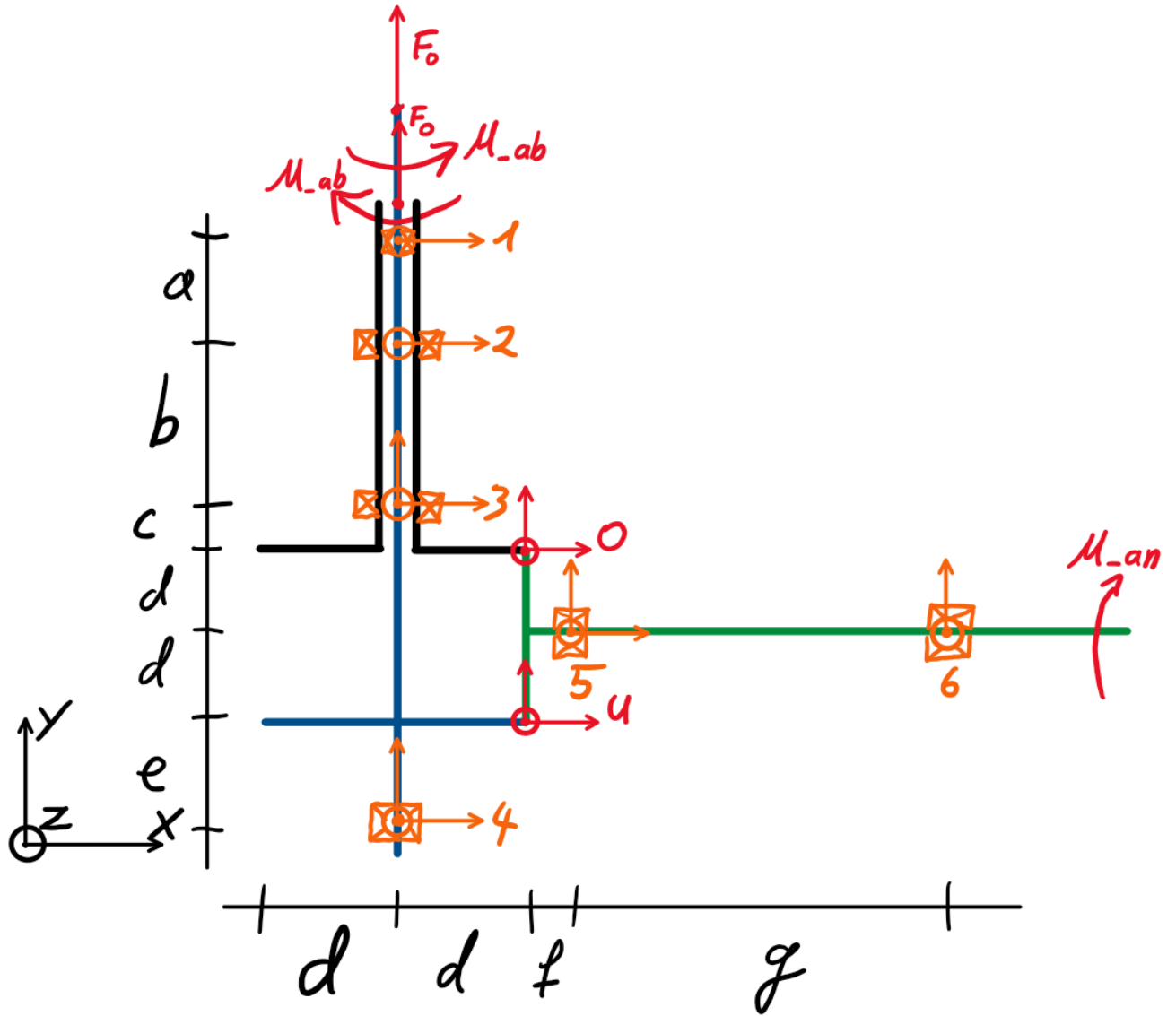


Abbildung 12: Freischnittskizze Gesamtsystem

% Antriebswelle

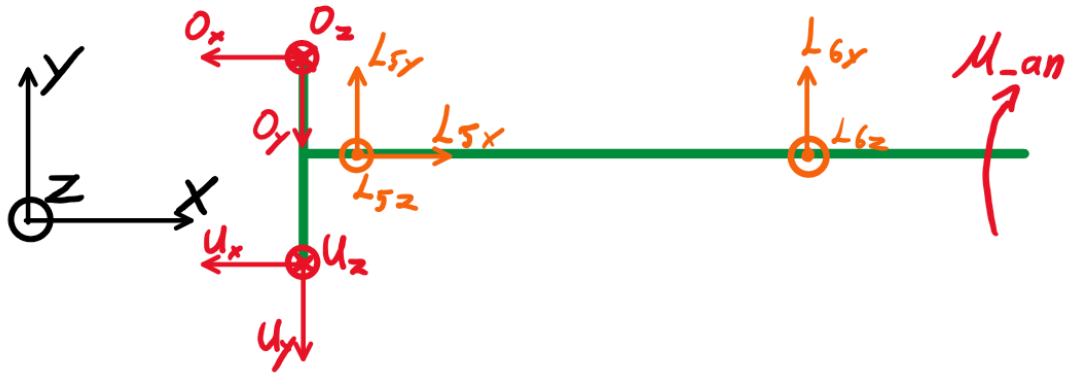


Abbildung 13: Freischnittskizze Antriebsstrang

```

% Gleichungen
% 0 == - O_x - U_x + L_5x;           % Summe F_x
% 0 == - O_y - U_y + L_5y + L_6y;   % Summe F_y
% 0 == - O_z - U_z + L_5z + L_6z;   % Summe F_z
% 0 == -M_an - O_z*d + U_z*d;       % M_x um die grüne Achse
% 0 == -L_5z*f - L_6z*(f+g);       % M_y um O / U
% 0 == O_x*d + L_5y*f + L_6y*(f+g) - U_x*d; % M_z
% Abtriebswelle innen
    
```

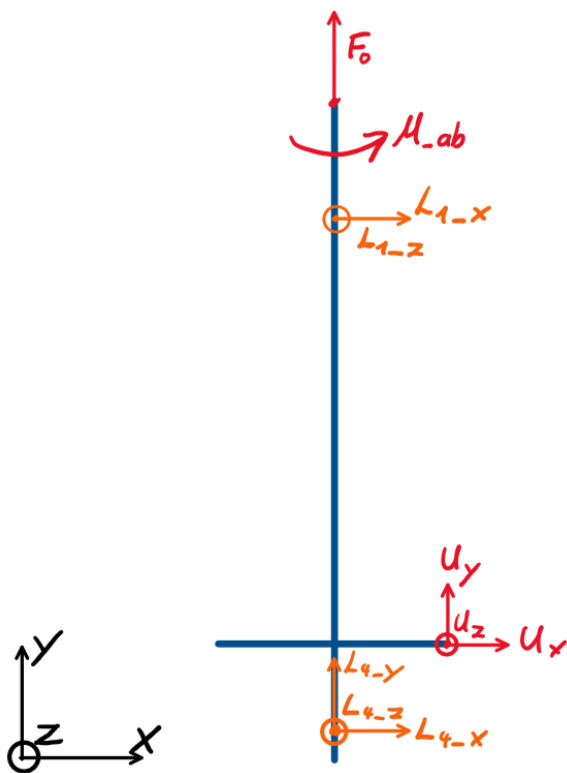


Abbildung 14: Freischnittskizze Abtriebswelle innen

```

% Gleichungen
% 0 == L1x + Ux + L4x;           % Summe Fx
% 0 == F0 + Uy + L4y;           % Summe Fy
% 0 == L1z + Uz + L4z;           % Summe Fz

% 0 == Uz*e + L1z*(a+b+c+d+d+e); % Mx um Lager 4
% 0 == M_ab - Uz*d;              % My
% 0 == Uy*d + L4x*e -L1x*(a+b+c+d+d); % Mz

% Abtriebswelle außen

```

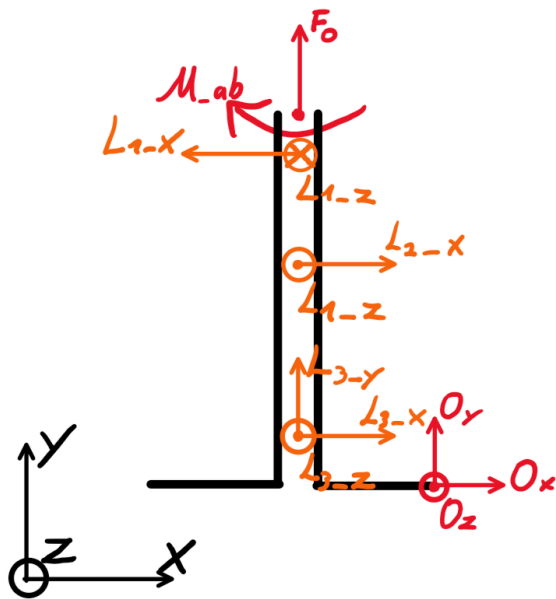


Abbildung 15: Freischnittskizze Abtriebswelle außen

```

% Gleichungen
% 0 == O_x + L2x + L3x - L1x;     % Summe Fx
% 0 == O_y + L3y + F0;           % Summe Fy
% 0 == O_z + L3z + L2z - L1z;     % Summe Fz

% 0 == L3z*c + L2z*(b+c) - L1z*(a+b+c); % Mx um O
% 0 == -M_ab - O_z*d;            % My
% 0 == O_y*d - L3x*c -L2x*(b+c) + L1x*(a+b+c); % Mz

```

## Berechnung der Lagerkräfte

```

% Die Längen sind aus KissSoft übernommen

```

```
a = 0.25;
b = 0.18;
c = 0.085;
d = 0.15;
e = 0.11;
f = 0.11;
g = 0.46;

v = 1;
F_a = v*-79208.8;    % Axialkraft aus KissSoft
F_r = v*-14800.9;   % Radialkraft aus KissSoft
F_t = v*112838.0;   % Tangentialkraft aus KissSoft

[L1x, L1z, L2x, L2z, L3x, L3y, L3z, L4x, L4y, L4z, L5x, L5y, L5z, L6y,
L6z] = berechneLagerkraefte(a,b,c,d,e,f,g, F0, F_a, F_r, F_t);
```

Eine Eindeutige Lösung :)

```
% Normieren der Radialkraft
L1r = sqrt(L1x^2 + L1z^2);
L2r = sqrt(L2x^2 + L2z^2);
L3r = sqrt(L3x^2 + L3z^2);
L4r = sqrt(L4x^2 + L4z^2);
L5r = sqrt(L5y^2 + L5z^2);
L6r = sqrt(L6y^2 + L6z^2);

L3a = L3y;
L4a = L4y;
L5a = L5x;
```

## Sonstige Berechnungen

### Axiale Wärmeausdehnung der Wellen

```

alpha = 13.3*10^-6;           % Wärmeausdehnungskoeffizient von
18CrNiMo7-6

                                % laut Thyssen Krupp

delta_T = 100;                % Temperaturerhöhung in Kelvin
% es wird nur die Dehnung zwischen den Lagerungen berechnet
% Formel: delta_l = l*alpha*delta_T
% Antriebswelle

delta_l_an = g*alpha*delta_T;   % 6.1mm
% Abtriebswelle innen

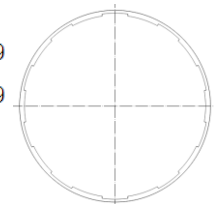
delta_l_ab_i = (a+b+c+d+d+e)*alpha*delta_T; % 12.0mm
% Abtriebswelle außen

delta_l_ab_a = b*alpha*delta_T; % 2.4mm

```

### Berechnung der Keile der Kupplungsscheiben in KissSoft

	Welle	Nabe
Pressbeanspruchung bei $T_n$ (N/mm <sup>2</sup> )	42.1859	42.1859
Pressbeanspruchung bei $T_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	42.1859	42.1859
Sicherheit bei $T_n$	10.02	11.56
Sicherheit bei $T_{max}$	15.02	17.33

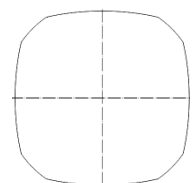


### Berechnung des Presssitz der Kegelräder am Abtrieb

Beanspruchung:	Rein elastisch	Rein elastisch		
		mittel	minimal	maximal
Sicherheit gegen Rutschen	$[S_r]$	1.32	1.21	1.43
Sicherheit Bruch Welle	$[S_{i,Rm}]$	2.53	2.33	2.76
Sicherheit Bruch Nabe	$[S_{i,Rm}]$	2.19	2.02	2.39
Sicherheit Streckgrenze Welle	$[S_{i,Rp}]$	1.79	1.65	1.96
Sicherheit Streckgrenze Nabe	$[S_{i,Rp}]$	1.55	1.43	1.69
Setzung ( $\mu\text{m}$ )	$[s]$	3.8400		

### Berechnung des P4C-Polygons am Antrieb

	Welle	Nabe
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	129.3814	129.3814
Sicherheit bei T	2.96	2.96



## Berechnung der Zahnwellen

```
% Die verwendete Funktion berechnet im Bereich des Wellendurchmesser
die besten möglichen Kombinationen aus Zähnezahl und Modul für die
Zahnwelle
```

```
% Syntax der Funktion:
```

```
% gueltige_Zahnwelle(Zahnbreite, mindest Teilkreisdurchmesser,
maximaler
```

```
% Teilkreisdurchmesser, zu übertragendes Drehmoment)
```

```
% Antriebswelle
```

```
gueltige_Zahnwelle(75, 100, 125, M_an);
```

```
% wähle z = 20 ; m =
```

$j_{\text{eff max/min}}$ (mm)	0.254 / 0.000
Betriebsdrehmoment (Nm)	33226.25
Sicherheit Kontaktspannung	3.49 / 3.49
Sicherheit Fressen und Verschleissfestigkeit	1.84 / 1.84
Sicherheit Ringbruch	1.63
Zulässiges Drehmoment Torsionsbruch (Nm)	77040.79

```
% Abtriebswelle innen
```

```
gueltige_Zahnwelle(70, 70, 85, M_ab);
```

```
% wähle z = 16 ; m = 5
```

$j_{\text{eff max/min}}$ (mm)	0.238 / 0.000
Betriebsdrehmoment (Nm)	16612.50
Sicherheit Kontaktspannung	3.10 / 3.10
Sicherheit Fressen und Verschleissfestigkeit	1.63 / 1.63
Sicherheit Ringbruch	1.82
Zulässiges Drehmoment Torsionsbruch (Nm)	21751.47

```
% Abtriebswelle außen
```

```
gueltige_Zahnwelle(60, 125, 135, M_ab);
```

```
% wähle z = 26 ; m = 5
```

$j_{\text{eff max/min}}$ (mm)	0.243 / 0.000
Betriebsdrehmoment (Nm)	16612.50
Sicherheit Kontaktspannung	8.19 / 8.19
Sicherheit Fressen und Verschleissfestigkeit	4.32 / 4.32
Sicherheit Ringbruch	5.80
Zulässiges Drehmoment Torsionsbruch (Nm)	38964.51

```
% Bogenzahnkupplung bei Lager 1
```

```
gueltige_Zahnwelle(50, 145, 160, M_an);
```

```
% wähle z = 38 ; m = 4
```

## Wanddicke des Gehäuses

```
% Die Wanddicke des Gehäuses müsste theoretisch mit FEM generiert und
% überprüft werden, das Sprengt unseren Rahmen.
% Wir Betrachten das Gehäuse als ein Rohr welches nur durch die
% Lagerreaktionen auf Biegung belastet ist.
% Es wir das Gehäuse der Abtriebswellen betrachtet, da das der
% Antriebswelle nahezu unbelastet ist.
```

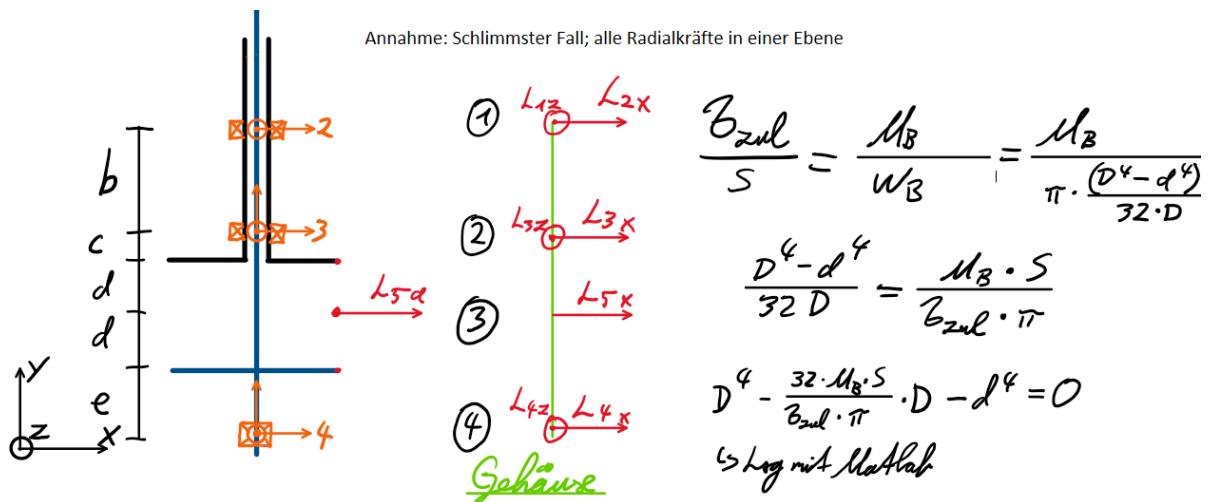


Abbildung 16: Berechnung der Gehäusewandstärke

```
% Maximales Biegemoment in dem Gehäuse
% Stelle 2
M_b_2 = L4r*(e+d);
% Stelle 3
M_b_3 = L2r*b;
M_B = max(M_b_2, M_b_3)*10^3; % Maximalmoment in Nmm
% Ziel: Außendurchmesser D in mm finden
sigma_zul = 400; % Ermüdungsspannung von Ti-6Al-4V
d_g = 250; % Innendurchmesser des Gehäuse
C_v_G = 8; % Vorauslegungsfaktor des Gehäuse
% Rechte Seite der Gleichung
rhs = (M_B * C_v_G) / (sigma_zul * pi);
% Gleichung definieren: (D^4 - d^4)/(32*D) = rhs
fun = @(D_g) (D_g.^4 - d_g^4) ./ (32 * D_g) - rhs;
```

```

% Startwert für Iteration (z.B. etwas größer als d)
D0 = d_g + 10;
% Numerische Lösung mit fzero
D_loesung = fzero(fun, D0);
% wähle D=280mm -> t = (280-250)/2 = 15mm

```

## Hilfsfunktionen

### Anpresskraft zwischen den Kupplungsscheiben

```

function F_N = zul_anpresskraft(ra, ri, p_MPa)
% Berechnet die zulässige Anpresskraft für eine Ringreibfläche
% Syntax: zul_anpresskraft(Außenradius, Innenradius, zulässige
%   Pressung)
% Ausgabe:
%   F_N      - zulässige Anpresskraft in N
%   Umrechnung Druck von MPa in N/m²
p = p_MPa * 1e6;
% Reibfläche des Rings in m²
A = pi * (ra^2 - ri^2);
% Anpresskraft
F_N = p * A;
end

```

### Berechnungsfunktion der Lagerkräfte

```

function [L1x, L1z, L2x, L2z, L3x, L3y, L3z, L4x, L4y, L4z, L5x, L5y,
L5z, L6y, L6z] = berechneLagerkraefte(a, b, c, d, e, f, g, F0, Ox, Oy,
Oz)
% Berechnung der Lagerkraefte und Übergabekräfte eines Getriebes
%% Initialisieren der Koeffizientenmatrix A und rechten Seite B
A = zeros(36,21); % Gleichungen, 22 Unbekannte
B = zeros(36,1);
% Definierte Unbekannte: [L1x, L1z, L2x, L2z, L3x, L3y, L3z, L4x, L4y,
L4z, L5x, L5y, L5z, L6y, L6z, Ux, Uy, Uz, Ox, Oy, Oz]
%% System 1 - Vertikale Welle (6 Gleichungen)
A(1,[1,16,8]) = [1 1 1];

```

```

A(2,[17,9]) = [1 1]; B(2) = -F0;
A(3,[2,18,10]) = [1 1 1];
A(4,[2,18]) = [a+b+c+2*d+e, e];
%A(5,18) = -d; B(5) = -Mab;           unwichtig für Lagerkräfte
A(6,[17,8,1]) = [d e -(a+b+c+2*d)];
%% System 2 - Horizontale Welle (6 Gleichungen)
A(7,[19,3,5,1]) = [1 1 1 -1];
A(8,[20,6]) = [1 1]; B(8) = -F0;
A(9,[21,7,4,2]) = [1 1 1 -1];
A(10,[7,4,2]) = [c b+c -(a+b+c)];
%A(11,21) = -d; B(11) = -Mab;       unwichtig für Lagerkräfte
A(12,[20,5,3,1]) = [d -c -(b+c) a+b+c];
%% System 3 - Horizontale Welle (6 Gleichungen)
A(13,[19,16,11]) = [-1 -1 1];
A(14,[20,17,12,14]) = [-1 -1 1 1];
A(15,[21,18,13,15]) = [-1 -1 1 1];
%A(16,[21,18]) = [-d d]; B(16) = -Man; unwichtig für Lagerkräfte
A(17,[13,15]) = [-f -(f+g)];
A(18,[19,12,14,16]) = [d f (f+g) -d];
%% Zusatzbedingungen Kegelradpaarung (6 Gleichungen)
A(19,[21,18]) = [1 1]; % Oz + Uz = 0
A(20,[19,16]) = [1 -1]; % Ox - Ux = 0
A(21,[17,20]) = [1 1]; % Oy + Uy = 0
% Definieren von Zahnradkräften
A(22,19)=1; B(22)=Ox;
A(23,20)=1; B(23)=Oy;
A(24,21)=1; B(24)=Oz;
%% Lösung des linearen Gleichungssystems
x = A\B;
%% Ergebnisse extrahieren
L1x = x(1); L1z = x(2);
L2x = x(3); L2z = x(4);
L3x = x(5); L3y = x(6); L3z = x(7);

```

```

L4x = x(8); L4y = x(9); L4z = x(10);
L5x = x(11); L5y = x(12); L5z = x(13);
L6y = x(14); L6z = x(15);
% Überprüfen der Lösbarkeit
Rang_A = rank(A);
Rang_AB= rank([A B]);
R = A*x;
% wenn folgende if Aussagen korrekt sind, dann ist die Berechnung sehr
% sicher korrekt
toleranz = 0.000001;
if abs(R - B) < toleranz           % bei zurückrechnung muss wieder B
rauskommen
if Rang_A == Rang_AB             % Überprüfung der Unabhängigkeit
    fprintf('Eine Eindeutige Lösung :')
else
    fprintf('nicht eindeutig Lösbar :(');
end
else
    fprintf('nicht eindeutig Lösbar :(');
end
end
end

```

## Federkraft nach DIN 2092

```

% Es wird die von der Feder übertragene Axialkraft in Abhängigkeit von
% deren Geometrie und des gestauchten Weges nach Norm berechnet

```

### 3.1.1 Federkraft

$$F = \frac{4E}{1-\mu^2} \cdot \frac{t^4}{K_1 \cdot D_e^2} \cdot \frac{s}{t} \left[ \left( \frac{h_0}{t} - \frac{s}{t} \right) \left( \frac{h_0}{t} - \frac{s}{2t} \right) + 1 \right] \quad (1)$$

Abbildung 17: Federkraft der Tellerfeder

```

function F = Federkraft_DIN2092(De, Di, t, h0, s, E, nu)
    delta = De / Di;
    numerator = ((delta - 1) / delta)^2;

```

```

denominator = ((delta + 1) / (delta - 1)) - (2 / log(delta));
K1 = (1 / pi) * (numerator / denominator);
ht = h0 / t;
st = s / t;
F = (4 * E / (1 - nu^2)) * (t^4 / (K1 * De^2)) .* (s / t) .* ...
    ((ht - st) .* (ht - st/2) + 1);
end

% praktisch müsste noch überprüft werden, ob die maximal auftretenden
% Spannungen in der Feder kleiner sind als die zulässigen. Ich habe
mich

% hier aber nur an die Regel gehalten, der Verfahrweg s_max muss um
faktor 0.75

% kleiner sein als die Höhe H0 = n * h0

```

### Zahnwellen Modul und Zähnezahl Bestimmungsfunktion

```

function gueltige_verzahnung = gueltige_Zahnwelle(B, Dmin, Dmax, T)

% Eingabeparameter:
% B ... Zahnbreite [mm]
% D ... Wellendurchmesser = maximaler Teilkreisdurchmesser [mm]
% T ... übertragendes Drehmoment [Nm]

% Konstanten
sigma_zul = 500;      % zulässige Spannung [N/mm^2]
eta = 0.92;          % Wirkungsgrad
phi = B / Dmax;      % Breitenverhältnis

% Gängige DIN-Module
module = [1, 1.25, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12];

% Vorbereitung Ergebnis
alle_kombis = [];

% Berechnung für alle Module und gültige Zähnezahlen
for m = module
    z_min = ceil(Dmin / m);      % Teilkreisdurchmesser mind. 110
mm                                D
    z_max = floor(Dmax / m);     % Teilkreisdurchmesser maximal

    for z = z_min:z_max

```

```
d = m * z;
% Modul, der zur Drehmomentübertragung notwendig ist laut
RM
m_min = (2 * T * 1000 / (z * sigma_zul * phi * eta))^(1/3);
rel_diff = abs((m - m_min) / m_min); % Betrag der
prozentualen Abweichung
dae = m * (z + 0.8); % angenommene effektive Kopfhöhe ca.
0.4 m je Seite
if dae <= Dmax
    % gültige Kombination
    alle_kombis = [alle_kombis; m, z, d, m_min,
rel_diff, dae];
end
end
end

% Nach relativer Differenz aufsteigend sortieren
alle_kombis = sortrows(alle_kombis, 5); % Spalte 5 ist rel_diff
% Ausgabe der besten 10 Ergebnisse (können auch alle ausgeben)
top10 = alle_kombis(1:min(10, size(alle_kombis,1)), :);
% Schöne Anzeige
fprintf('Beste Kombinationen nach kleinster prozentualer
Abweichung:\n');
disp(array2table(top10, 'VariableNames', ...
    {'Modul_m', 'Zähnezahl_z', 'Teilkreisdurchm_d', 'm_min',
'rel_Abweichung', 'dae'}));
end
```

## Zeichnungen und Stückliste

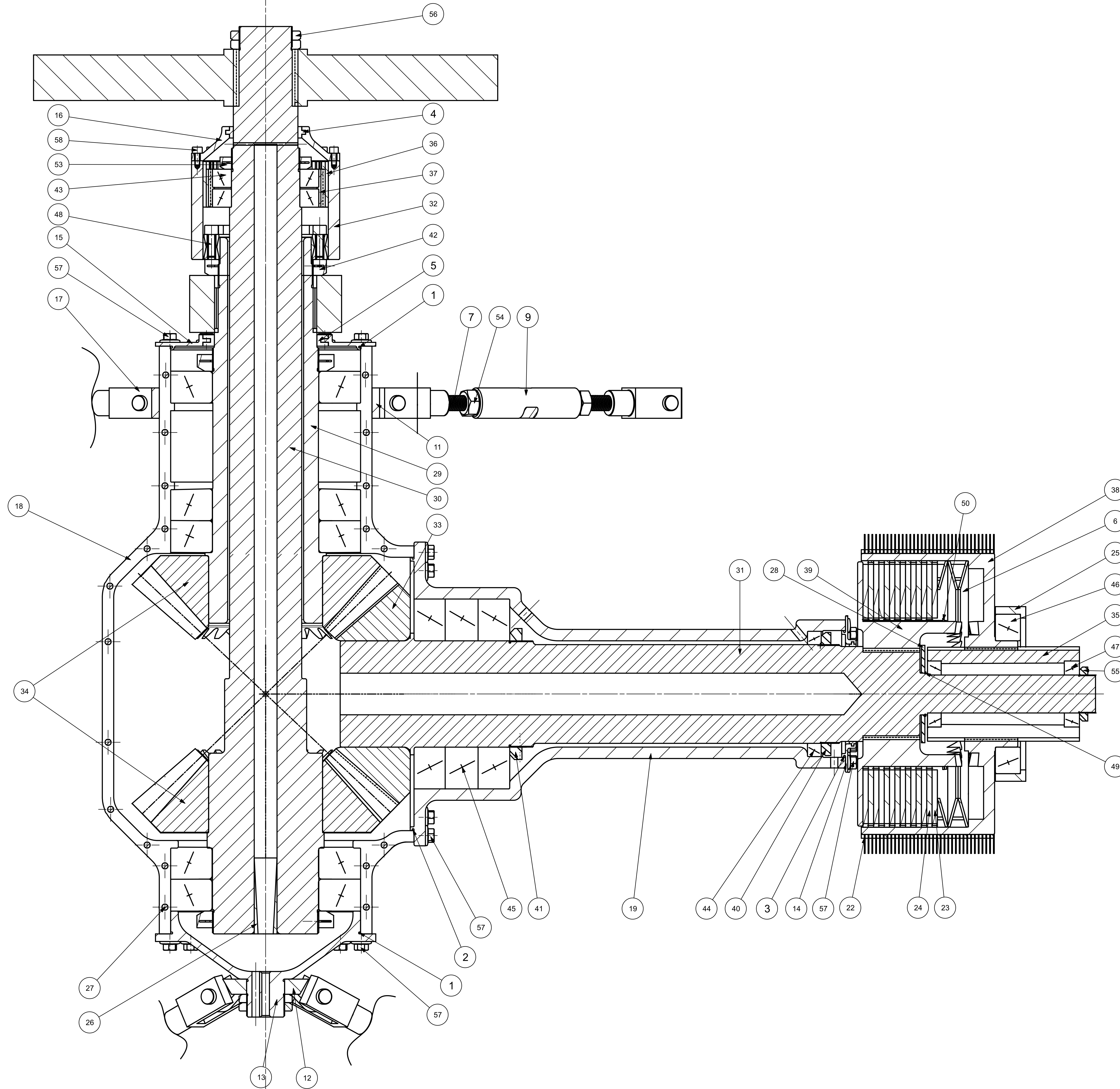
Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Bemerkung
1	1	Stk.	00_D_Dichtring Abtrieb	1	Polyurethan
2	1	Stk.	00_D_Dichtring Antrieb-Abtrieb	2	Polyurethan
3	1	Stk.	00_D_Dichtring Antrieb	3	Polyurethan
4	1	Stk.	00_D_Dichtung_Lager1	4	Polyurethan
5	1	Stk.	00_D_Dichtung Abtrieb oben	5	Polyurethan
6	3	Stk.	00_F_Tellerfeder	6	51CrV4
7	6	Stk.	00_G_Anbindung Gewindestange oben	7	S355JR
8	6	Stk.	00_G_Anbindung Gewindestange	8	S355JR
9	3	Stk.	00_G_Anbindung Längenverstellung oben	9	S355JR
10	3	Stk.	00_G_Anbindung Längenverstellung unten	10	S355JR
11	1	Stk.	00_G_Anbindung oben	11	S355JR
12	1	Stk.	00_G_Anbindung unten	12	S355JR
13	1	Stk.	00_G_Deckel Abtrieb unten	13	Ti-6Al-4V
14	1	Stk.	00_G_Deckel Antrieb	14	Ti-6Al-4V
15	1	Stk.	00_G_Deckel_Abtrieb oben	15	Ti-6Al-4V
16	1	Stk.	00_G_Deckel_Lager1	16	Ti-6Al-4V
17	12	Stk.	00_G_Gabelkopf Anbindung	17	S355JR
18	1	Stk.	00_G_Gehaeuse Abtriebsschale	18	Ti-6Al-4V
19	1	Stk.	00_G_Gehaeuse Antriebswelle	19	Ti-6Al-4V
20	6	Stk.	00_G_Lagerbock Anbindung Luftschaft	20	S355JR
21	1	Stk.	00_G_Luftschaft	21	S355JR
22	1	Stk.	00_K_Kupplung Kühlkörper	22	CuCrZr
23	7	Stk.	00_K_Kupplungsscheiben_außen_Keile	23	CCI 3D Carbon Disk
24	7	Stk.	00_K_Kupplungsscheiben_innen_Keile	24	CCI 3D Carbon Disk
25	1	Stk.	00_S_Kupplung Zylinderanbindung	25	S355JR
26	1	Stk.	00_S_Ölkonus	26	PETG
27	20	Stk.	00_S_Passbolzen_M8	27	S355JR
28	1	Stk.	00_S_Sicherungsscheibe_AntriebZW	28	S355JR
29	1	Stk.	00_W_Abtrieb außen	29	18-CrNiMo7-6
30	1	Stk.	00_W_Abtrieb innen neu	30	18-CrNiMo7-6

				Datum	Name	Lifffan F35-B	
			Bearb.	03.07.25	Michael Vogl		
			Gepr.				
			Stückliste				
			OTH Regensburg			K04- Konstruktionsarbeit	
						1 Bl.	
Zus.	Änderung	Datum	Nam.	(Urspr.)	(Ers. f.)	(Ers. d.)	

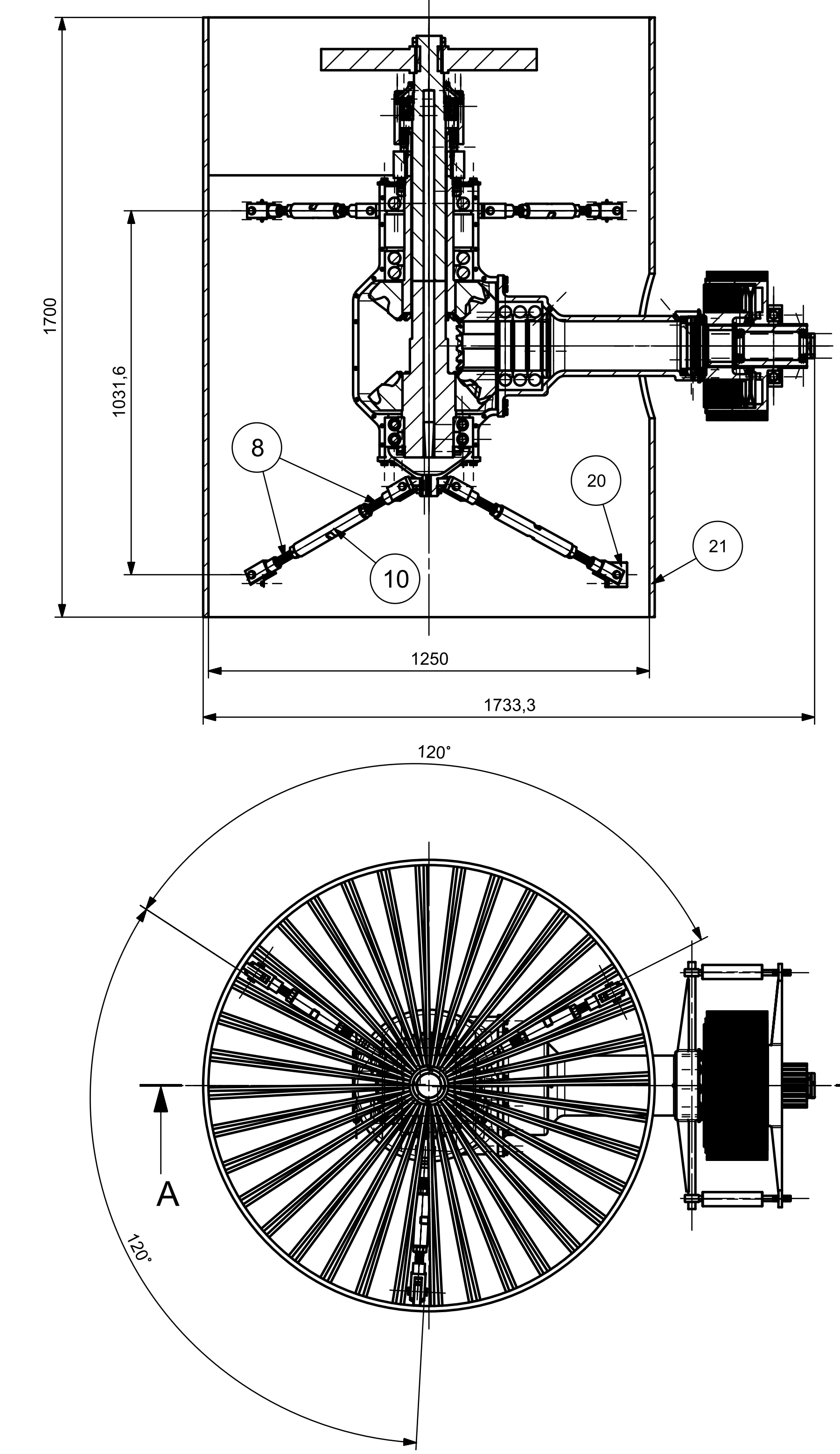
Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Bemerkung
31	1	Stk.	00_W_Antriebswelle	31	18-CrNiMo7-6
32	1	Stk.	00_W_Erweiterung_Abtrieb_außen	32	18-CrNiMo7-6
33	1	Stk.	00_Z_Rad1_17	33	18-CrNiMo7-6
34	2	Stk.	00_Z_Rad2_18	34	18-CrNiMo7-6
35	1	Stk.	00_ZW_Antrieb	35	18-CrNiMo7-6
36	1	Stk.	00_ZW_Bogenzahnkupplung_außen	36	18-CrNiMo7-6
37	1	Stk.	00_ZW_Bogenzahnkupplung_innen	37	18-CrNiMo7-6
38	1	Stk.	00_ZW_Kupplung_außen	38	18-CrNiMo7-6
39	1	Stk.	00_ZW_Kupplung_innen	39	18-CrNiMo7-6
40	1	Stk.	00_M_Mutter_Lager_6	HMZ26	Kaufteil
41	4	Stk.	00_M_Mutter_Lager_2345	HMZ28	Kaufteil
42	1	Stk.	00_M_Mutter_Propeller_unten	HMZ25	Kaufteil
43	2	Stk.	00_L_Lager_1	VCM7018-E-T-P4S-UL-XL	Kaufteil
44	1	Stk.	00_L_Lager_6	SKF 71826 ACD/P4	Kaufteil
45	8	Stk.	00_L_Lager_2345	KOYO 7228C05	Kaufteil
46	1	Stk.	00_L_Lager_Kupplung_außen	HCB7028-E-T-P4S-UL	Kaufteil
47	2	Stk.	00_L_Lager_Kupplung_innen	7210-B-XL-MP	Kaufteil
48	1	Stk.	00_S_Spannstaz_Antrieb_außen	RfN 7012 SST	Kaufteil
49	1	Stk.	00_SR_Antrieb_Scheibe	ES 55	Kaufteil
50	1	Stk.	00_SR_Sicherungsring Antrieb Keilwelle_innen	ES 190	Kaufteil
51	0,5	L	00_D_Flüssigdichtung	Loctite 574	Kaufteil
52	0,5	L	00_D_Schraubensicherung	Loctite 243	Kaufteil
53	50	L	00_Ö_Getriebeöl	Klübersynth GH 6-1500	Kaufteil
54	40	Stk.	00_M_Hutmutter	DIN 1578 - M8 - 6	Normteil
55	1	Stk.	00_M_Lager_1	DIN 981 - M90x2	Normteil
56	12	Stk.	00_M_M20	EN 14399-4 - M20-10-HV	Normteil
57	2	Stk.	00_M_Mutter_Kupplung Lager innen	DIN 981 - M50x1.5	Normteil
58	2	Stk.	00_M_Mutter_Propeller_oben	DIN 981 - M70x2	Normteil
59	40	Stk.	00_S_Schraube_M12	DIN 6921 - M12x1.5x25-12.9	Normteil
60	10	Stk.	00_S_Schraube_M8x20	ISO 4762 - M8 x 20-12.9	Normteil

				Datum	Name	Liftfan F35-B	
			Bearb.	03.07.25	Michael Vogl		
			Gepr.				
			Stückliste				
			OTH Regensburg			K04- Konstruktionsarbeit	
						1 Bl.	
Zus.	Änderung	Datum	Nam.	(Urspr.)	(Ers. f.)	(Ers. d.)	

Schnitt A-A  
Maßstab 1 : 2



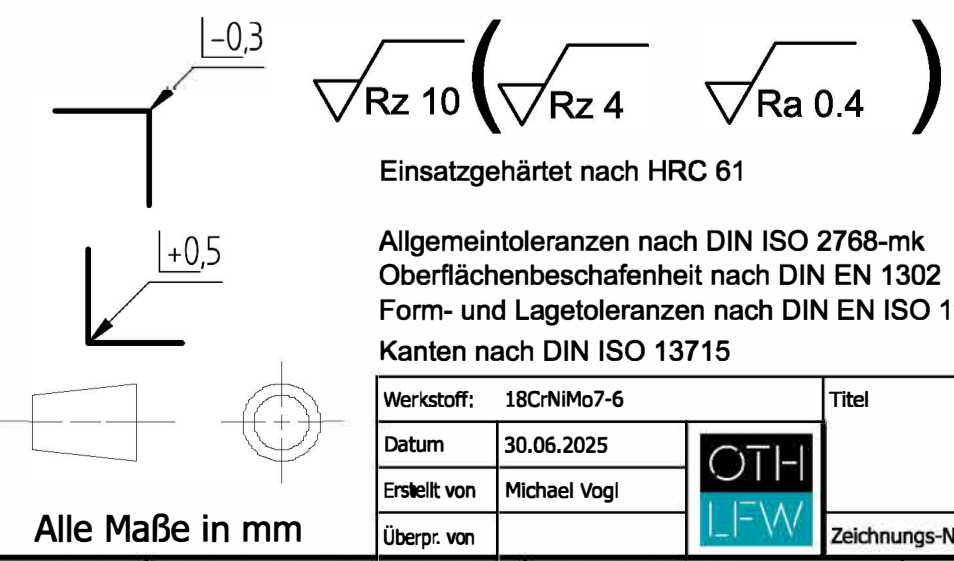
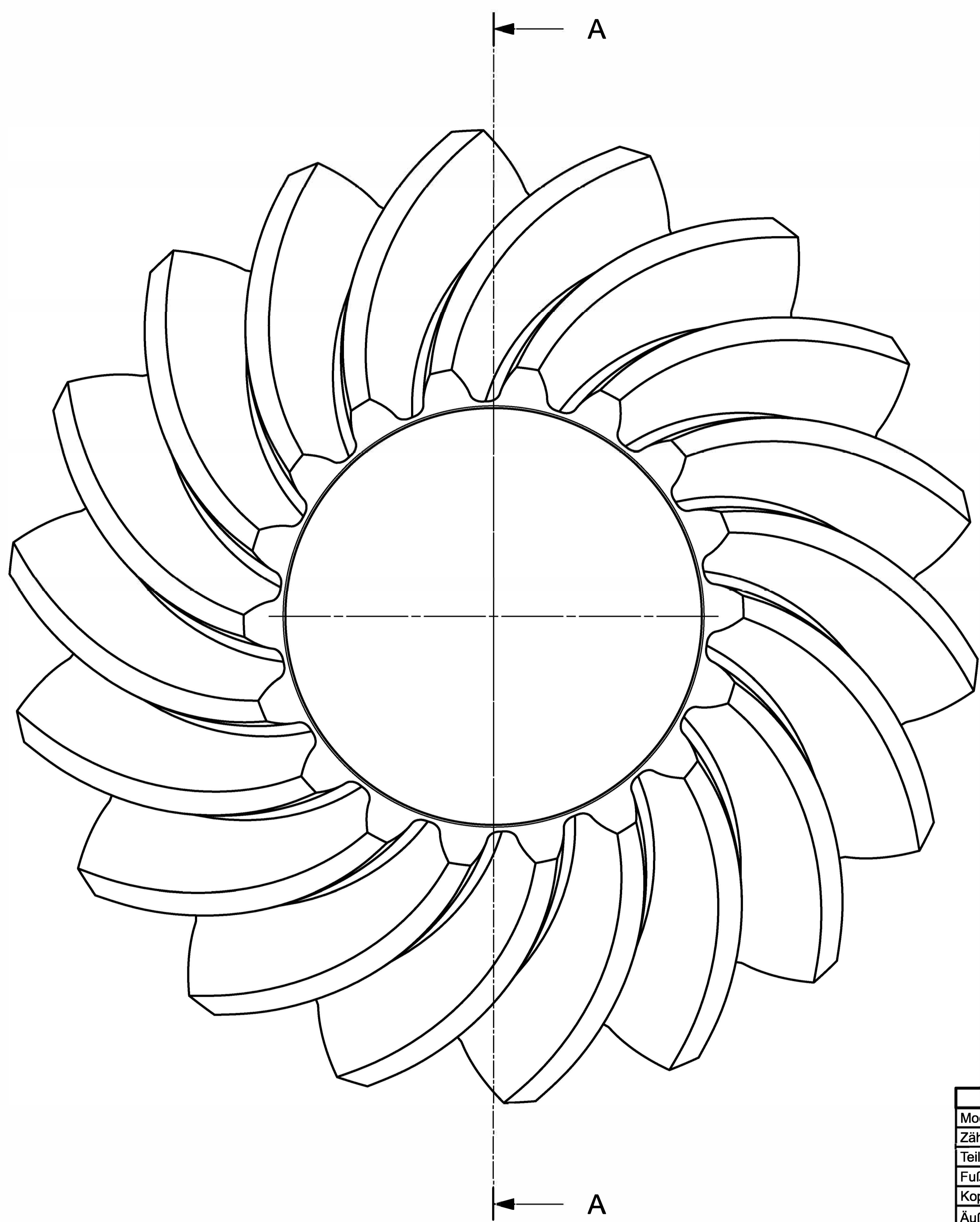
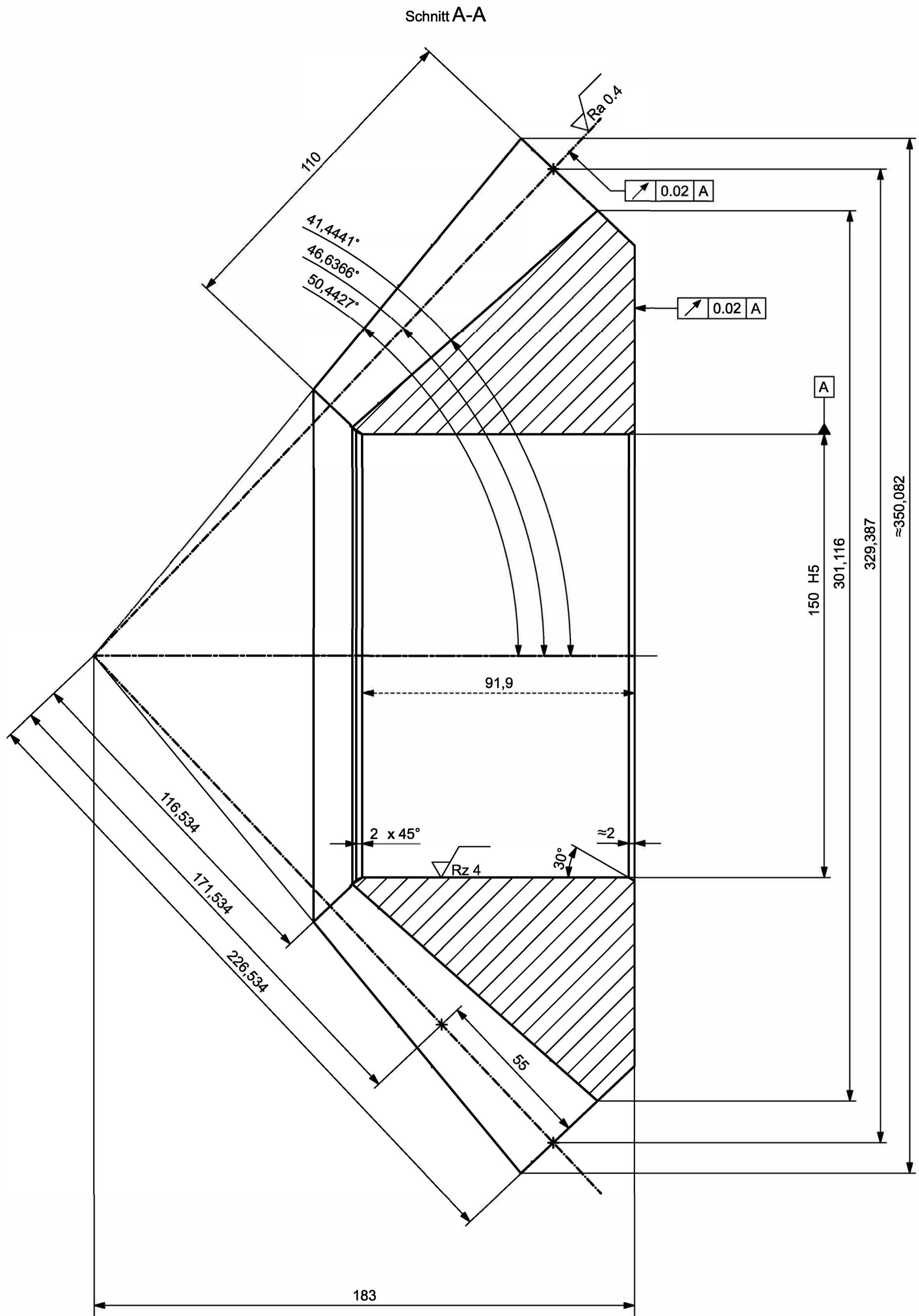
Schnitt A-A  
Maßstab 1 : 5



Allgemeintoleranzen nach DIN ISO 2768-mK

Werkstoff:	Datum:	02.07.2025	Titel:	Gesamtsystem	Gewicht:	725,8 kg
Zeichner:	Gezeichnet von:	Manuel Vogl	Gezeichnet durch:	OTH	Maßstab:	1:1
Überw. von:	Gezeichnet am:		Gezeichnet in:	LFW	Blatt:	3/3
				Zeichnung-Nr.:	0000_Gesamtsystem - Kopie	A0

Alle Maße in mm

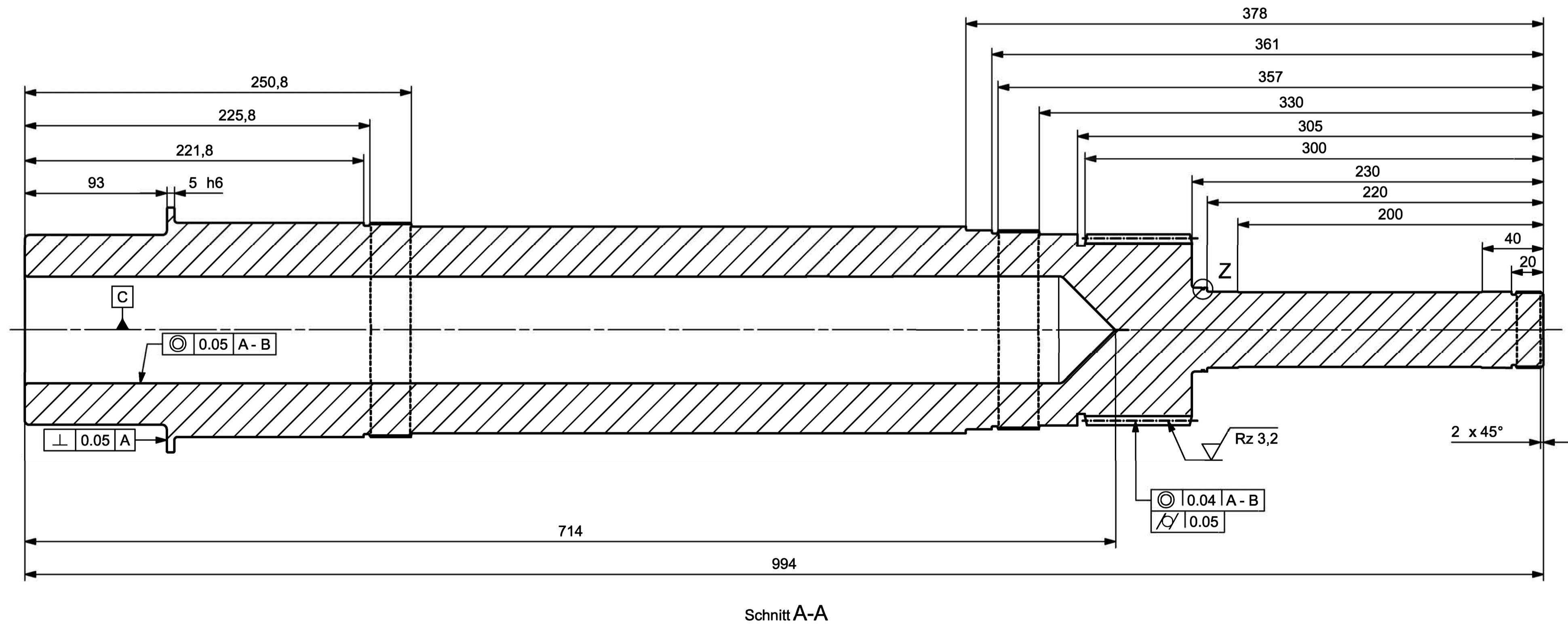
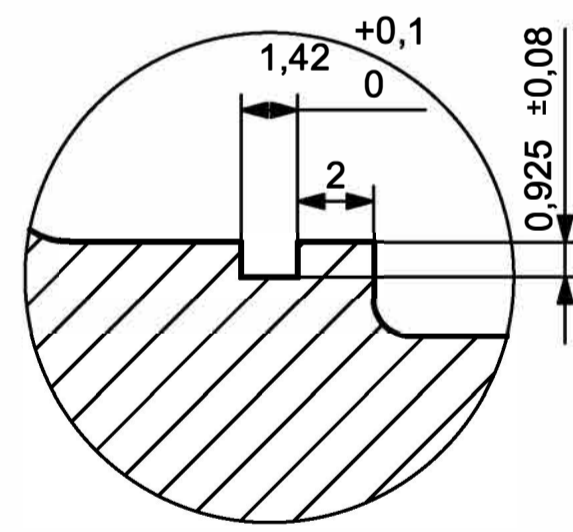
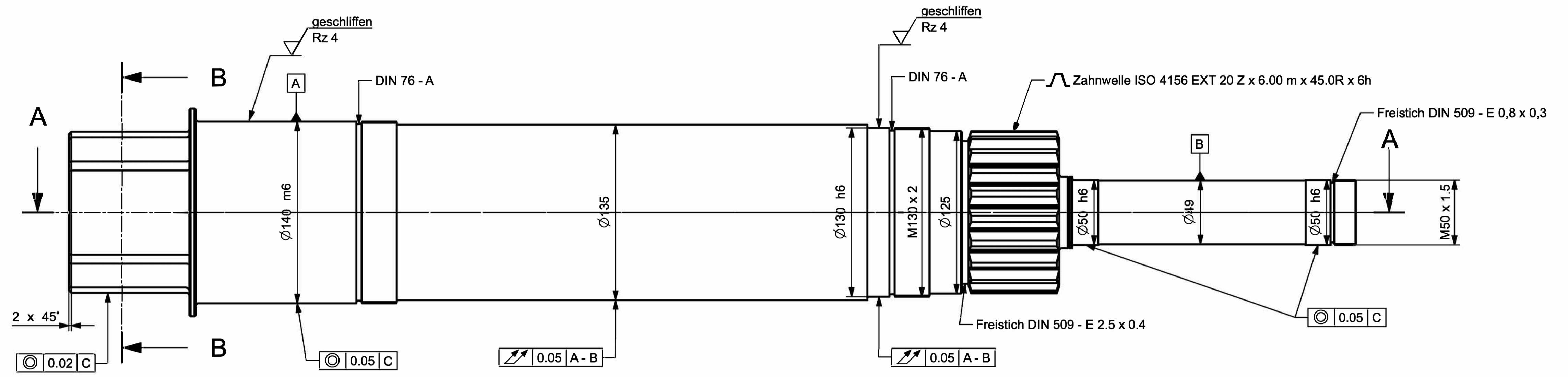
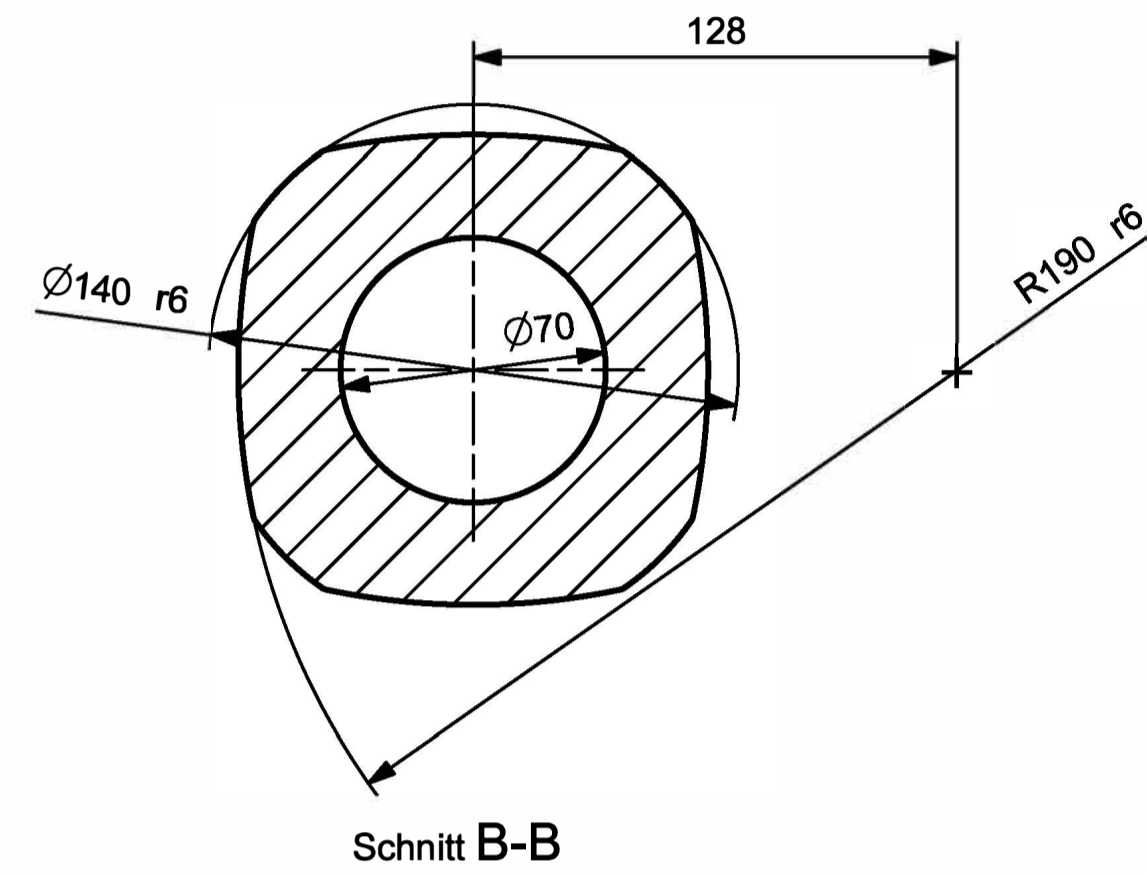


Bogenzahn-Kegelrad	
Modul	12
Zähnezahl	18
Teilkegelwinkel	$46.6366^\circ$
Fußkegelwinkel	$41.4441^\circ$
Kopfkegelwinkel	50.4427
Äußerer Teilkreisdurchmesser	329.387 mm
Äußere Teilkegellänge	226.534 mm
Krümmungsradius	4.289 mm
Spiralwinkel	$30^\circ$
Verzahnungsqualität	6 (ISO 17485)
Gegenrad	
Sachnummer Gegenrad	00_Z_Rad1_17
Zähnezahl Gegenrad	17

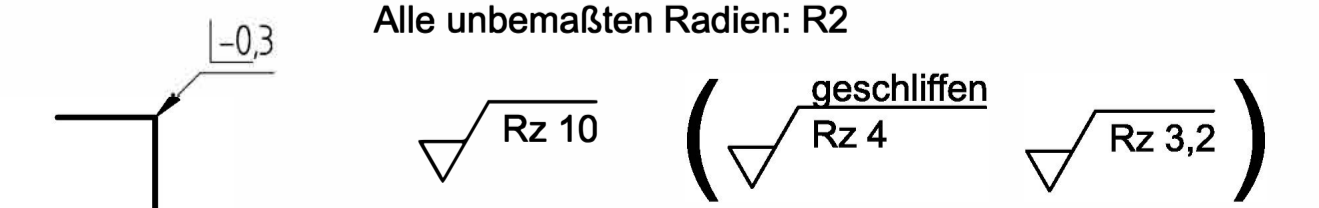
Werkstoff:	18CrNiMo7-6	Titel:	Kegelrad Abtrieb	Gewicht:	68,6 kg
Datum:	30.06.2025	Rev.:	A	Maßstab:	1:1
Erstellt von:	Michael Vogl	Zeichnungs-Nr.:	00_Z_Rad2_18	Blatt 1/1	
Überpr. von:					

Alle Maße in mm

Polygon P4C nach DIN 32712-1 mit:  
 d1 = 140 mm  
 d2 = 124 mm  
 e = 8 mm  
 y = 0.7 mm



Alle unbemaßten Faßsen: 1 x 45°  
 Alle unbemaßten Radien: R2



Allgemeintoleranzen nach DIN ISO 2768-fH  
 Oberflächenbeschaffenheit nach DIN 1302  
 Form- und Lagetoleranzen nach DIN EN ISO 1101  
 Kanten nach DIN ISO 13715

Werkstoff:	18CrNiMo7-6	Gewicht:		79,5 kg
Datum:	01.07.2025	Rev.:		A
Erstellt von:	Michael Vogl	Blatt:		1/1
Überpr. von:		Blatt:		1/1

Alle Maße in mm

Antriebswelle

Zeichnungs-Nr.: 000\_Antriebswelle\_gesamt (Nur für Zeichnung)

## Konstruktionsbegründung

Um eine gleichmäßige Lastverteilung an der Antriebswelle zu gewährleisten, wurde das Getriebe mit zwei Abtriebswellen gestaltet. Aus aerodynamischen Gründen ist es vorteilhaft, wenn die Propeller nah beieinander liegen. Deshalb habe ich mich für eine Welle-in-Welle-Lagerung entschieden, um die Propeller nahe aneinander rotieren zu lassen. Für Zahnräder und Wellen wurde 18CrNiMo7-6 (DIN EN 10084) gewählt - ein einsetzhärtbarer Vergütungsstahl mit harter Randschicht (bis 58HRC) und zähem Kern. Dadurch entsteht ein sehr gutes Dauerbruchverhalten, da oberflächennahe Risse nicht in den Werkstoffkern eindringen. Im Überlastfall zeigt er ein duktileres Versagen, was sicherheitsrelevant ist. Da die Propeller gegenläufig drehen, heben sich die Giermomente gegenseitig auf, und das Getriebe hat weniger Einfluss auf die Manövrierfähigkeit des Flugzeugs. Die Gegenläufigkeit der Propeller bringt auch aerodynamisch viele Vorteile mit sich.

Der Werkstoff ist im weichgeglühten Zustand gut zerspanbar. Nach der Wärmebehandlung erfolgt die Endbearbeitung durch Schleifen. Die industrielle Verfügbarkeit und bewährte Prozesssicherheit sprechen ebenfalls für diesen Werkstoff.

Das Gehäuse besteht aus Ti-6Al-4V (AMS 4928), einer Titanlegierung mit hoher spezifischer Festigkeit bei nur  $4,43 \text{ g/cm}^3$  Dichte. Die Temperaturbeständigkeit bis über  $400^\circ\text{C}$  und gute Korrosionsfestigkeit machen sie für Luftfahrtanwendungen ideal. Titan ist jedoch schwer zerspanbar: Aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit und Kaltverfestigung erfolgt die Herstellung bevorzugt im Feinguss mit nachbearbeiteten Funktionsflächen. Die Duktilität liegt im moderaten Bereich ( $A \approx 10-14\%$ ). Im Gewaltbruchfall ist Titan spröder als Stahl - daher werden Kerben vermieden und kritische Geometrien sorgfältig ausgelegt.

Bei der Bemaßung der Wellen und Konstruktion ist Vorsicht geboten, da die Drehzahl von  $8000 \text{ U/min}$  beachtliche Unwuchtkräfte erzeugen könnte, wenn die Fertigung ungenau ist. Dafür wurden zwei Maßnahmen getroffen: Zum einen wurden sehr strenge Form- und Lagetoleranzen beim Bemaßen der Wellen verwendet, wie z.B. Gesamtlauf und Koaxialität. Zum anderen ist vorgesehen, jede Welle vor dem Einbau auf Unwucht zu testen. Falls nötig, sind stirnseitige Ringwuchten oder Unwuchtbohrungen vorgesehen, so dass keine Unwucht entsteht.

Es ist auch zu beachten, dass die Verformung der Abtriebswellen durch Biegung vermutlich nicht akzeptabel ist. Dies müsste jedoch experimentell verifiziert werden. Hier musste ein Kompromiss gefunden werden zwischen hohen Axialkräften auf den

Abtriebswellen und hohen Verbiegungen durch große Radialkräfte. Da die Lagerlebensdauer bei höheren Axialkräften stark sinkt, wurde sich eher für höhere Radialkräfte und infolgedessen größere Verformungen entschieden.

Die Erhöhung der Temperatur der Kupplung sowie der Verzahnung müsste experimentell bestimmt werden. Ich habe diese auf Grundlage von Recherchen auf eine Temperaturerhöhung von 100 K geschätzt.

Die axiale Einstellbarkeit des Kegelrades kann mittels Passfolien auf der Verschraubungsfläche der Abtriebswelle realisiert werden. Dadurch kann der passende Eingriff der Kegelräder sichergestellt werden.

Eventuell müsste überprüft werden, ob die Wellenmutter bei der Winkelbeschleunigung nicht in Gefahr sind, sich loszudrehen. Dies könnte jedoch durch spezielle Linksgewinde gelöst werden.

In der Realität würde man bei einem Projekt dieser Größenordnung die Wellen und das gesamte System iterativ viele Male mit FEM analysieren und hinsichtlich Topologie, Gewicht und Belastung optimieren. Dies sprengt jedoch für mich den Rahmen.

Die Lagerungen 1, 2 und 6 wurden als Loslager ausgeführt, da diese am weitesten von der Verzahnung entfernt sind. Dadurch erfährt die Verzahnung am wenigsten von der Wärmeausdehnung.

## Verzahnung

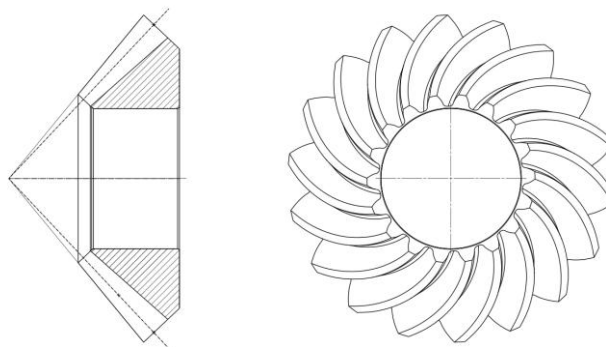


Abbildung 18: Verzahnung - Zeichnerische Darstellung

Die gewählte bogenverzahnte Kegelradverzahnung wurde gezielt auf die Anforderungen des Getriebes abgestimmt. Der eingesetzte Werkstoff 18CrNiMo7-6 ist ein hochfester Einsatzstahl mit hervorragender Härtebarkeit und hoher Dauerfestigkeit. Durch Einsatzhärtung auf HRC 61 wird eine hohe Verschleißfestigkeit bei gleichzeitig zäher Kernstruktur erzielt, was für die stoßartige Belastung beim Einkuppeln und das kurzzeitige

Übertragen sehr hoher Momente essenziell ist. Durch die Einsatzhärtung wird ebenfalls gewährleistet, dass sich bei der Aufpressung auf die Welle die Komponenten nicht fressen, da dadurch ein Teil hart und ein Teil weicher ist. Die Bogenverzahnung wurde gewählt, um eine gleichmäßigere Lastverteilung über die Zahnbreite zu erreichen, was besonders bei einer Breite von 110mm relevant ist. Der gewählte Spiralwinkel von  $30^\circ$  ermöglicht dabei einen höheren Traganteil auf der Zahnflanke, reduziert Zahnfußspannungen und verbessert die Laufruhe. Bei den extremen Umfangsgeschwindigkeiten im Betrieb (bis zu 8000 U/min an der Antriebsseite) reduziert die Bogenform außerdem Geräuschemissionen und Verschleiß. Der Modul 12 stellt einen optimalen Kompromiss zwischen Zahnfestigkeit und Bauraum dar. Kleinere Module lieferten in KissSoft-Berechnungen unzureichende Sicherheiten bezüglich Zahnfuß und Flanke ( $\sigma_{F,lim} = 400 \text{ MPa}$ ). Die Zahnbreite wurde gemäß dem Breitenverhältnis  $\psi = b/d_m = 0,21$  gewählt, um ausreichende Überdeckung bei gleichzeitig guter Schmiermittelversorgung zu gewährleisten. Die Einbindung des Zahnrads auf der Welle erfolgt über eine Presspassung mit Einpressfase, um eine form- und kraftschlüssige Übertragung ohne Relativbewegung sicherzustellen. Die Pressverbindung verhindert zugleich ein Loslösen unter thermischer Ausdehnung und bei kurzzeitigem Laststoß. In Summe ergibt sich eine hochfeste, schwingungsarme und aerodynamisch kompakte Verzahnungslösung, die optimal für den militärischen Hochleistungsbetrieb des F-35B-Hubgebläses ausgelegt ist.

## Antriebswelle

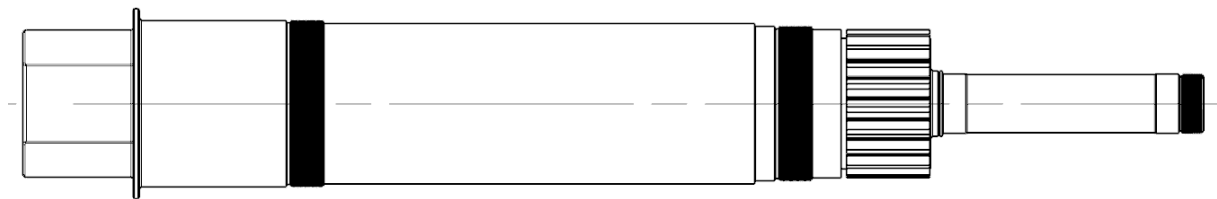


Abbildung 19: Antriebswelle - Zeichnerische Darstellung

Innen ist die Welle bis kurz vor der Keilwelle von links gebohrt, hauptsächlich um Material zu sparen, dadurch wird zwar auch das Ölvolumen vergrößert, aber ein Kompromiss wird eingegangen. Links ist eine P4C Polygonwelle mit Presssitz gegen eine axiale Verschiebung versehen. In der Regel sind P4C Polygone unter Drehmomentbeanspruchung axial verschiebbar und P3G axial auch unter Drehmomentbeanspruchung axial fest, hier habe ich mich allerdings für eine Ausnahme entschieden, da das P3G in Kombination mit der Bohrung eine relativ dünne Wandstärke resultieren würde. Nach dem Polygon kommt ein schmaler Absatz an dem links das Zahnrad und rechts direkt die Lager anstehen. Der Absatz wurde nur so groß gewählt, dass Öl zwischen Gehäuse und

Zahnrad vorbeiströmen kann, da die Lager so nah wie möglich an der Verzahnung stehen sollten. Die Lager sind mit einem Festen Sitz auf der Welle und werden Rechts mit einer Wellenmutter gesichert um Verschiebungen der Lager auf der Welle komplett auszuschließen. Rechts fängt die Welle sehr klein an, da auf diesem abschnitt noch eine Lagerung für die Kupplung montiert wird. Diese musste direkt auf der Antriebswelle gestaltet werden, da eine genaue Koaxialität der Kupplung zur Antriebswelle gewährleistet werden muss, da sonst die Scheiben der Kupplung ungleichmäßig beansprucht werden und möglicherweise Scheiben brechen könnten. Links nach dem Lager der Kupplungen ist dann eine Nut für einen Sicherungsring vorgesehen, dieser hält einen Sicherungsring welcher eine Scheibe hält, welche die Zahnwelle festhält, welche die Antriebswelle mit der inneren Kupplung verbindet. Anschließend folgt die Zahnwelle selbst. Nach der Zahnwelle ist ein Freistich um die Fertigung zu erleichtern. Dann kommt eine kleine Fläche auf der eine Labyrinthdichtung sitzen wird. Danach ein Gewinde mit Freistich welcher die Wellenmutter hält, welche das Lager 6 gegen den folgenden Absatz fixiert.

## Kupplung

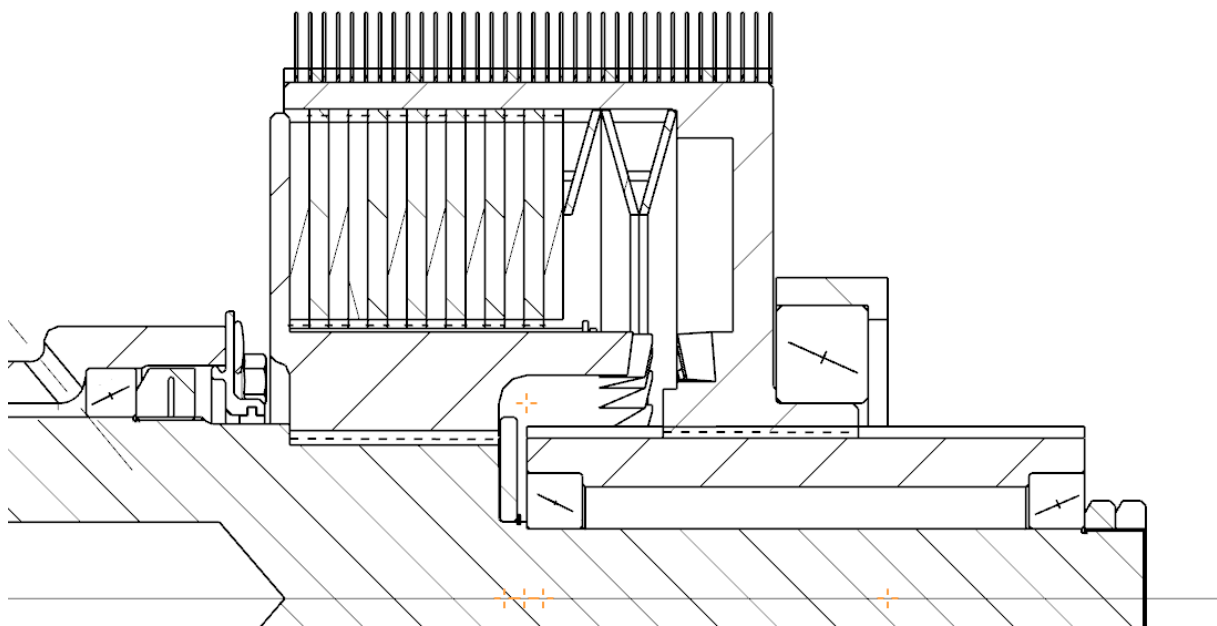


Abbildung 20: Kupplung - Zeichnerische Darstellung

Die Kupplung wurde so kompakt wie möglich ausgelegt. Ziel war es, mit nur einem Zylinder zwischen Formschluss, Reibschluss und keiner Verbindung umschalten zu können. Deshalb habe ich einen in sich verschiebbaren und einen stehenden Teil der Kupplung verwendet. Deren Abstand wird durch die Zylinder definiert, welche über einen Ring axial auf das äußerste Lager drücken.

Die Kraft, die auf die Reibscheiben wirkt, wird über die Tellerfedern bzw. deren Verstellweg definiert. Sind die Tellerfedern unbelastet, wird kein Drehmoment übertragen und die Kupplung ist vollständig ausgekuppelt. Wenn die Tellerfedern um 6,6mm gestaucht sind, entsteht eine Axialkraft von 20 kN auf die Reibscheiben - auf Basis dieser Kraft wurden die Berechnungen durchgeführt. In diesem Zustand befindet sich die Kupplung im Reibschluss und beschleunigt das System im Leerlauf innerhalb von 10 Sekunden.

Nach Ablauf dieser 10 Sekunden können die Zylinder die Kupplung weiter zusammendrücken, sodass axial die Plankerbverzahnung ineinandergreift und ein Formschluss entsteht. Dabei bleibt die durch die Tellerfedern übertragene Kraft auf die Reibscheiben unter 35 kN, sodass Reib- und Formschluss gleichzeitig wirken und zusätzliche Sicherheit bieten.

Die von der Kupplung aufgenommene Wärme entspricht der kinetischen Energie des beschleunigten Systems. In MATLAB wurde die zu erwartende Temperaturerhöhung berechnet. Das Ergebnis zeigte eine Temperatur von etwa 600 °C, was kritisch ist, da das verwendete Titanmaterial nur bis ca. 500 °C stabil bleibt. Daher wird auf den äußeren Teil der Kupplung ein Kühlkörper aus Kupfer aufgeklebt, um die Wärme möglichst schnell abzuleiten. In der Realität müsste diese Maßnahme selbstverständlich durch FEM simuliert und überprüft werden. Ein Nachteil der Kupplung besteht darin, dass die Kraft über die Kupplung in die Welle eingeleitet und von der Verzahnung aufgenommen wird. Diese zusätzliche Kraft ist im Vergleich zu den 150 kN an der Verzahnung jedoch vernachlässigbar und beeinflusst deren Sicherheit nur minimal. Alternativ könnte die Kraft auch von Lager 6 aufgenommen werden, was jedoch eher unwahrscheinlich ist. Aufgrund von Wärmedehnung wird sich Lager 6 mit dem Außenring im Gehäuse nach rechts verschieben und somit zum Loslager werden. Es könnte die Kraft höchstens kurzzeitig beim Anfahren aufnehmen.

Um ein Axiales Spiel zwischen der Antriebswelle vom Triebwerk und der Zahnwelle der Kupplung zu gewährleisten, wird in der Regel eine Art ballig verzahnte Bogenzahnkupplung verwendet. Da ich aber eine Gerade Zahnwelle auf meiner Kupplung habe, kommt dies für mich nicht in Frage. Ich habe mich dazu entschieden eine weitere Elastomerkupplung einzubauen. Hierzu habe ich eine Kupplung von RegalRexnord entschieden welche in der Regel für Gasturbinen verwendet wird.

Die Zylinder, welche die Kupplung betätigen, sind vom Typ LAS 42/20 der Firma HAWE Hydraulik. Sie zeichnen sich durch eine kompakte und leichte Bauweise mit integriertem Wegmesssystem aus.

## Abtriebswelle innen

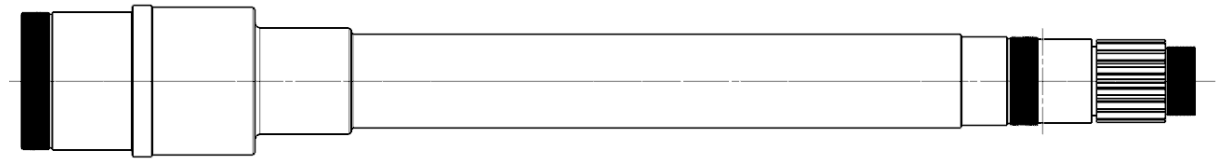


Abbildung 21: innere Antriebswelle - Zeichnerische Darstellung

Diese Welle ist ebenfalls nur teilweise als Hohlwelle ausgeführt. Hier dient die Bohrung nicht nur der Materialeinsparung, sondern auch als Öldurchführung. Öl wird von rechts (im eingebauten Zustand von unten) in die Hohlwelle eingespritzt. Es wird durch die Zentrifugalkraft und einen innenliegenden Konus entlang der Welle nach oben geschleudert und anschließend durch eine Querbohrung hinter dem mittleren Gewinde nach außen auf Lager 1 geleitet. So entsteht im Betrieb eine Schmierung für Lager 1.

Links beginnt die Welle mit einem Gewinde, welches Lagerung 4 gegen den folgenden Wellenabsatz fixiert. Der darauffolgende Absatz dient - wie bei der Antriebswelle - lediglich als Abstandhalter zwischen Zahnrad und Lager, um den Ölfluss zu ermöglichen. Dieser Absatz ist etwas größer ausgeführt, da nahezu das gesamte Öl durch diesen Bereich zum Ölabfluss fließt. Anschließend folgt der Absatz für das Abtriebszahnrad.

Ab dem nächsten Zwischenabsatz wurde der Wellendurchmesser auf maximal 95mm begrenzt, da der Innendurchmesser der äußeren Abtriebswelle 100mm beträgt. Rechts beginnt die Welle mit einem Gewinde, das den Propeller auf der folgenden Zahnwelle sichert. Nach der Zahnwelle kommt ein kurzer Absatz, auf dem eine Labyrinthdichtung sitzt. Auf diesem Absatz befindet sich, wie erwähnt, auch die Querbohrung. Direkt nach der Querbohrung folgt das Gewinde für die Wellenmutter, welche Lager 1 gegen den folgenden Absatz fixiert.

Die Öldurchführung mittels Querbohrung wurde gewählt, da außerhalb des Gehäuses keine weitere Lagerung vorgesehen werden sollte. Eine externe Lagerung hätte die Steifigkeit des Systems und somit auch die Qualität der Verzahnung negativ beeinflusst. Wäre die innere Welle einerseits im Gehäuse und andererseits über Streben am Luftschaft befestigt, wäre das System weniger steif - was zu Schlägen in der Verzahnung führen könnte.

## Abtriebswelle Außen

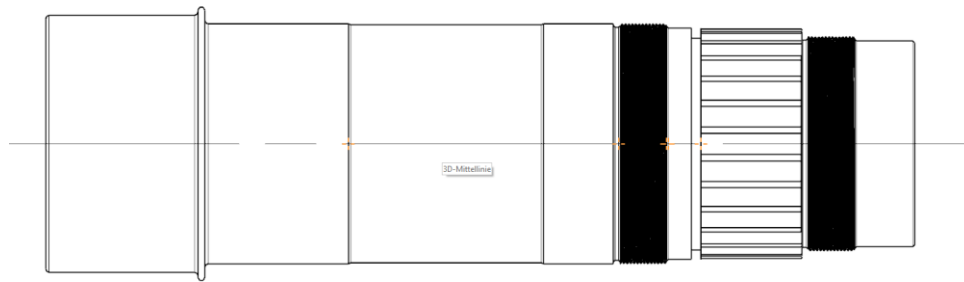


Abbildung 22: äußere Abtriebswelle - Zeichnerische Darstellung

Diese Welle ist eine komplette Hohlwelle mit einem konstanten Innendurchmesser von 100 Millimetern. Links beginnt die Welle mit dem Sitz für das Abtriebszahnrad, dessen Position durch den dünnen Absatz definiert wird. Dieser ist bewusst schlank gehalten, damit die Lager nicht weit von der Verzahnung entfernt liegen.

Nach dem Absatz folgt die Fläche für Lager 3, das gemeinsam mit Lager 2 in O-Anordnung vorgespannt ist. Zwischen den Absätzen für Lager 3 und 2 befindet sich eine Verkleinerung des Außendurchmessers, um die Lagerflächen klar zu definieren und eine schmalere Passfläche bereitzustellen. Die Toleranz des linken Lagersitzes wurde enger gewählt als die des rechten, sodass das Lager für Lager 3 leichter über den Sitz von Lager 2 geschoben werden kann. Die Lagerung erfolgt über zwei Schrägkugellager, die gleichzeitig auf den gemeinsamen Sitz geschoben werden können.

Lager 2 wird rechts mit einer Wellenmutter und der für das Lager vorgesehenen Vorspannkraft fixiert. Die Fläche zwischen dem linken Gewinde und der Zahnwelle wurde so gestaltet, dass hier eine Labyrinthdichtung montiert werden kann. Auf der planen Fläche ganz rechts wird der Spannsatz montiert, mit dem eine Vergrößerung des Innendurchmessers der Welle realisiert wird. Das rechte Gewinde dient ebenfalls zur Aufnahme einer Wellenmutter, welche den unteren Propeller axial fixiert.

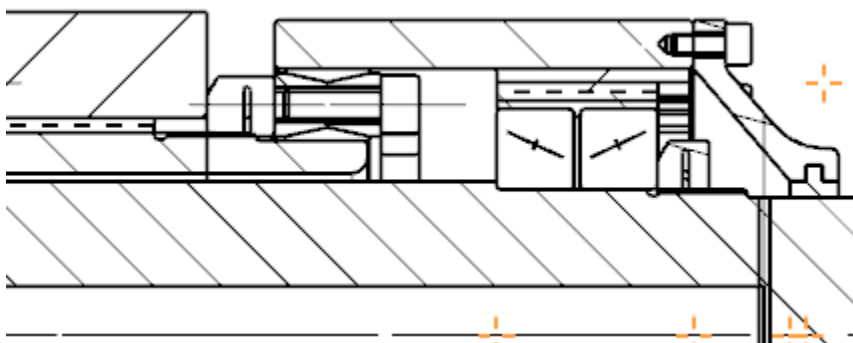


Abbildung 23: Welle-in-Welle-Lager - Zeichnerische Darstellung

Auf der äußeren Fläche des Spannsatzes wird eine Verlängerung der Welle befestigt. Dieser Umweg wird gewählt, da der äußere Durchmesser der Welle-in-Welle-Lagerung zu groß für den inneren Durchmesser der äußeren Abtriebswelle ist und eine Vergrößerung der Abtriebswelle viele Nachteile mit sich bringen würde, wie z.B. größere Lager, ein größeres Ölvolumen sowie ein höheres Trägheitsmoment und mehr Masse. Ich denke, mit dem Spannsatz ist die kompakteste Version der Welle-in-Welle-Lagerung möglich. Außerdem lässt sich die Koaxialität der Wellenverlängerung durch den Spannsatz gut einstellen.

Ein Nachteil besteht darin, dass diese Verlängerung erst nach dem unteren Propeller befestigt werden kann, was zwar die Montage etwas komplexer gestaltet, aber keine funktionalen Probleme verursacht. Zwischen die Wellenverlängerung und Lagerung 1 wird eine balligverzahnte Bogenzahnkupplung eingebaut, welche sowohl eine Entkopplung der Wellen als auch die axiale Verschiebung infolge von Wärmedehnung ermöglicht.

Die Öffnung zwischen der Wellenverlängerung und der inneren Abtriebswelle wird mit einem Deckel inklusive Labyrinthdichtung verschlossen. Welle-in-Welle-Lagerungen sind in der Luftfahrt in solchen Anwendungsfällen nicht unüblich.

Ein möglicher Nachteil bei der Konstruktion mit Spannsatz besteht darin, dass durch die Zentrifugalkraft - trotz der starken Pressung - eventuell Öl durch den Spannsatz nach außen gedrückt werden könnte. Dies müsste experimentell überprüft werden, insbesondere ob dies die Funktion des Spannsatzes beeinträchtigt.

## Gehäuse

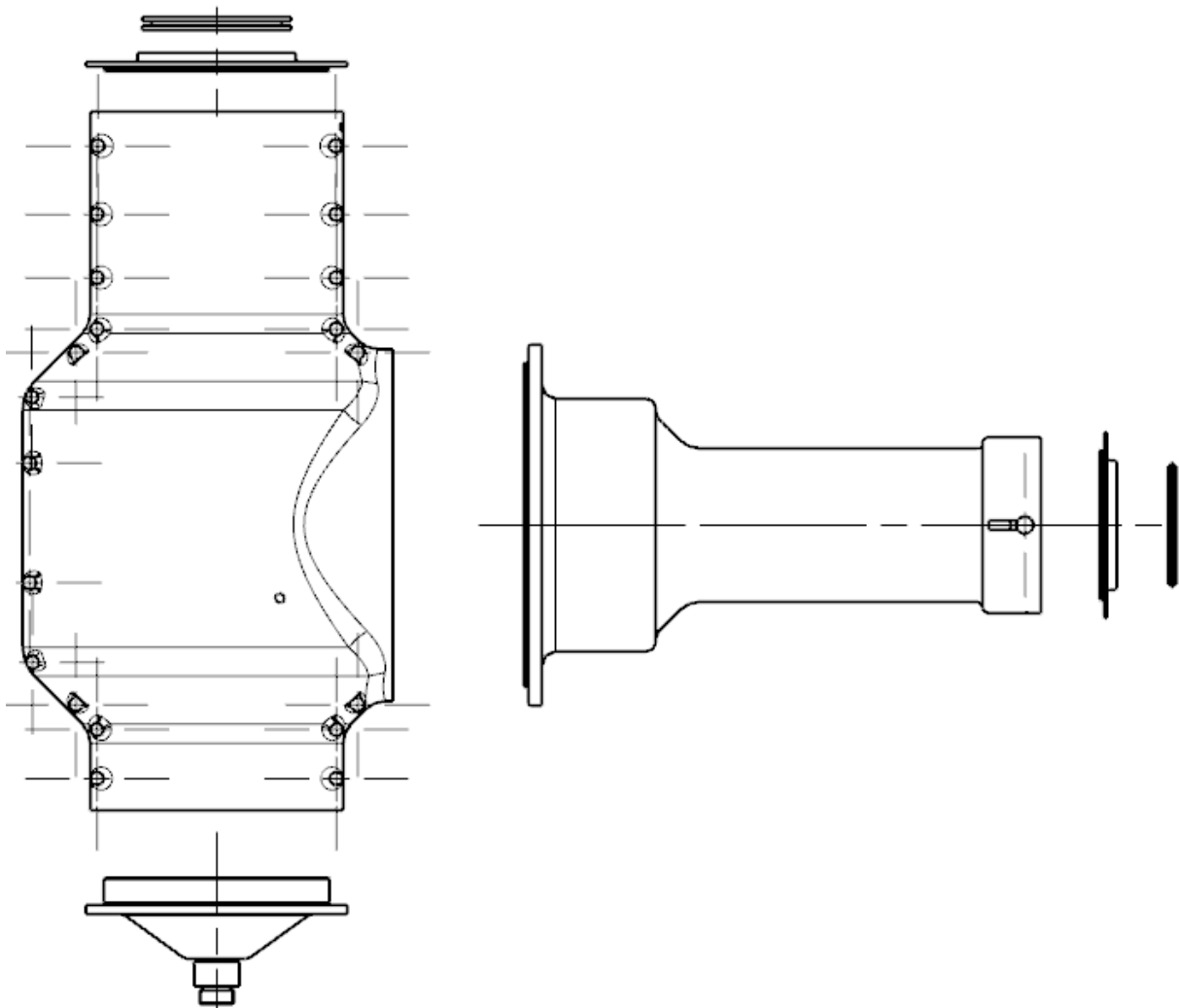


Abbildung 24: Gehäuse - Zeichnerische Darstellung

Im gesamten Gehäuse wurde eine Wandstärke von 15mm verwendet, da sich dieser Wert aus MATLAB-Berechnungen ergeben hat. Das Gehäuse wurde so kompakt wie möglich gestaltet, um den Luftstrom durch den Luftschacht so wenig wie möglich zu behindern.

Der untere Deckel der Abtriebswelle besitzt - wie die anderen Deckel auch - eine plane Zylinderfläche, um eine präzise Positionierung an den Streben zum Luftschacht zu ermöglichen. Diese Anbindung wird von unten mit einer Wellenmutter befestigt. Der Deckel ist möglichst trichterförmig ausgeführt, um den Ölfluss zum unteren Ölablass sicherzustellen. Oben besitzt der Deckel eine Passfläche, welche die genaue Positionierung in den Abtriebsschalen definiert.

Die Abtriebsschalen wurden nur so dick ausgeführt, dass die Kegelräder und der Ölfluss darin Platz finden. Oben sind die Abtriebsschalen länger gezogen als unten, da dort zwei Lage-

rungen vorgesehen sind, die einen möglichst großen Abstand zueinander haben sollen, um die Steifigkeit des Systems zu erhöhen. Die Abtriebsschalen sind mittig teilbar ausgeführt, um eine einfache Montage zu ermöglichen. Die Verschraubung erfolgt über Passbolzen, sodass an jeder Stelle die Passungen der Lager erhalten bleiben. Dabei sind zwei Passstifte als enge Spielpassungen ausgeführt, die weit voneinander entfernt (einer oben, einer unten) eingebaut werden. Die restlichen Stifte sind lockerer toleriert, da Fertigungsungenauigkeiten bei zu vielen engen Passungen zu einer schlechteren Montierbarkeit führen würden.

Die rechte Öffnung der Abtriebsschalen wurde so groß gestaltet, dass der komplette Antriebsstrang mit den Kegelrädern nachträglich eingeschoben und befestigt werden kann. Zusätzlich wurden mittig in den Abtriebsschalen Anschlüsse für Öleinspritzungen vorgesehen. Diese spritzen direkt auf die Eingriffsflächen der Kegelräder, um eine zuverlässige Schmierung der Verzahnung sicherzustellen. Zwischen den Abtriebsschalen wird vor dem Zusammenbau Loctite-Dichtmasse aufgetragen, um einen Ölaustritt zu verhindern. Erfahrungen aus dem Formula Student Team Dynamics e.V. haben gezeigt, dass ebene Flächen im Windstrom durch Wirbelbildungen aerodynamisch vorteilhaft sein können. Daher wurde der obere Deckel eben ausgeführt. Labyrinthdichtungen wurden aufgrund der hohen Drehzahlen gewählt, da berührende Dichtungen durch Verlustleistung zu hohem Verschleiß oder sogar zum Schmelzen neigen würden. Um Platz und Komplexität zu sparen, wurden die Labyrinthdichtungen direkt in die Deckel integriert.

Das Gehäuse der Antriebswelle wurde nur so groß dimensioniert, dass die Lager und die Welle selbst darin Platz finden. Die Länge der Antriebswelle und des zugehörigen Gehäuses wurde so gewählt, dass sich die Kupplung - aus strömungstechnischen und konstruktiven Gründen - außerhalb des Luftschachts befindet.

An den Lagerstellen des Antriebsgehäuses wurden Ölzuführungen konstruiert, um eine ausreichende Schmierung der Lager sicherzustellen. Beim rechten Lager wurde zusätzlich ein Ölabfluss hinter dem Lager vorgesehen, da es sehr weit vom zentralen Ölablass entfernt liegt und das Öl diesen Bereich aufgrund der Zentrifugalkräfte wahrscheinlich nicht erreichen würde.

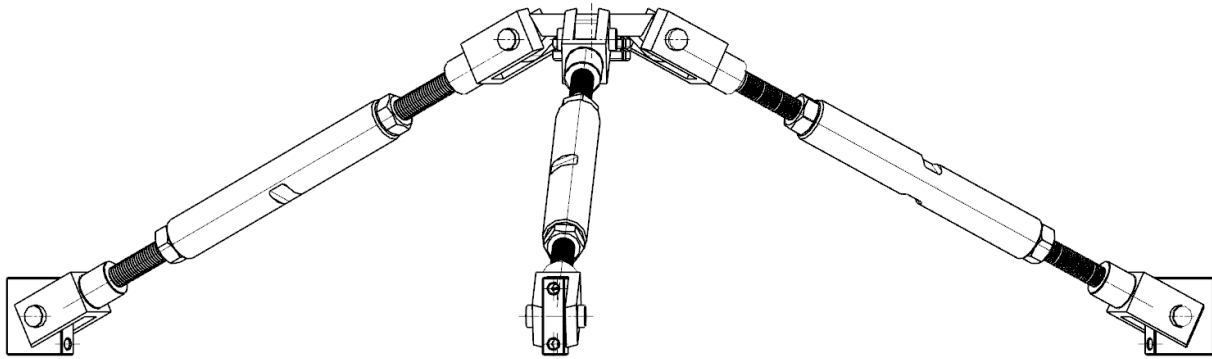


Abbildung 25: Gehäuseaufhängung - Zeichnerische Darstellung

Die Aufhängung des Gehäuses am Luftschacht erfolgt über drei Streben oben und drei Streben unten. Die oberen Streben stellen lediglich ein Loslager dar und nehmen keine Kräfte auf. Die Hubkraft bzw. das Gewicht wird ausschließlich über die unteren Streben aufgenommen. Diese sind angewinkelt ausgeführt, um besser im Kraftfluss zu liegen. Eine stärkere Anwinkelung wäre möglich, sofern es der Bauraum zulässt - allerdings war mir nicht genau bekannt, wie viel Platz nach oben oder unten zur Verfügung steht.

Zur präzisen Positionierung im Raum habe ich eine Art Spannschloss mit Links- und Rechtsgewinde vorgesehen. Dadurch kann die Länge der Streben eingestellt und somit auch die Lage des Gehäuses feinjustiert werden. Ist die gewünschte Position erreicht, können die Spannschlösser durch Kontermuttern fixiert werden, um die Einstellung dauerhaft zu sichern. Die Bolzen in den Gabelköpfen sind durch Sicherungsringe gegen Herausfallen gesichert.

## Montageanleitung

Antriebsstrang und Abtriebsstrang können bis zum schluss unabhängig voneinander Zusammengebaut werden. Allgemeine Hinweise vor dem Zusammenbauen:

- Die Montage darf nur von geschulten Personal durchgeführt werden
- Das Gewinde der Schrauben muss immer mit Loctite beschichtet werden vor dem einschrauben
- Wellenmuttern müssen axial mit innensechskantmaderschrauben fixiert werden
- das Anziehmoment der Wellenmutter beziehungsweise die Vorspannkraft der Lager ist bei dem Hersteller nachzuschlagen
- Die Zahnräder sind vor dem Aufpressen auf 150°C zu erhitzen
- Die Lager sind vor dem Aufpressen auf 90°C zu erhitzen

### 1. Antriebsstrang mit Kupplung

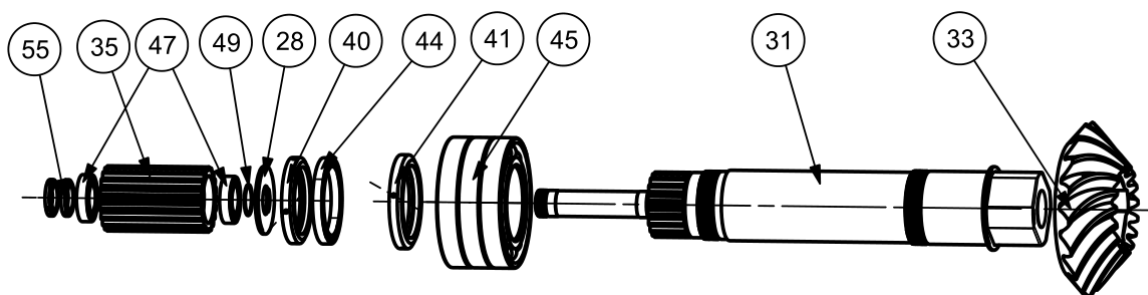


Abbildung 26: Antriebsstrang - Explosion

- 1.1 Das Zahnrad (33) wird auf die Welle (31) gepresst. Die Welle sollte dazu gekühlt und das Kegelrad erwärmt werden.
- 1.2 Die Lager (45) werden auf die Welle geschoben und mit der Wellenmutter (41) fixiert.
- 1.3 Die Welle wird in das Gehäuse (19) eingeschoben.
- 1.4 Das Lager (44) wird gleichzeitig auf die Welle und ins Gehäuse (19) geschoben und anschließend mit der Wellenmutter (40) fixiert. Die Welle sitzt nun fest im Gehäuse.
- 1.5 Die Dichtungen (3; 14) werden in den Deckel (14) eingelegt.
- 1.6 Der Deckel (14) wird stirnseitig mit Schrauben (57) am Gehäuse (19) befestigt.
- 1.7 Das innere Kupplungsteil (39) wird auf die Zahnwelle der Antriebswelle (31) geschoben.

- 1.8 Das Kupplungsteil (39) wird axial mit dem Ring (28) gesichert, der wiederum mit dem Sicherungsring (49) gesichert wird.
- 1.9 Die erste Lagerung (47) der Zwischenwelle (35) wird auf die Abtriebswelle (31) geschoben.
- 1.10 Die Zwischenwelle (35) wird auf das erste Lager (47) aufgeschoben.
- 1.11 Das zweite Lager (47) wird aufgeschoben und mit Wellenmuttern (55) fixiert.

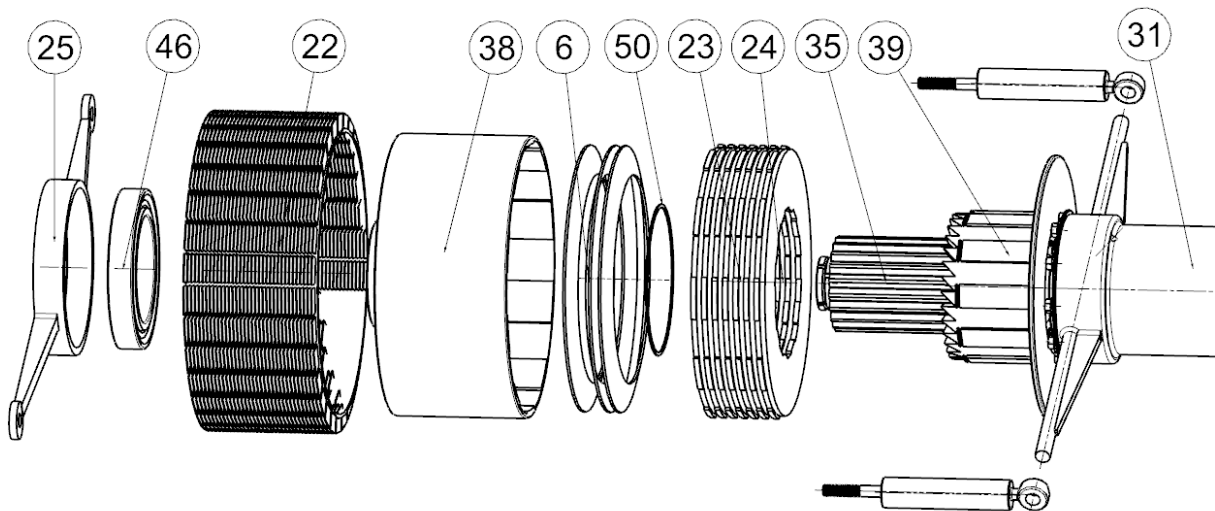


Abbildung 27: Kupplung - Explosion

- 1.12 Das Reibscheibenpaket (23; 24) wird auf die innere Keilwelle der Kupplung (39) geschoben. Dabei darauf achten, mit einer Innenkeilscheibe zu beginnen und mit einer Außenkeilscheibe zu enden.
- 1.13 Das Paket wird axial mit dem Sicherungsring (50) gesichert.
- 1.14 Die drei Tellerfedern (6) werden, wie in der Zeichnung dargestellt, in Reihe in das äußere Kupplungsgehäuse eingelegt.
- 1.15 Der Kühlkörper (22) wird auf das Kupplungsgehäuse (38) aufgeschoben.
- 1.16 Das äußere Kupplungsgehäuse (38) wird auf die Zahnwelle (35) geschoben.
- 1.17 Das Lager (46) wird mit seinem Außenring in die Anbindung (25) gepresst.
- 1.18 Lager (46) und Anbindung (25) werden auf das Kupplungsgehäuse (38) gepresst.
- 1.19 Die Zylinder werden am Antriebsgehäuse (31) und an der Anbindung (25) mit Muttern und Sicherungsringen befestigt.

Der Antriebsstrang ist jetzt fertig und kann bereits in den F-35B geladen werden.

## 2. Abtriebsstrang

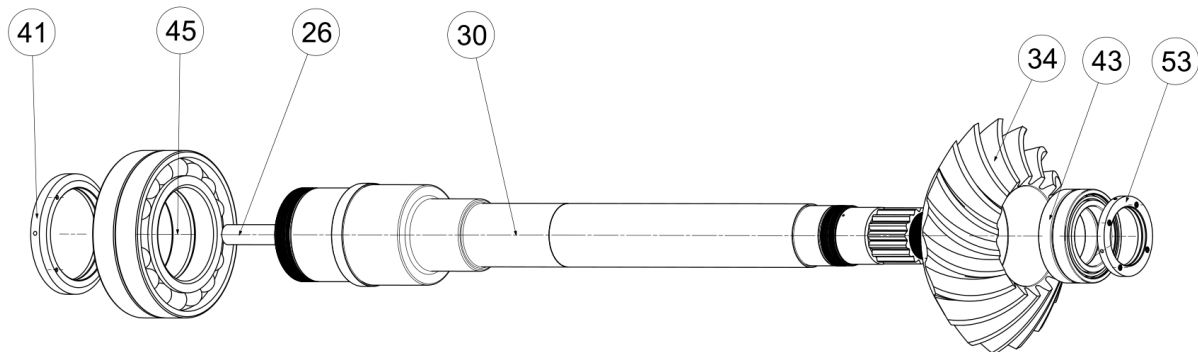


Abbildung 28: Abtrieb innen – Explosion

- 2.1 Von links werden zunächst die Lager (45) auf die innere Welle (30) geschoben und mit der Wellenmutter (41) fixiert.
- 2.2 Das Zahnrad (34) wird erhitzt und auf die gekühlte innere Welle (30) gepresst.
- 2.3 Die Lager (43) und die Mutter (53) werden noch nicht fixiert!

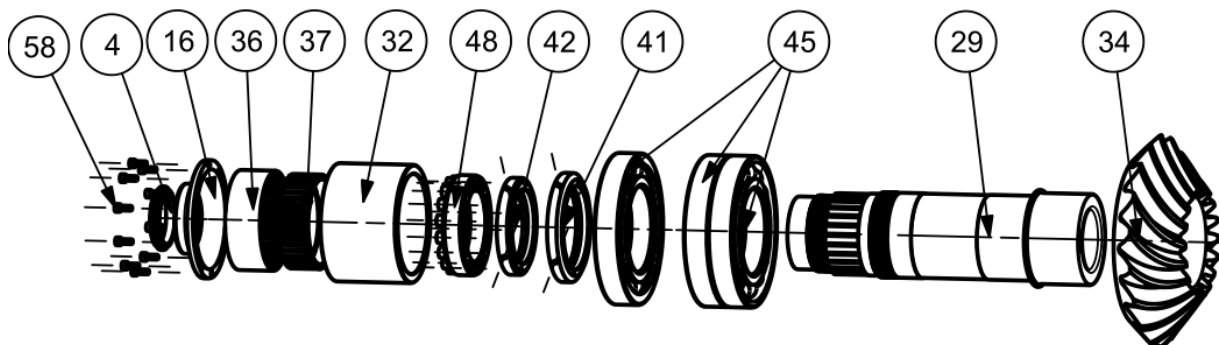


Abbildung 29: Abtrieb außen - Explosion

- 2.4 Die äußere Welle beginnt mit dem Aufpressen des erhitzten Kegelrades (34) auf die gekühlte Welle (29).
- 2.5 Danach wird die Welle mit dem Zahnrad erneut gekühlt, sodass die beiden vorderen, zuvor erhitzten Lager (45) auf die Lagersitze der Welle (29) gepresst werden können.
- 2.6 Das obere (hier linke) Lager (45) wird mit der Wellenmutter (41) lose auf die Welle geschoben, jedoch noch nicht angezogen.
- 2.7 Die innere Abtriebswelle wird nun in die äußere Abtriebswelle gesteckt, und beide zusammen in eine der Abtriebsschalen (18) eingelegt (siehe Bild rechts).
- 2.8 Dichtmittel (51) wird auf die Planflächen der Abtriebsschalen (18) aufgetragen.

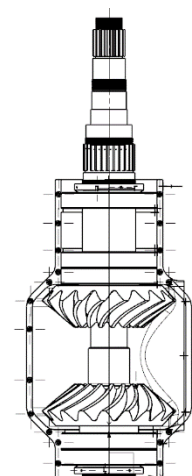


Abbildung 30:  
Gehäuse während Montage

- 2.9 Die Abtriebsschalen (18) werden mit den Bolzen (27) und den Hutmuttern (54) verschraubt (darauf achten, dass die beiden Bolzen mit enger Passung weit voneinander entfernt eingesetzt werden!).
- 2.10 Jetzt kann die Wellenmutter (41) mit dem korrekten Anziehungsmoment angezogen werden.
- 2.11 Die Dichtungen (1; 5) werden in den Deckel (15) eingelegt.
- 2.12 Der Deckel (15) wird mit den Schrauben (57) an den Abtriebsschalen (18) befestigt.
- 2.13 Auch der untere Deckel (13) wird mit der Dichtung (1) und den Schrauben (57) an der Abtriebsschale (18) montiert.
- 2.14 Der gesamte Abtriebsstrang kann nun vorsichtig angehoben und aufgerichtet werden (vorzugsweise wird er über den unteren Deckel an einer Montagestütze fixiert).
- 2.15 Der erste Propeller wird auf der Zahnwelle der äußeren Abtriebswelle (29) mit der Wellenmutter (42) fixiert.

Jetzt kann die Welle-in-Welle Lagerung Montiert werden.

- 2.16 Die Nabe der Bogenzahnkupplung (36) wird in die Wellenverlängerung (32) eingepresst.
- 2.17 Die Wellenverlängerung (32) wird mithilfe des Spannsatzes (48) koaxial auf der äußeren Abtriebswelle fixiert.
- 2.18 Die Schrägkugellager (43) werden zusammen mit der inneren Bogenzahnkupplung (37) auf die innere Abtriebswelle (30) geschoben und anschließend mit der Wellenmutter (53) fixiert.
- 2.19 Auf die Stirnseite der Wellenverlängerung (32) wird Flächendichtmittel (51) aufgetragen. Danach wird der Deckel (16) mit der Labyrinthdichtung (4) und den Schrauben (58) befestigt.
- 2.20 Der zweite Propeller wird mit der Wellenmutter (56) auf der inneren Abtriebswelle (30) fixiert.

Jetzt sind Beide Stränge fertig.

### 3. Einbau in den Luftschaft

- 3.1 Der Abtriebsstrang mit den Propellern wird vorsichtig in den Luftschaft gehoben und direkt mit den Anbindungen (11; 12) verschraubt.
- 3.2 Eine farbige Markiermasse wird auf die Verzahnung der Antriebswelle aufgetragen, um den korrekten Eingriff der Kegelräder sicherzustellen.
- 3.3 Der Antriebsstrang, der bereits im Gehäuse liegt, wird mit den Schrauben (57) an den Abtriebsschalen (18) befestigt.
- 3.4 Die Verzahnung wird nun mehrmals durchgedreht, um anhand der Farbverteilung zu prüfen, ob der Kontakt zwischen den Zahnflanken gleichmäßig ist.

- 3.5 Der Antriebsstrang wird erneut entfernt und die Farbspuren kontrolliert. Falls der Eingriff nicht korrekt ist, wird eine Passfolie auf der Planfläche zwischen Abtriebsschalen (18) und Antriebsgehäuse (19) eingelegt.
- 3.6 Anschließend wird der Antriebsstrang wieder mit den Abtriebsschalen verschraubt.
- 3.7 Abschließend wird die Zahnwelle der Kupplung (35) mit der Antriebswelle des Triebwerks über die Elastomerkupplung von RegalRexnord verbunden.
- 3.8 Das Getriebe kann jetzt mit Öl befüllt werden und die Schaufeln der Propeller können befestigt werden

# Handskizze Gesamtsystem

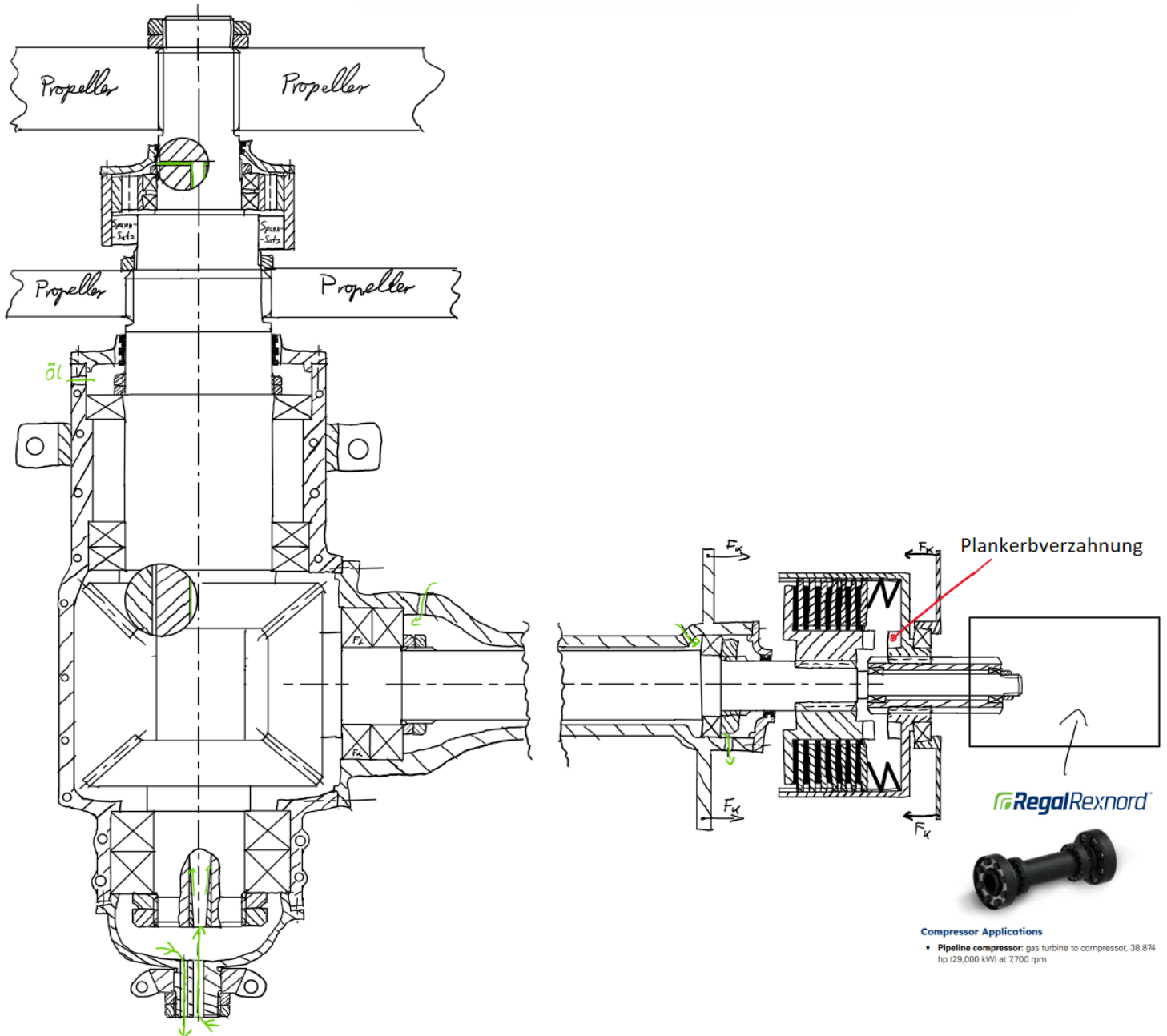


Abbildung 31: Handskizze des Gesamtsystem

## Literaturverzeichnis

- AMS 4928. (2013). Titanium Alloy Bars, Forgings, and Stock for Forgings, 6Al - 4V Annealed. Warrendale, PA: SAE International.
- DIN 2093. (2013). Tellerfedern - Maße, Federraten, Prüfkräfte. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 3960. (1987). Begriffe der Verzahnungen mit Evolventenflanken an Stirnrädern. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 3962-1. (1978). Abnahmebedingungen für Verzahnungen - Stirnräder. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 3990-1. (1987). Tragfähigkeitsberechnung von Stirnradverzahnungen - Allgemeine Einleitung und Erläuterungen. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 471. (2016). Sicherungsringe für Wellen - Maße und technische Lieferbedingungen. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 51517. (2017). Schmieröle - CL, CLP, CGLP und CGLPD - Anforderungen und Prüfungen. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 5480-1. (2006). Zahnwellenverbindungen - Begriffe, Nennmaße, Toleranzen, Passungssystem. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 743-1. (2012). Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen - Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Berechnungsverfahren. Berlin: Beuth Verlag.
- ISO 281. (2007). Rolling bearings - Dynamic load ratings and rating life. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 6336-1. (2019). Calculation of load capacity of spur and helical gears - Part 1: Basic principles, introduction and general influence factors. Geneva: International Organization for Standardization.
- Klüber Lubrication. (2020). Klübersynth GH 6-1500 - Produktdatenblatt. München: Klüber Lubrication München SE & Co. KG.
- Koyo Bearings (JTEKT Europe). (2023). Ball and Roller Bearings Catalogue. Paris: JTEKT Europe Bearings B.V.
- Roloff, M., & Matek, G. (2019). Maschinenelemente: Normung, Berechnung, Gestaltung (23. Aufl.). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- SAE International. (2003). SAE J286: Dry Friction Clutch Facing Material Test Procedures. Warrendale, PA: SAE International.
- Schäffler Gruppe. (2023). Wälzlager und Schraubensicherungselemente für industrielle Anwendungen - Technischer Produktkatalog. Herzogenaurach: Schäffler Technologies AG & Co. KG.

- Sharma, S., & Mitra, S. (2016). Dry sliding wear and friction behavior of carbon-carbon composite materials. *International Journal of Vehicle Performance*, 2(3), 215-230. <https://doi.org/10.1504/IJVP.2016.078560>
- SKF Group. (2023). *SKF General Catalogue - Rolling Bearings and Units*. Gothenburg: SKF AB.
- United States Department of Defense. (2020). *F-35B Lightning II Fact Sheet*. Fort Worth, TX: Lockheed Martin.
- ZOLLERN GmbH & Co. KG. (2023). *Titan Feinguss für Hochleistungsanwendungen - Werkstoffdatenblatt Ti-6Al-4V*. Sigmaringendorf: ZOLLERN Guss. Abrufbar unter: <https://www.zollern.com>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Reibfläche .....	16
Abbildung 2: Berechnung des Trägheitsmoments .....	17
Abbildung 3: Prinzip der Kupplung .....	17
Abbildung 4: Kraft-Verformungsdiagramm der Tellerfedern .....	20
Abbildung 5: Verzahnung 3D .....	23
Abbildung 6: Verformung der Antriebswelle .....	26
Abbildung 7: Antriebswelle in KissSoft .....	26
Abbildung 8: Verformung der Abtriebswelle innen .....	28
Abbildung 9: Abtriebswelle innen in KissSoft .....	28
Abbildung 10: Verformung der Abtriebswelle außen .....	30
Abbildung 11: Abtriebswelle außen in KissSoft .....	30
Abbildung 12: Freischnittskizze Gesamtsystem .....	31
Abbildung 13: Freischnittskizze Antriebsstrang .....	32
Abbildung 14: Freischnittskizze Abtriebswelle innen .....	32
Abbildung 15: Freischnittskizze Abtriebswelle außen .....	33
Abbildung 16: Berechnung der Gehäusewandstärke .....	37
Abbildung 17: Federkraft der Tellerfeder .....	40
Abbildung 18: Verzahnung - Zeichnerische Darstellung .....	44
Abbildung 19: Antriebswelle - Zeichnerische Darstellung .....	45
Abbildung 20: Kupplung - Zeichnerische Darstellung .....	46
Abbildung 21: innere Abtriebswelle - Zeichnerische Darstellung ....	48
Abbildung 22: äußere Abtriebswelle - Zeichnerische Darstellung ....	49
Abbildung 23: Welle-in-Welle-Lager - Zeichnerische Darstellung ....	49
Abbildung 24: Gehäuse - Zeichnerische Darstellung .....	51
Abbildung 25: Gehäuseaufhängung - Zeichnerische Darstellung .....	53
Abbildung 26: Antriebsstrang - Explosion .....	54
Abbildung 27: Kupplung - Explosion .....	55
Abbildung 28: Abtrieb innen - Explosion .....	56
Abbildung 29: Abtrieb außen - Explosion .....	56
Abbildung 30: Gehäuse während Montage .....	56
Abbildung 31: Handskizze des Gesamtsystem .....	59

## Anhang

### KissSoft:

- Kegelrad
- Abtriebswelle außen
- Abtriebswelle innen
- Antriebswelle
- Keilwelle Carbonscheiben
- Polygonzug Antriebswelle
- Presssitz Abtriebswellen
- Zahnwelle unterer Propeller
- Zahnwelle oberer Propeller
- Zahnwelle Antriebswelle - Kupplung
- Zahnwelle Kupplung Zwischenwelle

### Datenblätter:

- Carbon Material
- 18CrNiMo7-6
- DIN 2092
- Sicherungsring ES55
- Sicherungsring ES190
- Getriebeöl Klübersynth
- HAWE-Zylinder
- KOYO Lager
- Lagerberechnung Lager 1
- Lagerberechnung Lager Kupplung außen
- Ti-6Al-4V

# Eigenständigkeitserklärung

Empfehlungen zur Anfertigung einer wiss. Arbeit / Studienarbeit

Stand: 30.03.2025 (SCC, NUF)

## Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit in allen Teilen selbstständig angefertigt und keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form in noch keiner anderen Prüfung vorgelegen hat. Sämtliche wörtlichen oder sinngemäßen Übernahmen und Zitate, sowie alle Abschnitte, die mithilfe von KI-basierten Tools entworfen, verfasst und/oder bearbeitet wurden, sind kenntlich gemacht und nachgewiesen.

## Angaben zur Verwendung KI-basierter Hilfsmittel

Im Anhang meiner Arbeit habe ich sämtliche KI-basierte Hilfsmittel angegeben. Diese sind mit Produktnamen und formulierten Eingaben (Prompts) in einem KI-Verzeichnis ausgewiesen. Ich versichere, dass ich keine KI-basierten Tools verwendet habe, deren Nutzung der Prüfer / die Prüferin explizit schriftlich ausgeschlossen hat. Ich bin mir bewusst, dass die Verwendung von Texten oder anderen Inhalten und Produkten, die durch KI-basierte Tools generiert wurden, keine Garantie für deren Qualität darstellt. Ich verantworte die Übernahme jeglicher von mir verwendeter maschinell generierter Passagen vollumfänglich selbst und trage die Verantwortung für eventuell durch die KI generierte fehlerhafte oder verzerrte Inhalte, fehlerhafte Referenzen, Verstöße gegen das Datenschutz- und Urheberrecht oder Plagiate. Ich versichere zudem, dass in der vorliegenden Arbeit mein gestalterischer Einfluss überwiegt.

Regensburg, 06.07.25, Michael Vogl

(Ort, Datum, Unterschrift)

# Kegelradpaar

Kegelradgetriebe\_23

Geändert am	06.07.2025, 20:27:53
Geändert von	vom44604

OTH Regensburg, DE - Regensburg (4626)  
KISSsoft Release 2024 -SP2

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Meldungen</b>	3
<b>2</b>	<b>Übersicht</b>	3
<b>3</b>	<b>Zahngeometrie</b>	3
3.1	Verlagerungen	4
<b>4</b>	<b>Werkstoffe</b>	4
4.1	Zahnrad Rauigkeiten	4
4.2	Schmierung	4
<b>5</b>	<b>Zahngeometrie</b>	4
5.1	Bezugsprofile	4
5.2	Grunddaten	5
5.3	Winkel und Distanzen	6
5.4	Herstellung	7
<b>6</b>	<b>Ersatz-Stirnradverzahnung</b>	7
6.1	Ersatz-Stirnradverzahnung in Zahnmitte	7
6.2	Kontaktlinien	8
<b>7</b>	<b>Allgemeine Einflussfaktoren</b>	8
7.1	Kräfte und Umfangsgeschwindigkeit	8
7.2	Allgemein	8
7.3	K-Faktoren	9
<b>8</b>	<b>Berechnung der Fussfestigkeit (Bruch)</b>	9
<b>9</b>	<b>Berechnung der Flankenfestigkeit (Grübchen)</b>	10
<b>10</b>	<b>Fresstragfähigkeit nach ISO/TS 10300-20:2021</b>	10
10.1	Blitztemperatur-Kriterium	10
<b>11</b>	<b>Abmasse für die Zahndicke</b>	11
11.1	Flankenspiele	11
<b>12</b>	<b>Verzahnungstoleranzen</b>	11
<b>13</b>	<b>Modifikationen und Bestimmung der Zahnform</b>	11
13.1	Daten zur Zahnformberechnung	12
<b>14</b>	<b>Ergänzende Daten</b>	12
14.1	Eingabedaten für die Berechnung der Zahnradabmessungen nach ISO 23509:2019	12
14.2	Zahnverlustleistung und Reibungskoeffizient	12
14.3	Massen und Trägheitsmomente	12
<b>15</b>	<b>Lebensdauer, Schädigung</b>	12
15.1	Schädigung	13
<b>16</b>	<b>Bemerkungen</b>	13
16.1	Konventionen	13
16.2	Berechnungen und Faktoren	13

## 1 Meldungen



Berechnung ist konsistent.



Die Umfangsgeschwindigkeit ist sehr hoch (98.6707 m/s)!  
 Dies bewirkt folgendes:  
 Die Schmierung ist nicht mehr gewährleistet.  
 Die Berechnung ist nicht für diesen Fall vorgesehen!

## 2 Übersicht

Rechenmethode Kegelräder ISO 10300:2023, Methode B1  
 Schubbetrieb  
 Geometrieberechnung nach Methode 0, ISO 23509:2016  
 Standard, Bild 1 (Kopf-, Teil- und Fusskegel-Spitze in einem Punkt)  
 Bestimmung Kopf- und Fusskegelwinkel entsprechend DIN 3971:1980-Fig.1, abweichend von ISO 23509.

Zeichnungs- oder Artikelnummer:

Rad 1: 0.000.0  
 Rad 2: 0.000.0

		----- Rad 1 -----	----- Rad 2 -----
Leistung (kW)	[P]		11133.804
Drehzahl (1/min)	[n]	8000.0	7555.6
Lastwechselzahl (in Mio.)	[NL]	96.000	181.333
Drehrichtung Rad 1 auf Kegelspitze gesehen:			rechts
Drehmoment (Nm)	[T]	13290.0	14071.8
Anwendungsfaktor	[KA]		1.10
Aufteilungsfaktor	[KY]		1.00
Geforderte Lebensdauer	[H]		200.00
Rad treibend (+) / getrieben (-)		+	-
Arbeitsflanke Rad 1: Rechte Flanke			

## 3 Zahngeometrie

		----- Rad 1 -----	----- Rad 2 -----
Achsversatz (mm)	[a]		0.000
Achsenwinkel (°)	[Σ]		90.0000
Normalmodul Mitte (mm)	[mmn]		12.0000
Mean normal diametral pitch (1/in)	[Pndm]		2.11667
Messersmodul (mm)	[m0]		12.00
Normaleingriffswinkel (°)	[αn]		20.0000
Spiralwinkel Mitte (°)	[βm]		30.0000
Schrägungsrichtung		links	rechts
Zähnezahl	[z]	17	18
Zahnbreite (mm)	[b]	110.00	110.00
Angenommene oder gemessene Tragbildbreite (mm)	[be]	99.00	99.00
$b_e/b = 0.900$ , $b_{veff} = 99.000$ mm, $b_v = 110.000$ mm			
Verzahnungsqualität nach ISO 17485	[Q]	6	6

Innendurchmesser Radkörper (mm)	[di]	0.000	0.000
Teilkegelspitze zu Innenseite Rohling (mm)	[yi]	97.742	94.382
Teilkegelspitze zu Aussenseite Rohling (mm)	[yo]	190.003	183.472

### 3.1 Verlagerungen

Einbaumass (mm)	[MD]	190.003	183.472
V-Verlagerung (resp. E-Verlagerung) (µm)	[ΔV]		0.000
H-Verlagerung (resp. P-Verlagerung) (µm)	[ΔH]		0.000
J-Verlagerung (resp. G-Verlagerung) (µm)	[ΔJ]		0.000

## 4 Werkstoffe

### Rad 1

18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet, ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernhärte >=30HRC

### Rad 2

18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet, ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernhärte >=30HRC

		----- Rad 1 -----	Rad 2 -----
Oberflächen-Härte		HRC 61	HRC 61
Werkstoff-Behandlung nach ISO 6336:2006: Normal, Lebensdauerfaktoren $Z_{NT}$ und $Y_{NT} \geq 0.85$			
Dauerfestigkeit Zahnfußspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σFlim]	500.00	500.00
Dauerfestig. Hertzsche Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[σHlim]	1500.00	1500.00
Elastizitätsmodul (N/mm <sup>2</sup> )	[E]	206000	206000
Poissonzahl	[ν]	0.300	0.300
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σB]	1200.00	1200.00
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σS]	850.00	850.00

### 4.1 Zahnrad Rauigkeiten

		----- Rad 1 -----	Rad 2 -----
Mittenrauhwert $R_a$ , Flanke (µm)	[RAH]	0.60	0.60
Mittenrauhwert $R_a$ , Fuss (µm)	[RAF]	3.00	3.00
Gemittelte Rauhtiefe $R_z$ , Flanke (µm)	[RZH]	4.80	4.80
Gemittelte Rauhtiefe $R_z$ , Fuss (µm)	[RZF]	20.00	20.00

### 4.2 Schmierung

Schmierungsart	Öl-Einspritzschmierung		
Ölsorte	Klübersynth GH 6-1500 (API GL 5)		
Schmierstoff-Basis	Synthetisches Öl auf Polyglykol-Basis		
Kinematische Nennviskosität Öl bei 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	[v40]	1500.00	
Kinematische Nennviskosität Öl bei 100°C (mm <sup>2</sup> /s)	[v100]	232.00	
Spezifische Dichte bei 15°C (kg/dm <sup>3</sup> )	[ρ]	1.080	
Öltemperatur (°C)	[TS]	70.000	

## 5 Zahngeometrie

### 5.1 Bezugsprofile

#### Bezugsprofil von Rad 1

Bezugsprofil	1.25 / 0.30 / 1.0 ISO 53:1998 Profil B		
Fusshöhenfaktor	[hfP*]	1.250	
Fussradiusfaktor	[pfP*]	0.300	
	[pfPmax*]	0.472	
Kopfhöhenfaktor	[haP*]	1.000	

Kopfradiusfaktor	[ $\rho aP^*$ ]	0.000
Protuberanzhöhenfaktor	[ $hprP^*$ ]	0.000
Protuberanzwinkel	[ $\alpha prP$ ]	0.000
Kopfformhöhenfaktor	[ $hFaP^*$ ]	0.000
Kantenbrechflankenwinkel	[ $\alpha KP$ ]	0.000
	nicht überschneidend	
Kleinsten Krümmungsradius, Fussrundung (mm)	[ $\rho_{min.e/i}$ ]	4.289 / 4.289

### Bezugsprofil von Rad 2

Bezugsprofil	1.25 / 0.30 / 1.0 ISO 53:1998 Profil B	
Fusshöhenfaktor	[ $hfP^*$ ]	1.250
Fussradiusfaktor	[ $\rho fP^*$ ]	0.300
	[ $\rho fP_{max}^*$ ]	0.472
Kopfhöhenfaktor	[ $haP^*$ ]	1.000
Kopfradiusfaktor	[ $\rho aP^*$ ]	0.000
Protuberanzhöhenfaktor	[ $hprP^*$ ]	0.000
Protuberanzwinkel	[ $\alpha prP$ ]	0.000
Kopfformhöhenfaktor	[ $hFaP^*$ ]	0.000
Kantenbrechflankenwinkel	[ $\alpha KP$ ]	0.000
	nicht überschneidend	
Kleinsten Krümmungsradius, Fussrundung (mm)	[ $\rho_{min.e/i}$ ]	4.356 / 4.356

### 5.1.1 Angaben für die Fertigbearbeitung

		----- Rad 1 -----	Rad 2 -----
Fusshöhe Bezugsprofil	[ $hfP^*$ ]	1.250	1.250
Fussradius Bezugsprofil	[ $\rho fP^*$ ]	0.300	0.300
Kopfhöhe Bezugsprofil	[ $haP^*$ ]	1.000	1.000
Protuberanzhöhenfaktor	[ $hprP^*$ ]	0.000	0.000
Protuberanzwinkel (°)	[ $\alpha prP$ ]	0.000	0.000
Kopfformhöhenfaktor	[ $hFaP^*$ ]	0.000	0.000
Kantenbrechflankenwinkel (°)	[ $\alpha KP$ ]	0.000	0.000
Art der Profilmodifikation:	keine (nur Einlaufbetrag)		
Kopfrücknahme, durch Einlaufen ( $\mu m$ )	[Ca L/R]	2.0 / 2.0	2.0 / 2.0

### 5.2 Grunddaten

		----- Rad 1 -----	Rad 2 -----
Keine Kopfhöhen-Änderung			
Gesamtübersetzung	[ $itot$ ]	-1.059	
Zähnezahlverhältnis	[ $u$ ]	1.059	
Spiralwinkel Aussen (°)	[ $\beta e$ ]	45.7005	45.7005
Spiralwinkel Mitte (°)	[ $\beta m$ ]	30.0000	30.0000
Spiralwinkel Innen (°)	[ $\beta i$ ]	14.1636	14.1636
Achsversetzungswinkel Ritzel-Achsebene (°)	[ $\zeta m$ ]	0.0000	
Achsversetzungswinkel Teil-Ebene (°)	[ $\zeta mp$ ]	0.0000	
Achsversatz Teil-Ebene (mm)	[ $ap$ ]	0.000	
Normalmodul Aussen (mm)	[ $men$ ]	12.7804	
Stirnmodul Aussen (mm)	[ $met$ ]	18.2993	18.2993
Normalmodul Mitte (mm)	[ $mmn$ ]	12.0000	
Stirnmodul Mitte (mm)	[ $mmt$ ]	13.8564	13.8564
Normalmodul Innen (mm)	[ $min$ ]	9.1274	
Stirnmodul Innen (mm)	[ $mit$ ]	9.4135	9.4135
Outer normal diametral pitch (1/in)	[ $Pnd$ ]	1.98742	
Outer transverse diametral pitch (1/in)	[ $Ptd$ ]	1.38803	1.38803
Mean normal diametral pitch (1/in)	[ $Pndm$ ]	2.11667	

Mean transverse diametral pitch (1/in)	[Ptdm]	1.83309	1.83309
Profilverschiebungsfaktorsumme	[xhm1+xhm2]		0.0000
Profilverschiebungsfaktor	[xhm]	0.0490	-0.0490
Unterschnittgrenze	[xhmmin]	-0.9266	-0.2579
Zahndickenänderungsfaktor	[xsm]	0.0000	0.0000
Teilkreisdurchmesser Aussen (mm)	[de]	311.087	329.387
Kopfkreisdurchmesser Aussen (mm)	[dae]	335.260	350.083
Fusskreisdurchmesser Aussen (mm)	[dfe]	283.413	301.117
Teilkreisdurchmesser Mitte (mm)	[dm]	235.559	249.415
Kopfkreisdurchmesser Mitte (mm)	[dam]	253.863	265.086
Fusskreisdurchmesser Mitte (mm)	[dfm]	214.604	228.009
Teilkreisdurchmesser Innen (mm)	[di]	160.030	169.444
Kopfkreisdurchmesser Innen (mm)	[dai]	172.465	180.090
Fusskreisdurchmesser Innen (mm)	[dfi]	145.794	154.901
Zahnkopfhöhe Aussen (mm)	[hae]	16.624	15.071
Zahnkopfhöhe Mitte (mm)	[ham]	12.588	11.412
Zahnkopfhöhe Innen (mm)	[hai]	8.552	7.753
Zahnfusshöhe Aussen (mm)	[hfe]	19.033	20.586
Zahnfusshöhe Mitte (mm)	[hfm]	14.412	15.588
Zahnfusshöhe Innen (mm)	[hfi]	9.791	10.590
Zahnhöhe Aussen (mm)	[he]	35.657	35.657
Zahnhöhe Mitte (mm)	[hm]	27.000	27.000
Zahnhöhe Innen (mm)	[hi]	18.343	18.343
Gemeinsame Zahnhöhe Aussen (mm)	[hew]		31.695
Gemeinsame Zahnhöhe Mitte (mm)	[hmw]		24.000
Gemeinsame Zahnhöhe Innen (mm)	[hiw]		16.305
Kopfspiel Aussen (mm)	[ce]	3.962	3.962
Kopfspiel Mitte (mm)	[cm]	3.000	3.000
Kopfspiel Innen (mm)	[ci]	2.038	2.038
Kopfspiel theoretisch (mm)	[c]	3.000	3.000
Kopfspiel effektiv (mm)	[c.e/i]	3.000 / 3.000	3.000 / 3.000

### 5.3 Winkel und Distanzen

		----- Rad 1 -----	Rad 2 -----
Teilkegelwinkel (°)	[δ]	43.3634	46.6366
Teilkegelwinkel	[δ]	43°21'48"	46°38'12"
Kopfkegelwinkel (°)	[δa]	47.5606	50.4427
Kopfkegelwinkel	[δa]	47°33'38"	50°26'34"
Kopfwinkel (°)	[θa=δa-δ]	4.1972	3.8061
Kopfwinkel	[θa=δa-δ]	4°11'50"	3°48'22"
Fusskegelwinkel (°)	[δf]	38.5609	41.4441
Fusskegelwinkel	[δf]	38°33'39"	41°26'39"
Fusswinkel (°)	[θf=δ-δf]	4.8025	5.1925
Fusswinkel	[θf=δ-δf]	4°48'9"	5°11'33"
Teilkegellänge Aussen (mm)	[Re]	226.534	226.534
Teilkegellänge Mitte (mm)	[Rm]	171.534	171.534
Teilkegellänge Innen (mm)	[Ri]	116.534	116.534
Auslegungs-Kenngrößen	[Re2/b2]		2.059
	[b2/mmn]		9.167
Kopfkegel Aussen zu Kreuzungspunkt (mm)	[txo]	153.279	144.587

Kopfkegel Innen zu Kreuzungspunkt (mm)	[txi]	78.850	74.379
Teilkegelspitze hinter Kreuzungspunkt (mm)	[tz]	0.000	0.000
Kopfkegelspitze hinter Kreuzungspunkt (mm)	[tzF]	0.000	-0.000
Fusskegelspitze hinter Kreuzungspunkt (mm)	[tzR]	-0.000	-0.000
Teilkegel Aussen zur Teilkegelspitze (mm)	[ye]	164.693	155.544
Kopfkegel Aussen zur Teilkegelspitze (mm)	[yae]	153.279	144.587
Kopfkegel Innen zur Teilkegelspitze (mm)	[yai]	78.850	74.379

## 5.4 Herstellung

Herstellverfahren:	geschliffen/hartverzahnt		
Bogenverzahnung			
Kontinuierlich teilendes Verfahren			
Gangzahl des Messerkopfes	[z0]	1.00	
Flugkreisradius Messerkopf (mm)	[rc0]	145.08	
Verhältnis Evolvente/Teilkegellänge Aussen	[inv/Re]	0.95	
Verhältnis Evolvente/Teilkegellänge Mitte	[inv/Rm]	1.25	

## 6 Ersatz-Stirnradverzahnung

### 6.1 Ersatz-Stirnradverzahnung in Zahnmitte

		----- Rad 1 -----	----- Rad 2 -----
Normalmodul (mm)	[mn]	12.0000	
Stirnmodul (mm)	[mvt]	13.8564	
Normaleingriffswinkel (°)	[ae,avn]	20.0000	
Stirneingriffswinkel (°)	[avt]	22.7959	
Schrägungswinkel am Teilkreis (°)	[βv]	30.0000	
Grundschrägungswinkel (°)	[βvb]	28.0243	
Ersatz-Achsabstand (mm)	[av]	343.629	
Betriebseingriffswinkel (°)	[avwt]	22.7959	
Zähnezahl	[zv]	23.383	26.215
Zähnezahlverhältnis	[uv]	1.121	
Profilverschiebungsfaktor	[xv]	0.0490	-0.0490
Profilverschiebung (mm)	[xv*mn]	0.5882	-0.5882
Erzeugungsprofilverschiebungsfaktor	[xvE.e/i]	0.0490/0.0490	-0.0490/-0.0490
Kopfspiel theoretisch (mm)	[c]	3.000	3.000
Kopfspiel effektiv (mm)	[c.e/i]	3.000 / 3.000	3.000 / 3.000
Teilkreisdurchmesser (mm)	[dv]	324.009	363.249
Grundkreisdurchmesser (mm)	[dvb]	298.701	334.876
Kopfkreisdurchmesser (mm)	[dva]	349.186	386.073
Kopfformkreisdurchmesser (mm)	[dvFa]	349.186	386.073
Kopfnutkreisdurchmesser (mm)	[dvNa]	349.186	386.073
Wälzkreisdurchmesser (mm)	[dvw]	324.009	363.249
Fusskreisdurchmesser (mm)	[dvf]	295.186	332.073
Fussformkreisdurchmesser (mm)	[dvFf]	305.349	342.635
Fussnutkreisdurchmesser (mm)	[dvNf]	307.769	345.600
Reserve (dNf-dFf)/2 (mm)	[cF]	1.210	1.483
Normalzahndicke am Kopfkreis (mm)	[svan]	8.917	9.256
Normalzahndicke am Kopfformkreis (mm)	[svFan]	8.917	9.256
Ersatz-Zähnezahl	[zvn]	34.650	38.846
Teilkreisteilung (mm)	[pvt]	43.531	
Grundkreisteilung (mm)	[pvbt]	40.131	
Stirneingriffsteilung (mm)	[pvvt]	40.131	

#### 6.1.1 Überdeckungen

Länge der Eingriffsstrecke (mm)	[gva]	53.348
---------------------------------	-------	--------

Ersatz-Stirnradverzahnung (ISO 10300:2023, Annex A):

Bezogen auf Zahnbreite	[bveff]	99.000
Profilüberdeckung	[evα]	1.329
Überdeckung im Normalschnitt	[evαn]	1.706
Sprungüberdeckung	[evβ]	1.313
Gesamtüberdeckung	[evγ]	2.642

## 6.2 Kontaktlinien

Hilfswerte für die Zahnflanke:

Abstand vom Zentrum (mm)	[ft, fm, fr]	35.426	0.000	-35.426
Länge der Berührlinie (mm)	[lbt, lbm, lbr]	26.514	106.395	26.514
Bezogene Kontaktfläche (mm)	[A*t, A*m, A*r]	7.111	83.562	7.111
Höhenballigkeit: stark	[e]	1.500		
Linienlast-Anteile (%)	[flct, flcm, flcr]	7.273	85.455	7.273

Hilfswerte für den Zahnfuß:

Abstand vom Zentrum (mm)	[ft, fm, fr]	35.426	0.000	-35.426
Länge der Berührlinie (mm)	[lbt, lbm, lbr]	26.514	106.395	26.514
Berührlinien-Winkel (°)	[βB]	0.0000		

## 7 Allgemeine Einflussfaktoren

### 7.1 Kräfte und Umfangsgeschwindigkeit

		----- Rad 1 -----	----- Rad 2 -----
Nennumfangskraft im Teilkreis (N)	[Fmt]	112838.0	112838.0
Nennumfangskraft Ersatzstirnrad (N)	[Fvmt]	112838.0	
Schubbetrieb			
Axialkraft (N)	[Fa]	-14800.9	79208.8
Radialkraft (N)	[Fr]	79208.8	-14800.9
Normalkraft (N)	[Fnorm]	138656.1	138656.1
Axialkraft (%)	[Fa/Ft]	-13.117	70.197
Radialkraft (%)	[Fr/Ft]	70.197	-13.117

Hinweise:

Kräfte bei Drehung in Gegenrichtung, Zugbetrieb:

Axialkraft (N)	[Fa]	79924.6	-10254.2
Radialkraft (N)	[Fr]	-10254.2	79924.6
Normalkraft (N)	[Fnorm]	138656.1	138656.1
Axialkraft (%)	[Fa/Ft]	70.831	-9.088
Radialkraft (%)	[Fr/Ft]	-9.088	70.831

Nennumfangskraft am Teilkreis pro mm (N/mm)

$$w = F_{vm}/b_v$$

Nennumfangskraft am Teilkreis pro mm (N/mm)	[w]	1025.80	*
Umfangsgeschwindigkeit Teilkreis (m/s)	[v]	98.67	98.67
Summengeschwindigkeit in Zahnhöhen-Richtung (m/s)	[vΣvert]	58.45	
Gleitgeschwindigkeit in Berührlinien-Richtung (m/s)	[vgpar]	0.00	
Summengeschwindigkeit (m/s)	[vΣ]	114.68	
Gleitgeschwindigkeit (m/s)	[vg]	0.00	

### 7.2 Allgemein

		----- Rad 1 -----	----- Rad 2 -----
Schubbetrieb			
Einzelfedersteifigkeit (N/mm/μm)	[c']	14.00	
Eingriffsfedersteifigkeit (N/mm/μm)	[cg]	20.00	
Teilungs-Einzelabweichung (μm)	[fp]	19.00	19.00

Einlaufbetrag $y_a$ ( $\mu\text{m}$ )	[ $y_a$ ]	1.43
Reduzierte Masse (kg/mm)	[mRed]	0.102
Resonanzdrehzahl (min-1)	[nE1]	7861
Bezugsdrehzahl (-)	[N]	1.018
Bereich der Hauptresonanz!		

### 7.3 K-Faktoren

Dynamikfaktor	[Kv]	1.49
Flugkreisradius Messerkopf (mm)	[rc0]	145.08
Faktor	[KF0]	1.04
Lagerungsfaktor	[KH $\beta$ be]	1.25
Breitenfaktoren		
- Flanke	[KH $\beta$ ]	1.88
- Zahnfuss	[KF $\beta$ ]	1.80
- Fressen	[KB $\beta$ ]	1.88
Stirnfaktoren		
- Flanke	[KH $\alpha$ ]	1.00
- Zahnfuss	[KF $\alpha$ ]	1.00
- Fressen	[KB $\alpha$ ]	1.00
Schrägungsfaktor Fressen	[KB $\gamma$ ]	1.25
Anwendungsfaktor	[KA]	1.100

### 8 Berechnung der Fussfestigkeit (Bruch)

----- Rad 1 ----- Rad 2 -----

Rechnung der Zahnformfaktoren nach Methode: B1 (ISO 10300-3:2023)

Herstellverfahren: gewälzt

Berechnung mit Schubflanke

Berechnet mit Profilverschiebungsfaktor	[x]	0.05	-0.05
Zahnformfaktor	[YF]	2.45	2.49
Spannungskorrekturfaktor	[YS]	1.72	1.69
Kraftangriffswinkel ( $^\circ$ )			
	[ $\alpha_h$ ]	26.47	25.30
Biegehebelarm (mm)			
	[hFe]	23.12	23.01
(-)	[hFe*]	1.93	1.92
Zahnfussdicke im kritischen Querschnitt (mm)			
	[sFn]	25.44	25.31
(-)	[sFn*]	2.12	2.11
Fussrundungsradius im kritischen Querschnitt (mm)			
	[ $\rho_F$ ]	5.65	5.92
(-)	[ $\rho_F^*$ ]	0.47	0.49
Überdeckungsfaktor			
	[Y $\epsilon$ ]	0.63	
Lastverteilungsfaktor			
	[YLS]	0.85	
Massgebende Zahnbreite (mm)			
	[bv]	110.00	110.00
Spiralwinkelfaktor			
	[YBS (YK)]	1.011	
Zahnfuss-Nennspannung (N/mm <sup>2</sup> )			
	[ $\sigma_{F0}$ ]	194.35	194.27
Zahnfussspannung (N/mm <sup>2</sup> )			
	[ $\sigma_F$ ]	571.53	571.31
Zulässige Zahnfussspannung von Prüf-Zahnrad			
Stützziffer	[Y $\delta_{relT}$ ]	0.998	0.996
Oberflächenfaktor	[YR $_{relT}$ ]	0.957	0.957
Grössenfaktor, Zahnfuss	[YX]	0.930	0.930
Lebensdauerfaktor	[YNT]	0.933	0.921
Y $\delta_{relT}$ · YR $_{relT}$ · YX · YNT		0.828	0.817
Wechselbiegungsfaktor, Mittelspannungseinflussfaktor	[YM]	1.000	1.000

Spannungskorrekturfaktor	[YST]		2.00
$Y_{ST} \cdot \sigma_{Flim}$ (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{FE}$ ]	1000.00	1000.00
Zulässige Zahnfußsspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{FP}$ ]	828.09	816.68
Sollsicherheit	[SFmin]	1.40	1.40
Sicherheitsfaktor für Zahnfußsspannung	[SF= $\sigma_{FP}/\sigma_F$ ]	1.45	1.43

## 9 Berechnung der Flankenfestigkeit (Grübchen)

		----- Rad 1 -----	----- Rad 2 -----
Normalkraft (N)	[Fn]	138656.10	
Normalkraft berechnet ohne Reibungskoeffizient			
Ersatzkrümmungsradius (mm)	[p.rel]	39.048	
Elastizitätsfaktor ( $\sqrt{N/mm}$ )	[ZE]	189.81	
Lastverteilungsfaktor	[ZLS]	0.924	
Mittlere Berührlinienlänge (mm)	[l <sub>bm</sub> ]	106.39	
Projektierte m. Berührlinienlänge (mm)	[l <sub>bm'</sub> ]	93.92	
Massgebende Zahnbreite (mm)	[b=l <sub>bm</sub> ]	106.39	
Mid-zone Faktor	[ZM-B]	0.999	
Nominelle Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{H0}$ ]	1012.93	
Effektive Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_H$ ]	1773.93	
Hypoid-Faktor	[Zhyp]	1.000	1.000
Kegelradfaktor, Flanke	[ZKP]		1.200
Schmierstoff-Faktor, bei N <sub>L</sub>	[ZL]	1.127	1.127
Geschwindigkeitsfaktor bei N <sub>L</sub>	[ZV]	1.062	1.062
Rauhigkeitsfaktor bei N <sub>L</sub>	[ZR]	0.999	0.999
Werkstoffpaarungsfaktor bei N <sub>L</sub>	[ZW]	1.000	1.000
Lebensdauerfaktor	[ZNT]	0.980	0.961
Grössenfaktor, Flanke	[ZX]	1.000	1.000
Z <sub>L</sub> · Z <sub>V</sub> · Z <sub>R</sub> · Z <sub>NT</sub> · Z <sub>X</sub>		1.171	1.149
Eine gewisse Grübchenbildung zulässig: Nein			
Zulässige Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{HP}$ ]	2108.30	2067.57
Sollsicherheit	[SHmin]	1.00	1.00
Sicherheit für Flankenpressung	[SH= $\sigma_{HP}/\sigma_H$ ]	1.19	1.17

## 10 Fresstragfähigkeit nach ISO/TS 10300-20:2021

### 10.1 Blitztemperatur-Kriterium

		----- Rad 1 -----	----- Rad 2 -----
Massentemperatur (°C)	[ $\theta_{MB}$ ]	193.22	
Schmierstofffaktor für Schmierungsart	[XS]	1.200	
Rauheitsstrukturfaktor	[C <sub>RS</sub> ]	1.000 *	
*ISO 10300-20: C <sub>RS</sub> =1+(0.3·Sin( $\beta_b$ )) <sup>ε</sup> , ε = 2.0 für geschliffene Oberflächen			
Berechnung am kritischen Punkt g <sub>v</sub> =22.32 mm			
Lokaler Reibungskoeffizient	[ $\mu_v$ ]	0.027	
Maximale Blitztemperatur (°C)	[ $\theta_{flamax}$ ]	246.50	
Fresstemperatur (°C)	[ $\theta_S$ ]	368.74	
Sollsicherheit	[SBmin]	2.000	
Sicherheitsfaktor für Fressen, Blitztemperatur (Zwischenresultate siehe unter 'Spezialprotokolle')	[SB]	0.808	

## 11 Abmasse für die Zahndicke

		----- Rad 1 -----	Rad 2 -----
Zahndickentoleranz		Kein Abmass	Kein Abmass
Zahndickenabmass im Normalschnitt (mm)	[Asn.e/i]	0.000 / 0.000	0.000 / 0.000
Die folgenden Angaben gelten für die Mitte der Zahnbreite (ISO 23509)			
Zahndicke, Bogen, Mitte (mm)	[smn]	19.278	18.421
(mm)	[smn.e/i]	19.278 /19.278	18.421 /18.421
Zahndicke, Bogen, Mitte (mm)	[smt]	22.260	21.271
(mm)	[smt.e/i]	22.260 /22.260	21.271 /21.271
Zahndicke im Teilkreis, Sehne (mm)	[smnc]	19.271	18.417
(mm)	[smnc.e/i]	19.271 /19.271	18.417 /18.417
Höhe über der Sehne ab $d_{am}$ (mm)	[hamc]	12.812	11.594
Theoretische Zahndicke am Kopf, Mitte, AGMA 929 (mm)	[tLNP/G]	8.903	9.247
Die folgenden Angaben gelten für das äussere Ende der Zahnbreite:			
Zahndicke im Teilkreis, Sehne (mm)	[senc]	25.457	24.326
(mm)	[senc.e/i]	25.457 /25.457	24.326 /24.326
Höhe über der Sehne ab $d_{ae}$ (mm)	[haec]	16.769	15.189

### 11.1 Flankenspiele

		----- Rad 1 -----	Rad 2 -----
Verdrehflankenspiel, Mitte (mm)	[jmt]	-0.000 /-0.000	
Verdrehflankenspiel, Aussen (mm)	[jet]	-0.000 /-0.000	
Normalflankenspiel, Mitte (mm)	[jmn]	-0.000 /-0.000	
Normalflankenspiel, Aussen (mm)	[jen]	-0.000 /-0.000	
Axiale Verschiebung bei vorgegebenem Flankenspiel:			
Gewünschtes Flankenspiel durch axiale Verschiebung (mm)	[Δj]	0.240	
Zusätzliches Flankenspiel pro Rad (mm)	[Δj1,2]	0.113	0.127
Erforderliche axiale Verschiebung pro Rad (mm)	[α1,2]	0.226	0.240
Flankenspiel bei vorgegebener axialer Verschiebung:			
Einbaumass Änderung (mm)	[α1,2]	0.100	0.100
Zusätzliches Flankenspiel pro Rad (mm)	[Δj1,2]	0.050	0.053

## 12 Verzahnungstoleranzen

		----- Rad 1 -----	Rad 2 -----
Nach	ISO 17485:2006		
Verzahnungsqualität	[Q-ISO17485]	6	6
Durchmesser (mm)	[dT]	236.52	248.51
Teilungs-Einzelabweichung (μm)	[fpT]	19.00	19.00
Teilungs-Gesamtabweichung (μm)	[FpT]	57.00	58.00
Rundlaufabweichung (μm)	[FrT]	46.00	46.00
Einflanken-Wälzsprung (μm)	[fisT.e/i]	45.00 /6.50	45.00 /6.50
$f_{isTmax}$ , $f_{isTmin}$ : ISO 17485:2006, Table B1, q=2			
Einflanken-Wälzabweichung (μm)	[FisT]	102.00	102.00

## 13 Modifikationen und Bestimmung der Zahnform

## 13.1 Daten zur Zahnformberechnung

Daten nicht vorhanden.

Bitte führen Sie eine Berechnung im Tab "Zahnform" aus und öffnen Sie das Hauptprotokoll erneut.

## 14 Ergänzende Daten

### 14.1 Eingabedaten für die Berechnung der Zahnradabmessungen nach ISO 23509:2019

Daten von Typ 1, nach Tabelle 3, ISO 23509:

$x_{hm1}=0.0490$ ,  $k_{hap}=1.0000$ ,  $k_{hfp}=1.2500$ ,  $x_{smn}=0.0000$

Daten von Typ 2, nach Tabelle 3, ISO 23509:

$c_{ham}=0.4755$ ,  $k_d=2.0000$ ,  $k_c=0.1250$ ,  $k_t=0.0000$

### 14.2 Zahnverlustleistung und Reibungskoeffizient

Berechnung nach	Wech	
Reibungskoeffizient	$[\mu_m]$	0.017
Der Reibungskoeffizient $\mu_m$ kann je nach Rechenmethode variieren.		
Summengeschwindigkeit (m/s)	$[v\Sigma]$	114.685
Verlustfaktor	$[HV]$	0.139
Zahnverlustleistung aus Zahnbelastung (kW)	$[PVZ]$	26.153
Verzahnungswirkungsgrad (%)	$[\eta z]$	99.765

#### 14.2.1 Wech Zwischenresultate

$V_R = 0.788$ ,  $V_S = 1.000$ ,  $V_Z = 0.818$

$X_L = 0.700$ ,  $K_{ym} = 0.011$  (0.200)

$\rho nC = 37.58$  mm ( 16.00 mm)

$F_n \cdot \cos(\beta b_2) / b_2 = 1112.71$  N/mm

$\eta_{Oil} = 551.21$  mPa·s,  $V_{Sigma} = 114.68$  m/s ( 25.00 m/s)

### 14.3 Massen und Trägheitsmomente

		----- Rad 1 -----	----- Rad 2 -----
Masse - ungefähre Berechnung mit Teilkegel (kg)	$[m]$	39.123	43.541
Trägheitsmoment			
Ungefähre Berechnung mit Teilkegel (kg*m²)	$[J]$	3.5328e-01	4.4846e-01

## 15 Lebensdauer, Schädigung

Sollsicherheit Zahnfuß	$[S_{Fmin}]$	1.4000
Sollsicherheit Zahnflanke	$[S_{Hmin}]$	1.0000
Geforderte Lebensdauer	$[H]$	200.0000

Lebensdauer (berechnet mit Sollsicherheiten):

Lebensdauer System (h)	$[H_{att}]$	566
------------------------	-------------	-----

		----- Rad 1 -----	----- Rad 2 -----
Lebensdauer Zahnfuß (h)	$[H_{Fat}]$	1110	566.1
Lebensdauer Zahnflanke (h)	$[H_{Hatt}]$	1e+06	1e+06

Hinweis: Die Angabe 1e+006 h bedeutet, dass die Lebensdauer > 1'000'000 h ist.

## 15.1 Schädigung

Schädigung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer (H, 200.0 h)

D <sub>F1</sub> (%)	D <sub>F2</sub> (%)	D <sub>H1</sub> (%)	D <sub>H2</sub> (%)
18.0249	35.3270	0.0000	0.0000

Schädigung, bezogen auf die System-Lebensdauer (H<sub>att</sub>, 566.1 h)

D <sub>F1</sub> (%)	D <sub>F2</sub> (%)	D <sub>H1</sub> (%)	D <sub>H2</sub> (%)
51.0232	100.0000	0.0000	0.0000

## 16 Bemerkungen

### 16.1 Konventionen

- Angaben mit **.e/i** bedeuten: Maximal **.e** und Minimalwert **.i** bei Berücksichtigung aller Toleranzen.
- Angaben mit **.m** bedeuten: Mittelwert in der Toleranz.
- Positives Vorzeichen der Kegelspitzen (**t<sub>zF</sub>**, **t<sub>zR</sub>**) bedeutet: Kegelspitze vor der Mittellinie, nach ISO 23509.

### 16.2 Berechnungen und Faktoren

K<sub>V</sub>, K<sub>HG</sub>, K<sub>FQ</sub> nach Methode B

K<sub>Hβ</sub>, K<sub>Fβ</sub> nach Methode C

Y<sub>δrel</sub>, Y<sub>R</sub> nach Methode B1

Z<sub>L</sub>, Z<sub>V</sub>, Z<sub>R</sub> nach Methode B

Bei den Faktoren Z<sub>L</sub>, Z<sub>V</sub>, Z<sub>R</sub>, Z<sub>W</sub>, Z<sub>X</sub>, Y<sub>δrelT</sub>, Y<sub>RrelT</sub>, Y<sub>X</sub> wird der logarithmisch interpolierte Wert angegeben, welcher aus den Werten für die Dauerfestigkeit und für die statische Festigkeit basierend auf der Lastwechselzahl errechnet wird.

Ende Protokoll (Zeilen: 577)

## Welle

Abtrieb ausen

Geändert am	06.07.2025, 20:29:23
Geändert von	vom44604

OTH Regensburg, DE - Regensburg (4626)  
KISSsoft Release 2024 -SP2

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Meldungen</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Eingabedaten</b>	<b>4</b>
2.1	Wellen	4
2.2	Gewichtskraft	4
2.3	Wellenmodellierung	4
2.4	Schubverformungen	4
2.5	Wälzlager	4
2.6	Gehäuse	4
2.7	Lasteinleitungen	4
<b>3</b>	<b>Wellendefinition (Welle 1)</b>	<b>5</b>
3.1	Aussenkontur	5
3.2	Innenkontur	7
3.3	Kräfte	7
3.4	Lager	8
<b>4</b>	<b>Zahnräder</b>	<b>10</b>
4.1	Welle 'Welle 1': Kegelrad 'Kegel-/Hypoidrad'	10
<b>5</b>	<b>Resultate</b>	<b>12</b>
5.1	Wellen	12
5.2	Lager	13
5.3	'Welle 1' Wälzlager 'Wälzlager 1'	13
5.4	'Welle 1' Wälzlager 'Wälzlager 2'	15
5.5	'Welle 1' Wälzlager 'Wälzlager 4'	16
5.6	Lagerfrequenzen	17
5.7	Schädigung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer ( $L_{req} = 200$ h)	18
5.8	Ausnutzung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer ( $L_{req} = 200$ h)	18
5.9	Berechnung der Faktoren für die Bestimmung der Zuverlässigkeit $R(t)$ mit Weibull-Verteilung; $t$ in (h)	18
<b>6</b>	<b>Festigkeitsberechnung nach DIN 743:2012</b>	<b>19</b>
6.1	Zusammenfassung	19
6.2	Berechnungs-Details	21

## 1 Meldungen

- i Berechnung ist konsistent.
- i Der Unterschied zwischen Wellentemperatur und Öltemperatur ist grösser als 10°C! Die Öltemperatur hat nur einen Einfluss auf die modifizierte Lebensdauerberechnung.  
Die Wellentemperatur hingegen beeinflusst die Biegelinie (Wälzlagerspiel im Betrieb).
- i Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 1' (KOYO 7228C05):  
Die Ermüdungsgrenzbelastung ist in der Datenbank nicht angegeben.  
Es wird die Näherungsgleichung nach ISO 281 (2007) B.3.3 verwendet.
- ! Die thermisch zulässige Betriebsdrehzahl des Lagers 'Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 1' könnte kritisch sein.  
Bitte führen Sie die Berechnung der thermisch zulässigen Betriebsdrehzahl aus (Spezialtab im Menü 'Berechnung').
- i Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 1' (KOYO 7228C05):  
Die Ermüdungsgrenzbelastung ist in der Datenbank nicht angegeben.  
Eine Annäherungsgleichung nach ISO 281:2007 B.3.2 wird zur Berechnung von  $a_{ISO}$  verwendet, wenn die innere Geometrie des Lagers berücksichtigt wird.
- i Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 2' (KOYO 7228C05):  
Die Ermüdungsgrenzbelastung ist in der Datenbank nicht angegeben.  
Es wird die Näherungsgleichung nach ISO 281 (2007) B.3.3 verwendet.
- ! Die thermisch zulässige Betriebsdrehzahl des Lagers 'Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 2' könnte kritisch sein.  
Bitte führen Sie die Berechnung der thermisch zulässigen Betriebsdrehzahl aus (Spezialtab im Menü 'Berechnung').
- i Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 2' (KOYO 7228C05):  
Die Ermüdungsgrenzbelastung ist in der Datenbank nicht angegeben.  
Eine Annäherungsgleichung nach ISO 281:2007 B.3.2 wird zur Berechnung von  $a_{ISO}$  verwendet, wenn die innere Geometrie des Lagers berücksichtigt wird.
- i Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 4' (KOYO 7228C05):  
Die Ermüdungsgrenzbelastung ist in der Datenbank nicht angegeben.  
Es wird die Näherungsgleichung nach ISO 281 (2007) B.3.3 verwendet.
- ! Die thermisch zulässige Betriebsdrehzahl des Lagers 'Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 4' könnte kritisch sein.  
Bitte führen Sie die Berechnung der thermisch zulässigen Betriebsdrehzahl aus (Spezialtab im Menü 'Berechnung').
- i Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 4' (KOYO 7228C05):  
Die Ermüdungsgrenzbelastung ist in der Datenbank nicht angegeben.  
Eine Annäherungsgleichung nach ISO 281:2007 B.3.2 wird zur Berechnung von  $a_{ISO}$  verwendet, wenn die innere Geometrie des Lagers berücksichtigt wird.
- i Für Wellen mit Innendurchmesser gelten alle Kerbwirkungszahlen mit Einschränkung.  
Keine der bekannten Rechenmethoden gibt hier verlässliche Angaben an. Mangels besserer Angaben wird empfohlen, mit den Kerbfaktoren für Vollwelle zu rechnen und die Resultate konservativ zu beurteilen.
- i Querschnitt E-E:  
Der Kerbfaktor für leichten Presssitz ist in der DIN 743 nicht mehr definiert.  
  
Der Kerbfaktor für leichten Presssitz (nach FKM) ist grösser als der Kerbfaktor für festen Presssitz (nach DIN).  
  
In diesem Fall wird der Kerbfaktor für festen Presssitz (nach DIN) verwendet.
- i Querschnitt I-I:  
Der Kerbfaktor für leichten Presssitz ist in der DIN 743 nicht mehr definiert.  
  
Der Kerbfaktor für leichten Presssitz (nach FKM) ist grösser als der Kerbfaktor für festen Presssitz (nach DIN).  
  
In diesem Fall wird der Kerbfaktor für festen Presssitz (nach DIN) verwendet.
- i Querschnitt O-O:  
Der Kerbfaktor für leichten Presssitz ist in der DIN 743 nicht mehr definiert.  
  
Der Kerbfaktor für leichten Presssitz (nach FKM) ist grösser als der Kerbfaktor für festen Presssitz (nach DIN).  
  
In diesem Fall wird der Kerbfaktor für festen Presssitz (nach DIN) verwendet.
- ! Rechenmethode nach DIN 743:  
Diese Methode ist für die Festigkeitsberechnung von Wellen, die vor allem auf Scherung belastet sind, nicht geeignet!

## 2 Eingabedaten

Koordinatensystem Welle: siehe Bild W-002

### 2.1 Wellen

#### 2.1.1 Welle 'Welle 1'

Zeichnung		
Startposition (mm)		0.000
Länge (mm)		571.000
Drehzahl (1/min)		7555.600
Drehrichtung:	im Uhrzeigersinn	
Werkstoff		
	18CrNiMo7-6	
Elastizitätsmodul (N/mm <sup>2</sup> )		206000.000
Poissonzahl nu		0.300
Dichte (kg/m <sup>3</sup> )		7830.000
Wärmeausdehnungskoeffizient (10 <sup>-6</sup> /K)		11.500
Temperatur (°C)		20.000
Masse der Welle (kg)		31.624
Hinweis: Masse gilt für die Welle ohne Berücksichtigung der Zahnräder		
Masse der Welle, inklusive Zusatzmassen (kg)		50.315
Massenträgheitsmoment (kg*m <sup>2</sup> )		0.332
Schwungmoment GD2 (Nm <sup>2</sup> )		13.024

### 2.2 Gewichtskraft

Lage im Raum (°) 0.000

### 2.3 Wellenmodellierung

Zahnräder mit Steifigkeit nach ISO

### 2.4 Schubverformungen

Schubverformungen werden berücksichtigt  
Schubkorrekturfaktor 1.100

### 2.5 Wälzlager

Wälzlagersteifigkeiten werden aus innerer Lagergeometrie bestimmt  
Toleranzlage: Mittelwert

### 2.6 Gehäuse

Referenztemperatur (°C) 20.000

### 2.7 Lasteinleitungen

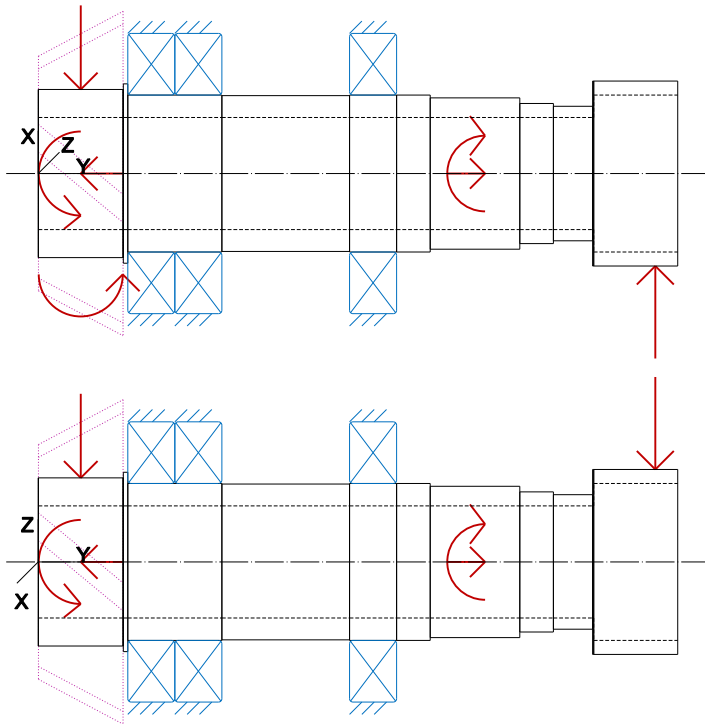


Abbildung: Lastenleitungen

## 3 Wellendefinition (Welle 1)

### 3.1 Aussenkontur

#### 3.1.1 Zylinder (Zylinder), 0.000mm ...76.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	150.0000
Länge (mm)	[l]	76.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Press-Sitz (Press-Sitz) 0.000 mm ... 74.000 mm

l=74.00 (mm), Typ=0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Radius rechts (Radius rechts)

r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

#### 3.1.2 Zylinder (Zylinder), 76.000mm ...80.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	160.0000
Länge (mm)	[l]	4.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius rechts (Radius rechts)

r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Radius links (Radius links)

r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

#### 3.1.3 Zylinder (Zylinder), 80.000mm ...164.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	140.0000
Länge (mm)	[l]	84.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius links (Radius links)  
 r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

### 3.1.4 Zylinder (Zylinder), 164.000mm ...278.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	139.0000
Länge (mm)	[l]	114.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius links (Radius links)  
 r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Radius rechts (Radius rechts)  
 r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

### 3.1.5 Zylinder ( ), 278.000mm ...320.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	140.0000
Länge (mm)	[l]	42.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

### 3.1.6 Zylinder (Zylinder), 320.000mm ...350.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	140.0000
Länge (mm)	[l]	30.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Freistich links (Freistich links)  
 r=1.00 (mm), t=1.00 (mm), l=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)  
 Eigene Eingabe, Form B, FKM

Fase rechts (Fase rechts)  
 l=2.00 (mm), alpha=45.00 (°)

Gewinde (Gewinde) 320.000 mm ... 350.000 mm  
 t=2.00 (mm), l=30.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

### 3.1.7 Zylinder (Zylinder), 350.000mm ...430.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	135.0000
Länge (mm)	[l]	80.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Zahnwelle/Kerbverzahnung (Zahnwelle/Kerbverzahnung) 340.000 mm ... 400.000 mm  
 da=134.50 (mm), df=130.52 (mm), z=26, mn=5.00 (mm), l=60.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Radius links (Radius links)  
 r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Radius rechts (Radius rechts)  
 r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

### 3.1.8 Zylinder (Zylinder), 430.000mm ...460.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	125.0000
Länge (mm)	[l]	30.0000

Rauhigkeit ( $\mu\text{m}$ ) [Rz] 8.0000

Freistich links (Freistich links)

$r=1.20$  (mm),  $t=0.40$  (mm),  $l=4.00$  (mm),  $Rz=8.0$ , Gedreht ( $Ra=3.2\mu\text{m}/125\mu\text{in}$ )

Form E (DIN 509), Reihe 1, mit üblicher Beanspruchung

Gewinde (Gewinde)

430.000 mm ... 460.000 mm

$t=2.00$  (mm),  $l=30.00$  (mm),  $Rz=8.0$ , Gedreht ( $Ra=3.2\mu\text{m}/125\mu\text{in}$ )

### 3.1.9 Zylinder (Zylinder), 460.000mm ...495.000mm

Durchmesser (mm) [d] 120.0000

Länge (mm) [l] 35.0000

Rauhigkeit ( $\mu\text{m}$ ) [Rz] 8.0000

### 3.1.10 Zylinder (Zylinder), 495.000mm ...571.000mm

Durchmesser (mm) [d] 165.0000

Länge (mm) [l] 76.0000

Rauhigkeit ( $\mu\text{m}$ ) [Rz] 8.0000

## 3.2 Innenkontur

### 3.2.1 Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung), 0.000mm ...496.000mm

Durchmesser (mm) [d] 100.0000

Länge (mm) [l] 496.0000

Rauhigkeit ( $\mu\text{m}$ ) [Rz] 8.0000

### 3.2.2 Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung), 496.000mm ...571.000mm

Durchmesser (mm) [d] 140.0000

Länge (mm) [l] 75.0000

Rauhigkeit ( $\mu\text{m}$ ) [Rz] 8.0000

## 3.3 Kräfte

### 3.3.1 Kegelrad (Kegel-/Hypoidrad)

Position auf Welle (mm) [ $Y_{\text{local}}$ ] 38.0000

Position im globalen System (mm) [ $Y_{\text{global}}$ ] 38.0000

Schubflanke ist aktiv.

Wälzkreisdurchmesser (mm) 249.4153

Schrägungswinkel ( $^{\circ}$ ) 30.0000 rechtssteigend (schrägverzahnt)

Teilkegelwinkel ( $^{\circ}$ ) 46.6366 Spitze nach links

Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt ( $^{\circ}$ ) 20.0000

Position des Eingriffs ( $^{\circ}$ ) 0.0000

Zahnbreite (mm) 110.0000

Leistung (kW) 10800.1609 getrieben (Antrieb)

Drehmoment (Nm) 13650.0000

Axialkraft (N) -9946.8838

Querkraft X (N) -77529.1063

Querkraft Z (N) -109455.9885

Biegemoment X (Nm) 0.0000

Biegemoment Z (Nm) -1240.4526

### 3.3.2 Verlustleistung (Verlustleistung)

Position auf Welle (mm)	[Y <sub>local</sub> ]	399.0000	
Position im globalen System (mm)	[Y <sub>global</sub> ]	399.0000	
Verlustleistung (kW)		10800.1609	treibend (Abtrieb)
Äquivalentes Drehmoment (Nm)		-13650.0000	
Länge der Kraffteinleitung (mm)		55.0000	

### 3.3.3 Zentrische Last (Zentrische Last)

Position auf Welle (mm)	[Y <sub>local</sub> ]	399.0000
Position im globalen System (mm)	[Y <sub>global</sub> ]	399.0000
Länge der Kraffteinleitung (mm)		55.0000
Leistung (kW)		0.0000
Drehmoment (Nm)		-0.0000
Axialkraft (N)		40000.0000
Querkraft X (N)		0.0000
Querkraft Z (N)		0.0000
Biegemoment X (Nm)		0.0000
Biegemoment Z (Nm)		0.0000

### 3.3.4 Zentrische Last (Kraft durch Welle in Welle Lager)

Position auf Welle (mm)	[Y <sub>local</sub> ]	551.0000
Position im globalen System (mm)	[Y <sub>global</sub> ]	551.0000
Länge der Kraffteinleitung (mm)		0.0000
Leistung (kW)		0.0000
Drehmoment (Nm)		-0.0000
Axialkraft (N)		0.0000
Querkraft X (N)		11126.0000
Querkraft Z (N)		-13479.0000
Biegemoment X (Nm)		0.0000
Biegemoment Z (Nm)		0.0000

## 3.4 Lager

### 3.4.1 Wälzlager 1 (KOYO 7228C05)

Lager Bauform		Schräggugellager (einreihig)
Lager Position (mm)	[Y <sub>local</sub> ]	101.000
Lager Position (mm)	[Y <sub>global</sub> ]	101.000
Befestigung Aussenring		Festlager rechts angestellt
Innendurchmesser (mm)	[d]	140.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	250.000
Breite (mm)	[b]	42.000

Eckradius (mm)	[r]	3.000
Anzahl Wälzkörper	[Z]	16
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	195.058
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	33.033
Abstand a (mm)	[a]	47.100
Druckwinkel (°)	[α]	15.000
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	228.148
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	161.969
Krümmungsradius äussere Laufbahn (mm)	[r <sub>o</sub> ]	17.507
Krümmungsradius innere Laufbahn (mm)	[r <sub>i</sub> ]	17.177

Berechnung mit geschätzter Lagerinnengeometrie (\*)

Der Druckwinkel des Lagers wird in der Berechnung berücksichtigt

Druckwinkel (°)	[α]	15.000
Position (Druckmittelpunkt) (mm)	[y <sub>D,lokal</sub> ]	74.900
Position (Druckmittelpunkt) (mm)	[y <sub>D,global</sub> ]	74.900
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0</sub> ]	254.000
Dynamische Tragzahl (kN)	[C]	297.000
Tragzahl Ermüdung (kN)	[C <sub>u</sub> ]	0.000

Werte für die approximierete Geometrie:

Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	234.629
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	250.066
Korrekturfaktor Dynamische Tragzahl	[f <sub>c</sub> ]	1.000
Korrekturfaktor Statische Tragzahl	[f <sub>c0</sub> ]	1.000

### 3.4.2 Wälzlager 2 (KOYO 7228C05)

Lager Bauform Schräggugellager (einreihig)

Lager Position (mm)	[y <sub>lokal</sub> ]	143.000
Lager Position (mm)	[y <sub>global</sub> ]	143.000

Befestigung Aussenring Festlager rechts angestellt

Innendurchmesser (mm)	[d]	140.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	250.000
Breite (mm)	[b]	42.000
Eckradius (mm)	[r]	3.000
Anzahl Wälzkörper	[Z]	16
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	195.058
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	33.033
Abstand a (mm)	[a]	47.100
Druckwinkel (°)	[α]	15.000
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	228.148
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	161.969
Krümmungsradius äussere Laufbahn (mm)	[r <sub>o</sub> ]	17.507
Krümmungsradius innere Laufbahn (mm)	[r <sub>i</sub> ]	17.177

Berechnung mit geschätzter Lagerinnengeometrie (\*)

Der Druckwinkel des Lagers wird in der Berechnung berücksichtigt

Druckwinkel (°)	[α]	15.000
Position (Druckmittelpunkt) (mm)	[y <sub>D,lokal</sub> ]	116.900
Position (Druckmittelpunkt) (mm)	[y <sub>D,global</sub> ]	116.900
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0</sub> ]	254.000
Dynamische Tragzahl (kN)	[C]	297.000
Tragzahl Ermüdung (kN)	[C <sub>u</sub> ]	0.000

Werte für die approximierete Geometrie:

Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	234.629
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	250.066
Korrekturfaktor Dynamische Tragzahl	[f <sub>c</sub> ]	1.000

Korrekturfaktor Statische Tragzahl  $[f_{c0}]$  1.000

### 3.4.3 Wälzlager 4 (KOYO 7228C05)

Lager Bauform		Schrägkugellager (einreihig)
Lager Position (mm)	$[y_{lokal}]$	299.000
Lager Position (mm)	$[y_{global}]$	299.000
Befestigung Ausserring		Festlager links angestellt
Innendurchmesser (mm)	$[d]$	140.000
Aussendurchmesser (mm)	$[D]$	250.000
Breite (mm)	$[b]$	42.000
Eckradius (mm)	$[r]$	3.000
Anzahl Wälzkörper	$[Z]$	16
Teilkreis Wälzkörper (mm)	$[D_{pw}]$	195.058
Durchmesser Wälzkörper (mm)	$[D_w]$	33.033
Abstand a (mm)	$[a]$	47.100
Druckwinkel (°)	$[\alpha]$	15.000
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	$[d_o]$	228.148
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	$[d_i]$	161.969
Krümmungsradius äussere Laufbahn (mm)	$[r_o]$	17.507
Krümmungsradius innere Laufbahn (mm)	$[r_i]$	17.177

Berechnung mit geschätzter Lagerinnengeometrie (\*)

Der Druckwinkel des Lagers wird in der Berechnung berücksichtigt

Druckwinkel (°)	$[\alpha]$	15.000
Position (Druckmittelpunkt) (mm)	$[y_{D,lokal}]$	325.100
Position (Druckmittelpunkt) (mm)	$[y_{D,global}]$	325.100
Statische Tragzahl (kN)	$[C_0]$	254.000
Dynamische Tragzahl (kN)	$[C]$	297.000
Tragzahl Ermüdung (kN)	$[C_u]$	0.000
Werte für die approximierete Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	$[C_{theo}]$	234.629
Statische Tragzahl (kN)	$[C_{0theo}]$	250.066
Korrekturfaktor Dynamische Tragzahl	$[f_c]$	1.000
Korrekturfaktor Statische Tragzahl	$[f_{c0}]$	1.000

## 4 Zahnräder

Zahnräder werden als Massen und Steifigkeiten gemäss ISO 6336-1 (Presssitz) berücksichtigt.

### 4.1 Welle 'Welle 1': Kegelrad 'Kegel-/Hypoidrad'

Mittelpunkt	$[y]$	38.000	mm
<b>Linke Seite des Zahnrades</b>			
Position (Y-Koordinate)	$[y]$	0.236	mm
Zweites Flächenmoment	$[I_{zz}]$	46295420.778	mm <sup>4</sup>
Produkt E·I	$[E \cdot I_{zz}]$	9536856.680	Nm <sup>2</sup>
<b>Rechte Seite des Zahnrades</b>			
Position (Y-Koordinate)	$[y]$	75.764	mm
Zweites Flächenmoment	$[I_{zz}]$	109456551.799	mm <sup>4</sup>
Produkt E·I	$[E \cdot I_{zz}]$	22548049.671	Nm <sup>2</sup>
Masse	$[m]$	18.691	kg
Massenschwerpunkt	$[y_s]$	44.240	mm

Polares Massenträgheitsmoment	[J <sub>p</sub> ]	2.0687e-01	kg·m <sup>2</sup>
Massenträgheitsmoment	[J <sub>xx</sub> ]	1.1169e-01	kg·m <sup>2</sup>
Massenträgheitsmoment	[J <sub>zz</sub> ]	1.1169e-01	kg·m <sup>2</sup>

## 5 Resultate

### 5.1 Wellen

Maximale Durchbiegung ( $\mu\text{m}$ )	259.398
Position des Maximums (mm)	0.000
Massenschwerpunkt (mm)	254.762
Summe der axialen Belastung (N)	30053.116
Verdrehung der Welle unter Drehmoment ( $^\circ$ ) (Unterschied linkes zu rechtem Wellenende)	-0.120

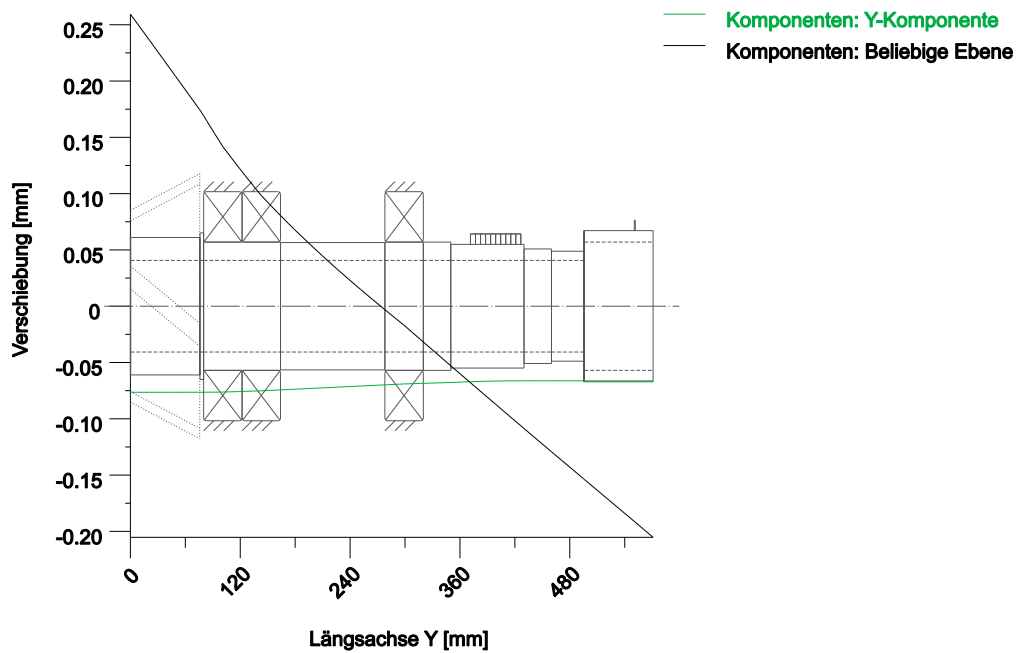
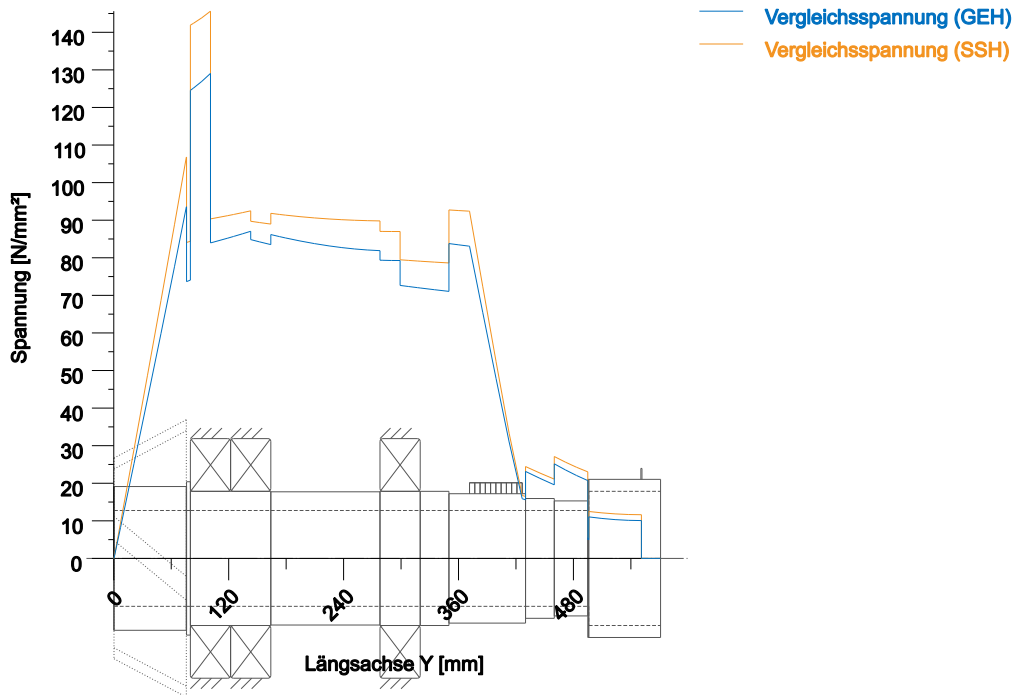


Abbildung: Verformung (Biegelinien etc.) (Beliebige Ebene 224.9554668 132)



Nennspannungen, ohne Berücksichtigung der Spannungskonzentrationen

GEH(von Mises):  $\sigma_V = ((\sigma_B + \sigma_{Z,D})^2 + 3 \cdot (\tau_T + \tau_S)^2)^{1/2}$

SSH(Tresca):  $\sigma_V = ((\sigma_B - \sigma_{Z,D})^2 + 4 \cdot (\tau_T + \tau_S)^2)^{1/2}$

Abbildung: Vergleichsspannung

## 5.2 Lager

Ausfallwahrscheinlichkeit	[n]	10.00	%
Axialspiel (ISO 281)	[ $u_A$ ]	10.00	$\mu\text{m}$
Schmierstoff	ISO-VG 1500		
Schmierstoff mit Additivierung, dessen Wirksamkeit in Wälzlagern geprüft wurde.			
Ölschmierung mit Hauptstromfiltern, ISO4406 -/13/10, $\beta_6=200$			
Schmierstoff - Betriebstemperatur	[ $T_B$ ]	70.00	$^{\circ}\text{C}$
Grenzwert für Faktor $a_{ISO}$	[ $a_{ISOmax}$ ]	50.00	
Ölstand	[ $h_{oil}$ ]	0.00	mm
Öl-Einspritzschmierung			

Wälzagerlebensdauer nach ISO/TS 16281:2008

## 5.3 'Welle 1' Wälzlager 'Wälzlager 1'

Position (Y-Koordinate)	[y]	101.00	mm
Dynamisch äquivalente Belastung	[P]	104.65	kN
Statisch äquivalente Belastung	[ $P_0$ ]	104.65	kN
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[ $h_{min}$ ]	4.960	$\mu\text{m}$
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	[ $\omega_s/\omega_{roll}$ ]	0.073	
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[ $a_1$ ]	1.000	

### 5.3.1 Betriebslagerspiel

Die Spielveränderung wird nicht berücksichtigt bei der Betriebslagerspielberechnung

Gesamte diametrale Lagerspieländerung	$[\Delta P_d]$	0.000	$\mu\text{m}$
Diametrales Betriebslagerspiel	$[P_d]$	0.000	$\mu\text{m}$

### 5.3.2 Ergebnisse nach ISO 281

Schmierstoff	ISO-VG 1500		
Schmierstoff mit Additivierung, dessen Wirksamkeit in Wälzlagern geprüft wurde.			
Schmierstoff - Betriebstemperatur	$[T_B]$	70.00	$^{\circ}\text{C}$
Ölschmierung mit Hauptstromfiltern, ISO4406 -/13/10, $\beta_6=200$			
Verunreinigungsbeiwert	$[e_c]$	0.902	
Lastverhältnis	$[C/P]$	2.838	
Betriebsviskosität	$[v]$	235.645	$\text{mm}^2/\text{s}$
Bezugsviskosität	$[v_1]$	3.707	$\text{mm}^2/\text{s}$
Viskositätsverhältnis	$[K]$	63.562	
Lebensdauerbeiwert	$[a_{ISO}]$	4.106	
Ermüdungsgrenzbelastung	$[C_u]$	8.268	kN
Basislebensdauer	$[L_{10h}]$	50.429	h
Lagerlebensdauern	$[L_{nh}]$	50.429	h
Erweiterte Lagerlebensdauer	$[L_{nmh}]$	207.044	h
Statischer Sicherheitsfaktor	$[S_0]$	2.427	

### 5.3.3 Berechnung mit geschätzter Lagerinnengeometrie (ISO/TS 16281)

Verunreinigungsbeiwert	$[e_c]$	0.902	
Ermüdungsgrenzbelastung	$[C_u]$	9.068	kN
Dynamisch äquivalente Referenz-Belastung	$[P_{ref}]$	106.431	kN
Nominelle Referenzlebensdauer	$[L_{10rh}]$	47.935	h
Referenzlebensdauer	$[L_{nrh}]$	47.935	h
Modifizierte Referenzlebensdauer	$[L_{nmrh}]$	221.237	h
Maximale Kontaktpressung	$[p_{max}]$	3070.171	$\text{N}/\text{mm}^2$
Statisch äquivalente Belastung	$[P_{0ref}]$	126.051	kN
Effektiver statischer Sicherheitsfaktor	$[S_{0w}]$	2.560	
Statischer Sicherheitsfaktor	$[S_{0ref}]$	2.015	
$(S_{0w} = (p_0 / p_{max})^n, S_{0ref} = C_0 / P_{0ref})$			

### 5.3.4 Lagerreaktionen

Lagerreaktionskraft	$[F_x]$	71.099	kN
Lagerreaktionskraft	$[F_y]$	-31.603	kN
Lagerreaktionskraft	$[F_z]$	76.784	kN
Lagerreaktionskraft	$[F_r]$	104.646	kN
Neigungswinkel	$[\alpha_{Fr}]$	47.201	$^{\circ}$
Lagerreaktionsmoment	$[M_x]$	-1893.734	Nm
Lagerreaktionsmoment	$[M_z]$	1790.989	Nm
Lagerreaktionsmoment	$[M_r]$	2606.505	Nm
Neigungswinkel	$[\alpha_{Mr}]$	136.597	$^{\circ}$
Lagerverschiebung	$[u_x]$	-93.944	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	$[u_y]$	-76.258	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	$[u_z]$	-106.512	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	$[u_r]$	142.023	$\mu\text{m}$
Neigungswinkel	$[\alpha_{ur}]$	-131.412	$^{\circ}$
Lagerneigung	$[r_x]$	0.657	mrاد
Lagerneigung	$[r_z]$	-0.804	mrاد
Lagerneigung	$[r_r]$	1.038	mrاد

### 5.3.5 Reibung und Verlustleistung

Ölstand	$[H]$	0.000	mm
Rollreibungsmoment	$[M_{rr}]$	0.791	Nm
Gleitreibungsmoment	$[M_{sl}]$	44.732	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	$[M_{seal}]$	0.000	Nm

Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 17000/1 EN:2018 bestimmt

Reibungsmoment Strömungsverluste	$[M_{drag}]$	0.000	Nm
Reibungsmoment	$[M_{loss}]$	45.523	Nm
Verlustleistung	$[P_{loss}]$	36018.788	W

Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2018 berechnet.  
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff  $\mu_{bl} = 0.15$  gerechnet.

## 5.4 'Welle 1' Wälzlager 'Wälzlager 2'

Position (Y-Koordinate)	$[y]$	143.00	mm
Dynamisch äquivalente Belastung	$[P]$	59.26	kN
Statisch äquivalente Belastung	$[P_0]$	59.26	kN
Minimale Schmierfilmdicke EHL	$[h_{min}]$	5.165	$\mu\text{m}$
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	$[\omega_s/\omega_{roll}]$	0.074	
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	$[a_1]$	1.000	

### 5.4.1 Betriebslagerspiel

Die Spielveränderung wird nicht berücksichtigt bei der Betriebslagerspielberechnung

Gesamte diametrale Lagerspieländerung	$[\Delta P_d]$	0.000	$\mu\text{m}$
Diametrales Betriebslagerspiel	$[P_d]$	0.000	$\mu\text{m}$

### 5.4.2 Ergebnisse nach ISO 281

Schmierstoff ISO-VG 1500

Schmierstoff mit Additivierung, dessen Wirksamkeit in Wälzlagern geprüft wurde.

Schmierstoff - Betriebstemperatur	$[T_B]$	70.00	$^{\circ}\text{C}$
Ölschmierung mit Hauptstromfiltern, ISO4406 -/13/10, $\beta_6=200$			
Verunreinigungsbeiwert	$[e_c]$	0.902	
Lastverhältnis	$[C/P]$	5.011	
Betriebsviskosität	$[v]$	235.645	$\text{mm}^2/\text{s}$
Bezugsviskosität	$[v_1]$	3.707	$\text{mm}^2/\text{s}$
Viskositätsverhältnis	$[k]$	63.562	
Lebensdauerbeiwert	$[a_{ISO}]$	11.220	
Ermüdungsgrenzbelastung	$[C_u]$	8.268	kN
Basislebensdauer	$[L_{10h}]$	277.638	h
Lagerlebensdauern	$[L_{nh}]$	277.638	h
Erweiterte Lagerlebensdauer	$[L_{nmh}]$	3115.211	h
Statischer Sicherheitsfaktor	$[S_0]$	4.286	

### 5.4.3 Berechnung mit geschätzter Lagerinnengeometrie (ISO/TS 16281)

Verunreinigungsbeiwert	$[e_c]$	0.902	
Ermüdungsgrenzbelastung	$[C_u]$	9.068	kN
Dynamisch äquivalente Referenz-Belastung	$[P_{ref}]$	60.842	kN
Nominelle Referenzlebensdauer	$[L_{10rh}]$	256.585	h
Referenzlebensdauer	$[L_{nrh}]$	256.585	h
Modifizierte Referenzlebensdauer	$[L_{nmrh}]$	3304.818	h
Maximale Kontaktpressung	$[p_{max}]$	2551.483	$\text{N}/\text{mm}^2$
Statisch äquivalente Belastung	$[P_{0ref}]$	72.380	kN
Effektiver statischer Sicherheitsfaktor	$[S_{0w}]$	4.460	
Statischer Sicherheitsfaktor	$[S_{0ref}]$	3.509	

$(S_{0w} = (p_0 / p_{max})^n, S_{0ref} = C_0 / P_{0ref})$

### 5.4.4 Lagerreaktionen

Lagerreaktionskraft	$[F_x]$	38.506	kN
Lagerreaktionskraft	$[F_y]$	-17.793	kN
Lagerreaktionskraft	$[F_z]$	45.050	kN

Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	59.264	kN
Neigungswinkel	[α <sub>F<sub>r</sub></sub> ]	49.478	°
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	-1112.796	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	977.229	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	1480.977	Nm
Neigungswinkel	[α <sub>M<sub>r</sub></sub> ]	138.711	°
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-61.026	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	-75.134	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-78.060	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	99.083	µm
Neigungswinkel	[α <sub>u<sub>r</sub></sub> ]	-128.018	°
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	0.573	mrad
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	-0.739	mrad
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.935	mrad

#### 5.4.5 Reibung und Verlustleistung

Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.690	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	34.181	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 17000/1 EN:2018 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	34.871	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	27590.534	W

Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2018 berechnet.

Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff  $\mu_{bl} = 0.15$  gerechnet.

#### 5.5 'Welle 1' Wälzlager 'Wälzlager 4'

Position (Y-Koordinate)	[y]	299.00	mm
Dynamisch äquivalente Belastung	[P]	43.23	kN
Statisch äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	43.23	kN
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	5.346	µm
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	[ω <sub>s</sub> /ω <sub>roll</sub> ]	0.097	
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	1.000	

#### 5.5.1 Betriebslagerspiel

Die Spielveränderung wird nicht berücksichtigt bei der Betriebslagerspielberechnung

Gesamte diametrale Lagerspieländerung	[ΔP <sub>d</sub> ]	0.000	µm
Diametrales Betriebslagerspiel	[P <sub>d</sub> ]	0.000	µm

#### 5.5.2 Ergebnisse nach ISO 281

Schmierstoff ISO-VG 1500

Schmierstoff mit Additivierung, dessen Wirksamkeit in Wälzlagern geprüft wurde.

Schmierstoff - Betriebstemperatur	[T <sub>B</sub> ]	70.00	°C
Ölschmierung mit Hauptstromfiltern, ISO4406 -/13/10, β <sub>6</sub> =200			
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>c</sub> ]	0.902	
Lastverhältnis	[C/P]	6.870	
Betriebsviskosität	[ν]	235.645	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[ν <sub>1</sub> ]	3.707	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[κ]	63.562	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>ISO</sub> ]	22.778	
Ermüdungsgrenzbelastung	[C <sub>u</sub> ]	8.268	kN
Basislebensdauer	[L <sub>10h</sub> ]	715.213	h
Lagerlebensdauern	[L <sub>nh</sub> ]	715.213	h
Erweiterte Lagerlebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	16291.022	h

Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	5.875	
<b>5.5.3 Berechnung mit geschätzter Lagerinnengeometrie (ISO/TS 16281)</b>			
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.902	
Ermüdungsgrenzbelastung	[C <sub>u</sub> ]	9.068	kN
Dynamisch äquivalente Referenz-Belastung	[P <sub>ref</sub> ]	42.728	kN
Nominelle Referenzlebensdauer	[L <sub>10rh</sub> ]	740.798	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	740.798	h
Modifizierte Referenzlebensdauer	[L <sub>nmrh</sub> ]	21969.862	h
Maximale Kontaktpressung	[P <sub>max</sub> ]	2206.497	N/mm <sup>2</sup>
Statisch äquivalente Belastung	[P <sub>oref</sub> ]	46.868	kN
Effektiver statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0w</sub> ]	6.897	
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>oref</sub> ]	5.419	
(S <sub>0w</sub> = (p <sub>0</sub> / p <sub>max</sub> ) <sup>n</sup> , S <sub>0ref</sub> = C <sub>0</sub> / P <sub>0ref</sub> )			

### 5.5.4 Lagerreaktionen

Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	-43.202	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	19.343	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	1.600	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	43.232	kN
Neigungswinkel	[α <sub>F<sub>r</sub></sub> ]	177.879	°
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	4.455	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	1426.458	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	1426.465	Nm
Neigungswinkel	[α <sub>M<sub>r</sub></sub> ]	89.821	°
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	36.345	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	-69.044	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-12.437	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	38.414	µm
Neigungswinkel	[α <sub>u<sub>r</sub></sub> ]	-18.891	°
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	0.331	mrad
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	-0.676	mrad
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.753	mrad

### 5.5.5 Reibung und Verlustleistung

Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.670	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	31.029	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 17000/1 EN:2018 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	31.699	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	25081.079	W

Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2018 berechnet.  
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff  $\mu_{bl} = 0.15$  gerechnet.

(\*) Hinweis zu Wälzlagern mit approximierter Lagergeometrie:

Die innere Geometrie von diesen Lagern ist nicht in der Datenbank eingetragen. Die Geometrie wird nach ISO 281 aus C und C<sub>0</sub> (Angaben im Katalog des Herstellers) rückwärts gerechnet. Die Geometrie kann deshalb von der wirklichen Geometrie abweichen. Dies kann Unterschiede bei der Lebensdauer-Berechnung und vor allem bei der Wälzlagersteifigkeit bewirken.

### 5.6 Lagerfrequenzen

Wälzlager	n <sub>i</sub> (1/min)	n <sub>o</sub> (1/min)	n <sub>rel</sub> (1/min)	FTF (Hz)	BSF (Hz)	BPFI (Hz)	BPFO (Hz)	BPF (Hz)
Wälzlager 1 (KOYO 7228C05)	7555.60	0.00	7555.60	52.66	361.85	1172.20	842.62	723.69
Wälzlager 2 (KOYO 7228C05)	7555.60	0.00	7555.60	52.66	361.85	1172.20	842.62	723.69

Wälzlager 4 (KOYO 7228C05)	7555.60	0.00	7555.60	52.66	361.85	1172.20	842.62	723.69
----------------------------	---------	------	---------	-------	--------	---------	--------	--------

$n_i$  : Drehzahl des Innenrings

$n_o$  : Drehzahl des Aussenrings

$n_{rel}$  : Relative Drehzahl

FTF : Rotationsfrequenz Käfig

FTF : Rotationsfrequenz Käfig

FTF : Rotationsfrequenz Käfig

BSF : Rotationsfrequenz Wälzkörper

BPFI : Überrollfrequenz Innenring

BPFO : Überrollfrequenz Aussenring

BPF : Überrollfrequenz Wälzkörper

## 5.7 Schädigung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer ( $L_{req} = 200$ h)

Wälzlagerschäden pro Lastkollektiv-Element (%)			
LK-Element	B1	B2	B3
1	90.40	6.05	0.91
$\Sigma$	90.40	6.05	0.91

Hinweis: Schädigung =  $L_{req}/L_n$

B1 : Wälzlager 1 (KOYO 7228C05)

B2 : Wälzlager 2 (KOYO 7228C05)

B3 : Wälzlager 4 (KOYO 7228C05)

## 5.8 Ausnutzung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer ( $L_{req} = 200$ h)

Wälzlager	B1	B2	B3
Ausnutzung (%)	96.69	39.26	20.88

Hinweis: Ausnutzung =  $(L_{req}/L_n)^{1/k}$

Kugellager:  $k = 3$ , Rollenlager:  $k = 10/3$

B1 : Wälzlager 1 (KOYO 7228C05)

B2 : Wälzlager 2 (KOYO 7228C05)

B3 : Wälzlager 4 (KOYO 7228C05)

## 5.9 Berechnung der Faktoren für die Bestimmung der Zuverlässigkeit R(t) mit Weibull-Verteilung; t in (h)

keine Berechnung der Zuverlässigkeit

## 6 Festigkeitsberechnung nach DIN 743:2012

### 6.1 Zusammenfassung

#### Welle 1

Werkstoff	18CrNiMo7-6
Werkstoffart	Einsatzstahl
Werkstoff-Behandlung	einsatzgehärtet
Oberflächen-Behandlung	Keine

Berechnung der Dauerfestigkeit und der statischen Festigkeit

Berechnung für Beanspruchungsfall 2 ( $\sigma_{av}/\sigma_{mv} = \text{konst}$ )

Querschnitt	Lage (Y-Koor) (mm)	
A-A	104.62	Glatte Welle
K-K	399.22	Eigene Eingabe
C-C	320.00	Glatte Welle
D-D	80.00	Wellenabsatz
E-E	125.70	Press-Sitz
F-F	76.00	Wellenabsatz
G-G	164.00	Wellenabsatz
J-J	370.61	Eigene Eingabe
I-I	7.07	Press-Sitz
L-L	430.00	Eingabe FE-Resultate
B-B	278.00	Eigene Eingabe
H-H	350.00	Eigene Eingabe
M-M	460.00	Eigene Eingabe
N-N	495.00	Eigene Eingabe
O-O	63.38	Press-Sitz
P-P	224.86	Glatte Welle

Resultate:

Querschnitt	$\beta\sigma$	$Kf\sigma$	K2d	SD	SS	SA
A-A	1.00	0.87	0.80	4.90	5.15	22.88
K-K	1.00	0.87	0.81	9.25	9.28	42.87
C-C	1.00	0.87	0.80	5.97	5.67	27.40
D-D	2.31	0.87	0.80	3.09	5.38	10.59
E-E	2.68	1.00	0.80	2.63	5.03	9.77
F-F	2.07	0.87	0.80	4.67	7.31	16.45
G-G	1.01	0.87	0.81	4.96	5.07	18.15
J-J	1.00	0.87	0.81	5.36	4.93	24.71
I-I	2.68	1.00	0.80	75.31	90.02	276.02
L-L	-	-	0.81	9999.99	19.59	9999.99
B-B	1.00	0.87	0.81	5.86	5.46	26.21
H-H	1.00	0.87	0.81	5.28	4.88	24.09
M-M	1.00	0.87	0.81	17.66	20.22	74.62
N-N	1.00	0.87	0.81	28.71	32.86	121.29
O-O	2.68	1.00	0.80	5.32	8.99	20.63
P-P	1.00	0.87	0.81	5.56	5.34	25.01

Sollsicherheiten: 1.20 1.20 1.20

**Abkürzungen:**

$\beta\sigma$ : Kerbfaktor Biegung

KF $\sigma$ : Oberflächenfaktor

K2d: Grössenfaktor Biegung

SD: Sicherheit Dauerfestigkeit

SS: Sicherheit Streckgrenze

SA: Sicherheit Anriss

**6.1.1 Ausnutzung (%)**

**[Smin/S]**

**Querschnitt**

**Statisch (Streckgrenze)**

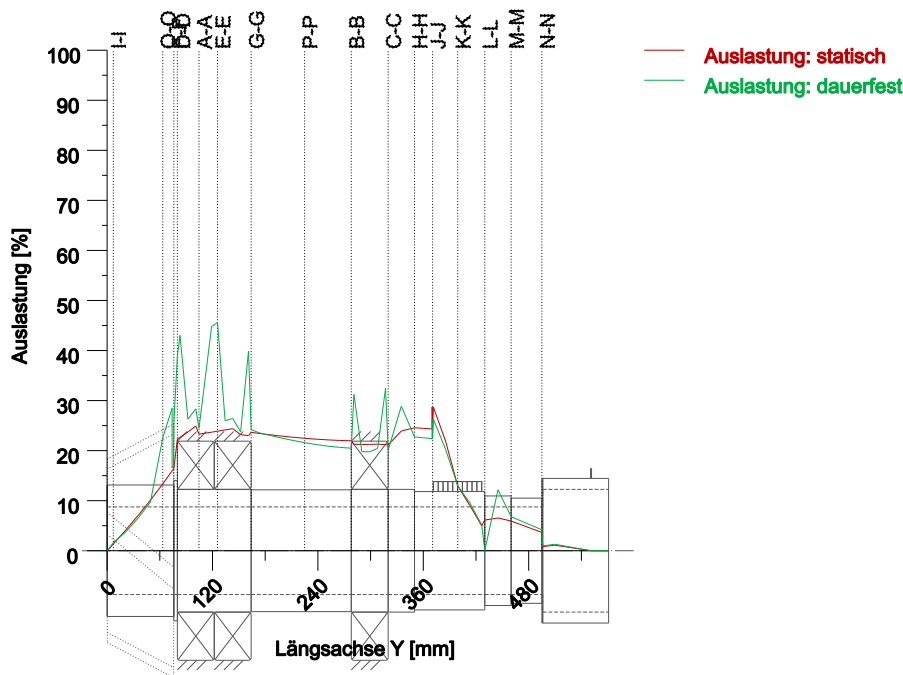
**Dauerfest**

A-A	23.296	24.486
K-K	12.932	12.971
C-C	21.153	20.115
D-D	22.322	38.869
E-E	23.879	45.612
F-F	16.421	25.682
G-G	23.652	24.208
J-J	24.328	22.397
I-I	1.333	1.593
L-L	6.125	0.010
B-B	21.964	20.489
H-H	24.572	22.745
M-M	5.935	6.795
N-N	3.652	4.180
O-O	13.346	22.576
P-P	22.466	21.597

Maximale Ausnutzung (%)

[A]

45.612



Ausnutzung =  $S_{min}/S$  (%)

Abbildung: Festigkeit (Nennlast)

## 6.2 Berechnungs-Details

### Allgemeine Angaben

Bezeichnung	Welle 1			
Zeichnung				
Länge (mm)	[l]	571.00		
IcElem = 1				
Drehzahl (1/min)	[n]	7555.60		
Werkstoff	18CrNiMo7-6			
Werkstoffart	Einsatzstahl			
Werkstoff-Behandlung	einsatzgehärtet			
Oberflächen-Behandlung	Keine			
	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Lastfaktor statische Berechnung	1.700	1.700	1.700	1.700
Spannungsverhältnis	0.000	-1.000	0.000	-1.000
Lastfaktor Dauerfestigkeit	1.000	1.000	1.000	1.000
Bezugsdurchmesser Werkstoff (mm)	[dB]	16.00		
$\sigma_B$ nach DIN 743, bei dB (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_B$ ]	1200.00		
$\sigma_S$ nach DIN 743, bei dB (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_S$ ]	850.00		
[ $\sigma_{zdW}$ ], bei dB (N/mm <sup>2</sup> )				480.00
[ $\sigma_{bW}$ ], bei dB (N/mm <sup>2</sup> )				600.00

[rtW], bei dB (N/mm <sup>2</sup> )	360.00
Dicke Rohmaterial (mm) [dWerkst]	170.00
Werkstoffdaten nach DIN 743/3 mit K1(d) berechnet	
Werkstoff-Festigkeitswerte aus Dicke Rohmaterial bestimmt	
Geometrischer Grössenfaktor K1d mit Rohdurchmesser berechnet	
[σBeff] (N/mm <sup>2</sup> )	879.79
[σSeff] (N/mm <sup>2</sup> )	623.18
[σbFK] (N/mm <sup>2</sup> )	623.18
[rtFK] (N/mm <sup>2</sup> )	359.79
[σbBRand] (N/mm <sup>2</sup> )	2300.00
[σzdW] (N/mm <sup>2</sup> )	351.91
[σbW] (N/mm <sup>2</sup> )	439.89
[rtW] (N/mm <sup>2</sup> )	263.94

Dauerfestigkeit für Einstufenbeanspruchung

Berechnung für Beanspruchungsfall 2 ( $\sigma_{av}/\sigma_{mv} = \text{konst}$ )

## 6.2.1 Querschnitt 'A-A'

### Glatte Welle

Kommentar	Y= 118.00...149.00mm
Position (Y-Koordinate) (mm)	[y] 104.621
Aussendurchmesser (mm)	[da] 140.000
Innendurchmesser (mm)	[di] 100.000
Kerbwirkung	Glatte Welle
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz] 8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Belastung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	20775.0	0.0	6825.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	20775.0	6735.1	6825.0	33557.5
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	41550.1	6735.1	13650.0	33557.5
Maximalwert (Statische Sicherheit)	70635.1	11449.6	23205.0	57047.8
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt]	7539.8	199266.7	398533.5	

Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	2.755	0.000	17.125	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	2.755	33.799	17.125	8.741
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	9.368	57.459	58.226	14.860

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(σB)]	0.733
	[K1(σS)]	0.733

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.805	0.805
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.872	0.872	0.927
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.147	1.389	1.322

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	29.790
---	-------	--------

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\tau_m V$ ]			17.199
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{WK}$ ]	306.932	316.607	199.623
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ $\psi \sigma_K$ ]	0.211	0.219	0.128
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{ADK}$ ]	52.761	265.302	176.889
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			4.901
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			408.4

#### Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K <sub>2F</sub> ]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[ $\gamma_F$ ]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{FK}$ ]	623.181	623.181	359.794
Sicherheit Fließgrenze	[S]			5.151
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			429.3

#### Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			22.875
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			1906.3

### 6.2.2 Querschnitt 'K-K'

#### Eigene Eingabe

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			399.216
Aussendurchmesser (mm)	[da]			135.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			100.000
Kerbwirkung		Eigene Eingabe		
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]			8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fz <sub>dm</sub> , Mb <sub>m</sub> , T <sub>m</sub> , Fq <sub>m</sub> ]	9921.6	0.0	3385.7	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fz <sub>da</sub> , Mb <sub>a</sub> , Ta, Fq <sub>a</sub> ]	9921.6	2657.6	3385.7	17532.0
Maximalwert [Fz <sub>dmax</sub> , Mb <sub>max</sub> , T <sub>max</sub> , Fq <sub>max</sub> ]	19843.2	2657.6	6771.5	17532.0

Maximalwert (Statische Sicherheit)

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )	33733.5	4517.9	11511.5	29804.4
[A, W <sub>b</sub> , W <sub>t</sub> ]	6459.9	168824.7	337649.4	

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[ $\sigma_{dm}$ , $\sigma_{bm}$ , $\tau_m$ , $\tau_{qm}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	1.536	0.000	10.027	0.000
[ $\sigma_{da}$ , $\sigma_{ba}$ , $\tau_a$ , $\tau_{qa}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	1.536	15.742	10.027	5.349
[ $\sigma_{dmax}$ , $\sigma_{bmax}$ , $\tau_{max}$ , $\tau_{qmax}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	5.222	26.761	34.093	9.094

Technologischer Grösseneinfluss

[K <sub>1</sub> ( $\sigma_B$ )]				0.733
[K <sub>1</sub> ( $\sigma_S$ )]				0.733

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Kerbwirkungszahl	[ $\beta$ (dB)]	0.000	0.000	0.000
------------------	-----------------	-------	-------	-------

[dB] (mm) = 0.0

Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.000	0.000	0.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.000	0.000	0.000
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.807	0.807
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.872	0.872	0.927
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.147	1.386	1.318

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]			17.436
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]			10.067

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	306.932	317.461	200.189
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.211	0.220	0.128
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	50.451	255.230	177.334
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			9.252
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			771.0

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	623.181	623.181	359.794
Sicherheit Fließgrenze	[S]			9.280
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			773.3

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			42.871
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			3572.6

### 6.2.3 Querschnitt 'C-C'

#### Glatte Welle

Kommentar	Y= 168.00...204.00mm			
Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			320.000
Aussendurchmesser (mm)	[da]			140.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			100.000
Kerbwirkung		Glatte Welle		
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]			8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	20000.0	0.0	6825.0	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fzda, Mba, Ta, Fqa]	20000.0	4047.6	6825.0	17564.3
Maximalwert	[Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	40000.0	4047.6	13650.0	17564.3

Maximalwert (Statische Sicherheit)    68000.0    6881.0    23205.0    29859.3

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm<sup>2</sup>) (mm<sup>3</sup>)

[A, Wb, Wt]	7539.8	199266.7	398533.5
-------------	--------	----------	----------

Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )				
[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	2.653	0.000	17.125	0.000
[σzda, oba, ra, rqa] (N/mm <sup>2</sup> )	2.653	20.313	17.125	4.575
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	9.019	34.532	58.226	7.778

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(σB)]			0.733
	[K1(σS)]			0.733

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.805	0.805
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.872	0.872	0.927
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.147	1.389	1.322

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]			29.780
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]			17.194

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	306.932	316.607	199.623
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.211	0.219	0.128
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	50.968	239.549	176.896
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			5.966
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			497.1

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	623.181	623.181	359.794
Sicherheit Fließgrenze	[S]			5.673
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			472.7

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			27.401
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			2283.4

## 6.2.4 Querschnitt 'D-D'

### Wellenabsatz

Kommentar	Y= 81.00mm			
Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			80.000
Aussendurchmesser (mm)	[da]			140.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			100.000

Kerbwirkung	Wellenabsatz			
[D, r, t] (mm)	160.000	2.000	10.000	
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]			8.000

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Belastung: (N) (Nm)					
Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	4973.4	0.0	6825.0	0.0

Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		4973.4	6437.3	6825.0	134335.4
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		9946.9	6437.3	13650.0	134335.4
Maximalwert (Statische Sicherheit)		16909.7	10943.4	23205.0	228370.2
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt]		7539.8	199266.7	398533.5	
Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )					
[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )		0.660	0.000	17.125	0.000
[σzda, oba, ra, rqa] (N/mm <sup>2</sup> )		0.660	32.305	17.125	34.992
[σzdm <sub>max</sub> , σb <sub>max</sub> , τ <sub>max</sub> , τq <sub>max</sub> ] (N/mm <sup>2</sup> )		2.243	54.918	58.226	59.486
Technologischer Grösseneinfluss	[K1(σB)]				0.733
	[K1(σS)]				0.733
		Zug/Druck	Biegung	Torsion	
Formzahl	[α]	3.086	2.824	1.881	
Bezogenes Spannungsgefälle	[G]	1.255	1.255	0.575	
Stützziffer	[n]	1.224	1.224	1.151	
Kerbwirkungszahl	[β]	2.522	2.308	1.634	
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.805	0.805	
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.872	0.872	0.927	
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000	
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.669	3.015	2.110	
Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:					
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]				29.669
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]				17.130
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	131.861	145.917	125.114	
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.081	0.090	0.077	
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	13.554	134.728	116.216	
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]				3.087
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]				1.200
Resultat (%)	[S/Smin]				257.3
Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:					
Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000	
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000	
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	623.181	623.181	359.794	
Sicherheit Fließgrenze	[S]				5.376
Sollsicherheit	[Smin]				1.200
Resultat (%)	[S/Smin]				448.0
Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:					
Sicherheit Anriss	[S]				10.590
Sollsicherheit	[Smin]				1.200
Resultat (%)	[S/Smin]				882.5

## 6.2.5 Querschnitt 'E-E'

### Press-Sitz

Kommentar

Y= 85.00...116.00mm

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	125.699			
Aussendurchmesser (mm)	[da]	140.000			
Innendurchmesser (mm)	[di]	100.000			
Kerbwirkung		Press-Sitz			
Charakteristik:	Leichter Presssitz				
Hinweis: Die Presssitzarten 'Leichter Presssitz' und 'Presssitz mit Ausnahmen' werden in der aktuellen FKM Richtlinie 7.Ausgabe (2020) nicht mehr unterstützt.					
Die Kerbwirkungszahlen wurden anhand der alten FKM-Richtlinie (2012) bestimmt.					
Für Neu- und Weiterentwicklungen wird empfohlen die Presssitzart 'Presssitz' zu verwenden.					
Mittlere Rauheit ( $\mu\text{m}$ )	[Rz]	8.000			
		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Belastung: (N) (Nm)					
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		20775.0	0.0	6825.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		20775.0	7360.3	6825.0	33569.5
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		41550.1	7360.3	13650.0	33569.5
Maximalwert (Statische Sicherheit)		70635.1	12512.6	23205.0	57068.2
Querschnitt, Widerstandsmomente: ( $\text{mm}^2$ ) ( $\text{mm}^3$ )					
[A, Wb, Wt]		7539.8	199266.7	398533.5	
Spannungen: ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )					
[ $\sigma_{\text{zdm}}$ , $\sigma_{\text{bm}}$ , $\tau_{\text{m}}$ , $\tau_{\text{qm}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )		2.755	0.000	17.125	0.000
[ $\sigma_{\text{zda}}$ , $\sigma_{\text{ba}}$ , $\tau_{\text{a}}$ , $\tau_{\text{qa}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )		2.755	36.937	17.125	8.744
[ $\sigma_{\text{zdmax}}$ , $\sigma_{\text{bmax}}$ , $\tau_{\text{max}}$ , $\tau_{\text{qmax}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )		9.368	62.793	58.226	14.865
Technologischer Grösseneinfluss					
	[K1( $\sigma_{\text{B}}$ )]			0.733	
	[K1( $\sigma_{\text{S}}$ )]			0.733	
		Zug/Druck	Biegung	Torsion	
Kerbwirkungszahl	[ $\beta$ (dB)]	2.580	2.580	1.680	
[dB] (mm) = 40.0					
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.920	0.920	0.956	
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.954	0.954	0.975	
Kerbwirkungszahl	[ $\beta$ ]	2.676	2.676	1.713	
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.805	0.805	
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	1.000	1.000	1.000	
Rauheitsfaktor ist gemäss Norm in der Kerbwirkungszahl inbegriffen					
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000	
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.676	3.326	2.129	
Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:					
Vergleichsmittelspannung ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{mV}}$ ]			29.790	
Vergleichsmittelspannung ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\tau_{\text{mV}}$ ]			17.199	
Bauteilwechselfestigkeit ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{WK}}$ ]	131.490	132.247	123.980	
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ $\psi\sigma_{\text{K}}$ ]	0.081	0.081	0.076	
Ertragbare Amplitude ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{ADK}}$ ]	52.761	124.113	115.210	
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			2.631	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]			1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]			219.2	
Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:					
Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000	
Erhöhungsfaktor	[ $\gamma_{\text{F}}$ ]	1.000	1.000	1.000	

Bauteilflussgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	623.181	623.181	359.794
Sicherheit Fließgrenze	[S]			5.025
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			418.8

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			9.771
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			814.3

## 6.2.6 Querschnitt 'F-F'

### Wellenabsatz

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			76.000
Aussendurchmesser (mm)	[da]			150.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			100.000

Kerbwirkung

Wellenabsatz

[D, r, t] (mm)	160.000	2.000	5.000	
Mittlere Rauheit (µm)				[Rz] 8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	4973.4	0.0	6825.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	4973.4	5907.3	6825.0	134332.3
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	9946.9	5907.3	13650.0	134332.3

Maximalwert (Statische Sicherheit)

16909.7    10042.3    23205.0    228364.9

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm<sup>2</sup>) (mm<sup>3</sup>)

[A, Wb, Wt]	9817.5	265890.0	531780.0
-------------	--------	----------	----------

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	0.507	0.000	12.834	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.507	22.217	12.834	26.664
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	1.722	37.769	43.636	45.329

Technologischer Grösseneinfluss

[K1(σB)]	0.733
[K1(σS)]	0.733

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Formzahl	[α]	2.699	2.538	1.699
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	1.288	1.288	0.575
Stützziffer	[n]	1.226	1.226	1.151
Kerbwirkungszahl	[β]	2.201	2.069	1.476
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.800	0.800
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.872	0.872	0.927
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.347	2.733	1.924

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]			22.235
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]			12.838

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	149.923	160.969	137.147
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.093	0.101	0.085
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	13.882	146.233	126.455
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			4.673
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			389.4

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	623.181	623.181	359.794
Sicherheit Fließgrenze	[S]			7.308
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			609.0

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			16.450
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			1370.8

## 6.2.7 Querschnitt 'G-G'

### Wellenabsatz

Kommentar	Y= 85.00...116.00mm			
Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			164.000
Aussendurchmesser (mm)	[da]			139.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			100.000
Kerbwirkung	Wellenabsatz			
[D, r, t] (mm)	140.000	2.000	0.500	
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]			8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	29671.5	0.0	6825.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	29671.5	5836.0	6825.0	34275.5
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	59343.0	5836.0	13650.0	34275.5

Maximalwert (Statische Sicherheit) 100883.1    9921.1    23205.0    58268.4

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm<sup>2</sup>) (mm<sup>3</sup>)

[A, Wb, Wt]	7320.7	193030.7	386061.4
-------------	--------	----------	----------

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	4.053	0.000	17.679	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	4.053	30.233	17.679	9.202
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	13.781	51.397	60.107	15.644

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(σB)]			0.733
	[K1(σS)]			0.733

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Formzahl	[α]	1.622	1.255	1.182
Bezogenes Spannungsgefälle	[G]	1.438	1.438	0.575

Stützziffer	[n]	1.239	1.239	1.151
Kerbwirkungszahl	[β]	1.309	1.013	1.027
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.805	0.805
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.872	0.872	0.927
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.455	1.405	1.355

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]			30.887
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]			17.833

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	241.823	313.184	194.792
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.159	0.217	0.124
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	72.289	256.453	173.060
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			4.957
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			413.1

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	623.181	623.181	359.794
Sicherheit Fließgrenze	[S]			5.074
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			422.8

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			18.151
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			1512.6

## 6.2.8 Querschnitt 'J-J'

### Eigene Eingabe

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			370.612
Aussendurchmesser (mm)	[da]			135.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			100.000
Kerbwirkung		Eigene Eingabe		
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]			8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	20000.0	0.0	6825.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	20000.0	3159.2	6825.0	17543.0
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	40000.0	3159.2	13650.0	17543.0

Maximalwert (Statische Sicherheit) 68000.0    5370.7    23205.0    29823.0

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm<sup>2</sup>) (mm<sup>3</sup>)

[A, Wb, Wt]	6459.9	168824.7	337649.4	
-------------	--------	----------	----------	--

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	3.096	0.000	20.213	0.000
---	-------	-------	--------	-------

[ $\sigma_{zda}$ , $\sigma_{ba}$ , $r_a$ , $r_{qa}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	3.096	18.713	20.213	5.353
[ $\sigma_{zdmax}$ , $\sigma_{bmax}$ , $r_{max}$ , $r_{qmax}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	10.526	31.812	68.725	9.100

Technologischer Grösseneinfluss	[K1( $\sigma_B$ )]			0.733
	[K1( $\sigma_S$ )]			0.733

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Kerbwirkungszahl [dB] (mm) = 0.0	[ $\beta$ (dB)]	0.000	0.000	0.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.000	0.000	0.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.000	0.000	0.000
Kerbwirkungszahl	[ $\beta$ ]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.807	0.807
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.872	0.872	0.927
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.147	1.386	1.318

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_mV$ ]			35.147
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[ $r_mV$ ]			20.292

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{WK}$ ]	306.932	317.461	200.189
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ $\psi\sigma_K$ ]	0.211	0.220	0.128
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{ADK}$ ]	50.451	216.517	177.334
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			5.358
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			446.5

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[ $\gamma_F$ ]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{FK}$ ]	623.181	623.181	359.794
Sicherheit Fließgrenze	[S]			4.933
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			411.0

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			24.710
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			2059.1

## 6.2.9 Querschnitt 'I-I'                      Press-Sitz

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			7.073
Aussendurchmesser (mm)	[da]			150.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			100.000

Kerbwirkung    Press-Sitz

Charakteristik:    Leichter Presssitz

Hinweis: Die Presssitzarten 'Leichter Presssitz' und 'Presssitz mit Ausnahmen' werden in der aktuellen FKM Richtlinie 7.Ausgabe (2020) nicht mehr unterstützt.

Die Kerbwirkungszahlen wurden anhand der alten FKM-Richtlinie (2012) bestimmt.

Für Neu- und Weiterentwicklungen wird empfohlen die Presssitzart 'Presssitz' zu verwenden.

Mittlere Rauheit ( $\mu\text{m}$ )	[Rz]	8.000			
		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Belastung: (N) (Nm)					
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		450.2	0.0	617.9	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		450.2	140.4	617.9	12154.8
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		900.4	140.4	1235.7	12154.8
Maximalwert (Statische Sicherheit)					
Querschnitt, Widerstandsmomente: ( $\text{mm}^2$ ) ( $\text{mm}^3$ )		1530.8	238.8	2100.7	20663.2
[A, Wb, Wt]		9817.5	265890.0	531780.0	
Spannungen: ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )					
[ $\sigma_{\text{zdm}}$ , $\sigma_{\text{bm}}$ , $\tau_{\text{m}}$ , $\tau_{\text{qm}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )		0.046	0.000	1.162	0.000
[ $\sigma_{\text{zda}}$ , $\sigma_{\text{ba}}$ , $\tau_{\text{a}}$ , $\tau_{\text{qa}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )		0.046	0.528	1.162	2.413
[ $\sigma_{\text{zdmax}}$ , $\sigma_{\text{bmax}}$ , $\tau_{\text{max}}$ , $\tau_{\text{qmax}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )		0.156	0.898	3.950	4.102
Technologischer Grösseneinfluss					
	[K1( $\sigma_{\text{B}}$ )]			0.733	
	[K1( $\sigma_{\text{S}}$ )]			0.733	
		Zug/Druck	Biegung	Torsion	
Kerbwirkungszahl	[ $\beta$ (dB)]	2.580	2.580	1.680	
[dB] (mm) = 40.0					
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.918	0.918	0.955	
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.954	0.954	0.975	
Kerbwirkungszahl	[ $\beta$ ]	2.682	2.682	1.715	
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.800	0.800	
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	1.000	1.000	1.000	
Rauheitsfaktor ist gemäss Norm in der Kerbwirkungszahl inbegriffen					
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000	
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.682	3.352	2.143	
Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:					
Vergleichsmittelspannung ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{mV}}$ ]			2.013	
Vergleichsmittelspannung ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\tau_{\text{mV}}$ ]			1.162	
Bauteilwechselfestigkeit ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{WK}}$ ]	131.219	131.219	123.137	
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ $\psi\sigma_{\text{K}}$ ]	0.081	0.081	0.075	
Ertragbare Amplitude ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{ADK}}$ ]	13.881	100.390	114.517	
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			75.314	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]			1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]			6276.1	
Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:					
Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000	
Erhöhungsfaktor	[ $\gamma_{\text{F}}$ ]	1.000	1.000	1.000	
Bauteilfließgrenze ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{FK}}$ ]	623.181	623.181	359.794	
Sicherheit Fließgrenze	[S]			90.018	
Sollsicherheit	[Smin]			1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]			7501.5	
Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:					
Sicherheit Anriss	[S]			276.015	
Sollsicherheit	[Smin]			1.200	

Resultat (%) [S/Smin] 23001.3

## 6.2.10 Querschnitt 'L-L' Eingabe FE-Resultate

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	430.000
Aussendurchmesser (mm)	[da]	135.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	100.000
Kerbwirkung	Eingabe FE-Resultate	
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]	8.000

Zug/Druck Biegung Torsion Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	0.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	2118.1	0.0	17520.2
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	2118.1	0.0	17520.2

Maximalwert (Statische Sicherheit) 0.0 3600.7 0.0 29784.3

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm<sup>2</sup>) (mm<sup>3</sup>)

[A, Wb, Wt] 4417.9 113207.8 226415.6

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[σ <sub>zak</sub> , σ <sub>φak</sub> , τ <sub>ak</sub> ] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	0.000
[σ <sub>z,pmk</sub> , σ <sub>φ,pmk</sub> , τ <sub>pmk</sub> ] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	0.000
[σ <sub>zaKN</sub> , σ <sub>φaKN</sub> , τ <sub>aKN</sub> ] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	0.000

Vergleichsspannung: (N/mm<sup>2</sup>)

Nachweisknoten (N/mm <sup>2</sup> ) [σ <sub>va</sub> ]	0.000
Nachbarknoten (N/mm <sup>2</sup> ) [σ <sub>vaN</sub> ]	0.000

Technologischer Grösseneinfluss

[K1(σ <sub>B</sub> )]	0.733
[K1(σ <sub>S</sub> )]	0.733

Zug/Druck Biegung Torsion

Vergleichsmittelspannung (N/mm<sup>2</sup>) [σ<sub>pmvK</sub>] 0.000

Vergleichsmittelspannung (N/mm<sup>2</sup>) [τ<sub>pmvK</sub>] 0.000

### Belastung Biegung

[σ<sub>z,pmk</sub>, σ<sub>φ,pmk</sub>, τ<sub>pmk</sub>] (N/mm<sup>2</sup>) 0.000 0.000 0.000

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm<sup>2</sup>) [σ<sub>WK</sub>] nan nan nan

Einflussfaktor Mittelspannungsempf. [ψσ<sub>K</sub>] nan nan nan

Ertragbare Amplitude (N/mm<sup>2</sup>) [σ<sub>ADK</sub>] nan nan nan

Sicherheit gegen Ermüdung [S] 9999.990

Sollsicherheit gegen Ermüdung [Smin] 1.200

Resultat (%) [S/Smin] 1000000.0

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer [K2F] 1.000 1.000 1.000

Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfliessgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	623.181	623.181	359.794
Sicherheit Fließgrenze	[S]			19.593
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			1632.8

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			9999.990
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			833332.5

## 6.2.11 Querschnitt 'B-B' Eigene Eingabe

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			278.000
Aussendurchmesser (mm)	[da]			140.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			100.000
Kerbwirkung		Eigene Eingabe		
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]			8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	29671.5	0.0	6825.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	29671.5	3727.3	6825.0	34253.0
Maximalwert [Fzdm <sub>max</sub> , Mb <sub>max</sub> , T <sub>max</sub> , Fq <sub>max</sub> ]	59343.0	3727.3	13650.0	34253.0

Maximalwert (Statische Sicherheit)

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )	100883.1	6336.4	23205.0	58230.1
[A, Wb, Wt]	7320.7	193030.7	386061.4	

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	4.053	0.000	17.679	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	4.053	19.309	17.679	9.196
[σzdm <sub>max</sub> , σb <sub>max</sub> , τ <sub>max</sub> , τq <sub>max</sub> ] (N/mm <sup>2</sup> )	13.781	32.826	60.107	15.633

Technologischer Grösseneinfluss

[K1(σB)]				0.733
[K1(σS)]				0.733

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Kerbwirkungszahl	[β(dB)]	0.000	0.000	0.000
[dB] (mm) = 0.0				
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.000	0.000	0.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.000	0.000	0.000
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.805	0.805
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.872	0.872	0.927
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.147	1.389	1.321

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]			30.887
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]			17.833

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	306.932	316.775	199.735
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.211	0.220	0.128
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	72.289	234.439	176.887
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			5.857
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			488.1

**Vorhandene Sicherheitszahl**

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	623.181	623.181	359.794
Sicherheit Fließgrenze	[S]			5.463
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			455.3

**Vorhandene Sicherheitszahl**

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			26.205
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			2183.8

**6.2.12 Querschnitt 'H-H' Eigene Eingabe**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			350.000
Aussendurchmesser (mm)	[da]			140.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			100.000
Kerbwirkung		Eigene Eingabe		
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]			8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	20000.0	0.0	6825.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	20000.0	3520.9	6825.0	17550.9
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	40000.0	3520.9	13650.0	17550.9

Maximalwert (Statische Sicherheit) 68000.0    5985.6    23205.0    29836.5

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm<sup>2</sup>) (mm<sup>3</sup>)

[A, Wb, Wt]	6459.9	168824.7	337649.4	
-------------	--------	----------	----------	--

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	3.096	0.000	20.213	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	3.096	20.855	20.213	5.355
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	10.526	35.454	68.725	9.104

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(σB)]			0.733
	[K1(σS)]			0.733

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Kerbwirkungszahl	[β(dB)]	0.000	0.000	0.000
[dB] (mm) = 0.0				

Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.000	0.000	0.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.000	0.000	0.000
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.807	0.807
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.872	0.872	0.927
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.147	1.386	1.318

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]			35.147
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]			20.292

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	306.932	317.461	200.189
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.211	0.220	0.128
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	50.451	231.556	177.334
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			5.276
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			439.7

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	623.181	623.181	359.794
Sicherheit Fließgrenze	[S]			4.884
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			407.0

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			24.094
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			2007.8

### 6.2.13 Querschnitt 'M-M'

### Eigene Eingabe

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			460.000
Aussendurchmesser (mm)	[da]			125.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			100.000
Kerbwirkung		Eigene Eingabe		
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]			8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	0.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	1592.6	0.0	17512.3
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	1592.6	0.0	17512.3

Maximalwert (Statische Sicherheit)    0.0    2707.4    0.0    29771.0

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm<sup>2</sup>) (mm<sup>3</sup>)

[A, Wb, Wt]	3455.8	87833.7	175667.4
-------------	--------	---------	----------

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[σ <sub>zdm</sub> , σ <sub>bm</sub> , τ <sub>m</sub> , τ <sub>qm</sub> ] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	0.000	0.000
[σ <sub>zda</sub> , σ <sub>ba</sub> , τ <sub>a</sub> , τ <sub>qa</sub> ] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	18.132	0.000	10.080
[σ <sub>zdm</sub> <sub>max</sub> , σ <sub>bm</sub> <sub>max</sub> , τ <sub>m</sub> <sub>max</sub> , τ <sub>qm</sub> <sub>max</sub> ] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	30.824	0.000	17.136

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(σB)]			0.733
	[K1(σS)]			0.733

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Kerbwirkungszahl	[β(dB)]	0.000	0.000	0.000
[dB] (mm) = 0.0				
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.000	0.000	0.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.000	0.000	0.000
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.815	0.815
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.872	0.872	0.927
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.147	1.374	1.306

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>mV</sub> ]			0.000
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τ <sub>mV</sub> ]			0.000

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>WK</sub> ]	306.932	320.225	202.021
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.211	0.222	0.130
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>ADK</sub> ]	306.932	320.225	202.021
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			17.661
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			1471.7

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>FK</sub> ]	623.181	623.181	359.794
Sicherheit Fließgrenze	[S]			20.217
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			1684.8

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			74.617
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			6218.1

## 6.2.14 Querschnitt 'N-N'

### Eigene Eingabe

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			495.000
Aussendurchmesser (mm)	[da]			165.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			100.000
Kerbwirkung		Eigene Eingabe		
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]			8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)					
Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	0.0	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	979.8	0.0	17505.2
Maximalwert	[Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	979.8	0.0	17505.2
Maximalwert (Statische Sicherheit)					
		0.0	1665.6	0.0	29758.8
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt]		3455.8	87833.7	175667.4	
Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )					
[σzdm, σbm, τm, τqm]	(N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	0.000	0.000
[σzda, σba, τa, τqa]	(N/mm <sup>2</sup> )	0.000	11.155	0.000	10.076
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax]	(N/mm <sup>2</sup> )	0.000	18.963	0.000	17.129
Technologischer Grösseneinfluss					
	[K1(σB)]				0.733
	[K1(σS)]				0.733
		Zug/Druck	Biegung	Torsion	
Kerbwirkungszahl					
[dB] (mm) = 0.0	[β(dB)]	0.000	0.000	0.000	
Geometrischer Grösseneinfluss					
	[K3(d)]	0.000	0.000	0.000	
Geometrischer Grösseneinfluss					
	[K3(dB)]	0.000	0.000	0.000	
Kerbwirkungszahl					
	[β]	1.000	1.000	1.000	
Geometrischer Grösseneinfluss					
	[K2(d)]	1.000	0.815	0.815	
Einflussfaktor Oberflächenrauheit					
	[KF]	0.872	0.872	0.927	
Oberflächenverfestigungsfaktor					
	[KV]	1.000	1.000	1.000	
Gesamteinflussfaktor					
	[K]	1.147	1.374	1.306	
Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:					
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]				0.000
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]				0.000
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )					
	[σWK]	306.932	320.225	202.021	
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.					
	[ψσK]	0.211	0.222	0.130	
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )					
	[σADK]	306.932	320.225	202.021	
Sicherheit gegen Ermüdung					
	[S]				28.707
Sollsicherheit gegen Ermüdung					
	[Smin]				1.200
Resultat (%)					
	[S/Smin]				2392.3
Vorhandene Sicherheitszahl					
für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:					
Statische Stützziffer					
	[K2F]	1.000	1.000	1.000	
Erhöhungsfaktor					
	[γF]	1.000	1.000	1.000	
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )					
	[σFK]	623.181	623.181	359.794	
Sicherheit Fließgrenze					
	[S]				32.862
Sollsicherheit					
	[Smin]				1.200
Resultat (%)					
	[S/Smin]				2738.5
Vorhandene Sicherheitszahl					
für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:					
Sicherheit Anriss					
	[S]				121.286
Sollsicherheit					
	[Smin]				1.200
Resultat (%)					
	[S/Smin]				10107.2

## 6.2.15 Querschnitt 'O-O'

### Press-Sitz

Kommentar	Y= 127.10...166.90mm		
Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		63.379
Aussendurchmesser (mm)	[da]		150.000
Innendurchmesser (mm)	[di]		100.000

Kerbwirkung Press-Sitz

Charakteristik: Leichter Presssitz

Hinweis: Die Presssitzarten 'Leichter Presssitz' und 'Presssitz mit Ausnahmen' werden in der aktuellen FKM Richtlinie 7.Ausgabe (2020) nicht mehr unterstützt.

Die Kerbwirkungszahlen wurden anhand der alten FKM-Richtlinie (2012) bestimmt.

Für Neu- und Weiterentwicklungen wird empfohlen die Presssitzart 'Presssitz' zu verwenden.

Mittlere Rauheit ( $\mu\text{m}$ )	[Rz]		8.000
------------------------------------	------	--	-------

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Belastung: (N) (Nm)					
Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	4157.9	0.0	5705.8	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fzda, Mba, Ta, Fqa]	4157.9	4229.1	5705.8	112294.0
Maximalwert	[Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	8315.8	4229.1	11411.7	112294.0
Maximalwert (Statische Sicherheit)		14136.8	7189.5	19399.8	190899.8
Querschnitt, Widerstandsmomente: ( $\text{mm}^2$ ) ( $\text{mm}^3$ )					
[A, Wb, Wt]		9817.5	265890.0	531780.0	

Spannungen: ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

[ $\sigma_{\text{dm}}$ , $\sigma_{\text{bm}}$ , $\tau_{\text{m}}$ , $\tau_{\text{qm}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	0.424	0.000	10.730	0.000
[ $\sigma_{\text{da}}$ , $\sigma_{\text{ba}}$ , $\tau_{\text{a}}$ , $\tau_{\text{qa}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	0.424	15.905	10.730	22.290
[ $\sigma_{\text{zdmax}}$ , $\sigma_{\text{bmax}}$ , $\tau_{\text{max}}$ , $\tau_{\text{qmax}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	1.440	27.039	36.481	37.893

Technologischer Grösseneinfluss	[K1( $\sigma_{\text{B}}$ )]			0.733
	[K1( $\sigma_{\text{S}}$ )]			0.733

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Kerbwirkungszahl	[ $\beta$ (dB)]	2.580	2.580	1.680
[dB] (mm) = 40.0				
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.918	0.918	0.955
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.954	0.954	0.975
Kerbwirkungszahl	[ $\beta$ ]	2.682	2.682	1.715
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.800	0.800
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	1.000	1.000	1.000
Rauheitsfaktor ist gemäss Norm in der Kerbwirkungszahl inbegriffen				
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.682	3.352	2.143

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{mV}}$ ]			18.589
Vergleichsmittelspannung ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\tau_{\text{mV}}$ ]			10.732

Bauteilwechselfestigkeit ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{WK}}$ ]	131.219	131.219	123.137
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ $\psi\sigma_{\text{K}}$ ]	0.081	0.081	0.075
Ertragbare Amplitude ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{ADK}}$ ]	13.882	119.924	114.517
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			5.315
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			443.0

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[yF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	623.181	623.181	359.794
Sicherheit Fließgrenze	[S]			8.991
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			749.3

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			20.631
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			1719.3

## 6.2.16 Querschnitt 'P-P' Glatte Welle

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			224.861
Aussendurchmesser (mm)	[da]			139.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			100.000
Kerbwirkung		Glatte Welle		
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]			8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	29671.5	0.0	6825.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	29671.5	4414.5	6825.0	34263.5
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	59343.0	4414.5	13650.0	34263.5

Maximalwert (Statische Sicherheit) 100883.1    7504.6    23205.0    58247.9

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm<sup>2</sup>) (mm<sup>3</sup>)

[A, Wb, Wt]	7320.7	193030.7	386061.4
-------------	--------	----------	----------

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	4.053	0.000	17.679	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	4.053	22.869	17.679	9.199
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	13.781	38.878	60.107	15.638

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(σB)]			0.733
	[K1(σS)]			0.733

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.805	0.805
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.872	0.872	0.927
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.147	1.389	1.321

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]			30.887
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]			17.833
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	306.932	316.775	199.735

Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	$[\psi\sigma_K]$	0.211	0.220	0.128
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	$[\sigma_{ADK}]$	72.289	244.325	176.887
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			5.556
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			463.0

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	$[K_2F]$	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	$[\gamma_F]$	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	$[\sigma_{FK}]$	623.181	623.181	359.794
Sicherheit Fließgrenze	[S]			5.341
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			445.1

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			25.014
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			2084.5

Hinweise:

- Die Querkraft wird bei der Berechnung nach DIN 743 nicht berücksichtigt.
- Querschnitt mit Presssitz: Die Kerbfaktoren für den Fall 'Leichter Presssitz' sind nicht mehr definiert in DIN 743. Die Faktoren werden aus der FKM-Richtlinie übernommen, ausser die Faktoren für den 'festen Presssitz' nach DIN sind kleiner, dann werden diese verwendet.

Ende Protokoll (Zeilen: 2084)

## Welle

Abtrieb innen

Geändert am	06.07.2025, 20:30:03
Geändert von	vom44604

OTH Regensburg, DE - Regensburg (4626)  
KISSsoft Release 2024 -SP2

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Meldungen</b>	3
<b>2</b>	<b>Eingabedaten</b>	3
2.1	Wellen	4
2.2	Gewichtskraft	4
2.3	Wellenmodellierung	4
2.4	Schubverformungen	4
2.5	Wälzlager	4
2.6	Gehäuse	4
2.7	Lasteinleitungen	4
<b>3</b>	<b>Wellendefinition (Welle 1)</b>	5
3.1	Aussenkontur	5
3.2	Innenkontur	7
3.3	Kräfte	7
3.4	Lager	8
<b>4</b>	<b>Zahnräder</b>	10
4.1	Welle 'Welle 1': Kegelrad 'Kegel-/Hypoidrad'	10
<b>5</b>	<b>Resultate</b>	11
5.1	Wellen	11
5.2	Lager	12
5.3	'Welle 1' Wälzlager 'Wälzlager'	12
5.4	'Welle 1' Wälzlager 'Wälzlager2'	14
5.5	'Welle 1' Wälzlager 'Wälzlager1'	15
5.6	Lagerfrequenzen	16
5.7	Schädigung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer ( $L_{req} = 200$ h)	17
5.8	Ausnutzung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer ( $L_{req} = 200$ h)	17
5.9	Berechnung der Faktoren für die Bestimmung der Zuverlässigkeit $R(t)$ mit Weibull-Verteilung; $t$ in (h)	17
<b>6</b>	<b>Festigkeitsberechnung nach DIN 743:2012</b>	18
6.1	Zusammenfassung	18
6.2	Berechnungs-Details	20

## 1 Meldungen



Berechnung ist konsistent.



In der Wälzlagerdatenbank sind für das Lager «FAG 6218-M-J20AA» die Daten zur inneren Geometrie (z.B. Anzahl Wälzkörper, Wälzkörperdurchmesser usw.) nicht vollständig vorhanden.

Für Berechnungen basierend auf der inneren Geometrie, werden die Daten soweit als vorhanden aus der Datenbank verwendet. Die fehlenden Daten werden abgeschätzt und im Protokoll dokumentiert.



Der Unterschied zwischen Wellentemperatur und Öltemperatur ist grösser als 10°C! Die Öltemperatur hat nur einen Einfluss auf die modifizierte Lebensdauerberechnung. Die Wellentemperatur hingegen beeinflusst die Biegelinie (Wälzlagerspiel im Betrieb).



Die thermisch zulässige Betriebsdrehzahl des Lagers "Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager'" könnte kritisch sein. Bitte führen Sie die Berechnung der thermisch zulässigen Betriebsdrehzahl aus (Spezialtab im Menü 'Berechnung').



Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager2' (KOYO 7228C05): Die Ermüdungsgrenzbelastung ist in der Datenbank nicht angegeben. Es wird die Näherungsgleichung nach ISO 281 (2007) B.3.3 verwendet.



Die thermisch zulässige Betriebsdrehzahl des Lagers "Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager2'" könnte kritisch sein. Bitte führen Sie die Berechnung der thermisch zulässigen Betriebsdrehzahl aus (Spezialtab im Menü 'Berechnung').



Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager2' (KOYO 7228C05): Die Ermüdungsgrenzbelastung ist in der Datenbank nicht angegeben. Eine Annäherungsgleichung nach ISO 281:2007 B.3.2 wird zur Berechnung von  $a_{ISO}$  verwendet, wenn die innere Geometrie des Lagers berücksichtigt wird.



Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager1' (KOYO 7228C05): Die Ermüdungsgrenzbelastung ist in der Datenbank nicht angegeben. Es wird die Näherungsgleichung nach ISO 281 (2007) B.3.3 verwendet.



Die thermisch zulässige Betriebsdrehzahl des Lagers "Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager1'" könnte kritisch sein. Bitte führen Sie die Berechnung der thermisch zulässigen Betriebsdrehzahl aus (Spezialtab im Menü 'Berechnung').



Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager1' (KOYO 7228C05): Die Ermüdungsgrenzbelastung ist in der Datenbank nicht angegeben. Eine Annäherungsgleichung nach ISO 281:2007 B.3.2 wird zur Berechnung von  $a_{ISO}$  verwendet, wenn die innere Geometrie des Lagers berücksichtigt wird.



Für Wellen mit Innendurchmesser gelten alle Kerbwirkungszahlen mit Einschränkung. Keine der bekannten Rechenmethoden gibt hier verlässliche Angaben an. Mangels besserer Angaben wird empfohlen, mit den Kerbfaktoren für Vollwelle zu rechnen und die Resultate konservativ zu beurteilen.



Querschnitt D-D:  
Der Kerbfaktor für leichten Presssitz ist in der DIN 743 nicht mehr definiert.

Der Kerbfaktor für leichten Presssitz (nach FKM) ist grösser als der Kerbfaktor für festen Presssitz (nach DIN).

In diesem Fall wird der Kerbfaktor für festen Presssitz (nach DIN) verwendet.



Querschnitt J-J:  
Der Kerbfaktor für leichten Presssitz ist in der DIN 743 nicht mehr definiert.

Der Kerbfaktor für leichten Presssitz (nach FKM) ist grösser als der Kerbfaktor für festen Presssitz (nach DIN).

In diesem Fall wird der Kerbfaktor für festen Presssitz (nach DIN) verwendet.

## 2 Eingabedaten

Koordinatensystem Welle:

siehe Bild W-002

## 2.1 Wellen

### 2.1.1 Welle 'Welle 1'

Zeichnung	
Startposition (mm)	0.000
Länge (mm)	1145.000
Drehzahl (1/min)	7555.600
Drehrichtung:	gegen den Uhrzeigersinn
Werkstoff	18CrNiMo7-6
Elastizitätsmodul (N/mm <sup>2</sup> )	206000.000
Poissonzahl nu	0.300
Dichte (kg/m <sup>3</sup> )	7830.000
Wärmeausdehnungskoeffizient (10 <sup>-6</sup> /K)	11.500
Temperatur (°C)	20.000
Masse der Welle (kg)	70.661
Hinweis: Masse gilt für die Welle ohne Berücksichtigung der Zahnräder	
Masse der Welle, inklusive Zusatzmassen (kg)	92.545
Massenträgheitsmoment (kg*m <sup>2</sup> )	0.339
Schwungmoment GD2 (Nm <sup>2</sup> )	13.293

## 2.2 Gewichtskraft

Lage im Raum (°)	0.000
------------------	-------

## 2.3 Wellenmodellierung

Zahnräder mit Steifigkeit nach ISO

## 2.4 Schubverformungen

Schubverformungen werden berücksichtigt	
Schubkorrekturfaktor	1.100

## 2.5 Wälzlager

Wälzlagersteifigkeiten werden aus innerer Lagergeometrie bestimmt  
Toleranzlage: Mittelwert

## 2.6 Gehäuse

Referenztemperatur (°C)	20.000
-------------------------	--------

## 2.7 Lasteinleitungen

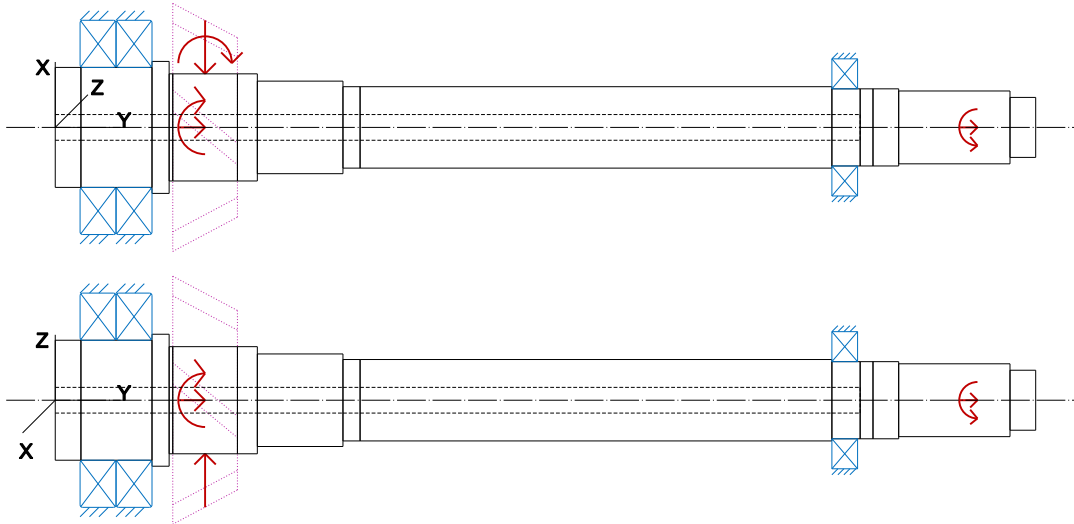


Abbildung: Lasteinleitungen

## 3 Wellendefinition (Welle 1)

### 3.1 Aussenkontur

#### 3.1.1 Zylinder ( ), 0.000mm ...30.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	140.0000
Länge (mm)	[l]	30.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Gewinde (Gewinde) 0.000 mm ... 30.000 mm  
 t=2.00 (mm), l=30.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Freistich rechts (Freistich rechts)  
 r=1.20 (mm), t=0.40 (mm), l=4.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)  
 Form E (DIN 509), Reihe 1, mit üblicher Beanspruchung

Radius links (Radius links)  
 r=4.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

#### 3.1.2 Zylinder ( ), 30.000mm ...113.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	140.0000
Länge (mm)	[l]	83.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius rechts (Radius rechts)  
 r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

### 3.1.3 Zylinder (Zylinder), 113.000mm ...133.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	154.0000
Länge (mm)	[l]	20.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

### 3.1.4 Zylinder (Zylinder), 133.000mm ...236.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	125.0000
Länge (mm)	[l]	103.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius links (Radius links)

r=4.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Radius rechts (Radius rechts)

r=2.50 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Press-Sitz (Press-Sitz)

l=80.00 (mm), Typ=0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

138.000 mm ... 218.000 mm

### 3.1.5 Zylinder (Zylinder), 236.000mm ...336.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	108.0000
Länge (mm)	[l]	100.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius links (Radius links)

r=2.50 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Radius rechts (Radius rechts)

r=2.50 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

### 3.1.6 Zylinder (Zylinder), 336.000mm ...356.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	95.0000
Länge (mm)	[l]	20.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius links (Radius links)

r=2.50 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

### 3.1.7 Zylinder (Zylinder), 356.000mm ...907.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	95.0000
Länge (mm)	[l]	551.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

### 3.1.8 Zylinder (Zylinder), 907.000mm ...955.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	90.0000
Länge (mm)	[l]	48.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius links (Radius links)

r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

### 3.1.9 Zylinder (Zylinder), 955.000mm ...985.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	90.0000
------------------	-----	---------

Länge (mm)	[l]	30.0000
Rauhigkeit ( $\mu\text{m}$ )	[Rz]	8.0000

**Freistich links (Freistich links)**

r=1.20 (mm), t=0.40 (mm), l=4.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2 $\mu\text{m}$ /125 $\mu\text{in}$ )  
 Form E (DIN 509), Reihe 1, mit üblicher Beanspruchung

**Radius rechts (Radius rechts)**

r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2 $\mu\text{m}$ /125 $\mu\text{in}$ )

**Gewinde (Gewinde)**

955.000 mm ... 985.000 mm

t=2.00 (mm), l=30.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2 $\mu\text{m}$ /125 $\mu\text{in}$ )

**3.1.10 Zylinder (Zylinder), 985.000mm ...1115.000mm**

Durchmesser (mm)	[d]	85.0000
Länge (mm)	[l]	130.0000
Rauhigkeit ( $\mu\text{m}$ )	[Rz]	8.0000

**Zahnwelle/Kerbverzahnung (Zahnwelle/Kerbverzahnung) 1002.500 mm ...1077.500 mm**

da=84.50 (mm), df=80.54 (mm), z=16, mn=5.00 (mm), l=75.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2 $\mu\text{m}$ /125 $\mu\text{in}$ )

**Querbohrung (Querbohrung)**

d=3.00

**Radius links (Radius links)**

r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2 $\mu\text{m}$ /125 $\mu\text{in}$ )

**3.1.11 Zylinder (Zylinder), 1115.000mm ...1145.000mm**

Durchmesser (mm)	[d]	70.0000
Länge (mm)	[l]	30.0000
Rauhigkeit ( $\mu\text{m}$ )	[Rz]	8.0000

**Freistich links (Freistich links)**

r=0.80 (mm), t=0.30 (mm), l=2.50 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2 $\mu\text{m}$ /125 $\mu\text{in}$ )  
 Form E (DIN 509), Reihe 1, mit üblicher Beanspruchung

**Fase rechts (Fase rechts)**

l=2.00 (mm), alpha=45.00 (°)

**Gewinde (Gewinde)**

1115.000 mm ...1145.000 mm

t=2.00 (mm), l=30.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2 $\mu\text{m}$ /125 $\mu\text{in}$ )

**3.2 Innenkontur**

**3.2.1 Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung), 0.000mm ...940.000mm**

Durchmesser (mm)	[d]	30.0000
Länge (mm)	[l]	940.0000
Rauhigkeit ( $\mu\text{m}$ )	[Rz]	8.0000

**3.3 Kräfte**

**3.3.1 Zentrische Last (Zentrische Last)**

Position auf Welle (mm)	[y <sub>local</sub> ]	1077.0000	
Position im globalen System (mm)	[y <sub>global</sub> ]	1077.0000	
Länge der Krafteinleitung (mm)		74.0000	
Leistung (kW)		10515.3215	treibend (Abtrieb)
Drehmoment (Nm)		13290.0000	
Axialkraft (N)		40000.0000	
Querkraft X (N)		0.0000	
Querkraft Z (N)		0.0000	
Biegemoment X (Nm)		0.0000	
Biegemoment Z (Nm)		0.0000	

### 3.3.2 Kegelrad (Kegel-/Hypoidrad)

Position auf Welle (mm)	[y <sub>local</sub> ]	175.0000	
Position im globalen System (mm)	[y <sub>global</sub> ]	175.0000	
Schubflanke ist aktiv.			
Wälzkreisdurchmesser (mm)		249.4153	
Schrägungswinkel (°)		30.0000	rechtssteigend (schrägverzahnt)
Teilkegelwinkel (°)		46.6366	Spitze nach rechts
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)		20.0000	
Position des Eingriffs (°)		0.0000	
Zahnbreite (mm)		110.0000	
Leistung (kW)		10515.3215	getrieben (Antrieb)
Drehmoment (Nm)		-13290.0000	
Axialkraft (N)		9684.5484	
Querkraft X (N)		-75484.3826	
Querkraft Z (N)		106569.2372	
Biegemoment X (Nm)		-0.0000	
Biegemoment Z (Nm)		1207.7374	

## 3.4 Lager

### 3.4.1 Wälzlager (FAG 6218-M-J20AA)

Lager Bauform		Rillenkugellager (einreihig)
Lager Position (mm)	[y <sub>local</sub> ]	922.000
Lager Position (mm)	[y <sub>global</sub> ]	922.000
Befestigung Aussenring		Loslager
Innendurchmesser (mm)	[d]	90.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	160.000
Breite (mm)	[b]	30.000
Eckradius (mm)	[r]	0.000

Die Berechnung wurde unter Berücksichtigung der durch den Lagerhersteller zur Verfügung gestellten, inneren Lagergeometrie durchgeführt. Die Angaben zur inneren Lagergeometrie werden im Protokoll nicht dargestellt.

Nominale diametrale Lagerluft* (µm)	[Pd0]	24.000
(*) ISO 5753-1:2009 C0		
Nominale axiale Lagerluft (µm)	[Pe]	319.832
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0</sub> ]	74.000

Dynamische Tragzahl (kN)	[C]	102.000
Tragzahl Ermüdung (kN)	[C <sub>u</sub> ]	4.500
Werte für die approximierete Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	95.694
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	74.058
Korrekturfaktor Dynamische Tragzahl	[f <sub>c</sub> ]	1.000
Korrekturfaktor Statische Tragzahl	[f <sub>c0</sub> ]	1.000

### 3.4.2 Wälzlager2 (KOYO 7228C05)

Lager Bauform		Schrägkugellager (einreihig)
Lager Position (mm)	[y <sub>lokal</sub> ]	92.000
Lager Position (mm)	[y <sub>global</sub> ]	92.000
Befestigung Aussenring		Festlager rechts angestellt
Innendurchmesser (mm)	[d]	140.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	250.000
Breite (mm)	[b]	42.000
Eckradius (mm)	[r]	3.000
Anzahl Wälzkörper	[Z]	16
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	195.058
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	33.033
Abstand a (mm)	[a]	47.100
Druckwinkel (°)	[α]	15.000
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>e</sub> ]	228.148
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	161.969
Krümmungsradius äussere Laufbahn (mm)	[r <sub>e</sub> ]	17.507
Krümmungsradius innere Laufbahn (mm)	[r <sub>i</sub> ]	17.177

Berechnung mit geschätzter Lagerinnengeometrie (\*)

Der Druckwinkel des Lagers wird in der Berechnung berücksichtigt

Druckwinkel (°)	[α]	15.000
Position (Druckmittelpunkt) (mm)	[y <sub>D,lokal</sub> ]	65.900
Position (Druckmittelpunkt) (mm)	[y <sub>D,global</sub> ]	65.900
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0</sub> ]	254.000
Dynamische Tragzahl (kN)	[C]	297.000
Tragzahl Ermüdung (kN)	[C <sub>u</sub> ]	0.000
Werte für die approximierete Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	234.629
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	250.066
Korrekturfaktor Dynamische Tragzahl	[f <sub>c</sub> ]	1.000
Korrekturfaktor Statische Tragzahl	[f <sub>c0</sub> ]	1.000

### 3.4.3 Wälzlager1 (KOYO 7228C05)

Lager Bauform		Schrägkugellager (einreihig)
Lager Position (mm)	[y <sub>lokal</sub> ]	50.000
Lager Position (mm)	[y <sub>global</sub> ]	50.000
Befestigung Aussenring		Festlager links angestellt
Innendurchmesser (mm)	[d]	140.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	250.000
Breite (mm)	[b]	42.000
Eckradius (mm)	[r]	3.000
Anzahl Wälzkörper	[Z]	16
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	195.058
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	33.033

Abstand a (mm)	[a]	47.100
Druckwinkel (°)	[α]	15.000
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	228.148
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	161.969
Krümmungsradius äussere Laufbahn (mm)	[r <sub>o</sub> ]	17.507
Krümmungsradius innere Laufbahn (mm)	[r <sub>i</sub> ]	17.177

Berechnung mit geschätzter Lagerinnengeometrie (\*)

Der Druckwinkel des Lagers wird in der Berechnung berücksichtigt

Druckwinkel (°)	[α]	15.000
Position (Druckmittelpunkt) (mm)	[y <sub>D,lokal</sub> ]	76.100
Position (Druckmittelpunkt) (mm)	[y <sub>D,global</sub> ]	76.100
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0</sub> ]	254.000
Dynamische Tragzahl (kN)	[C]	297.000
Tragzahl Ermüdung (kN)	[C <sub>u</sub> ]	0.000

Werte für die approximierte Geometrie:

Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	234.629
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	250.066
Korrekturfaktor Dynamische Tragzahl	[f <sub>C</sub> ]	1.000
Korrekturfaktor Statische Tragzahl	[f <sub>C0</sub> ]	1.000

## 4 Zahnräder

Zahnräder werden als Massen und Steifigkeiten gemäss ISO 6336-1 (Presssitz) berücksichtigt.

### 4.1 Welle 'Welle 1': Kegelrad 'Kegel-/Hypoidrad'

Mittelpunkt	[y]	175.000	mm
<b>Linke Seite des Zahnrades</b>			
Position (Y-Koordinate)	[y]	137.236	mm
Zweites Flächenmoment	[I <sub>zz</sub> ]	90436212.022	mm <sup>4</sup>
Produkt E-I	[E·I <sub>zz</sub> ]	18629859.677	Nm <sup>2</sup>
<b>Rechte Seite des Zahnrades</b>			
Position (Y-Koordinate)	[y]	212.764	mm
Zweites Flächenmoment	[I <sub>zz</sub> ]	38337035.502	mm <sup>4</sup>
Produkt E-I	[E·I <sub>zz</sub> ]	7897429.313	Nm <sup>2</sup>
Masse	[m]	21.884	kg
Massenschwerpunkt	[y <sub>s</sub> ]	169.671	mm
Polares Massenträgheitsmoment	[J <sub>p</sub> ]	2.2208e-01	kg·m <sup>2</sup>
Massenträgheitsmoment	[J <sub>xx</sub> ]	1.2092e-01	kg·m <sup>2</sup>
Massenträgheitsmoment	[J <sub>zz</sub> ]	1.2092e-01	kg·m <sup>2</sup>

## 5 Resultate

### 5.1 Wellen

Maximale Durchbiegung ( $\mu\text{m}$ )	727.624
Position des Maximums (mm)	456.486
Massenschwerpunkt (mm)	467.279
Summe der axialen Belastung (N)	49684.548
Verdrehung der Welle unter Drehmoment ( $^\circ$ ) (Unterschied linkes zu rechtem Wellenende)	1.066

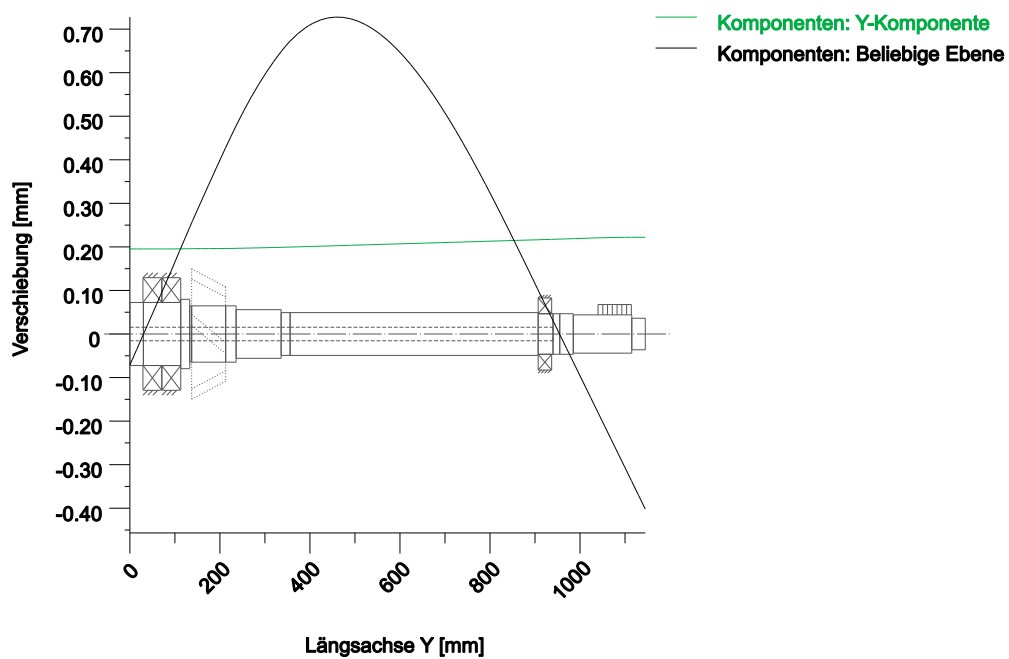
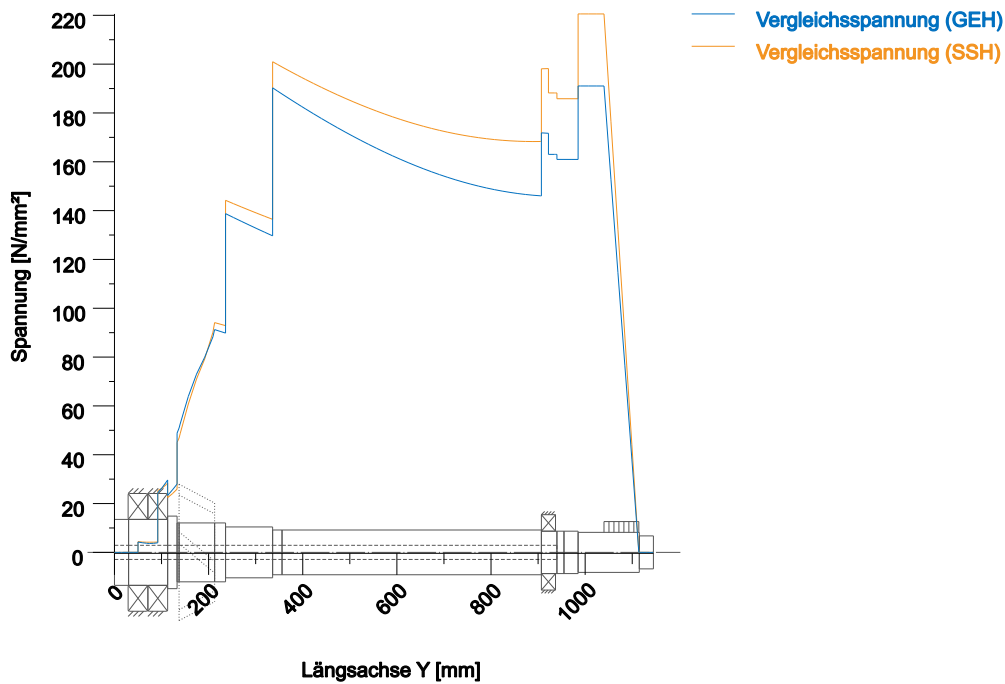


Abbildung: Verformung (Biegelinien etc.) (Beliebige Ebene 128.8813095 132)



Nennspannungen, ohne Berücksichtigung der Spannungskonzentrationen

GEH(von Mises):  $\sigma_V = ((\sigma_B + \sigma_{Z,D})^2 + 3 \cdot (\tau_T + \tau_S)^2)^{1/2}$

SSH(Tresca):  $\sigma_V = ((\sigma_B - \sigma_{Z,D})^2 + 4 \cdot (\tau_T + \tau_S)^2)^{1/2}$

Abbildung: Vergleichsspannung

## 5.2 Lager

Ausfallwahrscheinlichkeit	[n]	10.00	%
Axialspiel (ISO 281)	[ $u_A$ ]	10.00	$\mu\text{m}$
Schmierstoff	ISO-VG 220		
Schmierstoff mit Additivierung, dessen Wirksamkeit in Wälzlagern geprüft wurde.			
Ölschmierung mit Hauptstromfiltern, ISO4406 -/13/10, $\beta_6=200$			
Schmierstoff - Betriebstemperatur	[ $T_B$ ]	70.00	$^{\circ}\text{C}$
Grenzwert für Faktor $a_{ISO}$	[ $a_{ISOmax}$ ]	50.00	
Ölstand	[ $h_{oil}$ ]	0.00	mm
Öl-Einspritzschmierung			

Wälzagerlebensdauer nach ISO/TS 16281:2008

## 5.3 'Welle 1' Wälzlager 'Wälzlager'

Position (Y-Koordinate)	[y]	922.00	mm
Dynamisch äquivalente Belastung	[P]	16.30	kN
Statisch äquivalente Belastung	[ $P_0$ ]	16.30	kN
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[ $h_{min}$ ]	0.997	$\mu\text{m}$
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	[ $\omega_s/\omega_{roll}$ ]	0.016	
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[ $a_1$ ]	1.000	

### 5.3.1 Betriebslagerspiel

Die Veränderung des Lagerspiels wegen Presspassung, Wärmedehnung, Setzung und Ausdehnung der Ringe durch Fliehkraft wird in der

Berechnung des Betriebslagerspiels berücksichtigt.

Gesamte diametrale Lagerspieländerung	$[\Delta P_d]$	-7.302	$\mu\text{m}$
Diametrales Betriebslagerspiel	$[P_d]$	16.698	$\mu\text{m}$

### 5.3.2 Ergebnisse nach ISO 281

Schmierstoff	ISO-VG 220		
Schmierstoff mit Additivierung, dessen Wirksamkeit in Wälzlagern geprüft wurde.			
Schmierstoff - Betriebstemperatur	$[T_B]$	70.00	$^{\circ}\text{C}$
Ölschmierung mit Hauptstromfiltern, ISO4406 -/13/10, $\beta_6=200$			
Verunreinigungsbeiwert	$[e_c]$	0.887	
Lastverhältnis	$[C/P]$	6.256	
Betriebsviskosität	$[v]$	48.884	$\text{mm}^2/\text{s}$
Bezugsviskosität	$[v_1]$	4.630	$\text{mm}^2/\text{s}$
Viskositätsverhältnis	$[K]$	10.557	
Lebensdauerbeiwert	$[a_{ISO}]$	50.000	
Ermüdungsgrenzbelastung	$[C_u]$	4.500	kN
Basislebensdauer	$[L_{10h}]$	540.182	h
Lagerlebensdauern	$[L_{nh}]$	540.182	h
Erweiterte Lagerlebensdauer	$[L_{nmh}]$	27009.121	h
Statischer Sicherheitsfaktor	$[S_0]$	4.539	

### 5.3.3 Berechnung mit proprietärer inneren Lagergeometrie (ISO/TS 16281)

Verunreinigungsbeiwert	$[e_c]$	0.887	
Ermüdungsgrenzbelastung	$[C_u]$	4.500	kN
Dynamisch äquivalente Referenz-Belastung	$[P_{ref}]$	16.582	kN
Nominelle Referenzlebensdauer	$[L_{10rh}]$	513.398	h
Referenzlebensdauer	$[L_{nrh}]$	513.398	h
Modifizierte Referenzlebensdauer	$[L_{nmrh}]$	25669.912	h
Maximale Kontaktpressung	$[p_{max}]$	2481.613	$\text{N}/\text{mm}^2$
Statisch äquivalente Belastung	$[P_{0ref}]$	18.993	kN
Effektiver statischer Sicherheitsfaktor	$[S_{0w}]$	4.848	
Statischer Sicherheitsfaktor	$[S_{0ref}]$	3.896	
$(S_{0w} = (p_0 / p_{max})^n, S_{0ref} = C_0 / P_{0ref})$			

### 5.3.4 Lagerreaktionen

Lagerreaktionskraft	$[F_x]$	10.396	kN
Lagerreaktionskraft	$[F_y]$	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	$[F_z]$	-12.559	kN
Lagerreaktionskraft	$[F_r]$	16.303	kN
Neigungswinkel	$[\alpha_{Fr}]$	-50.383	$^{\circ}$
Lagerreaktionsmoment	$[M_x]$	4.303	Nm
Lagerreaktionsmoment	$[M_z]$	2.839	Nm
Lagerreaktionsmoment	$[M_r]$	5.155	Nm
Neigungswinkel	$[\alpha_{Mr}]$	33.413	$^{\circ}$
Lagerverschiebung	$[u_x]$	-43.634	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	$[u_y]$	216.880	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	$[u_z]$	52.799	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	$[u_r]$	68.496	$\mu\text{m}$
Neigungswinkel	$[\alpha_{ur}]$	129.571	$^{\circ}$
Lagerneigung	$[r_x]$	-1.640	mrاد
Lagerneigung	$[r_z]$	-1.325	mrاد
Lagerneigung	$[r_r]$	2.109	mrاد

### 5.3.5 Reibung und Verlustleistung

Ölstand	$[H]$	0.000	mm
Rollreibungsmoment	$[M_{rr}]$	0.690	Nm
Gleitreibungsmoment	$[M_{sl}]$	0.482	Nm

Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 17000/1 EN:2018 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	1.173	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	927.829	W

Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2018 berechnet.  
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff  $\mu_{bl} = 0.15$  gerechnet.

## 5.4 'Welle 1' Wälzlager 'Wälzlager2'

Position (Y-Koordinate)	[y]	92.00	mm
Dynamisch äquivalente Belastung	[P]	101.04	kN
Statisch äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	94.62	kN
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	1.520	µm
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	[ω <sub>s</sub> /ω <sub>roll</sub> ]	0.150	
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	1.000	

### 5.4.1 Betriebslagerspiel

Die Spielveränderung wird nicht berücksichtigt bei der Betriebslagerspielberechnung

Gesamte diametrale Lagerspieländerung	[ΔP <sub>d</sub> ]	0.000	µm
Diametrales Betriebslagerspiel	[P <sub>d</sub> ]	0.000	µm

### 5.4.2 Ergebnisse nach ISO 281

Schmierstoff	ISO-VG 220		
Schmierstoff mit Additivierung, dessen Wirksamkeit in Wälzlagern geprüft wurde.			
Schmierstoff - Betriebstemperatur	[T <sub>B</sub> ]	70.00	°C
Ölschmierung mit Hauptstromfiltern, ISO4406 -/13/10, β <sub>6</sub> =200			
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>c</sub> ]	0.902	
Lastverhältnis	[C/P]	2.939	
Betriebsviskosität	[ν]	48.884	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[ν <sub>1</sub> ]	3.707	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[κ]	13.186	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>ISO</sub> ]	4.333	
Ermüdungsgrenzbelastung	[C <sub>u</sub> ]	8.268	kN
Basislebensdauer	[L <sub>10h</sub> ]	56.023	h
Lagerlebensdauern	[L <sub>nh</sub> ]	56.023	h
Erweiterte Lagerlebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	242.735	h
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	2.684	

### 5.4.3 Berechnung mit geschätzter Lagerinnengeometrie (ISO/TS 16281)

Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>c</sub> ]	0.902	
Ermüdungsgrenzbelastung	[C <sub>u</sub> ]	9.068	kN
Dynamisch äquivalente Referenz-Belastung	[P <sub>ref</sub> ]	105.947	kN
Nominelle Referenzlebensdauer	[L <sub>10rh</sub> ]	48.595	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	48.595	h
Modifizierte Referenzlebensdauer	[L <sub>nmrh</sub> ]	225.908	h
Maximale Kontaktpressung	[p <sub>max</sub> ]	2950.953	N/mm <sup>2</sup>
Statisch äquivalente Belastung	[P <sub>0ref</sub> ]	111.958	kN
Effektiver statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0w</sub> ]	2.883	
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0ref</sub> ]	2.269	

(S<sub>0w</sub> = (p<sub>0</sub> / p<sub>max</sub>)<sup>n</sup>, S<sub>0ref</sub> = C<sub>0</sub> / P<sub>0ref</sub>)

### 5.4.4 Lagerreaktionen

Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	53.769	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	-55.312	kN

Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	-77.856	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	94.618	kN
Neigungswinkel	[α <sub>Fr</sub> ]	-55.370	°
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	1612.871	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	977.955	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	1886.199	Nm
Neigungswinkel	[α <sub>Mr</sub> ]	31.230	°
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-87.945	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	195.261	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	116.009	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	145.576	µm
Neigungswinkel	[α <sub>ur</sub> ]	127.165	°
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	1.822	mrad
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	1.481	mrad
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	2.348	mrad

#### 5.4.5 Reibung und Verlustleistung

Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	7.086	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	44.484	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 17000/1 EN:2018 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	51.571	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	40803.797	W

Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2018 berechnet.  
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff  $\mu_{bl} = 0.15$  gerechnet.

#### 5.5 'Welle 1' Wälzlager 'Wälzlager1'

Position (Y-Koordinate)	[y]	50.00	mm
Dynamisch äquivalente Belastung	[P]	18.99	kN
Statisch äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	18.99	kN
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	1.662	µm
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	[ω <sub>s</sub> /ω <sub>roll</sub> ]	0.079	
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	1.000	

#### 5.5.1 Betriebslagerspiel

Die Spielveränderung wird nicht berücksichtigt bei der Betriebslagerspielberechnung

Gesamte diametrale Lagerspieländerung	[ΔP <sub>d</sub> ]	0.000	µm
Diametrales Betriebslagerspiel	[P <sub>d</sub> ]	0.000	µm

#### 5.5.2 Ergebnisse nach ISO 281

Schmierstoff ISO-VG 220

Schmierstoff mit Additivierung, dessen Wirksamkeit in Wälzlagern geprüft wurde.

Schmierstoff - Betriebstemperatur	[T <sub>B</sub> ]	70.00	°C
Ölschmierung mit Hauptstromfiltern, ISO4406 -/13/10, β <sub>6</sub> =200			
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>c</sub> ]	0.902	
Lastverhältnis	[C/P]	15.644	
Betriebsviskosität	[ν]	48.884	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[ν <sub>1</sub> ]	3.707	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[κ]	13.186	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>ISO</sub> ]	50.000	
Ermüdungsgrenzbelastung	[C <sub>u</sub> ]	8.268	kN
Basislebensdauer	[L <sub>10h</sub> ]	8445.068	h
Lagerlebensdauern	[L <sub>nh</sub> ]	8445.068	h

Erweiterte Lagerlebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	422253.393	h
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	13.379	

### 5.5.3 Berechnung mit geschätzter Lagerinnengeometrie (ISO/TS 16281)

Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>c</sub> ]	0.902	
Ermüdungsgrenzbelastung	[C <sub>u</sub> ]	9.068	kN
Dynamisch äquivalente Referenz-Belastung	[P <sub>ref</sub> ]	21.894	kN
Nominelle Referenzlebensdauer	[L <sub>10rh</sub> ]	5506.182	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	5506.182	h
Modifizierte Referenzlebensdauer	[L <sub>nmrh</sub> ]	275309.082	h
Maximale Kontaktpressung	[P <sub>max</sub> ]	1848.621	N/mm <sup>2</sup>
Statisch äquivalente Belastung	[P <sub>0ref</sub> ]	27.584	kN
Effektiver statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0w</sub> ]	11.727	
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0ref</sub> ]	9.208	

(S<sub>0w</sub> = (p<sub>0</sub> / p<sub>max</sub>)<sup>n</sup>, S<sub>0ref</sub> = C<sub>0</sub> / P<sub>0ref</sub>)

### 5.5.4 Lagerreaktionen

Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	11.319	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	5.628	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	-15.242	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	18.985	kN
Neigungswinkel	[α <sub>Fr</sub> ]	-53.401	°
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	-401.451	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	-300.437	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	501.423	Nm
Neigungswinkel	[α <sub>Mr</sub> ]	-143.190	°
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-25.300	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	195.339	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	38.865	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	46.374	µm
Neigungswinkel	[α <sub>ur</sub> ]	123.062	°
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	1.821	mrad
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	1.480	mrad
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	2.347	mrad

### 5.5.5 Reibung und Verlustleistung

Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	4.971	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	25.552	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 17000/1 EN:2018 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	30.522	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	24149.836	W

Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2018 berechnet.  
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff μ<sub>bl</sub> = 0.15 gerechnet.

(\*) Hinweis zu Wälzlagern mit approximierter Lagergeometrie:

Die innere Geometrie von diesen Lagern ist nicht in der Datenbank eingetragen. Die Geometrie wird nach ISO 281 aus C und C<sub>0</sub> (Angaben im Katalog des Herstellers) rückwärts gerechnet. Die Geometrie kann deshalb von der wirklichen Geometrie abweichen.

Dies kann Unterschiede bei der Lebensdauer-Berechnung und vor allem bei der Wälzlagersteifigkeit bewirken.

## 5.6 Lagerfrequenzen

Wälzlager	n <sub>i</sub> (1/min)	n <sub>o</sub> (1/min)	n <sub>rel</sub> (1/min)	FTF (Hz)	BSF (Hz)	BPFI (Hz)	BPFO (Hz)	BPF (Hz)
Wälzlager (FAG 6218-M-J20AA)	-7555.60	0.00	-7555.60	52.17	356.60	811.29	573.90	713.20

Wälzlager2 (KOYO 7228C05)	-7555.60	0.00	-7555.60	52.66	361.85	1172.20	842.62	723.69
Wälzlager1 (KOYO 7228C05)	-7555.60	0.00	-7555.60	52.66	361.85	1172.20	842.62	723.69

$n_i$  : Drehzahl des Innenrings

$n_o$  : Drehzahl des Aussenrings

$n_{rel}$  : Relative Drehzahl

FTF : Rotationsfrequenz Käfig

FTF : Rotationsfrequenz Käfig

FTF : Rotationsfrequenz Käfig

BSF : Rotationsfrequenz Wälzkörper

BPFI : Überrollfrequenz Innenring

BPFO : Überrollfrequenz Aussenring

BPF : Überrollfrequenz Wälzkörper

## 5.7 Schädigung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer ( $L_{req} = 200$ h)

Wälzlagerschäden pro Lastkollektiv-Element (%)			
LK-Element	B1	B2	B3
1	0.78	88.53	0.07
$\Sigma$	0.78	88.53	0.07

Hinweis: Schädigung =  $L_{req}/L_h$

B1 : Wälzlager (FAG 6218-M-J20AA)

B2 : Wälzlager2 (KOYO 7228C05)

B3 : Wälzlager1 (KOYO 7228C05)

## 5.8 Ausnutzung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer ( $L_{req} = 200$ h)

Wälzlager	B1	B2	B3
Ausnutzung (%)	19.82	96.02	8.99

Hinweis: Ausnutzung =  $(L_{req}/L_h)^{1/k}$

Kugellager:  $k = 3$ , Rollenlager:  $k = 10/3$

B1 : Wälzlager (FAG 6218-M-J20AA)

B2 : Wälzlager2 (KOYO 7228C05)

B3 : Wälzlager1 (KOYO 7228C05)

## 5.9 Berechnung der Faktoren für die Bestimmung der Zuverlässigkeit R(t) mit Weibull-Verteilung; t in (h)

keine Berechnung der Zuverlässigkeit

## 6 Festigkeitsberechnung nach DIN 743:2012

### 6.1 Zusammenfassung

#### Welle 1

Werkstoff	18CrNiMo7-6
Werkstoffart	Einsatzstahl
Werkstoff-Behandlung	einsatzgehärtet
Oberflächen-Behandlung	Keine

Berechnung der Dauerfestigkeit und der statischen Festigkeit

Berechnung für Beanspruchungsfall 2 ( $\sigma_{av}/\sigma_{mv} = \text{konst}$ )

Querschnitt	Lage (Y-Koor) (mm)	
G-G	30.00	Eigene Eingabe
H-H	113.00	Eigene Eingabe
C-C	905.00	Glatte Welle
D-D	935.00	Press-Sitz
E-E	356.00	Glatte Welle
F-F	990.31	Querbohrung
I-I	133.00	Eigene Eingabe
J-J	139.51	Press-Sitz
K-K	209.14	Eigene Eingabe
L-L	236.00	Eigene Eingabe
M-M	336.00	Eigene Eingabe
N-N	573.72	Eigene Eingabe
P-P	939.78	Eigene Eingabe
O-O	857.00	Eigene Eingabe

Resultate:

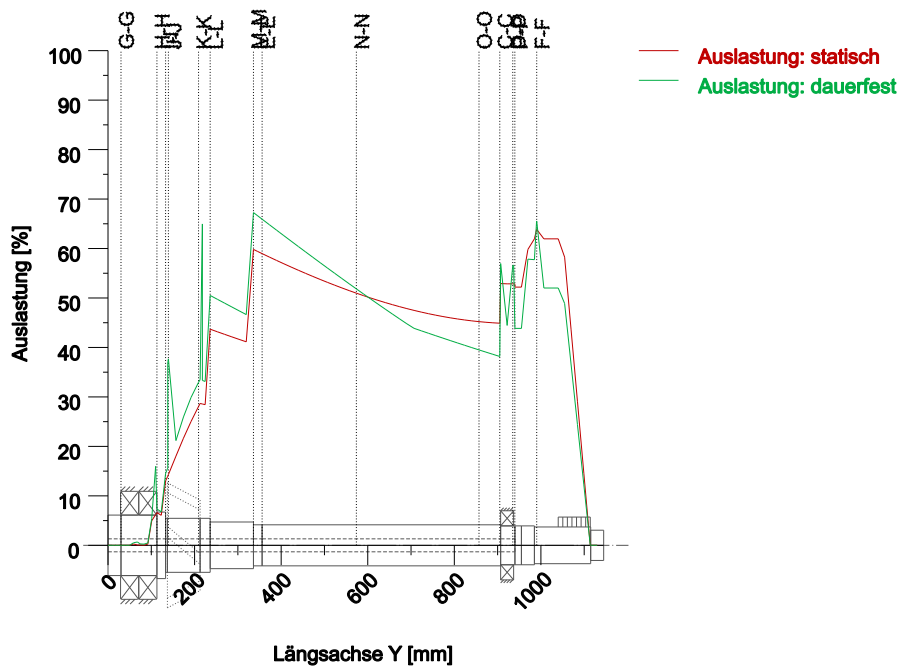
Querschnitt	$\beta\sigma$	$Kf\sigma$	K2d	SD	SS	SA
G-G	1.00	0.87	0.80	9999.99	9999.99	9999.99
H-H	1.00	0.87	0.80	16.39	18.15	66.36
C-C	1.00	0.87	0.83	3.14	2.67	15.97
D-D	2.65	1.00	0.83	2.12	2.27	7.93
E-E	1.00	0.87	0.83	1.82	2.03	8.54
F-F	2.02	0.87	0.84	1.83	1.88	6.23
I-I	1.00	0.87	0.81	8.26	9.22	33.73
J-J	2.68	1.00	0.81	3.18	8.39	11.48
K-K	1.00	0.87	0.81	3.64	4.27	17.18
L-L	1.00	0.87	0.82	2.38	2.75	11.18
M-M	1.00	0.87	0.83	1.78	2.01	8.37
N-N	1.00	0.87	0.83	2.31	2.35	10.77
P-P	1.00	0.87	0.83	2.70	2.27	13.85
O-O	1.00	0.87	0.83	3.04	2.65	15.06

Sollsicherheiten: 1.20 1.20 1.20

Abkürzungen:

$\beta\sigma$ : Kerbfaktor Biegung  
 KF $\sigma$ : Oberflächenfaktor  
 K2d: Grössenfaktor Biegung  
 SD: Sicherheit Dauerfestigkeit  
 SS: Sicherheit Streckgrenze  
 SA: Sicherheit Anriss

6.1.1 Ausnutzung (%)	[Smin/S]	
Querschnitt	Statisch (Streckgrenze)	Dauerfest
G-G	0.010	0.010
H-H	6.612	7.324
C-C	44.901	38.179
D-D	52.860	56.599
E-E	58.969	65.928
F-F	63.870	65.549
I-I	13.009	14.533
J-J	14.297	37.695
K-K	28.076	32.955
L-L	43.692	50.511
M-M	59.817	67.264
N-N	50.974	51.836
P-P	52.860	44.458
O-O	45.218	39.502
Maximale Ausnutzung (%)	[A]	67.264



Ausnutzung =  $S_{min}/S$  (%)

Abbildung: Festigkeit (Nennlast)

## 6.2 Berechnungs-Details

### Allgemeine Angaben

Bezeichnung Welle 1  
 Zeichnung  
 Länge (mm) [l] 1145.00  
 IcElem = 1  
 Drehzahl (1/min) [n] 7555.60

Werkstoff 18CrNiMo7-6  
 Werkstoffart Einsatzstahl  
 Werkstoff-Behandlung einsatzgehärtet  
 Oberflächen-Behandlung Keine

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Lastfaktor statische Berechnung	1.700	1.700	1.700	1.700
Spannungsverhältnis	0.000	-1.000	0.000	-1.000
Lastfaktor Dauerfestigkeit	1.000	1.000	1.000	1.000

Bezugsdurchmesser Werkstoff (mm)	[dB]	16.00
$\sigma_B$ nach DIN 743, bei dB (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_B$ ]	1200.00
$\sigma_S$ nach DIN 743, bei dB (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_S$ ]	850.00
[ $\sigma_{zdW}$ ], bei dB (N/mm <sup>2</sup> )		480.00
[ $\sigma_{bW}$ ], bei dB (N/mm <sup>2</sup> )		600.00

[rtW], bei dB (N/mm <sup>2</sup> )		360.00
Dicke Rohmaterial (mm)	[dWerkst]	160.00
Werkstoffdaten nach DIN 743/3 mit K1(d) berechnet		
Werkstoff-Festigkeitswerte aus Dicke Rohmaterial bestimmt		
Geometrischer Grössenfaktor K1d mit Rohdurchmesser berechnet		
[σBeff] (N/mm <sup>2</sup> )		888.00
[σSeff] (N/mm <sup>2</sup> )		629.00
[σbFK] (N/mm <sup>2</sup> )		629.00
[rtFK] (N/mm <sup>2</sup> )		363.15
[σbBRand] (N/mm <sup>2</sup> )		2300.00
[σzdW] (N/mm <sup>2</sup> )		355.20
[σbW] (N/mm <sup>2</sup> )		444.00
[rtW] (N/mm <sup>2</sup> )		266.40

Dauerfestigkeit für Einstufenbeanspruchung

Berechnung für Beanspruchungsfall 2 ( $\sigma_{av}/\sigma_{mv} = \text{konst}$ )

## 6.2.1 Querschnitt 'G-G'

### Eigene Eingabe

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	30.000
Aussendurchmesser (mm)	[da]	140.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	30.000
Kerbwirkung	Eigene Eingabe	
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]	8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	0.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	0.5	0.0	33.9
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	0.5	0.0	33.9

Maximalwert (Statische Sicherheit)

0.0	0.8	0.0	57.6
-----	-----	-----	------

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm<sup>2</sup>) (mm<sup>3</sup>)

[A, Wb, Wt]	14686.9	268823.6	537647.1
-------------	---------	----------	----------

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	0.000	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.002	0.000	0.004
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.003	0.000	0.006

Technologischer Grösseneinfluss

[K1(σB)]	0.740
[K1(σS)]	0.740

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Kerbwirkungszahl	[β(dB)]	0.000	0.000	0.000
[dB] (mm) = 0.0				
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.000	0.000	0.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.000	0.000	0.000
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.805	0.805
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.871	0.871	0.926
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000

Gesamteinflussfaktor [K] 1.148 1.390 1.323

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm<sup>2</sup>) [σ<sub>mV</sub>] 0.000  
 Vergleichsmittelspannung (N/mm<sup>2</sup>) [τ<sub>mV</sub>] 0.000

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm<sup>2</sup>) [σ<sub>WK</sub>] 309.513 319.321 201.405  
 Einflussfaktor Mittelspannungsempf. [ψσ<sub>K</sub>] 0.211 0.219 0.128  
 Ertragbare Amplitude (N/mm<sup>2</sup>) [σ<sub>ADK</sub>] 309.490 319.307 201.400  
 Sicherheit gegen Ermüdung [S] 9999.990  
 Sollsicherheit gegen Ermüdung [S<sub>min</sub>] 1.200  
 Resultat (%) [S/S<sub>min</sub>] 1000000.0

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer [K<sub>2F</sub>] 1.000 1.000 1.000  
 Erhöhungsfaktor [γ<sub>F</sub>] 1.000 1.000 1.000  
 Bauteilfließgrenze (N/mm<sup>2</sup>) [σ<sub>FK</sub>] 629.000 629.000 363.153  
 Sicherheit Fließgrenze [S] 9999.990  
 Sollsicherheit [S<sub>min</sub>] 1.200  
 Resultat (%) [S/S<sub>min</sub>] 1000000.0

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss [S] 9999.990  
 Sollsicherheit [S<sub>min</sub>] 1.200  
 Resultat (%) [S/S<sub>min</sub>] 833332.5

## 6.2.2 Querschnitt 'H-H' Eigene Eingabe

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm) [y] 113.000  
 Aussendurchmesser (mm) [da] 154.000  
 Innendurchmesser (mm) [di] 30.000  
 Kerbwirkung Eigene Eingabe  
 Mittlere Rauheit (μm) [Rz] 8.000

Zug/Druck Biegung Torsion Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fz<sub>dm</sub>, Mb<sub>m</sub>, T<sub>m</sub>, Fq<sub>m</sub>] 24842.3 0.0 0.0 0.0  
 Ausschlag (Amplitude) [Fz<sub>da</sub>, Mb<sub>a</sub>, Ta, Fq<sub>a</sub>] 24842.3 4571.0 0.0 113698.9  
 Maximalwert [Fz<sub>dmax</sub>, Mb<sub>max</sub>, T<sub>max</sub>, Fq<sub>max</sub>] 49684.5 4571.0 0.0 113698.9

Maximalwert (Statische Sicherheit) 84463.7 7770.8 0.0 193288.1

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm<sup>2</sup>) (mm<sup>3</sup>)

[A, W<sub>b</sub>, W<sub>t</sub>] 14686.9 268823.6 537647.1

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[σ<sub>zdm</sub>, σ<sub>bm</sub>, τ<sub>m</sub>, τ<sub>qm</sub>] (N/mm<sup>2</sup>) 1.691 0.000 0.000 0.000  
 [σ<sub>zda</sub>, σ<sub>ba</sub>, τ<sub>a</sub>, τ<sub>qa</sub>] (N/mm<sup>2</sup>) 1.691 17.004 0.000 12.437  
 [σ<sub>zdmax</sub>, σ<sub>bmax</sub>, τ<sub>max</sub>, τ<sub>qmax</sub>] (N/mm<sup>2</sup>) 5.751 28.907 0.000 21.142

Technologischer Grösseneinfluss [K<sub>1</sub>(σ<sub>B</sub>)] 0.740  
 [K<sub>1</sub>(σ<sub>S</sub>)] 0.740

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Kerbwirkungszahl [dB] (mm) = 0.0	[β(dB)]	0.000	0.000	0.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.000	0.000	0.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.000	0.000	0.000
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.805	0.805
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.871	0.871	0.926
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.148	1.390	1.323

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]			1.691
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]			0.977

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	309.513	319.321	201.405
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.211	0.219	0.128
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	255.573	312.506	0.371
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			16.385
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			1365.5

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	629.000	629.000	363.153
Sicherheit Fließgrenze	[S]			18.149
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			1512.4

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			66.364
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			5530.3

## 6.2.3 Querschnitt 'C-C'

### Glatte Welle

Kommentar

Y= 771.50...792.50mm

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			905.000
Aussendurchmesser (mm)	[da]			95.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			30.000
Kerbwirkung		Glatte Welle		
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]			8.000

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Belastung: (N) (Nm)					
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		20000.0	0.0	6645.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		20000.0	281.2	6645.0	16382.8
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		40000.0	281.2	13290.0	16382.8
Maximalwert (Statische Sicherheit)		68000.0	478.0	22593.0	27850.8

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm<sup>2</sup>) (mm<sup>3</sup>)

[A, Wb, Wt] 6381.4 83335.5 166671.0

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[σ<sub>zdm</sub>, σ<sub>bm</sub>, τ<sub>m</sub>, τ<sub>qm</sub>] (N/mm<sup>2</sup>) 3.134 0.000 39.869 0.000

[σ<sub>zda</sub>, σ<sub>ba</sub>, τ<sub>a</sub>, τ<sub>qa</sub>] (N/mm<sup>2</sup>) 3.134 3.374 39.869 4.406

[σ<sub>zdmax</sub>, σ<sub>bdmax</sub>, τ<sub>max</sub>, τ<sub>qmax</sub>] (N/mm<sup>2</sup>) 10.656 5.736 135.554 7.490

Technologischer Grösseneinfluss [K1(σB)] 0.740

[K1(σS)] 0.740

Zug/Druck Biegung Torsion

Kerbwirkungszahl [β] 1.000 1.000 1.000

Geometrischer Grösseneinfluss [K2(d)] 1.000 0.830 0.830

Einflussfaktor Oberflächenrauheit [KF] 0.871 0.871 0.926

Oberflächenverfestigungsfaktor [KV] 1.000 1.000 1.000

Gesamteinflussfaktor [K] 1.148 1.352 1.284

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm<sup>2</sup>) [σ<sub>mV</sub>] 69.126

Vergleichsmittelspannung (N/mm<sup>2</sup>) [τ<sub>mV</sub>] 39.910

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm<sup>2</sup>) [σ<sub>WK</sub>] 309.513 328.473 207.482

Einflussfaktor Mittelspannungsempf. [ψσK] 0.211 0.227 0.132

Ertragbare Amplitude (N/mm<sup>2</sup>) [σ<sub>ADK</sub>] 27.281 29.271 181.483

Sicherheit gegen Ermüdung [S] 3.143

Sollsicherheit gegen Ermüdung [S<sub>min</sub>] 1.200

Resultat (%) [S/S<sub>min</sub>] 261.9

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer [K2F] 1.000 1.000 1.000

Erhöhungsfaktor [γF] 1.000 1.000 1.000

Bauteilfließgrenze (N/mm<sup>2</sup>) [σ<sub>FK</sub>] 629.000 629.000 363.153

Sicherheit Fließgrenze [S] 2.673

Sollsicherheit [S<sub>min</sub>] 1.200

Resultat (%) [S/S<sub>min</sub>] 222.7

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss [S] 15.972

Sollsicherheit [S<sub>min</sub>] 1.200

Resultat (%) [S/S<sub>min</sub>] 1331.0

## 6.2.4 Querschnitt 'D-D' Press-Sitz

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm) [y] 935.000

Aussendurchmesser (mm) [da] 90.000

Innendurchmesser (mm) [di] 30.000

Kerbwirkung Press-Sitz

Charakteristik: Leichter Presssitz

Hinweis: Die Presssitzarten 'Leichter Presssitz' und 'Presssitz mit Ausnahmen' werden in der aktuellen FKM Richtlinie 7.Ausgabe (2020) nicht mehr unterstützt.

Die Kerbwirkungszahlen wurden anhand der alten FKM-Richtlinie (2012) bestimmt.

Für Neu- und Weiterentwicklungen wird empfohlen die Presssitzart 'Presssitz' zu verwenden.

Mittlere Rauheit ( $\mu\text{m}$ )	[Rz]	8.000			
		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
<b>Belastung: (N) (Nm)</b>					
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		20000.0	0.0	6645.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		20000.0	8.9	6645.0	89.7
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		40000.0	8.9	13290.0	89.7
<b>Maximalwert (Statische Sicherheit)</b>					
Querschnitt, Widerstandsmomente: ( $\text{mm}^2$ ) ( $\text{mm}^3$ )		68000.0	15.1	22593.0	152.5
[A, Wb, Wt]		5654.9	70685.8	141371.7	
<b>Spannungen: (<math>\text{N}/\text{mm}^2</math>)</b>					
[ $\sigma_{\text{zdm}}$ , $\sigma_{\text{bm}}$ , $\tau_{\text{m}}$ , $\tau_{\text{qm}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )		3.537	0.000	47.004	0.000
[ $\sigma_{\text{zda}}$ , $\sigma_{\text{ba}}$ , $\tau_{\text{a}}$ , $\tau_{\text{qa}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )		3.537	0.125	47.004	0.027
[ $\sigma_{\text{zdmax}}$ , $\sigma_{\text{bmax}}$ , $\tau_{\text{max}}$ , $\tau_{\text{qmax}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )		12.025	0.213	159.813	0.047
<b>Technologischer Grösseneinfluss</b>					
	[K1( $\sigma_{\text{B}}$ )]			0.740	
	[K1( $\sigma_{\text{S}}$ )]			0.740	
		Zug/Druck	Biegung	Torsion	
Kerbwirkungszahl	[ $\beta$ (dB)]	2.588	2.588	1.688	
[dB] (mm) = 40.0					
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.931	0.931	0.962	
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.954	0.954	0.975	
Kerbwirkungszahl	[ $\beta$ ]	2.650	2.650	1.710	
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.834	0.834	
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	1.000	1.000	1.000	
Rauheitsfaktor ist gemäss Norm in der Kerbwirkungszahl inbegriffen					
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000	
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.650	3.177	2.050	
<b>Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:</b>					
Vergleichsmittelspannung ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{mV}}$ ]			81.490	
Vergleichsmittelspannung ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\tau_{\text{mV}}$ ]			47.048	
Bauteilwechselfestigkeit ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{WK}}$ ]	134.032	139.746	129.975	
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ $\psi\sigma_{\text{K}}$ ]	0.082	0.085	0.079	
Ertragbare Amplitude ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{ADK}}$ ]	26.164	0.965	120.455	
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			2.120	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]			1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]			176.7	
<b>Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:</b>					
Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000	
Erhöhungsfaktor	[ $\gamma_{\text{F}}$ ]	1.000	1.000	1.000	
Bauteilfließgrenze ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{FK}}$ ]	629.000	629.000	363.153	
Sicherheit Fließgrenze	[S]			2.270	
Sollsicherheit	[Smin]			1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]			189.2	
<b>Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:</b>					

Sicherheit Anriss	[S]	7.933
Sollsicherheit	[Smin]	1.200
Resultat (%)	[S/Smin]	661.1

## 6.2.5 Querschnitt 'E-E'      Glatte Welle

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	356.000
Aussendurchmesser (mm)	[da]	95.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	30.000
Kerbwirkung	Glatte Welle	
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]	8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	20000.0	0.0	6645.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	20000.0	9332.5	6645.0	16591.6
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	40000.0	9332.5	13290.0	16591.6

Maximalwert (Statische Sicherheit)

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> ) [A, Wb, Wt]	68000.0	15865.2	22593.0	28205.8
	6381.4	83335.5	166671.0	

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	3.134	0.000	39.869	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	3.134	111.987	39.869	4.462
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	10.656	190.378	135.554	7.586

Technologischer Grösseneinfluss

[K1(σB)]	0.740
[K1(σS)]	0.740

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.830	0.830
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.871	0.871	0.926
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.148	1.352	1.284

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	69.126
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]	39.910

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	309.513	328.473	207.482
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.211	0.227	0.132
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	27.281	288.116	181.483
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			1.820
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			151.7

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000

Bauteilflussgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	629.000	629.000	363.153
Sicherheit Fließgrenze	[S]			2.035
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			169.6

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			8.542
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			711.8

## 6.2.6 Querschnitt 'F-F' Querbohrung

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			990.306
Aussendurchmesser (mm)	[da]			85.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			0.000
Kerbwirkung			Querbohrung	
[d] (mm)	3.000			
Mittlere Rauheit (µm)		[Rz]		8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	20000.0	0.0	6645.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	20000.0	4.6	6645.0	63.2
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	40000.0	4.6	13290.0	63.2

Maximalwert (Statische Sicherheit)

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )	68000.0	7.9	22593.0	107.5
[A, Wb, Wt]	5419.5	56679.1	116970.7	

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	3.690	0.000	56.809	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	3.690	0.082	56.809	0.016
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	12.547	0.139	193.151	0.026

Technologischer Grösseneinfluss

[K1(σB)]				0.740
[K1(σS)]				0.740

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Formzahl	[α]	2.965	2.523	1.812
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	1.533	1.557	0.790
Stützziffer	[n]	1.247	1.249	1.177
Kerbwirkungszahl	[β]	2.377	2.020	1.539
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.838	0.838
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.871	0.871	0.926
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.525	2.559	1.916

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]			98.465
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]			56.849

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	140.676	173.518	139.022
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.086	0.108	0.085
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	22.723	0.521	128.133
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			1.831
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			152.6

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	629.000	629.000	363.153
Sicherheit Fließgrenze	[S]			1.879
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			156.6

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			6.230
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			519.1

### 6.2.7 Querschnitt 'I-I'

#### Eigene Eingabe

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			133.000
Aussendurchmesser (mm)	[da]			154.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			30.000
Kerbwirkung		Eigene Eingabe		
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]			8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	24842.3	0.0	0.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	24842.3	6844.8	0.0	113721.5
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	49684.5	6844.8	0.0	113721.5

Maximalwert (Statische Sicherheit)

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )	84463.7	11636.1	0.0	193326.5
[A, Wb, Wt]	11565.0	191111.4	382222.9	

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	2.148	0.000	0.000	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	2.148	35.815	0.000	16.086
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	7.303	60.886	0.000	27.347

Technologischer Grösseneinfluss

[K1(σB)]				0.740
[K1(σS)]				0.740

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Kerbwirkungszahl

[β(dB)]	0.000	0.000	0.000
---------	-------	-------	-------

[dB] (mm) = 0.0

Geometrischer Grösseneinfluss

[K3(d)]	0.000	0.000	0.000
---------	-------	-------	-------

Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.000	0.000	0.000
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.812	0.812
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.871	0.871	0.926
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.148	1.379	1.311

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>mV</sub> ]			2.148
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τ <sub>mV</sub> ]			1.240

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>WK</sub> ]	309.513	322.002	203.183
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσ <sub>K</sub> ]	0.211	0.221	0.129
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>ADK</sub> ]	255.573	317.781	0.293
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			8.257
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			688.1

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[γ <sub>F</sub> ]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>FK</sub> ]	629.000	629.000	363.153
Sicherheit Fließgrenze	[S]			9.224
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			768.7

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			33.729
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			2810.8

## 6.2.8 Querschnitt 'J-J' Press-Sitz

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			139.511
Aussendurchmesser (mm)	[da]			125.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			30.000

Kerbwirkung Press-Sitz

Charakteristik: Leichter Presssitz

Hinweis: Die Presssitzarten 'Leichter Presssitz' und 'Presssitz mit Ausnahmen' werden in der aktuellen FKM Richtlinie 7.Ausgabe (2020) nicht mehr unterstützt.

Die Kerbwirkungszahlen wurden anhand der alten FKM-Richtlinie (2012) bestimmt.

Für Neu- und Weiterentwicklungen wird empfohlen die Presssitzart 'Presssitz' zu verwenden.

Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]			8.000
-----------------------	------	--	--	-------

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fz <sub>dm</sub> , Mb <sub>m</sub> , T <sub>m</sub> , Fq <sub>m</sub> ]	24696.4	0.0	200.2	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fz <sub>da</sub> , Mb <sub>a</sub> , T <sub>a</sub> , Fq <sub>a</sub> ]	24696.4	7601.1	200.2	109799.3
Maximalwert [Fz <sub>dmax</sub> , Mb <sub>max</sub> , T <sub>max</sub> , Fq <sub>max</sub> ]	49392.8	7601.1	400.4	109799.3

Maximalwert (Statische Sicherheit)	83967.7	12921.9	680.7	186658.8
------------------------------------	---------	---------	-------	----------

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm<sup>2</sup>) (mm<sup>3</sup>)

[A, Wb, Wt] 11565.0 191111.4 382222.9

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[σ<sub>zdm</sub>, σ<sub>bm</sub>, τ<sub>m</sub>, τ<sub>qm</sub>] (N/mm<sup>2</sup>) 2.135 0.000 0.524 0.000

[σ<sub>zda</sub>, σ<sub>ba</sub>, τ<sub>a</sub>, τ<sub>qa</sub>] (N/mm<sup>2</sup>) 2.135 39.773 0.524 15.531

[σ<sub>zdm</sub><sub>max</sub>, σ<sub>bm</sub><sub>max</sub>, τ<sub>m</sub><sub>max</sub>, τ<sub>qm</sub><sub>max</sub>] (N/mm<sup>2</sup>) 7.261 67.614 1.781 26.403

Technologischer Grösseneinfluss [K1(σB)] 0.740  
[K1(σS)] 0.740

Zug/Druck Biegung Torsion

Kerbwirkungszahl [β(dB)] 2.588 2.588 1.688

[dB] (mm) = 40.0

Geometrischer Grösseneinfluss [K3(d)] 0.922 0.922 0.957

Geometrischer Grösseneinfluss [K3(dB)] 0.954 0.954 0.975

Kerbwirkungszahl [β] 2.676 2.676 1.718

Geometrischer Grösseneinfluss [K2(d)] 1.000 0.812 0.812

Einflussfaktor Oberflächenrauheit [KF] 1.000 1.000 1.000

Rauheitsfaktor ist gemäss Norm in der Kerbwirkungszahl inbegriffen

Oberflächenverfestigungsfaktor [KV] 1.000 1.000 1.000

Gesamteinflussfaktor [K] 2.676 3.295 2.116

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm<sup>2</sup>) [σ<sub>mV</sub>] 2.320

Vergleichsmittelspannung (N/mm<sup>2</sup>) [τ<sub>mV</sub>] 1.340

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm<sup>2</sup>) [σ<sub>WK</sub>] 132.729 134.748 125.902

Einflussfaktor Mittelspannungsempf. [ψσK] 0.081 0.082 0.076

Ertragbare Amplitude (N/mm<sup>2</sup>) [σ<sub>ADK</sub>] 122.020 134.106 102.083

Sicherheit gegen Ermüdung [S] 3.183

Sollsicherheit gegen Ermüdung [S<sub>min</sub>] 1.200

Resultat (%) [S/S<sub>min</sub>] 265.3

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer [K2F] 1.000 1.000 1.000

Erhöhungsfaktor [γF] 1.000 1.000 1.000

Bauteilfließgrenze (N/mm<sup>2</sup>) [σ<sub>FK</sub>] 629.000 629.000 363.153

Sicherheit Fließgrenze [S] 8.394

Sollsicherheit [S<sub>min</sub>] 1.200

Resultat (%) [S/S<sub>min</sub>] 699.5

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss [S] 11.476

Sollsicherheit [S<sub>min</sub>] 1.200

Resultat (%) [S/S<sub>min</sub>] 956.3

## 6.2.9 Querschnitt 'K-K'

### Eigene Eingabe

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm) [y] 209.142

Aussendurchmesser (mm) [da] 125.000

Innendurchmesser (mm) [di] 30.000

		Eigene Eingabe			
Kerbwirkung					
Mittlere Rauheit ( $\mu\text{m}$ )	[Rz]				8.000
		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Belastung: (N) (Nm)					
Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	20232.2	0.0	6326.3	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fzda, Mba, Ta, Fqa]	20232.2	11726.6	6326.3	10426.7
Maximalwert	[Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	40464.5	11726.6	12652.6	10426.7
Maximalwert (Statische Sicherheit)					
Querschnitt, Widerstandsmomente: ( $\text{mm}^2$ ) ( $\text{mm}^3$ )		68789.6	19935.2	21509.5	17725.4
[A, Wb, Wt]		11565.0	191111.4	382222.9	
Spannungen: ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )					
[ $\sigma_{\text{zdm}}$ , $\sigma_{\text{bm}}$ , $\tau_{\text{m}}$ , $\tau_{\text{qm}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )		1.749	0.000	16.551	0.000
[ $\sigma_{\text{zda}}$ , $\sigma_{\text{ba}}$ , $\tau_{\text{a}}$ , $\tau_{\text{qa}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )		1.749	61.360	16.551	1.475
[ $\sigma_{\text{zdmax}}$ , $\sigma_{\text{bmax}}$ , $\tau_{\text{max}}$ , $\tau_{\text{qmax}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )		5.948	104.312	56.275	2.507
Technologischer Grösseneinfluss					
	[K1( $\sigma_{\text{B}}$ )]				0.740
	[K1( $\sigma_{\text{S}}$ )]				0.740
		Zug/Druck	Biegung	Torsion	
Kerbwirkungszahl	[ $\beta$ (dB)]	0.000	0.000	0.000	
[dB] (mm) = 0.0					
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.000	0.000	0.000	
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.000	0.000	0.000	
Kerbwirkungszahl	[ $\beta$ ]	1.000	1.000	1.000	
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.812	0.812	
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.871	0.871	0.926	
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000	
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.148	1.379	1.311	
Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:					
Vergleichsmittelspannung ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{mV}}$ ]				28.721
Vergleichsmittelspannung ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\tau_{\text{mV}}$ ]				16.582
Bauteilwechselfestigkeit ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{WK}}$ ]	309.513	322.002	203.183	
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ $\psi\sigma_{\text{K}}$ ]	0.211	0.221	0.129	
Ertragbare Amplitude ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{ADK}}$ ]	36.113	291.758	179.900	
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]				3.641
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]				1.200
Resultat (%)	[S/Smin]				303.4
Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:					
Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000	
Erhöhungsfaktor	[ $\gamma_{\text{F}}$ ]	1.000	1.000	1.000	
Bauteilfließgrenze ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{FK}}$ ]	629.000	629.000	363.153	
Sicherheit Fließgrenze	[S]				4.274
Sollsicherheit	[Smin]				1.200
Resultat (%)	[S/Smin]				356.2
Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:					
Sicherheit Anriss	[S]				17.176
Sollsicherheit	[Smin]				1.200

Resultat (%) [S/Smin] 1431.3

## 6.2.10 Querschnitt 'L-L' Eigene Eingabe

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm) [y] 236.000  
 Aussendurchmesser (mm) [da] 125.000  
 Innendurchmesser (mm) [di] 30.000  
 Kerbwirkung Eigene Eingabe  
 Mittlere Rauheit ( $\mu\text{m}$ ) [Rz] 8.000

Zug/Druck Biegung Torsion Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm] 20000.0 0.0 6645.0 0.0  
 Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa] 20000.0 11326.8 6645.0 16649.9  
 Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax] 40000.0 11326.8 13290.0 16649.9

Maximalwert (Statische Sicherheit) 68000.0 19255.6 22593.0 28304.9

Querschnitt, Widerstandsmomente: ( $\text{mm}^2$ ) ( $\text{mm}^3$ )

[A, Wb, Wt] 8454.0 122935.6 245871.3

Spannungen: ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

[ $\sigma_{\text{zdm}}$ ,  $\sigma_{\text{bm}}$ ,  $\tau_{\text{m}}$ ,  $\tau_{\text{qm}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) 2.366 0.000 27.026 0.000  
 [ $\sigma_{\text{zda}}$ ,  $\sigma_{\text{ba}}$ ,  $\tau_{\text{a}}$ ,  $\tau_{\text{qa}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) 2.366 92.136 27.026 3.303  
 [ $\sigma_{\text{zdm}}$ ,  $\sigma_{\text{bm}}$ ,  $\tau_{\text{m}}$ ,  $\tau_{\text{qm}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) 8.044 156.632 91.890 5.615

Technologischer Grösseneinfluss [K1( $\sigma_{\text{B}}$ )] 0.740

[K1( $\sigma_{\text{S}}$ )] 0.740

Zug/Druck Biegung Torsion

Kerbwirkungszahl [ $\beta$ (dB)] 0.000 0.000 0.000

[dB] (mm) = 0.0

Geometrischer Grösseneinfluss [K3(d)] 0.000 0.000 0.000

Geometrischer Grösseneinfluss [K3(dB)] 0.000 0.000 0.000

Kerbwirkungszahl [ $\beta$ ] 1.000 1.000 1.000

Geometrischer Grösseneinfluss [K2(d)] 1.000 0.822 0.822

Einflussfaktor Oberflächenrauheit [KF] 0.871 0.871 0.926

Oberflächenverfestigungsfaktor [KV] 1.000 1.000 1.000

Gesamteinflussfaktor [K] 1.148 1.364 1.297

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) [ $\sigma_{\text{mV}}$ ] 46.871

Vergleichsmittelspannung ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) [ $\tau_{\text{mV}}$ ] 27.061

Bauteilwechselfestigkeit ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) [ $\sigma_{\text{WK}}$ ] 309.513 325.453 205.475

Einflussfaktor Mittelspannungsempf. [ $\psi\sigma_{\text{K}}$ ] 0.211 0.224 0.131

Ertragbare Amplitude ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) [ $\sigma_{\text{ADK}}$ ] 30.222 292.112 181.461

Sicherheit gegen Ermüdung [S] 2.376

Sollsicherheit gegen Ermüdung [Smin] 1.200

Resultat (%) [S/Smin] 198.0

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[yF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	629.000	629.000	363.153
Sicherheit Fließgrenze	[S]			2.747
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			228.9

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			11.180
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			931.7

## 6.2.11 Querschnitt 'M-M' Eigene Eingabe

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			336.000
Aussendurchmesser (mm)	[da]			108.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			30.000
Kerbwirkung		Eigene Eingabe		
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]			8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	20000.0	0.0	6645.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	20000.0	9664.4	6645.0	16599.3
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	40000.0	9664.4	13290.0	16599.3

Maximalwert (Statische Sicherheit)

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )	68000.0	16429.5	22593.0	28218.8
[A, Wb, Wt]	6381.4	83335.5	166671.0	

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	3.134	0.000	39.869	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	3.134	115.970	39.869	4.464
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	10.656	197.149	135.554	7.589

Technologischer Grösseneinfluss

[K1(σB)]				0.740
[K1(σS)]				0.740

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Kerbwirkungszahl	[β(dB)]	0.000	0.000	0.000
[dB] (mm) = 0.0				
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.000	0.000	0.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.000	0.000	0.000
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.830	0.830
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.871	0.871	0.926
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.148	1.352	1.284

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]			69.126
---	-------	--	--	--------

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\tau_m V$ ]				39.910
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{WK}$ ]	309.513	328.473	207.482	
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ $\psi \sigma_K$ ]	0.211	0.227	0.132	
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{ADK}$ ]	27.281	289.337	181.483	
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]				1.784
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[S <sub>min</sub> ]				1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]				148.7

**Vorhandene Sicherheitszahl**

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K <sub>2F</sub> ]	1.000	1.000	1.000	
Erhöhungsfaktor	[ $\gamma_F$ ]	1.000	1.000	1.000	
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{FK}$ ]	629.000	629.000	363.153	
Sicherheit Fließgrenze	[S]				2.006
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]				1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]				167.2

**Vorhandene Sicherheitszahl**

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]				8.373
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]				1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]				697.7

**6.2.12 Querschnitt 'N-N'**

**Eigene Eingabe**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]				573.720
Aussendurchmesser (mm)	[da]				95.000
Innendurchmesser (mm)	[di]				30.000
Kerbwirkung		Eigene Eingabe			
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]				8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fz <sub>dm</sub> , Mb <sub>m</sub> , T <sub>m</sub> , Fq <sub>m</sub> ]	20000.0	0.0	6645.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fz <sub>da</sub> , Mb <sub>a</sub> , Ta, Fq <sub>a</sub> ]	20000.0	5729.2	6645.0	16508.6
Maximalwert [Fz <sub>dmax</sub> , Mb <sub>max</sub> , T <sub>max</sub> , Fq <sub>max</sub> ]	40000.0	5729.2	13290.0	16508.6

Maximalwert (Statische Sicherheit)

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )	68000.0	9739.7	22593.0	28064.6
[A, W <sub>b</sub> , W <sub>t</sub> ]	6381.4	83335.5	166671.0	

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[ $\sigma_{zdm}$ , $\sigma_{bm}$ , $\tau_m$ , $\tau_{qm}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	3.134	0.000	39.869	0.000
[ $\sigma_{zda}$ , $\sigma_{ba}$ , $\tau_a$ , $\tau_{qa}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	3.134	68.749	39.869	4.440
[ $\sigma_{zdm\max}$ , $\sigma_{b\max}$ , $\tau_{\max}$ , $\tau_{q\max}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	10.656	116.873	135.554	7.548

Technologischer Grösseneinfluss

[K <sub>1</sub> ( $\sigma_B$ )]				0.740
[K <sub>1</sub> ( $\sigma_S$ )]				0.740

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Kerbwirkungszahl	[ $\beta$ (dB)]	0.000	0.000	0.000
------------------	-----------------	-------	-------	-------

[dB] (mm) = 0.0

Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.000	0.000	0.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.000	0.000	0.000
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.830	0.830
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.871	0.871	0.926
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.148	1.352	1.284

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]			69.126
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]			39.910

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	309.513	328.473	207.482
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.211	0.227	0.132
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	27.281	267.450	181.483
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			2.315
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			192.9

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	629.000	629.000	363.153
Sicherheit Fließgrenze	[S]			2.354
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			196.2

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			10.769
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			897.5

### 6.2.13 Querschnitt 'P-P'

### Eigene Eingabe

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			939.781
Aussendurchmesser (mm)	[da]			90.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			30.000
Kerbwirkung		Eigene Eingabe		
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]			8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	20000.0	0.0	6645.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	20000.0	8.4	6645.0	87.6
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	40000.0	8.4	13290.0	87.6

Maximalwert (Statische Sicherheit) 68000.0    14.3    22593.0    148.9

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm<sup>2</sup>) (mm<sup>3</sup>)

[A, Wb, Wt]	5654.9	70685.8	141371.7
-------------	--------	---------	----------

Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )				
[σ <sub>zdm</sub> , σ <sub>bm</sub> , τ <sub>m</sub> , τ <sub>qm</sub> ] (N/mm <sup>2</sup> )	3.537	0.000	47.004	0.000
[σ <sub>zda</sub> , σ <sub>ba</sub> , τ <sub>a</sub> , τ <sub>qa</sub> ] (N/mm <sup>2</sup> )	3.537	0.119	47.004	0.027
[σ <sub>zdm</sub> <sub>max</sub> , σ <sub>bm</sub> <sub>max</sub> , τ <sub>m</sub> <sub>max</sub> , τ <sub>qm</sub> <sub>max</sub> ] (N/mm <sup>2</sup> )	12.025	0.203	159.813	0.046

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(σB)]			0.740
	[K1(σS)]			0.740

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Kerbwirkungszahl	[β(dB)]	0.000	0.000	0.000
[dB] (mm) = 0.0				
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.000	0.000	0.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.000	0.000	0.000
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.834	0.834
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.871	0.871	0.926
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.148	1.346	1.279

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>mV</sub> ]			81.490
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τ <sub>mV</sub> ]			47.048

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>WK</sub> ]	309.513	329.744	208.327
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.211	0.228	0.133
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>ADK</sub> ]	26.164	0.919	181.491
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			2.699
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			224.9

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>FK</sub> ]	629.000	629.000	363.153
Sicherheit Fließgrenze	[S]			2.270
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			189.2

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			13.852
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			1154.3

## 6.2.14 Querschnitt 'O-O'

### Eigene Eingabe

Kommentar				
Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			857.000
Aussendurchmesser (mm)	[da]			95.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			30.000
Kerbwirkung		Eigene Eingabe		
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]			8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)					
Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	20000.0	0.0	6645.0	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fzda, Mba, Ta, Fqa]	20000.0	1067.9	6645.0	16401.0
Maximalwert	[Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	40000.0	1067.9	13290.0	16401.0
Maximalwert (Statische Sicherheit)					
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )		68000.0	1815.5	22593.0	27881.7
[A, Wb, Wt]		6381.4	83335.5	166671.0	
Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )					
[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )		3.134	0.000	39.869	0.000
[σzda, oba, ta, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )		3.134	12.815	39.869	4.411
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )		10.656	21.785	135.554	7.499
Technologischer Grösseneinfluss					
	[K1(σB)]				0.740
	[K1(σS)]				0.740
		Zug/Druck	Biegung	Torsion	
Kerbwirkungszahl					
[dB] (mm) = 0.0	[β(dB)]	0.000	0.000	0.000	
Geometrischer Grösseneinfluss					
	[K3(d)]	0.000	0.000	0.000	
	[K3(dB)]	0.000	0.000	0.000	
Kerbwirkungszahl					
	[β]	1.000	1.000	1.000	
Geometrischer Grösseneinfluss					
	[K2(d)]	1.000	0.830	0.830	
Einflussfaktor Oberflächenrauheit					
	[KF]	0.871	0.871	0.926	
Oberflächenverfestigungsfaktor					
	[KV]	1.000	1.000	1.000	
Gesamteinflussfaktor					
	[K]	1.148	1.352	1.284	
Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:					
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]				69.126
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]				39.910
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )					
	[σWK]	309.513	328.473	207.482	
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.					
	[ψσK]	0.211	0.227	0.132	
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )					
	[σADK]	27.281	98.370	181.483	
Sicherheit gegen Ermüdung					
	[S]				3.038
Sollsicherheit gegen Ermüdung					
	[Smin]				1.200
Resultat (%)					
	[S/Smin]				253.2
Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:					
Statische Stützziffer					
	[K2F]	1.000	1.000	1.000	
Erhöhungsfaktor					
	[γF]	1.000	1.000	1.000	
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )					
	[σFK]	629.000	629.000	363.153	
Sicherheit Fließgrenze					
	[S]				2.654
Sollsicherheit					
	[Smin]				1.200
Resultat (%)					
	[S/Smin]				221.2
Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:					
Sicherheit Anriss					
	[S]				15.058
Sollsicherheit					
	[Smin]				1.200
Resultat (%)					
	[S/Smin]				1254.8

Hinweise:

- Die Querkraft wird bei der Berechnung nach DIN 743 nicht berücksichtigt.
- Querschnitt mit Presssitz: Die Kerbfaktoren für den Fall 'Leichter Presssitz' sind nicht mehr definiert in DIN 743. Die Faktoren werden aus der FKM-Richtlinie übernommen, ausser die Faktoren für den 'festen Presssitz' nach DIN sind kleiner, dann werden diese verwendet.

---

Ende Protokoll (Zeilen: 1901)

---

## Welle

Antriebswelle

Geändert am	06.07.2025, 20:30:38
Geändert von	vom44604

OTH Regensburg, DE - Regensburg (4626)  
KISSsoft Release 2024 -SP2

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Meldungen</b>	3
<b>2</b>	<b>Eingabedaten</b>	3
2.1	Wellen	3
2.2	Gewichtskraft	4
2.3	Wellenmodellierung	4
2.4	Schubverformungen	4
2.5	Wälzlager	4
2.6	Gehäuse	4
2.7	Lasteinleitungen	4
<b>3</b>	<b>Wellendefinition (Welle 1)</b>	5
3.1	Aussenkontur	5
3.2	Innenkontur	7
3.3	Kräfte	7
3.4	Lager	9
<b>4</b>	<b>Zahnräder</b>	11
4.1	Welle 'Welle 1': Kegelrad 'Kegel-/Hypoidrad(0.0)'	11
4.2	Welle 'Welle 1': Kegelrad 'Kegel-/Hypoidrad(180.0)'	11
<b>5</b>	<b>Resultate</b>	13
5.1	Wellen	13
5.2	Lager	14
5.3	'Welle 1' Wälzlager 'Wälzlager 1'	14
5.4	'Welle 1' Wälzlager 'Wälzlager 2'	15
5.5	'Welle 1' Wälzlager 'Wälzlager 2'	17
5.6	'Welle 1' Wälzlager 'Wälzlager 2'	18
5.7	Lagerfrequenzen	19
5.8	Schädigung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer ( $L_{req} = 200$ h)	19
5.9	Ausnutzung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer ( $L_{req} = 200$ h)	20
5.10	Berechnung der Faktoren für die Bestimmung der Zuverlässigkeit $R(t)$ mit Weibull-Verteilung; $t$ in (h)	20
<b>6</b>	<b>Festigkeitsberechnung nach DIN 743:2012</b>	21
6.1	Zusammenfassung	21
6.2	Berechnungs-Details	23

## 1 Meldungen

- i Berechnung ist konsistent.
- i In der Wälzlagerdatenbank sind für das Lager «SKF 71826 ACD/P4» die Daten zur inneren Geometrie (z.B. Anzahl Wälzkörper, Wälzkörperdurchmesser usw.) nicht vollständig vorhanden.  
  
 Für Berechnungen basierend auf der inneren Geometrie, werden die Daten soweit als vorhanden aus der Datenbank verwendet. Die fehlenden Daten werden abgeschätzt und im Protokoll dokumentiert.
- i Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 1' (KOYO 7228C05):  
 Die Ermüdungsgrenzbelastung ist in der Datenbank nicht angegeben.  
 Es wird die Näherungsgleichung nach ISO 281 (2007) B.3.3 verwendet.
- ! Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 1':  
 Die Axialkraft ist wesentlich grösser als die Radialkraft. Unter Umständen ist hier ein Axiallager geeigneter.
- ! Die thermisch zulässige Betriebsdrehzahl des Lagers 'Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 1' könnte kritisch sein.  
 Bitte führen Sie die Berechnung der thermisch zulässigen Betriebsdrehzahl aus (Spezialtab im Menü 'Berechnung').
- i Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 2' (KOYO 7228C05):  
 Die Ermüdungsgrenzbelastung ist in der Datenbank nicht angegeben.  
 Es wird die Näherungsgleichung nach ISO 281 (2007) B.3.3 verwendet.
- ! Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 2':  
 Die Axialkraft ist wesentlich grösser als die Radialkraft. Unter Umständen ist hier ein Axiallager geeigneter.
- ! Die thermisch zulässige Betriebsdrehzahl des Lagers 'Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 2' könnte kritisch sein.  
 Bitte führen Sie die Berechnung der thermisch zulässigen Betriebsdrehzahl aus (Spezialtab im Menü 'Berechnung').
- i Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 2' (KOYO 7228C05):  
 Die Ermüdungsgrenzbelastung ist in der Datenbank nicht angegeben.  
 Es wird die Näherungsgleichung nach ISO 281 (2007) B.3.3 verwendet.
- ! Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 2':  
 Die Axialkraft ist wesentlich grösser als die Radialkraft. Unter Umständen ist hier ein Axiallager geeigneter.
- ! Die thermisch zulässige Betriebsdrehzahl des Lagers 'Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 2' könnte kritisch sein.  
 Bitte führen Sie die Berechnung der thermisch zulässigen Betriebsdrehzahl aus (Spezialtab im Menü 'Berechnung').
- ! Welle 'Welle 1', Wälzlager 'Wälzlager 2':  
 Die Mindestbelastung des Lagers ist unterschritten!  
 (P = 0.0 kN, P<sub>min</sub> = 0.4 kN, Bedingung: P/C > 1.000 %)
- i Für Wellen mit Innendurchmesser gelten alle Kerbwirkungszahlen mit Einschränkung.  
 Keine der bekannten Rechenmethoden gibt hier verlässliche Angaben an. Mangels besserer Angaben wird empfohlen, mit den Kerbfaktoren für Vollwelle zu rechnen und die Resultate konservativ zu beurteilen.

## 2 Eingabedaten

Koordinatensystem Welle: siehe Bild W-002

### 2.1 Wellen

#### 2.1.1 Welle 'Welle 1'

Zeichnung	0.000.0	
Startposition (mm)		0.000

Länge (mm)		981.000
Drehzahl (1/min)		8000.000
Drehrichtung:	im Uhrzeigersinn	
Werkstoff	18CrNiMo7-6	
Elastizitätsmodul (N/mm <sup>2</sup> )		206000.000
Poissonzahl nu		0.300
Dichte (kg/m <sup>3</sup> )		7830.000
Wärmeausdehnungskoeffizient (10 <sup>-6</sup> /K)		11.500
Temperatur (°C)		20.000
Masse der Welle (kg)		64.761
Hinweis: Masse gilt für die Welle ohne Berücksichtigung der Zahnräder		
Masse der Welle, inklusive Zusatzmassen (kg)		81.846
Massenträgheitsmoment (kg*m <sup>2</sup> )		0.329
Schwungmoment GD2 (Nm <sup>2</sup> )		12.918

## 2.2 Gewichtskraft

Lage im Raum (°)		0.000
------------------	--	-------

## 2.3 Wellenmodellierung

Zahnräder mit Steifigkeit nach ISO

## 2.4 Schubverformungen

Schubverformungen werden berücksichtigt		
Schubkorrekturfaktor		1.100

## 2.5 Wälzlager

Wälzlagersteifigkeiten werden aus innerer Lagergeometrie bestimmt  
Toleranzlage: Mittelwert

## 2.6 Gehäuse

Referenztemperatur (°C)		20.000
-------------------------	--	--------

## 2.7 Lasteinleitungen

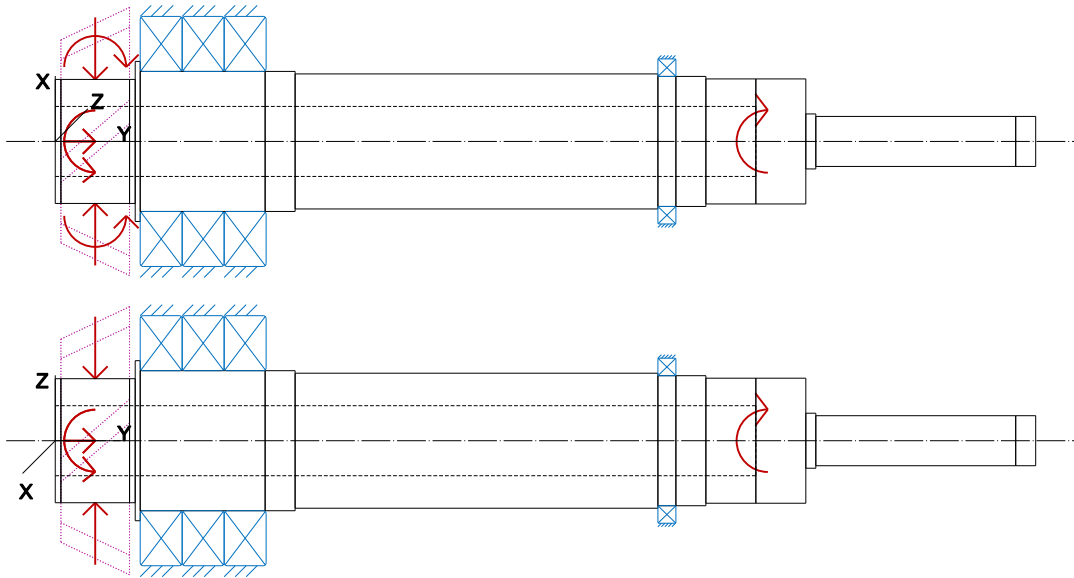


Abbildung: Lasteinleitungen

## 3 Wellendefinition (Welle 1)

### 3.1 Aussenkontur

#### 3.1.1 Zylinder (Zylinder), 0.000mm ...80.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	124.0000
Länge (mm)	[l]	80.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Press-Sitz (Press-Sitz des Polygonzugs) 0.000 mm ... 80.000 mm

l=80.00 (mm), Typ=1, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Radius rechts (Radius rechts)

r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

#### 3.1.2 Zylinder (Zylinder), 80.000mm ...85.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	160.0000
Länge (mm)	[l]	5.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius links (Radius links)

r=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Radius rechts (Radius rechts)

r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

#### 3.1.3 Zylinder (Zylinder), 85.000mm ...210.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	140.0000
Länge (mm)	[l]	125.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius links (Radius links)  
 r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

### 3.1.4 Zylinder (Zylinder), 210.000mm ...240.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	140.0000
Länge (mm)	[l]	30.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Gewinde (Gewinde) 210.000 mm ... 240.000 mm  
 t=2.00 (mm), l=30.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Freistich links (Freistich links)  
 r=1.20 (mm), t=0.40 (mm), l=4.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)  
 Form E (DIN 509), Reihe 1, mit üblicher Beanspruchung

### 3.1.5 Zylinder (Zylinder), 240.000mm ...603.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	135.0000
Länge (mm)	[l]	363.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius links (Radius links)  
 r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

### 3.1.6 Zylinder (Zylinder), 603.000mm ...621.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	130.0000
Länge (mm)	[l]	18.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius links (Radius links)  
 r=0.50 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

### 3.1.7 Zylinder (Zylinder), 621.000mm ...651.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	130.0000
Länge (mm)	[l]	30.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Freistich links (Freistich links)  
 r=1.20 (mm), t=0.40 (mm), l=4.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)  
 Form E (DIN 509), Reihe 1, mit üblicher Beanspruchung

Gewinde (Gewinde) 621.000 mm ... 651.000 mm  
 t=2.00 (mm), l=30.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

### 3.1.8 Zylinder (Zylinder), 651.000mm ...751.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	125.0000
Länge (mm)	[l]	100.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Zahnwelle/Kerbverzahnung (Zahnwelle/Kerbverzahnung) 638.500 mm ... 713.500 mm  
 da=124.50 (mm), df=120.53 (mm), z=49, mn=6.00 (mm), l=75.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Radius links (Radius links)  
 $r=2.00$  (mm),  $Rz=8.0$ , Gedreht ( $Ra=3.2\mu\text{m}/125\mu\text{in}$ )

### 3.1.9 Zylinder (Zylinder), 751.000mm ...761.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	55.0000
Länge (mm)	[l]	10.0000
Rauhigkeit ( $\mu\text{m}$ )	[Rz]	8.0000

Radius links (Radius links)  
 $r=2.00$  (mm),  $Rz=8.0$ , Gedreht ( $Ra=3.2\mu\text{m}/125\mu\text{in}$ )

Radius rechts (Radius rechts)  
 $r=1.00$  (mm),  $Rz=8.0$ , Gedreht ( $Ra=3.2\mu\text{m}/125\mu\text{in}$ )

### 3.1.10 Zylinder (Zylinder), 761.000mm ...961.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	50.0000
Länge (mm)	[l]	200.0000
Rauhigkeit ( $\mu\text{m}$ )	[Rz]	8.0000

Radius links (Radius links)  
 $r=1.00$  (mm),  $Rz=8.0$ , Gedreht ( $Ra=3.2\mu\text{m}/125\mu\text{in}$ )

### 3.1.11 Zylinder (Zylinder), 961.000mm ...981.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	50.0000
Länge (mm)	[l]	20.0000
Rauhigkeit ( $\mu\text{m}$ )	[Rz]	8.0000

Freistich links (Freistich links)  
 $r=0.80$  (mm),  $t=0.30$  (mm),  $l=2.50$  (mm),  $Rz=8.0$ , Gedreht ( $Ra=3.2\mu\text{m}/125\mu\text{in}$ )  
 Form E (DIN 509), Reihe 1, mit üblicher Beanspruchung

Fase rechts (Fase rechts)  
 $l=2.00$  (mm),  $\alpha=45.00$  (°)

Gewinde (Gewinde) 961.000 mm ... 981.000 mm  
 $t=2.00$  (mm),  $l=20.00$  (mm),  $Rz=8.0$ , Gedreht ( $Ra=3.2\mu\text{m}/125\mu\text{in}$ )

## 3.2 Innenkontur

### 3.2.1 Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung), 0.000mm ...701.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	70.0000
Länge (mm)	[l]	701.0000
Rauhigkeit ( $\mu\text{m}$ )	[Rz]	8.0000

## 3.3 Kräfte

### 3.3.1 Kegelrad (Kegel-/Hypoidrad(0.0))

Position auf Welle (mm)	[ $y_{\text{local}}$ ]	40.0000
Position im globalen System (mm)	[ $y_{\text{global}}$ ]	40.0000
Zugflanke ist aktiv.		
Wälzkreisdurchmesser (mm)		235.5589

Schrägungswinkel (°)	30.0000	linkssteigend (schrägverzahnt)
Teilkegelwinkel (°)	43.3634	Spitze nach links
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)	20.0000	
Position des Eingriffs (°)	0.0000	
Zahnbreite (mm)	94.4444	
Leistung (kW)	11133.8044	getrieben (Antrieb)
Drehmoment (Nm)	13290.0000	
Axialkraft (N)	79924.6404	
Querkraft X (N)	10254.2277	
Querkraft Z (N)	-112838.0158	
Biegemoment X (Nm)	-0.0000	
Biegemoment Z (Nm)	9413.4806	

### 3.3.2 Kegelrad (Kegel-/Hypoidrad(180.0))

Position auf Welle (mm)	[Y <sub>local</sub> ]	40.0000	
Position im globalen System (mm)	[Y <sub>global</sub> ]	40.0000	
Zugflanke ist aktiv.			
Wälzkreisdurchmesser (mm)		235.5589	
Schrägungswinkel (°)	30.0000	linkssteigend (schrägverzahnt)	
Teilkegelwinkel (°)	43.3634	Spitze nach links	
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)	20.0000		
Position des Eingriffs (°)	180.0000		
Zahnbreite (mm)	94.4444		
Leistung (kW)	11133.8044	getrieben (Antrieb)	
Drehmoment (Nm)	13290.0000		
Axialkraft (N)	79924.6404		
Querkraft X (N)	-10254.2277		
Querkraft Z (N)	112838.0158		
Biegemoment X (Nm)	-0.0000		
Biegemoment Z (Nm)	-9413.4806		

### 3.3.3 Kupplung/Motor (Kupplung/Motor)

Position auf Welle (mm)	[Y <sub>local</sub> ]	713.0000	
Position im globalen System (mm)	[Y <sub>global</sub> ]	713.0000	
Wirkdurchmesser (mm)		0.0000	
Radialkraftfaktor (-)		0.0000	
Richtung der Radialkraft (°)		0.0000	
Axialkraftfaktor (-)		0.0000	
Länge der Krafteinleitung (mm)		70.0000	
Leistung (kW)	22267.6087	treibend (Abtrieb)	
Drehmoment (Nm)	-26580.0000		
Axialkraft (N)	0.0000		
Querkraft X (N)	0.0000		
Querkraft Z (N)	0.0000		
Biegemoment X (Nm)	0.0000		
Biegemoment Z (Nm)	0.0000		
Masse (kg)	0.0000		
Massenträgheitsmoment J <sub>p</sub> (kg*m <sup>2</sup> )	0.0000e+00		
Massenträgheitsmoment J <sub>xx</sub> (kg*m <sup>2</sup> )	0.0000e+00		
Massenträgheitsmoment J <sub>zz</sub> (kg*m <sup>2</sup> )	0.0000e+00		
Exzentrizität (mm)	0.0000		

## 3.4 Lager

### 3.4.1 Wälzlager 1 (KOYO 7228C05)

Lager Bauform		Schrägkugellager (einreihig)
Lager Position (mm)	[y <sub>lokal</sub> ]	106.000
Lager Position (mm)	[y <sub>global</sub> ]	106.000
Befestigung Aussenring		Festlager rechts angestellt
Innendurchmesser (mm)	[d]	140.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	250.000
Breite (mm)	[b]	42.000
Eckradius (mm)	[r]	3.000
Anzahl Wälzkörper	[Z]	16
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	195.058
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	33.033
Abstand a (mm)	[a]	47.100
Druckwinkel (°)	[α]	15.000
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	228.148
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	161.969
Krümmungsradius äussere Laufbahn (mm)	[r <sub>o</sub> ]	17.507
Krümmungsradius innere Laufbahn (mm)	[r <sub>i</sub> ]	17.177

Berechnung mit geschätzter Lagerinnengeometrie (\*)

Der Druckwinkel des Lagers wird in der Berechnung berücksichtigt

Druckwinkel (°)	[α]	15.000
Position (Druckmittelpunkt) (mm)	[y <sub>D,lokal</sub> ]	79.900
Position (Druckmittelpunkt) (mm)	[y <sub>D,global</sub> ]	79.900
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0</sub> ]	254.000
Dynamische Tragzahl (kN)	[C]	297.000
Tragzahl Ermüdung (kN)	[C <sub>u</sub> ]	0.000
Werte für die approximierte Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	234.629
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	250.066
Korrekturfaktor Dynamische Tragzahl	[f <sub>c</sub> ]	1.000
Korrekturfaktor Statische Tragzahl	[f <sub>c0</sub> ]	1.000

### 3.4.2 Wälzlager 2 (KOYO 7228C05)

Lager Bauform		Schrägkugellager (einreihig)
Lager Position (mm)	[y <sub>lokal</sub> ]	148.000
Lager Position (mm)	[y <sub>global</sub> ]	148.000
Befestigung Aussenring		Festlager rechts angestellt
Innendurchmesser (mm)	[d]	140.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	250.000
Breite (mm)	[b]	42.000
Eckradius (mm)	[r]	3.000
Anzahl Wälzkörper	[Z]	16
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	195.058
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	33.033
Abstand a (mm)	[a]	47.100

Druckwinkel (°)	[ $\alpha$ ]	15.000
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[ $d_o$ ]	228.148
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[ $d_i$ ]	161.969
Krümmungsradius äussere Laufbahn (mm)	[ $r_o$ ]	17.507
Krümmungsradius innere Laufbahn (mm)	[ $r_i$ ]	17.177

Berechnung mit geschätzter Lagerinnengeometrie (\*)

Der Druckwinkel des Lagers wird in der Berechnung berücksichtigt

Druckwinkel (°)	[ $\alpha$ ]	15.000
Position (Druckmittelpunkt) (mm)	[ $y_{D,lokal}$ ]	121.900
Position (Druckmittelpunkt) (mm)	[ $y_{D,global}$ ]	121.900
Statische Tragzahl (kN)	[ $C_o$ ]	254.000
Dynamische Tragzahl (kN)	[ $C$ ]	297.000
Tragzahl Ermüdung (kN)	[ $C_u$ ]	0.000

Werte für die approximierete Geometrie:

Dynamische Tragzahl (kN)	[ $C_{theo}$ ]	234.629
Statische Tragzahl (kN)	[ $C_{0theo}$ ]	250.066
Korrekturfaktor Dynamische Tragzahl	[ $f_c$ ]	1.000
Korrekturfaktor Statische Tragzahl	[ $f_{c0}$ ]	1.000

### 3.4.3 Wälzlager 2 (KOYO 7228C05)

Lager Bauform Schräggugellager (einreihig)

Lager Position (mm)	[ $y_{lokal}$ ]	190.000
Lager Position (mm)	[ $y_{global}$ ]	190.000

Befestigung Aussenring Festlager rechts angestellt

Innendurchmesser (mm)	[ $d$ ]	140.000
Aussendurchmesser (mm)	[ $D$ ]	250.000
Breite (mm)	[ $b$ ]	42.000
Eckradius (mm)	[ $r$ ]	3.000
Anzahl Wälzkörper	[ $Z$ ]	16
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[ $D_{pw}$ ]	195.058
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[ $D_w$ ]	33.033
Abstand a (mm)	[ $a$ ]	47.100
Druckwinkel (°)	[ $\alpha$ ]	15.000
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[ $d_o$ ]	228.148
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[ $d_i$ ]	161.969
Krümmungsradius äussere Laufbahn (mm)	[ $r_o$ ]	17.507
Krümmungsradius innere Laufbahn (mm)	[ $r_i$ ]	17.177

Berechnung mit geschätzter Lagerinnengeometrie (\*)

Der Druckwinkel des Lagers wird in der Berechnung berücksichtigt

Druckwinkel (°)	[ $\alpha$ ]	15.000
Position (Druckmittelpunkt) (mm)	[ $y_{D,lokal}$ ]	163.900
Position (Druckmittelpunkt) (mm)	[ $y_{D,global}$ ]	163.900
Statische Tragzahl (kN)	[ $C_o$ ]	254.000
Dynamische Tragzahl (kN)	[ $C$ ]	297.000
Tragzahl Ermüdung (kN)	[ $C_u$ ]	0.000

Werte für die approximierete Geometrie:

Dynamische Tragzahl (kN)	[ $C_{theo}$ ]	234.629
Statische Tragzahl (kN)	[ $C_{0theo}$ ]	250.066
Korrekturfaktor Dynamische Tragzahl	[ $f_c$ ]	1.000
Korrekturfaktor Statische Tragzahl	[ $f_{c0}$ ]	1.000

### 3.4.4 Wälzlager 2 (SKF 71826 ACD/P4)

Lager Bauform	Schrägkugellager (einreihig)	
Lager Position (mm)	[y <sub>lokal</sub> ]	612.000
Lager Position (mm)	[y <sub>global</sub> ]	612.000
Befestigung Aussenring	Festlager links angestellt	
Innendurchmesser (mm)	[d]	130.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	165.000
Breite (mm)	[b]	18.000
Eckradius (mm)	[r]	1.100

Die Berechnung wurde unter Berücksichtigung der durch den Lagerhersteller zur Verfügung gestellten, inneren Lagergeometrie durchgeführt. Die Angaben zur inneren Lagergeometrie werden im Protokoll nicht dargestellt.

Der Druckwinkel des Lagers wird in der Berechnung berücksichtigt

Druckwinkel (°)	[α]	25.000
Position (Druckmittelpunkt) (mm)	[y <sub>D,lokal</sub> ]	646.500
Position (Druckmittelpunkt) (mm)	[y <sub>D,global</sub> ]	646.500
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0</sub> ]	50.000
Dynamische Tragzahl (kN)	[C]	36.400
Tragzahl Ermüdung (kN)	[C <sub>u</sub> ]	1.760
Werte für die approximierte Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	36.586
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	45.674
Korrekturfaktor Dynamische Tragzahl	[f <sub>c</sub> ]	1.000
Korrekturfaktor Statische Tragzahl	[f <sub>c0</sub> ]	1.000

## 4 Zahnräder

Zahnräder werden als Massen und Steifigkeiten gemäss ISO 6336-1 (Presssitz) berücksichtigt.

### 4.1 Welle 'Welle 1': Kegelrad 'Kegel-/Hypoidrad(0.0)'

Mittelpunkt	[y]	40.000	mm
<b>Linke Seite des Zahnrades</b>			
Position (Y-Koordinate)	[y]	5.669	mm
Zweites Flächenmoment	[I <sub>zz</sub> ]	33957877.473	mm <sup>4</sup>
Produkt E·I	[E·I <sub>zz</sub> ]	6995322.759	Nm <sup>2</sup>
<b>Rechte Seite des Zahnrades</b>			
Position (Y-Koordinate)	[y]	74.331	mm
Zweites Flächenmoment	[I <sub>zz</sub> ]	71251323.255	mm <sup>4</sup>
Produkt E·I	[E·I <sub>zz</sub> ]	14677772.591	Nm <sup>2</sup>
Masse	[m]	17.085	kg
Massenschwerpunkt	[y <sub>s</sub> ]	44.320	mm
Polares Massenträgheitsmoment	[J <sub>p</sub> ]	1.5620e-01	kg·m <sup>2</sup>
Massenträgheitsmoment	[J <sub>xx</sub> ]	8.4540e-02	kg·m <sup>2</sup>
Massenträgheitsmoment	[J <sub>zz</sub> ]	8.4540e-02	kg·m <sup>2</sup>

### 4.2 Welle 'Welle 1': Kegelrad 'Kegel-/Hypoidrad(180.0)'

Mittelpunkt	[y]	40.000	mm
<b>Linke Seite des Zahnrades</b>			
Position (Y-Koordinate)	[y]	5.669	mm
Zweites Flächenmoment	[I <sub>zz</sub> ]	33957877.473	mm <sup>4</sup>
Produkt E·I	[E·I <sub>zz</sub> ]	6995322.759	Nm <sup>2</sup>
<b>Rechte Seite des Zahnrades</b>			
Position (Y-Koordinate)	[y]	74.331	mm

Zweites Flächenmoment	[I <sub>zz</sub> ]	71251323.255	mm <sup>4</sup>
Produkt E-I	[E·I <sub>zz</sub> ]	14677772.591	Nm <sup>2</sup>
Masse	[m]	17.085	kg
Massenschwerpunkt	[y <sub>s</sub> ]	44.320	mm
Polares Massenträgheitsmoment	[J <sub>p</sub> ]	1.5620e-01	kg·m <sup>2</sup>
Massenträgheitsmoment	[J <sub>xx</sub> ]	8.4540e-02	kg·m <sup>2</sup>
Massenträgheitsmoment	[J <sub>zz</sub> ]	8.4540e-02	kg·m <sup>2</sup>

## 5 Resultate

### 5.1 Wellen

Maximale Durchbiegung ( $\mu\text{m}$ )	33.744
Position des Maximums (mm)	981.000
Massenschwerpunkt (mm)	402.995
Summe der axialen Belastung (N)	159849.281
Verdrehung der Welle unter Drehmoment ( $^{\circ}$ ) (Unterschied linkes zu rechtem Wellenende)	-0.413

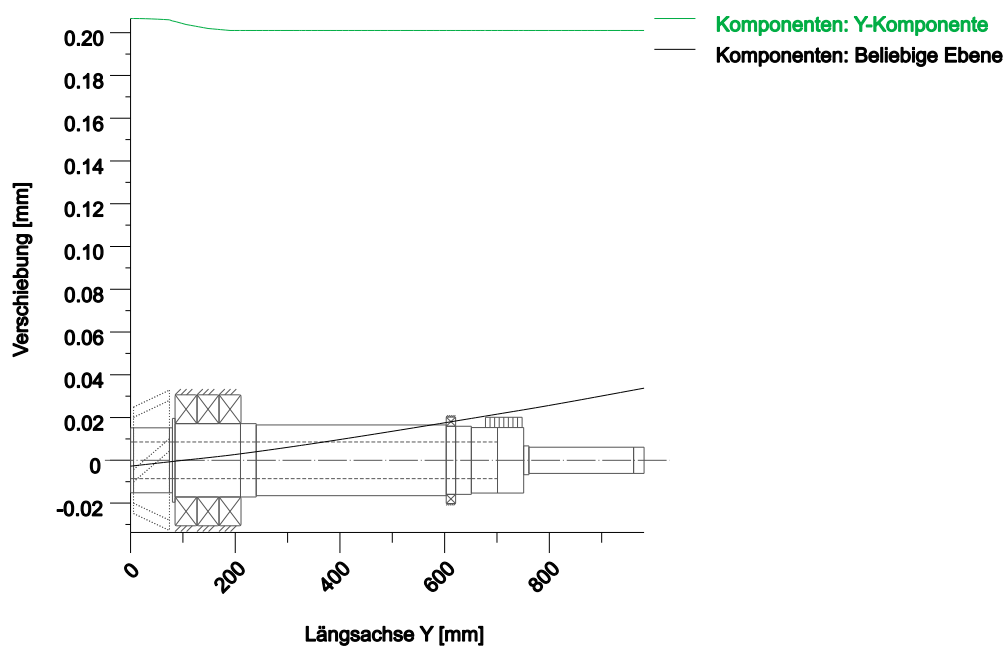
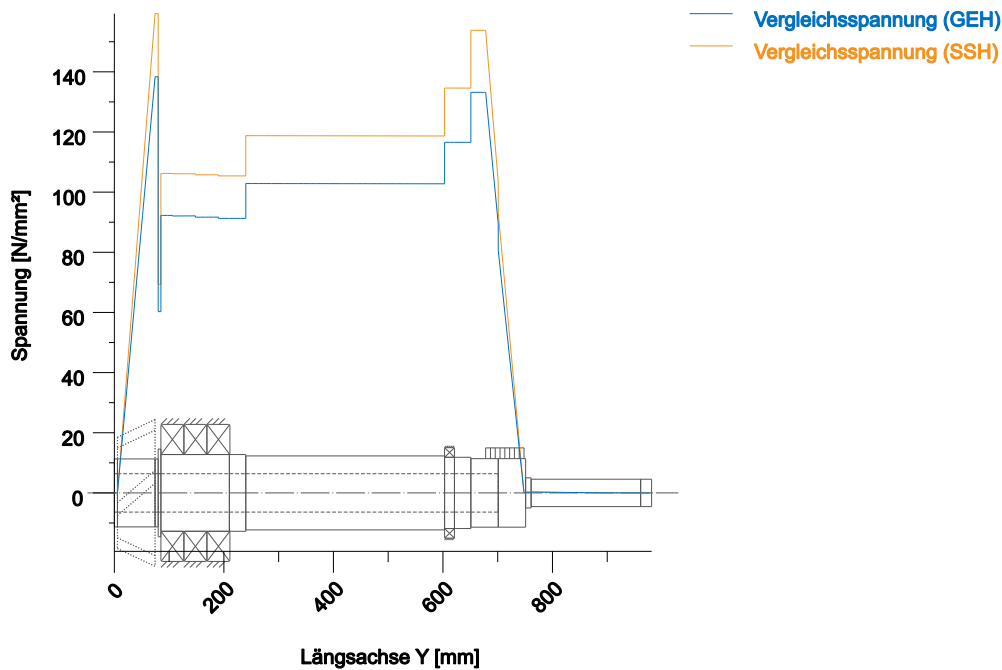


Abbildung: Verformung (Biegelinien etc.) (Beliebige Ebene 270 132)



Nennspannungen, ohne Berücksichtigung der Spannungskonzentrationen

GEH(von Mises):  $\sigma_V = ((\sigma_B + \sigma_{Z,D})^2 + 3 \cdot (\tau_T + \tau_S)^2)^{1/2}$

SSH(Tresca):  $\sigma_V = ((\sigma_B - \sigma_{Z,D})^2 + 4 \cdot (\tau_T + \tau_S)^2)^{1/2}$

Abbildung: Vergleichsspannung

## 5.2 Lager

Ausfallwahrscheinlichkeit	[n]	10.00	%
Axialspiel (ISO 281)	[ $u_A$ ]	10.00	$\mu\text{m}$
Schmierstoff	ISO-VG 220		
Schmierstoff - Betriebstemperatur	[ $T_B$ ]	70.00	$^{\circ}\text{C}$
Wälzlagerlebensdauer nach ISO/TS 16281:2008			

## 5.3 'Welle 1' Wälzlager 'Wälzlager 1'

Position (Y-Koordinate)	[y]	106.00	mm
Dynamisch äquivalente Belastung	[P]	58.81	kN
Statisch äquivalente Belastung	[ $P_0$ ]	25.55	kN
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[ $h_{min}$ ]	1.694	$\mu\text{m}$
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	[ $\omega_s / \omega_{roll}$ ]	0.108	
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[ $a_1$ ]	1.000	

### 5.3.1 Betriebslagerspiel

Die Spielveränderung wird nicht berücksichtigt bei der Betriebslagerspielberechnung

Gesamte diametrale Lagerspieländerung	[ $\Delta P_d$ ]	0.000	$\mu\text{m}$
Diametrales Betriebslagerspiel	[ $P_d$ ]	0.000	$\mu\text{m}$

### 5.3.2 Ergebnisse nach ISO 281

Schmierstoff	ISO-VG 220
--------------	------------

Lastverhältnis	[C/P]	5.050	
Betriebsviskosität	[v]	48.884	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>i</sub> ]	0.000	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[k]	0.000	
Basislebensdauer	[L <sub>10h</sub> ]	268.383	h
Lagerlebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	268.383	h
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	9.940	

### 5.3.3 Berechnung mit geschätzter Lagerinnengeometrie (ISO/TS 16281)

Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.597	
Ermüdungsgrenzbelastung	[C <sub>u</sub> ]	9.068	kN
Dynamisch äquivalente Referenz-Belastung	[P <sub>ref</sub> ]	57.272	kN
Nominelle Referenzlebensdauer	[L <sub>10rh</sub> ]	290.532	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	290.532	h
Maximale Kontaktpressung	[P <sub>max</sub> ]	2060.279	N/mm <sup>2</sup>
Statisch äquivalente Belastung	[P <sub>0ref</sub> ]	38.169	kN
Effektiver statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0w</sub> ]	8.472	
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0ref</sub> ]	6.655	

(S<sub>0w</sub> = (p<sub>0</sub> / p<sub>max</sub>)<sup>n</sup>, S<sub>0ref</sub> = C<sub>0</sub> / P<sub>0ref</sub>)

### 5.3.4 Lagerreaktionen

Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	-54.119	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	-1.317	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	1.317	kN
Neigungswinkel	[α <sub>F<sub>r</sub></sub> ]	-90.000	°
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	61.963	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	0.000	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	61.963	Nm
Neigungswinkel	[α <sub>M<sub>r</sub></sub> ]	0.000	°
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	0.000	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	203.836	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-0.144	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.144	µm
Neigungswinkel	[α <sub>u<sub>r</sub></sub> ]	-90.000	°
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.027	mrad
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	0.000	mrad
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.027	mrad

### 5.3.5 Reibung und Verlustleistung

Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	5.950	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	29.532	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 17000/1 EN:2018 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	35.482	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	29725.714	W

Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2018 berechnet.  
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff μ<sub>bl</sub> = 0.15 gerechnet.

### 5.4 'Welle 1' Wälzlager 'Wälzlager 2'

Position (Y-Koordinate)	[y]	148.00	mm
Dynamisch äquivalente Belastung	[P]	57.34	kN
Statisch äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	24.56	kN

Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	1.698	µm
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	[ω <sub>s</sub> /ω <sub>roll</sub> ]	0.108	
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	1.000	

#### 5.4.1 Betriebslagerspiel

Die Spielveränderung wird nicht berücksichtigt bei der Betriebslagerspielberechnung

Gesamte diametrale Lagerspieländerung	[ΔP <sub>d</sub> ]	0.000	µm
Diametrales Betriebslagerspiel	[P <sub>d</sub> ]	0.000	µm

#### 5.4.2 Ergebnisse nach ISO 281

Schmierstoff	ISO-VG 220		
Lastverhältnis	[C/P]	5.180	
Betriebsviskosität	[V]	48.884	mm <sup>2</sup> /s
Bezugviskosität	[V <sub>1</sub> ]	0.000	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[K]	0.000	
Basislebensdauer	[L <sub>10h</sub> ]	289.563	h
Lagerlebensdauern	[L <sub>nh</sub> ]	289.563	h
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	10.344	

#### 5.4.3 Berechnung mit geschätzter Lagerinnengeometrie (ISO/TS 16281)

Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>c</sub> ]	0.597	
Ermüdungsgrenzbelastung	[C <sub>u</sub> ]	9.068	kN
Dynamisch äquivalente Referenz-Belastung	[P <sub>ref</sub> ]	56.343	kN
Nominelle Referenzlebensdauer	[L <sub>10rh</sub> ]	305.150	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	305.150	h
Maximale Kontaktpressung	[p <sub>max</sub> ]	2038.095	N/mm <sup>2</sup>
Statisch äquivalente Belastung	[P <sub>0ref</sub> ]	36.951	kN
Effektiver statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0w</sub> ]	8.751	
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0ref</sub> ]	6.874	

(S<sub>0w</sub> = (p<sub>0</sub> / p<sub>max</sub>)<sup>n</sup>, S<sub>0ref</sub> = C<sub>0</sub> / P<sub>0ref</sub>)

#### 5.4.4 Lagerreaktionen

Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	-0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	-53.113	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	0.247	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	0.247	kN
Neigungswinkel	[α <sub>Fr</sub> ]	90.000	°
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	3.971	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	-0.000	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	3.971	Nm
Neigungswinkel	[α <sub>Mr</sub> ]	0.000	°
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	0.000	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	201.969	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-1.236	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	1.236	µm
Neigungswinkel	[α <sub>ur</sub> ]	-90.000	°
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.029	mrاد
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	-0.000	mrاد
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.029	mrاد

#### 5.4.5 Reibung und Verlustleistung

Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	5.928	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	29.444	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 17000/1 EN:2018 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm

Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	35.372	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	29633.190	W

Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2018 berechnet.  
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff  $\mu_{bl} = 0.15$  gerechnet.

## 5.5 'Welle 1' Wälzlager 'Wälzlager 2'

Position (Y-Koordinate)	[y]	190.00	mm
Dynamisch äquivalente Belastung	[P]	57.56	kN
Statisch äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	25.14	kN
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	1.696	µm
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	[ $\omega_s/\omega_{roll}$ ]	0.108	
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	1.000	

### 5.5.1 Betriebslagerspiel

Die Spielveränderung wird nicht berücksichtigt bei der Betriebslagerspielberechnung

Gesamte diametrale Lagerspieländerung	[ $\Delta P_d$ ]	0.000	µm
Diametrales Betriebslagerspiel	[P <sub>d</sub> ]	0.000	µm

### 5.5.2 Ergebnisse nach ISO 281

Schmierstoff	ISO-VG 220		
Lastverhältnis	[C/P]	5.160	
Betriebsviskosität	[v]	48.884	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	0.000	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[k]	0.000	
Basislebensdauer	[L <sub>10h</sub> ]	286.198	h
Lagerlebensdauern	[L <sub>nh</sub> ]	286.198	h
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	10.103	

### 5.5.3 Berechnung mit geschätzter Lagerinnengeometrie (ISO/TS 16281)

Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>c</sub> ]	0.597	
Ermüdungsgrenzbelastung	[C <sub>u</sub> ]	9.068	kN
Dynamisch äquivalente Referenz-Belastung	[P <sub>ref</sub> ]	55.914	kN
Nominelle Referenzlebensdauer	[L <sub>10rh</sub> ]	312.218	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	312.218	h
Maximale Kontaktpressung	[p <sub>max</sub> ]	2049.032	N/mm <sup>2</sup>
Statisch äquivalente Belastung	[P <sub>0ref</sub> ]	37.548	kN
Effektiver statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0w</sub> ]	8.612	
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0ref</sub> ]	6.765	

(S<sub>0w</sub> = (p<sub>0</sub> / p<sub>max</sub>)<sup>n</sup>, S<sub>0ref</sub> = C<sub>0</sub> / P<sub>0ref</sub>)

### 5.5.4 Lagerreaktionen

Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	-52.618	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	1.875	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	1.875	kN
Neigungswinkel	[ $\alpha_{Fr}$ ]	90.000	°
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	-55.731	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	0.000	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	55.731	Nm
Neigungswinkel	[ $\alpha_{Mr}$ ]	180.000	°
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	0.000	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	201.040	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-2.408	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	2.408	µm

Neigungswinkel	$[\alpha_{ur}]$	-90.000	°
Lagerneigung	$[r_x]$	-0.031	mrad
Lagerneigung	$[r_z]$	-0.000	mrad
Lagerneigung	$[r_r]$	0.031	mrad

### 5.5.5 Reibung und Verlustleistung

Ölstand	$[H]$	0.000	mm
Rollreibungsmoment	$[M_{rr}]$	5.917	Nm
Gleitreibungsmoment	$[M_{sl}]$	29.401	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	$[M_{seal}]$	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 17000/1 EN:2018 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	$[M_{drag}]$	0.000	Nm
Reibungsmoment	$[M_{loss}]$	35.318	Nm
Verlustleistung	$[P_{loss}]$	29587.863	W

Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2018 berechnet.  
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff  $\mu_{bl} = 0.15$  gerechnet.

### 5.6 'Welle 1' Wälzlager 'Wälzlager 2'

Position (Y-Koordinate)	$[y]$	612.00	mm
Dynamisch äquivalente Belastung	$[P]$	0.00	kN
Statisch äquivalente Belastung	$[P_0]$	0.00	kN
Minimale Schmierfilmdicke EHL	$[h_{min}]$	-nan	$\mu\text{m}$
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	$[\omega_s/\omega_{roll}]$	0.000	
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	$[a_1]$	1.000	

#### 5.6.1 Betriebslagerspiel

Die Spielveränderung wird nicht berücksichtigt bei der Betriebslagerspielberechnung

Gesamte diametrale Lagerspieländerung	$[\Delta P_d]$	0.000	$\mu\text{m}$
Diametrales Betriebslagerspiel	$[P_d]$	0.000	$\mu\text{m}$

#### 5.6.2 Ergebnisse nach ISO 281

Schmierstoff	ISO-VG 220		
Lastverhältnis	$[C/P]$	> 1000000	
Betriebsviskosität	$[v]$	0.000	$\text{mm}^2/\text{s}$
Bezugsviskosität	$[v_1]$	0.000	$\text{mm}^2/\text{s}$
Viskositätsverhältnis	$[k]$	0.000	
Basislebensdauer	$[L_{10h}]$	> 10000000	h
Lagerlebensdauern	$[L_{nh}]$	> 10000000	h
Statischer Sicherheitsfaktor	$[S_0]$	9999.990	

#### 5.6.3 Berechnung mit proprietärer inneren Lagergeometrie (ISO/TS 16281)

Verunreinigungsbeiwert	$[e_c]$	0.482	
Ermüdungsgrenzbelastung	$[C_u]$	1.760	kN
Dynamisch äquivalente Referenz-Belastung	$[P_{ref}]$	0.000	kN
Nominelle Referenzlebensdauer	$[L_{10rh}]$	> 10000000	h
Referenzlebensdauer	$[L_{nrh}]$	> 10000000	h
Maximale Kontaktpressung	$[p_{max}]$	0.000	$\text{N}/\text{mm}^2$
Statisch äquivalente Belastung	$[P_{0ref}]$	0.000	kN
Effektiver statischer Sicherheitsfaktor	$[S_{0w}]$	9999.990	
Statischer Sicherheitsfaktor	$[S_{0ref}]$	9999.990	

$(S_{0w} = (p_0 / p_{max})^n, S_{0ref} = C_0 / P_{0ref})$

#### 5.6.4 Lagerreaktionen

Lagerreaktionskraft	$[F_x]$	0.000	kN
---------------------	---------	-------	----

Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	0.000	kN
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	0.000	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	201.040	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-18.023	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	18.023	µm
Neigungswinkel	[α <sub>ur</sub> ]	-90.000	°
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.040	mrاد
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	-0.000	mrاد
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.040	mrاد

### 5.6.5 Reibung und Verlustleistung

Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.000	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	12.897	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 17000/1 EN:2018 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	12.897	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	10804.445	W

Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2018 berechnet.

Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff  $\mu_{bl} = 0.15$  gerechnet.

(\*) Hinweis zu Wälzlagern mit approximierter Lagergeometrie:

Die innere Geometrie von diesen Lagern ist nicht in der Datenbank eingetragen. Die Geometrie wird nach ISO 281 aus C und C<sub>0</sub> (Angaben im Katalog des Herstellers) rückwärts gerechnet. Die Geometrie kann deshalb von der wirklichen Geometrie abweichen.

Dies kann Unterschiede bei der Lebensdauer-Berechnung und vor allem bei der Wälzlagersteifigkeit bewirken.

### 5.7 Lagerfrequenzen

Wälzlager	n <sub>i</sub> (1/min)	n <sub>o</sub> (1/min)	n <sub>rel</sub> (1/min)	FTF (Hz)	BSF (Hz)	BPFI (Hz)	BPFO (Hz)	BPF (Hz)
Wälzlager 1 (KOYO 7228C05)	8000.00	0.00	8000.00	55.76	383.13	1241.15	892.18	766.26
Wälzlager 2 (KOYO 7228C05)	8000.00	0.00	8000.00	55.76	383.13	1241.15	892.18	766.26
Wälzlager 2 (KOYO 7228C05)	8000.00	0.00	8000.00	55.76	383.13	1241.15	892.18	766.26
Wälzlager 2 (SKF 71826 ACD/P4)	8000.00	0.00	8000.00	62.76	1028.83	2469.89	2196.77	2057.67

n<sub>i</sub> : Drehzahl des Innenrings

n<sub>o</sub> : Drehzahl des Aussenrings

n<sub>rel</sub> : Relative Drehzahl

FTF : Rotationsfrequenz Käfig

FTF : Rotationsfrequenz Käfig

FTF : Rotationsfrequenz Käfig

BSF : Rotationsfrequenz Wälzkörper

BPFI : Überrollfrequenz Innenring

BPFO : Überrollfrequenz Aussenring

BPF : Überrollfrequenz Wälzkörper

### 5.8 Schädigung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer (L<sub>req</sub> = 200 h)

Wälzlagerschäden pro Lastkollektiv-Element (%)				
LK-Element	B1	B2	B3	B4
1	68.84	65.54	64.06	0.00
Σ	68.84	65.54	64.06	0.00

Hinweis: Schädigung =  $L_{req}/L_h$

- B1 : Wälzlager 1 (KOYO 7228C05)
- B2 : Wälzlager 2 (KOYO 7228C05)
- B3 : Wälzlager 2 (KOYO 7228C05)
- B4 : Wälzlager 2 (SKF 71826 ACD/P4)

## 5.9 Ausnutzung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer ( $L_{req} = 200$ h)

Wälzlager	B1	B2	B3	B4
Ausnutzung (%)	88.30	86.86	86.20	2.71

Hinweis: Ausnutzung =  $(L_{req}/L_h)^{1/k}$

Kugellager:  $k = 3$ , Rollenlager:  $k = 10/3$

- B1 : Wälzlager 1 (KOYO 7228C05)
- B2 : Wälzlager 2 (KOYO 7228C05)
- B3 : Wälzlager 2 (KOYO 7228C05)
- B4 : Wälzlager 2 (SKF 71826 ACD/P4)

## 5.10 Berechnung der Faktoren für die Bestimmung der Zuverlässigkeit $R(t)$ mit Weibull-Verteilung; $t$ in (h)

keine Berechnung der Zuverlässigkeit

## 6 Festigkeitsberechnung nach DIN 743:2012

### 6.1 Zusammenfassung

#### Welle 1

Zeichnung	0.000.0
Werkstoff	18CrNiMo7-6
Werkstoffart	Einsatzstahl
Werkstoff-Behandlung	einsatzgehärtet
Oberflächen-Behandlung	Keine

Berechnung der Dauerfestigkeit und der statischen Festigkeit

Berechnung für Beanspruchungsfall 2 ( $\sigma_{av}/\sigma_{mv} = \text{konst}$ )

Querschnitt	Lage (Y-Koor) (mm)	
A-A	85.00	Wellenabsatz
B-B	603.00	Wellenabsatz
C-C	4.06	Press-Sitz
D-D	741.00	Zahnwelle/Kerbverzahnung
E-E	676.22	Zahnwelle/Kerbverzahnung
F-F	428.20	Glatte Welle
G-G	621.00	Glatte Welle
H-H	651.00	Wellenabsatz
J-J	240.00	Wellenabsatz
L-L	210.00	Eingabe FE-Resultate
K-K	80.00	Eigene Eingabe

Resultate:

Querschnitt	$\beta\sigma$	$KF\sigma$	K2d	SD	SS	SA
A-A	2.31	0.87	0.80	3.64	3.98	16.93
B-B	2.36	0.87	0.81	3.37	3.15	9.69
C-C	2.67	1.00	0.81	9999.99	9999.99	9999.99
D-D	1.00	1.00	0.81	41.59	27.38	174.71
E-E	1.00	1.00	0.81	3.69	2.43	15.50
F-F	1.00	0.87	0.81	5.36	3.57	22.76
G-G	1.00	0.87	0.81	4.74	3.15	20.10
H-H	1.73	0.87	0.81	3.45	2.75	11.72
J-J	1.74	0.87	0.81	4.44	3.57	15.06
L-L	-	-	0.80	9999.99	4.02	9999.99
K-K	1.00	0.87	0.81	3.11	2.65	19.35

Sollsicherheiten: 1.20 1.20 1.20

Abkürzungen:

$\beta\sigma$ : Kerbfaktor Biegung

$KF\sigma$ : Oberflächenfaktor

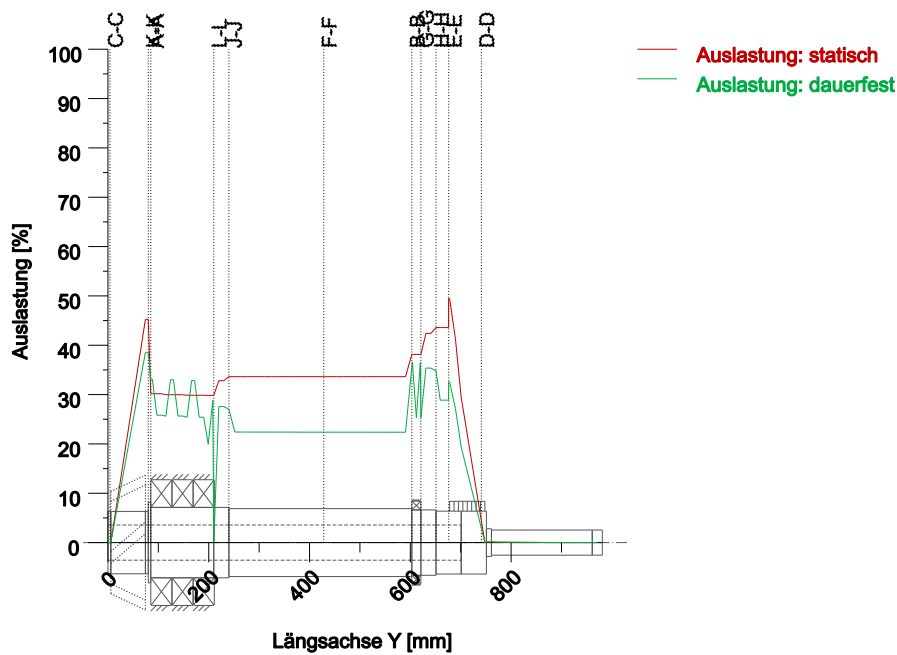
K2d: Grössenfaktor Biegung

SD: Sicherheit Dauerfestigkeit

SS: Sicherheit Streckgrenze

SA: Sicherheit Anriss

6.1.1 Ausnutzung (%)	[Smin/S]	
Querschnitt	Statisch (Streckgrenze)	Dauerfest
A-A	30.177	32.955
B-B	38.142	35.586
C-C	0.010	0.010
D-D	4.383	2.885
E-E	49.462	32.534
F-F	33.627	22.385
G-G	38.142	25.321
H-H	43.584	34.771
J-J	33.627	27.031
L-L	29.837	0.010
K-K	45.254	38.559
Maximale Ausnutzung (%)	[A]	49.462



Ausnutzung =  $S_{min}/S$  (%)

Abbildung: Festigkeit (Nennlast)

## 6.2 Berechnungs-Details

### Allgemeine Angaben

Bezeichnung Welle 1  
 Zeichnung 0.000.0  
 Länge (mm) [l] 981.00  
 IcElem = 1  
 Drehzahl (1/min) [n] 8000.00

Werkstoff 18CrNiMo7-6  
 Werkstoffart Einsatzstahl  
 Werkstoff-Behandlung einsatzgehärtet  
 Oberflächen-Behandlung Keine

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Lastfaktor statische Berechnung	1.700	1.700	1.700	1.700
Spannungsverhältnis	0.000	-1.000	0.000	-1.000
Lastfaktor Dauerfestigkeit	1.000	1.000	1.000	1.000

Bezugsdurchmesser Werkstoff (mm)	[dB]	16.00
$\sigma_B$ nach DIN 743, bei dB (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_B$ ]	1200.00
$\sigma_S$ nach DIN 743, bei dB (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_S$ ]	850.00
[ $\sigma_{zdW}$ ], bei dB (N/mm <sup>2</sup> )		480.00
[ $\sigma_{bW}$ ], bei dB (N/mm <sup>2</sup> )		600.00

[rtW], bei dB (N/mm <sup>2</sup> )	360.00
Dicke Rohmaterial (mm) [dWerkst]	170.00
Werkstoffdaten nach DIN 743/3 mit K1(d) berechnet	
Werkstoff-Festigkeitswerte aus Dicke Rohmaterial bestimmt	
Geometrischer Grössenfaktor K1d mit Rohdurchmesser berechnet	
[σBeff] (N/mm <sup>2</sup> )	879.79
[σSeff] (N/mm <sup>2</sup> )	623.18
[σbFK] (N/mm <sup>2</sup> )	623.18
[rtFK] (N/mm <sup>2</sup> )	359.79
[σbBRand] (N/mm <sup>2</sup> )	2300.00
[σzdW] (N/mm <sup>2</sup> )	351.91
[σbW] (N/mm <sup>2</sup> )	439.89
[rtW] (N/mm <sup>2</sup> )	263.94

Dauerfestigkeit für Einstufenbeanspruchung

Berechnung für Beanspruchungsfall 2 ( $\sigma_{av}/\sigma_{mv} = \text{konst}$ )

## 6.2.1 Querschnitt 'A-A'

### Wellenabsatz

Kommentar	Y= 0.00... 80.00mm		
Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		85.000
Aussendurchmesser (mm)	[da]		140.000
Innendurchmesser (mm)	[di]		70.000
Kerbwirkung		Wellenabsatz	
[D, r, t] (mm)	160.000	2.000	10.000
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]		8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Belastung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-79924.6	0.0	13290.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	79924.6	9.3	13290.0	227.3
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-159849.2	9.3	26580.0	227.3
Maximalwert (Statische Sicherheit)	-271743.7	15.7	45186.0	386.4
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt]	11545.4	252554.6	505109.2	

Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )				
[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-6.923	0.000	26.311	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	6.923	0.037	26.311	0.037
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	-23.537	0.062	89.458	0.062

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(σB)]	0.733
	[K1(σS)]	0.733

	Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[α]	3.086	2.824
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	1.255	1.255
Stützziffer	[n]	1.224	1.224
Kerbwirkungszahl	[β]	2.522	2.308
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.805
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.872	0.872
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000

Gesamteinflussfaktor [K] 2.669 3.015 2.110

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm<sup>2</sup>) [σ<sub>mV</sub>] 45.043  
 Vergleichsmittelspannung (N/mm<sup>2</sup>) [τ<sub>mV</sub>] 26.006

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm<sup>2</sup>) [σ<sub>WK</sub>] 131.861 145.917 125.114  
 Einflussfaktor Mittelspannungsempf. [ψσ<sub>K</sub>] 0.081 0.090 0.077  
 Ertragbare Amplitude (N/mm<sup>2</sup>) [σ<sub>ADK</sub>] 83.017 0.507 116.314  
 Sicherheit gegen Ermüdung [S] 3.641  
 Sollsicherheit gegen Ermüdung [S<sub>min</sub>] 1.200  
 Resultat (%) [S/S<sub>min</sub>] 303.4

Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer [K<sub>2F</sub>] 1.000 1.000 1.000  
 Erhöhungsfaktor [γ<sub>F</sub>] 1.000 1.000 1.000  
 Bauteilfließgrenze (N/mm<sup>2</sup>) [σ<sub>FK</sub>] 623.181 623.181 359.794  
 Sicherheit Fließgrenze [S] 3.977  
 Sollsicherheit [S<sub>min</sub>] 1.200  
 Resultat (%) [S/S<sub>min</sub>] 331.4

Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss [S] 16.928  
 Sollsicherheit [S<sub>min</sub>] 1.200  
 Resultat (%) [S/S<sub>min</sub>] 1410.7

## 6.2.2 Querschnitt 'B-B' Wellenabsatz

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm) [y] 603.000  
 Aussendurchmesser (mm) [d<sub>a</sub>] 130.000  
 Innendurchmesser (mm) [d<sub>i</sub>] 70.000

Kerbwirkung Wellenabsatz  
 [D, r, t] (mm) 135.000 0.500 2.500  
 Mittlere Rauheit (μm) [R<sub>z</sub>] 8.000

Zug/Druck Biegung Torsion Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [F<sub>zdm</sub>, M<sub>bm</sub>, T<sub>m</sub>, F<sub>qm</sub>] 0.0 0.0 13290.0 0.0  
 Ausschlag (Amplitude) [F<sub>zda</sub>, M<sub>ba</sub>, T<sub>a</sub>, F<sub>qa</sub>] 0.0 18.2 13290.0 149.2  
 Maximalwert [F<sub>zdmax</sub>, M<sub>bmax</sub>, T<sub>max</sub>, F<sub>qmax</sub>] 0.0 18.2 26580.0 149.2

Maximalwert (Statische Sicherheit) 0.0 30.9 45186.0 253.7

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm<sup>2</sup>) (mm<sup>3</sup>)

[A, W<sub>b</sub>, W<sub>t</sub>] 9424.8 197557.8 395115.7

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[σ<sub>zdm</sub>, σ<sub>bm</sub>, τ<sub>m</sub>, τ<sub>qm</sub>] (N/mm<sup>2</sup>) 0.000 0.000 33.636 0.000  
 [σ<sub>zda</sub>, σ<sub>ba</sub>, τ<sub>a</sub>, τ<sub>qa</sub>] (N/mm<sup>2</sup>) 0.000 0.092 33.636 0.030  
 [σ<sub>zdmax</sub>, σ<sub>bmax</sub>, τ<sub>max</sub>, τ<sub>qmax</sub>] (N/mm<sup>2</sup>) 0.000 0.156 114.361 0.051

Technologischer Grösseneinfluss [K<sub>1</sub>(σ<sub>B</sub>)] 0.733

	[K1( $\sigma_S$ )]	0.733		
		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[ $\alpha$ ]	3.571	3.419	2.074
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	5.020	5.020	2.300
Stützziffer	[n]	1.447	1.447	1.303
Kerbwirkungszahl	[ $\beta$ ]	2.467	2.363	1.592
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.810	0.810
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.872	0.872	0.927
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.614	3.065	2.046

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_mV$ ]	58.259		
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\tau_mV$ ]	33.636		
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{WK}$ ]	134.627	143.503	128.994
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ $\psi\sigma_K$ ]	0.083	0.089	0.079
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{ADK}$ ]	0.011	0.982	119.538
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]	3.372		
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]	1.200		
Resultat (%)	[S/Smin]	281.0		

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[ $\gamma_F$ ]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{FK}$ ]	623.181	623.181	359.794
Sicherheit Fließgrenze	[S]	3.146		
Sollsicherheit	[Smin]	1.200		
Resultat (%)	[S/Smin]	262.2		

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]	9.686		
Sollsicherheit	[Smin]	1.200		
Resultat (%)	[S/Smin]	807.2		

## 6.2.3 Querschnitt 'C-C'

### Press-Sitz

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	4.059		
Aussendurchmesser (mm)	[da]	124.000		
Innendurchmesser (mm)	[di]	70.000		
Kerbwirkung		Press-Sitz		
Charakteristik:		Fester Presssitz		
Mittlere Rauheit ( $\mu\text{m}$ )	[Rz]	8.000		

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Belastung: (N) (Nm)					
Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	0.0	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	0.0	0.0	2.6
Maximalwert	[Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	0.0	0.0	2.6

Maximalwert (Statische Sicherheit)		0.1	0.0	0.0	4.4
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, W <sub>b</sub> , W <sub>t</sub> ]		8227.8	168172.9	336345.8	
Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )					
[σ <sub>zdm</sub> , σ <sub>bm</sub> , τ <sub>m</sub> , τ <sub>qm</sub> ] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	0.000	0.000	0.000
[σ <sub>zda</sub> , σ <sub>ba</sub> , τ <sub>a</sub> , τ <sub>qa</sub> ] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	0.000	0.000	0.001
[σ <sub>zdmax</sub> , σ <sub>bmax</sub> , τ <sub>max</sub> , τ <sub>qmax</sub> ] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	0.000	0.000	0.001
Technologischer Grösseneinfluss	[K1(σB)]				0.733
	[K1(σS)]				0.733
		Zug/Druck	Biegung	Torsion	
Kerbwirkungszahl	[β(dB)]	2.580	2.580	1.680	
[dB] (mm) = 40.0					
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.923	0.923	0.958	
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.954	0.954	0.975	
Kerbwirkungszahl	[β]	2.667	2.667	1.710	
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.813	0.813	
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	1.000	1.000	1.000	
Rauheitsfaktor ist gemäss Norm in der Kerbwirkungszahl inbegriffen					
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000	
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.667	3.281	2.104	
Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:					
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>mV</sub> ]				0.000
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τ <sub>mV</sub> ]				0.000
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>WK</sub> ]	131.967	134.063	125.468	
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.081	0.082	0.077	
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	131.946	134.042	125.457	
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]				9999.990
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[S <sub>min</sub> ]				1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]				1000000.0
Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:					
Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000	
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000	
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	623.181	623.181	359.794	
Sicherheit Fließgrenze	[S]				9999.990
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]				1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]				1000000.0
Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:					
Sicherheit Anriss	[S]				9999.990
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]				1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]				833332.5

## 6.2.4 Querschnitt 'D-D'

### Zahnwelle/Kerbverzahnung

Kommentar

Y= 767.00...791.00mm

Position (Y-Koordinate) (mm)

[y]

741.000

Aussendurchmesser (mm)	[da]			125.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]			0.000	
Kerbwirkung			Zahnwelle/Kerbverzahnung		
ISO 4156:2021, DIN 5480:2005					
[da, df, z, mn] (mm)	124.500120.530	49	6.000		
Mittlere Rauheit ( $\mu\text{m}$ )	[Rz]			8.000	
		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Belastung: (N) (Nm)					
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		0.0	0.0	1329.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		0.0	4.4	1329.0	44.4
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		0.0	4.4	2658.0	44.4
Maximalwert (Statische Sicherheit)					
		0.0	7.5	4518.6	75.5
Querschnitt, Widerstandsmomente: ( $\text{mm}^2$ ) ( $\text{mm}^3$ )					
[A, Wb, Wt]		11409.9	171903.8	343807.5	
Spannungen: ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )					
[ $\sigma_{\text{zdm}}$ , $\sigma_{\text{bm}}$ , $\tau_{\text{m}}$ , $\tau_{\text{qm}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )		0.000	0.000	3.866	0.000
[ $\sigma_{\text{zda}}$ , $\sigma_{\text{ba}}$ , $\tau_{\text{a}}$ , $\tau_{\text{qa}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )		0.000	0.026	3.866	0.005
[ $\sigma_{\text{zdmax}}$ , $\sigma_{\text{bmax}}$ , $\tau_{\text{max}}$ , $\tau_{\text{qmax}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )		0.000	0.043	13.143	0.009
Technologischer Grösseneinfluss					
	[K1( $\sigma_{\text{B}}$ )]			0.733	
	[K1( $\sigma_{\text{S}}$ )]			0.733	
		Zug/Druck	Biegung	Torsion	
Kerbwirkungszahl					
[dB] (mm) = 29.0	[ $\beta$ (dB)]	1.000	1.000	1.000	
Geometrischer Grösseneinfluss					
	[K3(d)]	1.000	1.000	1.000	
	[K3(dB)]	1.000	1.000	1.000	
Kerbwirkungszahl					
	[ $\beta$ ]	1.000	1.000	1.000	
Geometrischer Grösseneinfluss					
	[K2(d)]	1.000	0.812	0.812	
Einflussfaktor Oberflächenrauheit					
	[KF]	1.000	1.000	1.000	
Rauheitsfaktor ist gemäss Norm in der Kerbwirkungszahl inbegriffen					
Oberflächenverfestigungsfaktor					
	[KV]	1.000	1.000	1.000	
Gesamteinflussfaktor					
	[K]	1.000	1.231	1.231	
Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:					
Vergleichsmittelspannung ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{mV}}$ ]			6.695	
Vergleichsmittelspannung ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\tau_{\text{mV}}$ ]			3.866	
Bauteilwechselfestigkeit ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )					
	[ $\sigma_{\text{WK}}$ ]	351.914	357.269	214.361	
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.					
	[ $\psi\sigma_{\text{K}}$ ]	0.250	0.255	0.139	
Ertragbare Amplitude ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )					
	[ $\sigma_{\text{ADK}}$ ]	0.093	2.366	179.897	
Sicherheit gegen Ermüdung					
	[S]			41.594	
Sollsicherheit gegen Ermüdung					
	[Smin]			1.200	
Resultat (%)					
	[S/Smin]			3466.1	
Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:					
Statische Stützziffer					
	[K2F]	1.000	1.000	1.000	
Erhöhungsfaktor					
	[ $\gamma_{\text{F}}$ ]	1.000	1.000	1.000	
Bauteilfließgrenze ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )					
	[ $\sigma_{\text{FK}}$ ]	623.181	623.181	359.794	
Sicherheit Fließgrenze					
	[S]			27.376	
Sollsicherheit					
	[Smin]			1.200	
Resultat (%)					
	[S/Smin]			2281.3	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]	174.712
Sollsicherheit	[Smin]	1.200
Resultat (%)	[S/Smin]	14559.3

## 6.2.5 Querschnitt 'E-E'

### Zahnwelle/Kerbverzahnung

Kommentar	Y= 920.00...995.00mm		
Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	676.218	
Aussendurchmesser (mm)	[da]	125.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]	70.000	
Kerbwirkung	Zahnwelle/Kerbverzahnung		
ISO 4156:2021, DIN 5480:2005			
[da, df, z, mn] (mm)	124.500120.530 49 6.000		
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]	8.000	

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	13290.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	9.2	13290.0	98.2
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	9.2	26580.0	98.2

Maximalwert (Statische Sicherheit)    0.0    15.6    45186.0    166.9

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm<sup>2</sup>) (mm<sup>3</sup>)

[A, Wb, Wt]	7561.4	152347.0	304694.0
-------------	--------	----------	----------

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	43.618	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.060	43.618	0.025
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.102	148.300	0.042

Technologischer Grösseneinfluss    [K1(σB)]    0.733

[K1(σS)]    0.733

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Kerbwirkungszahl	[β(dB)]	1.000	1.000	1.000
[dB] (mm) = 29.0				
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	1.000	1.000	1.000
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.812	0.812
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	1.000	1.000	1.000
Rauheitsfaktor ist gemäss Norm in der Kerbwirkungszahl inbegriffen				
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.000	1.231	1.231

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	75.548
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]	43.618
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	351.914    357.269    214.361

Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ $\psi\sigma_K$ ]	0.250	0.255	0.139
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{ADK}$ ]	0.008	0.495	179.897
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			3.688
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			307.4

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K <sub>2F</sub> ]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[ $\gamma_F$ ]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{FK}$ ]	623.181	623.181	359.794
Sicherheit Fließgrenze	[S]			2.426
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			202.2

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			15.504
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			1292.0

## 6.2.6 Querschnitt 'F-F'

### Glatte Welle

Kommentar	Y= 920.00...995.00mm			
Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			428.196
Aussendurchmesser (mm)	[da]			135.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			70.000
Kerbwirkung		Glatte Welle		
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]			8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert	[Fz <sub>dm</sub> , Mb <sub>m</sub> , T <sub>m</sub> , Fq <sub>m</sub> ]	0.0	0.0	13290.0	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fz <sub>da</sub> , Mb <sub>a</sub> , Ta, Fq <sub>a</sub> ]	0.0	56.5	13290.0	289.7
Maximalwert	[Fz <sub>dmax</sub> , Mb <sub>max</sub> , T <sub>max</sub> , Fq <sub>max</sub> ]	0.0	56.5	26580.0	289.7

Maximalwert (Statische Sicherheit)

		0.0	96.1	45186.0	492.5
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )	[A, W <sub>b</sub> , W <sub>t</sub> ]	10465.4	224086.2	448172.4	

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[ $\sigma_{zdm}$ , $\sigma_{bm}$ , $\tau_m$ , $\tau_{qm}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	0.000	29.654	0.000
[ $\sigma_{zda}$ , $\sigma_{ba}$ , $\tau_a$ , $\tau_{qa}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	0.252	29.654	0.052
[ $\sigma_{zdmax}$ , $\sigma_{bmax}$ , $\tau_{max}$ , $\tau_{qmax}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	0.429	100.823	0.088

Technologischer Grösseneinfluss

[K <sub>1</sub> ( $\sigma_B$ )]				0.733
[K <sub>1</sub> ( $\sigma_S$ )]				0.733

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Kerbwirkungszahl	[ $\beta$ ]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K <sub>2</sub> (d)]	1.000	0.807	0.807
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.872	0.872	0.927
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000

Gesamteinflussfaktor	[K]	1.147	1.386	1.318
Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:				
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]			51.362
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]			29.654
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	306.932	317.461	200.189
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.211	0.220	0.128
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.012	3.046	177.413
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			5.361
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			446.7
Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:				
Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	623.181	623.181	359.794
Sicherheit Fließgrenze	[S]			3.569
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			297.4
Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:				
Sicherheit Anriss	[S]			22.764
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			1897.0

## 6.2.7 Querschnitt 'G-G'

### Glatte Welle

Kommentar	Y= 822.00...851.00mm				
Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			621.000	
Aussendurchmesser (mm)	[da]			130.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]			70.000	
Kerbwirkung		Glatte Welle			
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]			8.000	
		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Belastung: (N) (Nm)					
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		0.0	0.0	13290.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		0.0	15.6	13290.0	136.2
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		0.0	15.6	26580.0	136.2
Maximalwert (Statische Sicherheit)		0.0	26.5	45186.0	231.5
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt]		9424.8	197557.8	395115.7	
Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )					
[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	0.000	33.636	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	0.079	33.636	0.027
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	0.134	114.361	0.046
Technologischer Grösseneinfluss	[K1(σB)]				0.733
	[K1(σS)]				0.733

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.810	0.810
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.872	0.872	0.927
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.147	1.382	1.315

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]			58.259
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]			33.636

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	306.932	318.347	200.776
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.211	0.221	0.129
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.011	0.843	177.867
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			4.739
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			394.9

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	623.181	623.181	359.794
Sicherheit Fließgrenze	[S]			3.146
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			262.2

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			20.100
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			1675.0

## 6.2.8 Querschnitt 'H-H'

### Wellenabsatz

Kommentar	Y= 822.00...851.00mm			
Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			651.000
Aussendurchmesser (mm)	[da]			125.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			70.000
Kerbwirkung			Wellenabsatz	
[D, r, t] (mm)	130.000	2.000	2.500	
Mittlere Rauheit (μm)		[Rz]		8.000

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Belastung: (N) (Nm)					
Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	13290.0	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	11.8	13290.0	114.5
Maximalwert	[Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	11.8	26580.0	114.5
Maximalwert (Statische Sicherheit)		0.0	20.1	45186.0	194.6
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt]		8423.4	172890.2	345780.4	

Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )				
[σ <sub>zdm</sub> , σ <sub>bm</sub> , τ <sub>m</sub> , τ <sub>qm</sub> ] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	38.435	0.000
[σ <sub>zda</sub> , σ <sub>ba</sub> , τ <sub>a</sub> , τ <sub>qa</sub> ] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.068	38.435	0.026
[σ <sub>zdmax</sub> , σ <sub>bmax</sub> , τ <sub>max</sub> , τ <sub>qmax</sub> ] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.116	130.678	0.044

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(σB)]			0.733
	[K1(σS)]			0.733

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[α]	2.275	2.124	1.501
Bezogenes Spannungsgefälle	[G]	1.328	1.328	0.575
Stützziffer	[n]	1.230	1.230	1.151
Kerbwirkungszahl	[β]	1.850	1.727	1.304
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.812	0.812
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.872	0.872	0.927
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.996	2.272	1.685

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>mV</sub> ]			66.571
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τ <sub>mV</sub> ]			38.435

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>WK</sub> ]	176.294	193.574	156.670
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.111	0.124	0.098
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.009	0.640	142.720
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			3.451
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			287.6

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	623.181	623.181	359.794
Sicherheit Fließgrenze	[S]			2.753
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			229.4

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			11.718
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]			1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]			976.5

## 6.2.9 Querschnitt 'J-J'

### Wellenabsatz

Kommentar	Y= 86.50...107.50mm			
Position (Y-Koordinate) (mm)		[y]		240.000
Aussendurchmesser (mm)		[da]		135.000
Innendurchmesser (mm)		[di]		70.000
Kerbwirkung			Wellenabsatz	
[D, r, t] (mm)	140.000	2.000	2.500	
Mittlere Rauheit (μm)		[Rz]		8.000

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Belastung: (N) (Nm)					
Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	13290.0	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	125.3	13290.0	441.0
Maximalwert	[Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	125.3	26580.0	441.0
Maximalwert (Statische Sicherheit)					
		0.0	213.0	45186.0	749.7
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt]		10465.4	224086.2	448172.4	
Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )					
[σzdm, σbm, τm, τqm]	(N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	29.654	0.000
[σzda, σba, τa, τqa]	(N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.559	29.654	0.079
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax]	(N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.950	100.823	0.135
Technologischer Grösseneinfluss					
	[K1(σB)]			0.733	
	[K1(σS)]			0.733	
Zug/Druck    Biegung    Torsion					
Formzahl	[α]	2.285	2.135	1.504	
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	1.328	1.328	0.575	
Stützziffer	[n]	1.230	1.230	1.151	
Kerbwirkungszahl	[β]	1.858	1.736	1.307	
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.807	0.807	
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.872	0.872	0.927	
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000	
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.004	2.297	1.698	
Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:					
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]			51.362	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]			29.654	
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	175.594	191.505	155.418	
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.111	0.122	0.097	
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.012	6.710	141.691	
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]			4.439	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]			1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]			369.9	
Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:					
Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000	
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000	
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	623.181	623.181	359.794	
Sicherheit Fließgrenze	[S]			3.569	
Sollsicherheit	[Smin]			1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]			297.4	
Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:					
Sicherheit Anriss	[S]			15.065	
Sollsicherheit	[Smin]			1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]			1255.4	

## 6.2.10 Querschnitt 'L-L'

## Eingabe FE-Resultate

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	210.000
Aussendurchmesser (mm)	[da]	140.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	70.000
Kerbwirkung	Eingabe FE-Resultate	
Mittlere Rauheit ( $\mu\text{m}$ )	[Rz]	8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	13290.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	138.9	13290.0	467.6
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	138.9	26580.0	467.6

Maximalwert (Statische Sicherheit)    0.0    236.1    45186.0    794.9

Querschnitt, Widerstandsmomente: ( $\text{mm}^2$ ) ( $\text{mm}^3$ )

[A, Wb, Wt]	11545.4	252554.6	505109.2
-------------	---------	----------	----------

Spannungen: ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

[ $\sigma_{\text{zak}}$ , $\sigma_{\text{pak}}$ , $\tau_{\text{ak}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	0.000	0.000	0.000
[ $\sigma_{\text{z,pmk}}$ , $\sigma_{\text{p,pmk}}$ , $\tau_{\text{pmk}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	0.000	0.000	0.000
[ $\sigma_{\text{zaKN}}$ , $\sigma_{\text{paKN}}$ , $\tau_{\text{aKN}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	0.000	0.000	0.000

Vergleichsspannung: ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

Nachweisknoten ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{va}}$ ]	0.000
Nachbarknoten ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{vaN}}$ ]	0.000

Technologischer Grösseneinfluss

[K1( $\sigma_{\text{B}}$ )]	0.733
[K1( $\sigma_{\text{S}}$ )]	0.733

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Vergleichsmittelspannung ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{pmvK}}$ ]	0.000
Vergleichsmittelspannung ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\tau_{\text{pmvK}}$ ]	0.000

### Belastung Biegung

[ $\sigma_{\text{z,pmk}}$ , $\sigma_{\text{p,pmk}}$ , $\tau_{\text{pmk}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	0.000	0.000	0.000
Bauteilwechselfestigkeit ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{WK}}$ ]	nan	nan
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ $\psi\sigma_{\text{K}}$ ]	nan	nan
Ertragbare Amplitude ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{ADK}}$ ]	nan	179.897

### Belastung Torsion

[ $\sigma_{\text{z,pmk}}$ , $\sigma_{\text{p,pmk}}$ , $\tau_{\text{pmk}}$ ] ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	0.000	0.000	0.000
Bauteilwechselfestigkeit ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{WK}}$ ]	nan	nan
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ $\psi\sigma_{\text{K}}$ ]	nan	nan
Ertragbare Amplitude ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	[ $\sigma_{\text{ADK}}$ ]	nan	179.897

Sicherheit gegen Ermüdung	[S]	9999.990
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]	1.200
Resultat (%)	[S/Smin]	1000000.0

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[yF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfliessgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	623.181	623.181	359.794
Sicherheit Fließgrenze	[S]			4.022
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			335.2

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]			9999.990
Sollsicherheit	[Smin]			1.200
Resultat (%)	[S/Smin]			833332.5

## 6.2.11 Querschnitt 'K-K' Eigene Eingabe

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			80.000
Aussendurchmesser (mm)	[da]			160.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			70.000
Kerbwirkung		Eigene Eingabe		
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]			8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Belastung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-79924.6	0.0	13290.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	79924.6	8.1	13290.0	221.0
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-159849.2	8.1	26580.0	221.0

Maximalwert (Statische Sicherheit) -271743.7    13.8    45186.0    375.8

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm<sup>2</sup>) (mm<sup>3</sup>)

[A, Wb, Wt]	8227.8	168172.9	336345.8	
-------------	--------	----------	----------	--

Spannungen: (N/mm<sup>2</sup>)

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-9.714	0.000	39.513	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	9.714	0.048	39.513	0.051
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	-33.027	0.082	134.344	0.087

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(σB)]			0.733
	[K1(σS)]			0.733

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Kerbwirkungszahl	[β(dB)]	0.000	0.000	0.000
[dB] (mm) = 0.0				
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.000	0.000	0.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.000	0.000	0.000
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.813	0.813
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.872	0.872	0.927
Oberflächenverfestigungsfaktor	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.147	1.377	1.310

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]			67.745
---	-------	--	--	--------

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\tau_{mV}$ ]				39.113
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{WK}$ ]	306.932	319.456	201.511	
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ $\psi\sigma_K$ ]	0.211	0.222	0.129	
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{ADK}$ ]	78.151	0.445	178.641	
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]				3.112
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[S <sub>min</sub> ]				1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]				259.3

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K <sub>2F</sub> ]	1.000	1.000	1.000	
Erhöhungsfaktor	[ $\gamma_F$ ]	1.000	1.000	1.000	
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{FK}$ ]	623.181	623.181	359.794	
Sicherheit Fließgrenze	[S]				2.652
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]				1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]				221.0

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]				19.348
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]				1.200
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]				1612.3

Hinweise:

- Die Querkraft wird bei der Berechnung nach DIN 743 nicht berücksichtigt.
- Querschnitt mit Presssitz: Die Kerbfaktoren für den Fall 'Leichter Presssitz' sind nicht mehr definiert in DIN 743. Die Faktoren werden aus der FKM-Richtlinie übernommen, ausser die Faktoren für den 'festen Presssitz' nach DIN sind kleiner, dann werden diese verwendet.

Ende Protokoll (Zeilen: 1813)

## Keilwelle

### Carbonscheibe Außen-keilwelle

Geändert am	06.07.2025, 20:31:05
Geändert von	vom44604

OTH Regensburg, DE - Regensburg (4626)  
KISSsoft Release 2024 -SP2

## Inhalt

1	Meldungen	3
2	Übersicht	3
3	Welle	3
4	Nabe	4
5	Bemerkungen	4

## 1 Meldungen



Berechnung ist konsistent.



Die Aufnahme der Kraft ist üblicherweise in der Mitte der Nut.  $a_0$  wäre dann die tragende Länge/2 = 3.50 mm. Ihre Eingabe ist möglicherweise unkorrekt.

## 2 Übersicht

Rechenmethode: G. Niemann, Maschinenelemente I, 4.Auflage, 2005.

Bezeichnung	Eigene Eingabe	
Innendurchmesser (mm)	[d1]	351.00
Aussendurchmesser (mm)	[d2]	359.00
Mittlerer Durchmesser (mm)	[dm]	355.00
Anzahl Keile	[nK]	10.00
Breite (mm)	[b]	50.00
Höhe Keil (mm)	[h]	4.00
Tragende Länge (mm)	[l <sub>tr</sub> ]	7.00
Längenfaktor	[k <sub>l</sub> ]	1.12
Anteifaktor (äquivalente Last)	[k <sub>φ</sub> β <sub>eq</sub> ]	1.30
Anteifaktor (maximale Last)	[k <sub>φ</sub> β <sub>max</sub> ]	1.10
Nenn Drehmoment (Nm)	[T <sub>nenn</sub> ]	1200.00
Anwendungsfaktor	[K <sub>A</sub> ]	1.20
Betriebsdrehmoment (Nm)	[T <sub>eq</sub> ]	1440.00
Maximaldrehmoment (Nm)	[T <sub>max</sub> ]	1440.00
Häufigkeit der Lastspitze	[NL]	1000
Drehmomentverlauf: Kein Wechselmoment		
Lastrichtungswchselfaktor	[f <sub>w</sub> ]	1.00
Herstellungstoleranz nach Niemann		H7

## 3 Welle

Werkstoff	C45 (1)	
Typ	Vergütungsstahl	
Behandlung	unlegiert, vergütet	
Bruchfestigkeit (Bauteil-Rohdurchmesser) (N/mm <sup>2</sup> )	[R <sub>m</sub> ]	590.00
Durchmesserbereich (mm)	[d]	( 250.0 -500.0 )
Streckgrenze (Bauteil-Rohdurchmesser) (N/mm <sup>2</sup> )	[R <sub>p</sub> ]	325.00
Durchmesserbereich (mm)	[d]	( 250.0 -500.0 )
Bauteil-Rohdurchmesser (mm)	[d <sub>eff</sub> ]	360
Äquivalente wirksame Flächenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[p <sub>eq</sub> ]	42.19
Maximale wirksame Flächenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[p <sub>max</sub> ]	42.19
Stützfaktor	[f <sub>s</sub> ]	1.30
Lastspitzenfaktor	[f <sub>L</sub> ]	1.50
Härteeinflussfaktor	[f <sub>H</sub> ]	1.00
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[p <sub>zuleq</sub> ]	422.50
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[p <sub>zulmax</sub> ]	633.75
f <sub>w</sub> ·p <sub>zul</sub> /p <sub>eq</sub>		10.02
f <sub>L</sub> ·p <sub>zul</sub> /p <sub>max</sub>		15.02

Sollsicherheit	1.00
Minimale Sicherheit	10.02

## 4 Nabe

Werkstoff	C45 (1)	
Typ	Vergütungsstahl	
Behandlung	unlegiert, vergütet	
Bruchfestigkeit (Bauteil-Rohdurchmesser) (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	590.00
Durchmesserbereich (mm)	[d]	( 250.0 -500.0 )
Streckgrenze (Bauteil-Rohdurchmesser) (N/mm <sup>2</sup> )	[Rp]	325.00
Durchmesserbereich (mm)	[d]	( 250.0 -500.0 )
Bauteil-Rohdurchmesser (mm)	[deff]	380
Kleiner Aussendurchmesser (mm)	[D1]	370.00
Grosser Aussendurchmesser (mm)	[D2]	370.00
Breite des Nabenteils mit D2 (mm)	[c]	7.00
Ersatzdurchmesser Nabe (mm)	[D]	370.00
Abstand a0 (mm)	[a0]	0.00
Äquivalente wirksame Flächenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[peq]	42.19
Maximale wirksame Flächenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pmax]	42.19
Stützfaktor	[fs]	1.50
Lastspitzenfaktor	[fL]	1.50
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.00
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzuleq]	487.50
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzulmax]	731.25
fw·pzul/peq		11.56
fL·pzul/pmax		17.33
Sollsicherheit		1.00
Minimale Sicherheit		11.56

## 5 Bemerkungen

Pressbelastung:  $p(eq,max) = k\phi\beta(eq,max) \cdot k\lambda \cdot T \cdot 2000 / (dm \cdot ltr \cdot h \cdot z)$

Lastrichtungswechselfaktor nach DIN 6892:1998/ Bild 6

$pzuleq = fs \cdot fH \cdot fw \cdot (Rm, Rp)$

$pzulmax = fs \cdot fH \cdot fL \cdot (Rm, Rp)$

Rm bei sprödem Werkstoff; Rp bei duktilem Werkstoff

Ende Protokoll (Zeilen: 126)

# Polygon

## Polygonzug\_Antriebswelle

Geändert am 06.07.2025, 20:31:48  
Geändert von vom44604

OTH Regensburg, DE - Regensburg (4626)  
KISSsoft Release 2024 -SP2

## Inhalt

1	Meldungen	3
2	Übersicht	3
3	Welle	3
4	Nabe	4
5	Bemerkungen	4

## 1 Meldungen



Berechnung ist konsistent.



Für diesen Rohdurchmesser (140 mm) des Werkstoffs 18CrNiMo7-6 sind in der Datenbank keine Werte für Bruchfestigkeit und Streckgrenze vorhanden!  
Geschätzte Werte werden angenommen.

Zur Eingabe von Werkstoffdaten rufen Sie das KISSsoft Datenbanktool im Menü Extras auf.



Für diesen Rohdurchmesser (210 mm) des Werkstoffs 18CrNiMo7-6 sind in der Datenbank keine Werte für Bruchfestigkeit und Streckgrenze vorhanden!  
Geschätzte Werte werden angenommen.

Zur Eingabe von Werkstoffdaten rufen Sie das KISSsoft Datenbanktool im Menü Extras auf.

## 2 Übersicht

Rechenmethode: DIN 32712-2:2012

Bezeichnung	Polygon P4C-Profil DIN 32712-1:2009	
Aussenkreisdurchmesser (mm)	[d1]	140.00
Innenkreisdurchmesser (mm)	[d2]	124.00
Bruchfestigkeit (Wandstärke) (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	600.00
Exzentrizität (mm)	[e]	8.00
Theoretischer Durchmesser (mm)	[dr]	140.00
Exzentrizität (mm)	[er]	4.00
Tragende Länge (mm)	[ltr]	90.00
Aussendurchmesser Nabe (mm)	[daN]	200.00
Faktor Nabenwand	[y]	0.70
Nenn Drehmoment (Nm)	[Tnenn]	26581.00
Anwendungsfaktor	[KA]	1.20
Betriebsdrehmoment (Nm)	[T]	31897.20
Biegemoment (Nm)	[Mb]	0.00

## 3 Welle

Werkstoff	18CrNiMo7-6		
Typ	Einsatzstahl		
Behandlung	einsatzgehärtet		
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	600.00	(d= 0 mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Rp]	425.00	(d= 0 mm)
Bauteil-Rohdurchmesser (mm)	[deff]	140	
Polares Widerstandsmoment (mm <sup>3</sup> )	[Wp]	381324.80	
Torsionsspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[Tau]	83.65	
Äquitoriales Widerstandsmoment (mm <sup>3</sup> )	[Wx]	285993.60	
Biegespannung (N/mm <sup>2</sup> )	[SigB]	0.00	
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[p]	129.38	
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzul]	382.50	
pzul / pmax		2.96	
Sollsicherheit		1.00	
Minimale Sicherheit		2.96	

## 4 Nabe

Werkstoff		18CrNiMo7-6	
Typ		Einsatzstahl	
Behandlung		einsatzgehärtet	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	600.00	(d= 0 mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Rp]	425.00	(d= 0 mm)
Bauteil-Rohdurchmesser (mm)	[deff]	210	
Aussendurchmesser Nabe (mm)	[D1]	200.00	
Kleinste Nabenwanddicke (mm)	[s]	20.21	
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[p]	129.38	
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzul]	382.50	
pzul / pmax		2.96	
Sollsicherheit		1.00	
Minimale Sicherheit		2.96	

## 5 Bemerkungen

$$e_r = (d_2 - d_3) / 4; \quad d_r = d_3 + 2 \cdot e$$

$$\text{Kleinste Nabenwanddicke:} \quad s = y \cdot (T / (R_p \cdot l))^{0.5}$$

$$y = 0.7$$

$$p = T / (l \cdot d_r \cdot (\pi \cdot e_r + 0.05 \cdot d_r))$$

$$p_{zul} = 0.9 \cdot R_p$$

Ende Protokoll (Zeilen: 113)

## Presssitz, zylindrisch

Abtrieb\_Presssitz\_H5\_x6

Geändert am	06.07.2025, 20:33:38
Geändert von	vom44604

OTH Regensburg, DE - Regensburg (4626)  
KISSsoft Release 2024 -SP2

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Meldungen</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Übersicht</b>	<b>3</b>
2.1	Welle	4
2.2	Nabe	4
<b>3</b>	<b>Betrieb / Montage / Demontage</b>	<b>5</b>

## 1 Meldungen



Berechnung ist konsistent.



Für diesen Rohdurchmesser (160 mm) des Werkstoffs 18CrNiMo7-6 sind in der Datenbank keine Werte für Bruchfestigkeit und Streckgrenze vorhanden!  
Geschätzte Werte werden angenommen.

Zur Eingabe von Werkstoffdaten rufen Sie das KISSsoft Datenbanktool im Menü Extras auf.



Für diesen Rohdurchmesser (210 mm) des Werkstoffs 18CrNiMo7-6 sind in der Datenbank keine Werte für Bruchfestigkeit und Streckgrenze vorhanden!  
Geschätzte Werte werden angenommen.

Zur Eingabe von Werkstoffdaten rufen Sie das KISSsoft Datenbanktool im Menü Extras auf.

## 2 Übersicht

Rechenmethode: Nach DIN 7190-1:2017, elastischer Bereich  
mit Erweiterungen wie Fliehkraft, Mikrogleiten, Montage, etc.  
für Quer- oder Längspressverband

Durchmesser Welle (mm)	[DiA]/[DiI]	150.00 /100.00
Durchmesser Nabe (mm)	[DaA]/[DaI]	200.00 /150.00
Presssitzlänge (mm)	[I]	93.00
Fugendurchmesser (mm)	[DF]	150.00
mit speziellen Abmassen:		
Oberes Abmass Welle (µm)	[AoI]	325.0
Unteres Abmass Welle (µm)	[AuI]	300.0
Toleranzmass Welle (µm)	[TI]	25.0
Oberes Abmass Nabe (µm)	[AoA]	25.0
Unteres Abmass Nabe (µm)	[AuA]	0.0
Toleranzmass Nabe (µm)	[TA]	25.0
Grösstes Übermass (µm)	[Po]	325.0
Kleinstes Übermass (µm)	[Pu]	275.0
Nenndrehmoment (Nm)	[T]	13650.00
Anwendungsfaktor	[KA]	1.20
Betriebsdrehmoment (Nm)	[Tb]	16380.00
Axialkraft (N)	[FA]	0.00
Biegemoment (Nm)	[Mb]	0.00
Radialkraft (N)	[Fr]	0.00
Umfangskraft (N)	[Fu]	218400.00
Drehzahl (1/min)	[n]	0.00
Übermass (µm)	[P]	300.0 ( 275.0 .. 325.0 )
Setzung (µm)	[s]	3.84
Wirksames Übermass bei 20°C(68°F) (µm)	[Pw]	296.16 ( 271.2 .. 321.2 )
Wirksames Übermass bei Betriebstemp. (µm)	[PwTh]	296.16 ( 271.2 .. 321.2 )
Betriebstemperatur Welle (°C)	[ThB]	20.0
Betriebstemperatur Nabe (°C)	[ThB]	20.0
Pressbeanspruchung durch		
- Übermass (nach Montage) (N/mm²)	[pM]	65.90 ( 60.34 .. 71.47 )
- Übermass (Betrieb) (N/mm²)	[p]	65.90 ( 60.34 .. 71.47 )
- Biegemoment (N/mm²)	[pb]	0.00
- Radialkraft (N/mm²)	[pr]	0.00

Reibungskoeffizient, längs	[μa]	0.100
Reibungskoeffizient, umfang	[μu]	0.100
Sicherheit gegen Rutschen	[Sr]	1.32 ( 1.21 .. 1.43 )
Sollsicherheit Rutschen	[SSr]	1.20

Vergleichsspannung nach Gestaltänderungshypothese

$$\sigma_V = (\sigma_R^2 + \tau_T^2 - \sigma_R \cdot \tau_T)^{0.5}$$

## 2.1 Welle

Werkstoff	18CrNiMo7-6		
Elastizitätsmodul (N/mm <sup>2</sup> )	[E]	206000.00	
Poissonzahl (-)	[ν]	0.30	
Dichte (kg/m <sup>3</sup> )	[ρ]	7830.00	
Wärmeausdehnungskoeffizient (10 <sup>-6</sup> /K)	[α]	11.50	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	600.00	(d= 0 mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Rp]	425.00	(d= 0 mm)
Bauteil-Rohdurchmesser (mm)	[deff]	160	
Oberfläche Rauheitsklasse	N6 Rz=4.8 (Schleifen)		
Oberflächenrauigkeit (μm)	[Rz]	4.80	
Aussendurchmesser (mm)	[DiA]	150.00	
Durchmesserzunahme im Betrieb (μm)	[ΔD]	-110.37	(-101.06 .. -119.69 )
Durchmesserzunahme im Betrieb (o/oo)	[ΔD]	-0.74	(-0.67 .. -0.80 )
Vergleichsspannung Aussenhø (N/mm <sup>2</sup> )	[σVa]	149.71	(137.07 ..162.34 )
- Radialspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σRa]	-65.90	(-60.34 ..-71.47 )
- Tangentialspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σTa]	-171.35	(-156.89 .. -185.82 )
- mit äusserer Belastung (N/mm <sup>2</sup> )	[σVaMF]	149.71	(137.07 ..162.34 )
Innendurchmesser (mm)	[DiI]	100.00	
Durchmesserzunahme im Betrieb (μm)	[ΔD]	-115.17	(-105.45 .. -124.90 )
Durchmesserzunahme im Betrieb (o/oo)	[ΔD]	-1.15	(-1.05 .. -1.25 )
Vergleichsspannung Innenø (N/mm <sup>2</sup> )	[σVi]	237.26	(217.23 ..257.28 )
- Radialspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σRi]	0.00	(-0.00 .. 0.00 )
- Tangentialspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σTi]	-237.26	(-217.23 .. -257.28 )
Sicherheit gegen Bruch	[SiRm]	2.53	( 2.76 .. 2.33 )
Sollsicherheit Bruch	[SSi.Rm]	1.50	
Sicherheit gegen Streckgrenze	[Si.Rp]	1.79	( 1.96 .. 1.65 )
Sollsicherheit Streckgrenze	[SSi.Rp]	1.00	

## 2.2 Nabe

Werkstoff	18CrNiMo7-6		
Elastizitätsmodul (N/mm <sup>2</sup> )	[EA]	206000.00	
Poissonzahl (-)	[νA]	0.30	
Dichte (kg/m <sup>3</sup> )	[ρ]	7830.00	
Wärmeausdehnungskoeffizient (10 <sup>-6</sup> /K)	[α]	11.50	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	600.00	(d= 0 mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Rp]	425.00	(d= 0 mm)
Bauteil-Rohdurchmesser (mm)	[deff]	210	
Oberfläche Rauheitsklasse	N6 Rz=4.8 (Schleifen)		
Oberflächenrauigkeit (μm)	[Rz]	4.80	
Aussendurchmesser (mm)	[DaA]	200.00	
Durchmesserzunahme im Betrieb (μm)	[ΔD]	164.53	(150.64 ..178.42 )
Durchmesserzunahme im Betrieb (o/oo)	[ΔD]	0.82	( 0.75 .. 0.89 )

Vergleichsspannung Aussenø (N/mm <sup>2</sup> )	[σVa]	169.47 (155.16 ..183.77 )
- Radialspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σRa]	-0.00 ( 0.00 ..-0.00 )
- Tangentialspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σTa]	169.47 (155.16 ..183.77 )
Innendurchmesser (mm)	[DaI]	150.00
Durchmesserzunahme im Betrieb (µm)	[ΔD]	185.79 (170.10 ..201.47 )
Durchmesserzunahme im Betrieb (o/oo)	[ΔD]	1.24 ( 1.13 .. 1.34 )
Vergleichsspannung Innenø (N/mm <sup>2</sup> )	[σVi]	274.33 (251.17 ..297.49 )
- Radialspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σRi]	-65.90 (-60.34 ..-71.47 )
- Tangentialspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σTi]	235.37 (215.51 ..255.24 )
- Radialspannung mit äusserer Belastung (N/mm <sup>2</sup> )	[σRai]	-65.90 (-60.34 ..-71.47 )
- Tangentialspannung mit äusserer Belastung (N/mm <sup>2</sup> )	[σTai]	235.37 (215.51 ..255.24 )
- mit äusserer Belastung (N/mm <sup>2</sup> )	[σViMF]	274.33 (251.17 ..297.49 )
Sicherheit gegen Bruch	[Si.Rm]	2.19 ( 2.39 .. 2.02 )
Sollsicherheit Bruch	[SSi.Rm]	1.50
Sicherheit gegen Streckgrenze	[Si.Re]	1.55 ( 1.69 .. 1.43 )
Sollsicherheit Streckgrenze	[SSi.Re]	1.00

Rein elastische Beanspruchung, keine Nachrechnung des elastisch-plastischen Pressverbandes nach DIN 7190-1.

### 3 Betrieb / Montage / Demontage

Quer-Presspassung:

Fügespiel (mm)	[PsTh]	0.150
Temperaturdifferenz zum Aufziehen:		
Wellentemperatur: (°C) Nabentemperatur: [ThA] (°C)		
Montieren mit Wellentemperatur 20 °C:		
Montagetemperatur Welle (°C)	[θI]	20
Montagetemperatur Nabe (°C)	[θA]	295.362
Montieren mit Wellentemperatur -150 °C:		
Montagetemperatur Welle (°C)	[θI]	-150
Montagetemperatur Nabe (°C)	[θA]	169.710
berechnet mit Wärmeausdehnungskoeffizient		
Unterkühlen der Welle nach DIN 7190-1 (10 <sup>-6</sup> /K)	[αw]	8.50

Längs-Presspassung:

Montagetemperatur Welle (°C)	[θM]	20.00
Montagetemperatur Nabe (°C)	[θM]	20.00
Reibungskoeffizient, Längs	[μe=μa*]	1.300 ] 0.13
Aufpressen (Kraft) (kN)	[Fpress]	375.48 (343.78 ..407.17 )
Reibungskoeffizient, Längs	[μl=μa*1.600 ]	0.16
Abpressen (Kraft) (kN)	[Fpress]	462.13 (423.12 ..501.14 )

Hinweis:

- Im Press - Sitz kann Mikrogleiten auftreten!
- Entstehung von Reibkorrosion, Passungsrost.

Reibungskoeffizient	[μ]	0.16
Grenzdrehmoment Mikrogleiten (Nm)	[Tlimit]	6536.16 (5984.42 .. 7087.90 )

Hinweis zur Darstellung: Zahl-1 (Zahl-2 .. Zahl-3):

- Zahl-1 : Wert berechnet mit dem mittleren Abmass
- Zahl-2 : Wert berechnet mit dem kleinstmöglichen Abmass
- Zahl-3 : Wert berechnet mit dem grösstmöglichen Abmass

---

Hinweis: Sämtliche Dehnungen und Spannungen sind für den rein elastischen Fall berechnet.

---

Ende Protokoll (Zeilen: 206)

---

# Zahnwelle

Abtrieb außen

Geändert am 06.07.2025, 20:34:28  
Geändert von vom44604

OTH Regensburg, DE - Regensburg (4626)  
KISSsoft Release 2024 -SP2

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Meldungen</b>	3
<b>2</b>	<b>Übersicht</b>	3
<b>3</b>	<b>Zahngeometrie</b>	3
3.1	Spezielle Daten für ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989	3
<b>4</b>	<b>Werkstoffe</b>	3
4.1	Zahnrad Rauigkeiten	4
<b>5</b>	<b>Geometrie</b>	4
5.1	Bezugsprofile	4
5.2	Grunddaten	5
5.3	Durchmesser und deren Abmasse	5
<b>6</b>	<b>Prüfmasse für die Zahndicke</b>	5
6.1	Prüfmasse nach ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989 (Actual)	6
6.2	Prüfmasse nach ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989 (Effective)	6
6.3	Verdrehflankenspiel	6
<b>7</b>	<b>Verzahnungstoleranzen</b>	6
<b>8</b>	<b>Festigkeitsberechnung</b>	7
8.1	Welle	7
8.2	Nabe	7
<b>9</b>	<b>Ergänzende Daten</b>	8
9.1	Trägheitsmoment	8
<b>10</b>	<b>Modifikationen und Bestimmung der Zahnform</b>	8
10.1	Daten zur Zahnformberechnung	8
<b>11</b>	<b>Bemerkungen</b>	8
11.1	Konventionen	8
11.2	Berechnungen und Faktoren	8

## 1 Meldungen



Berechnung ist konsistent.

## 2 Übersicht

ISO 4156:2021 - volle Fussrundung, 45.0°

Welle ISO 4156 EXT 26 Z x 5.00 m x 45.0R x 6h

Nabe ISO 4156 INT 26 Z x 5.00 m x 45.0R x 7H

Zeichnungs- oder Artikelnummer:

Welle: 0.000.0

Nabe: 0.000.0

## 3 Zahngeometrie

### 3.1 Spezielle Daten für ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989

		----- Welle -----	Nabe -----
Normalmodul (mm)	[mn]	5.0000	
Normal Diametral Pitch (1/in)	[Pnd]	5.08000	
Normaleingriffswinkel (°)	[αn]	45.000	
Zähnezahl	[z]	26	-26
Zahnwellen-Teilkreisdurchmesser (mm)	[D]	130.000	-130.000
Grundkreisdurchmesser (mm)	[Db]	91.924	-91.924
Kopfkreis / Fusskreis / Formkreis:			
Dee_max, Dee_min (mm)	[Dee]	134.000 /133.948	
Dii_max, Dii_min (mm)	[Dii]		-126.052 /-126.000
Die_max, Die_min (mm)	[Die]	124.000 /123.759	
Dei_max, Dei_min (mm)	[Dei]		-136.241 /-136.000
DFe_max, DFi_min (mm)	[DFe]	125.100	-135.000
Hinweis: Gemäss ISO 4156-1:2021, Table 1, wird Die_max, Die_min, Dei_max, Dei_min mit Kopfkreistoleranz $e_{sv}/\tan(\alpha)$ berechnet.			
Schrägungswinkel am Teilkreis (°)	[β]	0.0000	
Zahnbreite (mm)	[b]	75.00	75.00
Schrägungsrichtung			Geradverzahnt

## 4 Werkstoffe

### Welle

18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet, ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernhärte  $\geq 25\text{HRC}$  Jominy J=12mm<HRC28

### Nabe

18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet, ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernhärte  $\geq 25\text{HRC}$  Jominy J=12mm<HRC28

		----- Welle -----	Nabe -----
Oberflächen-Härte		HRC 61	HRC 61
Elastizitätsmodul (N/mm <sup>2</sup> )	[E]	206000	206000

Poissonzahl	[ν]	0.300	0.300
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>B</sub> ]	600.00	600.00
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>S</sub> ]	425.00	425.00

## 4.1 Zahnrad Rauigkeiten

		----- Welle -----	Nabe -----
Mittenrauhwert R <sub>a</sub> , Flanke (μm)	[RAH]	0.00	0.00
Mittenrauhwert R <sub>a</sub> , Fuss (μm)	[RAF]	0.00	0.00
Gemittelte Rauhtiefe R <sub>z</sub> , Flanke (μm)	[RZH]	4.80	4.80
Gemittelte Rauhtiefe R <sub>z</sub> , Fuss (μm)	[RZF]	20.00	20.00

## 5 Geometrie

### 5.1 Bezugsprofile

#### Bezugsprofil von Rad 1

Bezugsprofil	ISO 4156:2021/ANSI B92.2M, grosse Fussrundung, 0.60 / 0.25 / 0.40, 45°		
Fusshöhenfaktor	[hfP*]	0.600	
Fussradiusfaktor	[ρfP*]	0.250	
	[ρfPmax*]	0.448	
Kopfhöhenfaktor	[haP*]	0.400	
Kopfradiusfaktor	[ρaP*]	0.000	
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000	
Protuberanzwinkel	[αprP]	0.000	
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000	
Kantenbrechflankenwinkel	[αKP]	0.000	
	nicht überschneidend		
Kleinster Krümmungsradius, Fussrundung (mm)	[ρmin.e/i]	1.296 / 1.298	

#### Bezugsprofil von Rad 2

Bezugsprofil	ISO 4156:2021/ANSI B92.2M, grosse Fussrundung, 0.60 / 0.25 / 0.40, 45°		
Fusshöhenfaktor	[hfP*]	0.600	
Fussradiusfaktor	[ρfP*]	0.250	
	[ρfPmax*]	0.448	
Kopfhöhenfaktor	[haP*]	0.400	
Kopfradiusfaktor	[ρaP*]	0.000	
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000	
Protuberanzwinkel	[αprP]	0.000	
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000	
Kantenbrechflankenwinkel	[αKP]	0.000	
	nicht überschneidend		

#### 5.1.1 Angaben für die Fertigbearbeitung

		----- Welle -----	Nabe -----
Fusshöhe Bezugsprofil	[hfP*]	0.600	0.600
Fussradius Bezugsprofil	[ρfP*]	0.250	0.250
Kopfhöhe Bezugsprofil	[haP*]	0.400	0.400
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000	0.000
Protuberanzwinkel (°)	[αprP]	0.000	0.000
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000	0.000
Kantenbrechflankenwinkel (°)	[αKP]	0.000	0.000

## 5.2 Grunddaten

		----- Welle -----	Nabe -----
Stirnmodul (mm)	[mt]	5.000	
Stirneingriffswinkel (°)	[αt]	45.000	
Grundschrägungswinkel (°)	[βb]	0.000	
Profilverschiebungsfaktorsumme	[Σxi]	0.0000	
Profilverschiebungsfaktor	[x]	0.0000	0.0000
Normal-Lückenweite am Fusskreis (mm)	[efn]	1.909	1.803
(mm)	[efn.e/i]	1.909 / 1.774	1.803 / 1.703
Teilkreisteilung (mm)	[pt]	15.708	
Grundkreisteilung (mm)	[pbt]	11.107	
Stirneingriffsteilung (mm)	[pet]	11.107	
Zahnhöhe (mm)	[h]	5.000	5.000
Kopfspiel theoretisch (mm)	[c]	1.000	1.000
Kopfspiel effektiv (mm)	[c.e/i]	1.146 / 1.000	1.146 / 1.000
Normalzahndicke am Kopfkreis (mm)	[san]	3.912	3.798
(mm)	[san.e/i]	3.965 / 3.818	3.848 / 3.650

## 5.3 Durchmesser und deren Abmasse

		----- Welle -----	Nabe -----
Zahnwellen-Teilkreisdurchmesser (mm)	[d]	130.000	130.000
Grundkreisdurchmesser (mm)	[db]	91.924	91.924
Kopfkreisdurchmesser (mm)	[da]	134.000	126.000
Effektiver Kopfkreisdurchmesser (mm)	[da.e/i]	134.000 / 133.948	126.000 / 126.052
Kopfkreisabmasse (mm)	[Ada.e/i]	0.000 / -0.052	0.000 / 0.052
Fusskreisdurchmesser (mm)	[df]	124.000	136.000
Effektiver Fusskreisdurchmesser (mm)	[df.e/i]	124.000 / 123.759	136.000 / 136.241
Fusskreisabmasse (mm)	[Adf.e/i]	0.000 / -0.241	-0.000 / 0.241

Hinweis: Gemäss ISO 4156-1:2021, Table 1, wird Adf.e/i mit Kopfkreistoleranz  $esv/\tan(\alpha)$  berechnet.

Fussformkreisdurchmesser (mm) [DFe,DFi.e/i] 125.100 / 0.000 135.000 / -0.000

Durchmesser, welche nicht definiert sind, werden mit 0 angegeben.

Exakte Angaben zum Fussformdurchmesser  $d_{Ff}$  mit allen Toleranzen sind im Report der Zahnformberechnung dokumentiert.

Kopfnutzkreisdurchmesser (mm)	[dNa.e/i]	134.000 / -0.000	126.000 / 126.052
Fussnutzkreisdurchmesser (mm)	[dNf.e/i]	126.000 / 126.052	134.000 / 133.948

## 6 Prüfmasse für die Zahndicke

		----- Welle -----	Nabe -----
Toleranzklasse		6	7
Zahndickentoleranz		ISO 4156 h	ISO 4156 H
Messzähnezahl	[k]	7.0000	7.0000
Zahnweite spielfrei (mm)	[Wk]	91.9239	91.9239
Messkreisdurchmesser (mm)	[dMWk.m]	129.9774	130.0381
Theor. Messkörperdurchmesser (mm)	[dm]	11.8367	10.4864
Effektiver Messkörperdurchmesser (mm)	[DMeff]	12.0000	10.5000
Diametrales Kugelmass spielfrei (mm)	[MRe/Mri-ball]	150.8407	112.2886
Diametrales Rollenmass spielfrei (mm)	[MRe/Mri-pin]	150.8407	112.2886

## 6.1 Prüfmasse nach ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989 (Actual)

	----- Welle -----	Nabe -----
Zahndicke (mm)	[Smax/Smin] 7.794 / 7.704	
Lückenweite (mm)	[Emax/Emin]	8.0947/ 7.9424
Zahndickentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Smax/min]-0.0600/-0.1505	
Zahnlückentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Emax/min]	0.2407/ 0.0884
Zahnweite (mm)	[Wk.Smax/Smin]91.8815/91.8175	
Zahnweite (mm)	[Wk.Smax/Smin]	92.0941/91.9864
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]150.7841/150.6987	
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]	112.5450/112.3828
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]150.7841/150.6987	
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]	112.5450/112.3828

## 6.2 Prüfmasse nach ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989 (Effective)

	----- Welle -----	Nabe -----
Zahndicke (mm)	[Svmax/min] 7.8540/ 7.7635	
Lückenweite (mm)	[Evmax/min]	8.0063/ 7.8540
Zahndickentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Svmax/min] 0.0000/-0.0905	
Zahnlückentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Evmax/min]	0.1523/ 0.0000
Zahnweite (mm)	[Wk.Svmax/min] 91.9239/91.8599	
Zahnweite (mm)	[Wk.Svmax/min]	92.0316/91.9239
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]150.8407/150.7554	
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]	112.4509/112.2886
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]150.8407/150.7554	
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]	112.4509/112.2886

## 6.3 Verdrehflankenspiel

Verdrehflankenspiel, Stirnschnitt:

-Theoretisch, ohne Formfehler (mm)	[jt.act]	0.3912/ 0.1484
-Effektiv, mit Formfehler (mm)	[jt.eff]	0.2428/ 0.0000

Normalflankenspiel:

-Theoretisch, ohne Formfehler (mm)	[jn.act]	0.2766/ 0.1049
-Effektiv, mit Formfehler (mm)	[jn.eff]	0.1717/ 0.0000

Radialspiel:

-Theoretisch, ohne Formfehler (mm)	[jr.act]	0.1383/ 0.0525
-Effektiv, mit Formfehler (mm)	[jr.eff]	0.0858/ 0.0000

Hinweis: Bei Kontrolle der Splines mit Einzelmessung, Zahnweite/Rollenmass sind die Angaben zu 'Actual Dimensions' einzuhalten.

## 7 Verzahnungstoleranzen

	----- Welle -----	Nabe -----
Nach ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989:		
Toleranzklasse	[Vqual] 6	7
Teilungs-Gesamtabweichung (µm)	[Fp] 83.9	119.5
Profil-Gesamtabweichung (µm)	[Fα] 51.5	81.7
Flankenlinien-Gesamtabweichung (µm)	[Fβ] 17.1	27.3

Form-Gesamtabweichung nach ISO 4156 ( $\mu\text{m}$ )	[ $\lambda$ ]	60.0	88.4	
Toleranz ( $\mu\text{m}$ )	[Tv]	90.5	152.3	
Toleranz ( $\mu\text{m}$ )	[Tv+ $\lambda$ ]	150.5	240.7	*1
Toleranz ( $\mu\text{m}$ )	[T]	180.7	152.3	
Toleranz ( $\mu\text{m}$ )	[T+ $\lambda$ ]	240.7	240.7	*2

\*1 Tv+ $\lambda$  wird entsprechend der eingegebenen Toleranzklasse berechnet. Verwendet für: Svmax/min, Evmax/min.

\*2 Gemäss ISO 4156-1:2021, Table 1, Note 1, wird T+ $\lambda$  nach Toleranzklasse 7 berechnet. Verwendet für: da.e/i, df.e/i.

## 8 Festigkeitsberechnung

Rechenmethode:	AGMA 6123-C16		
		----- Welle -----	Nabe -----
Innendurchmesser (mm)	[dis]		-126.00
Aussendurchmesser (mm)	[dos]	134.00	
Nenn Drehmoment (Nm)	[T]		13290.00
Anwendungsfaktor	[KA]		1.25
Betriebsdrehmoment (Nm)	[Tmax=T·KA]		16612.50
Flankenmittendurchmesser (mm)	[dm]		130.00
Fluchtungstyp:	ausgerichtet		
Tragende Länge (mm)	[b']		75.000
Lastverteilungsfaktor	[Km]		1.000
Sollsicherheit Kontaktspannung	[SminS]		1.000
Sollsicherheit Verschleissfestigkeit	[SminW]		1.000
Sollsicherheit Ringbruch	[SminR]		1.000

### 8.1 Welle

		----- Welle -----	Nabe -----
Breite auf Welle (mm)	[bs]	75.000	
Zulässige Scherspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[ssA]	273.378	
Kernhärte (HRC)	[HCore]	34.620	
Zulässiges Drehmoment der Aussenverzahnung bei Keilwellenkupplungen aus legiertem Stahl (Nm)	[Ta]	136072.830	
Zulässige Kontaktspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[scA]	141.398	
Oberflächenhärte (HRC)	[HSurface]	61.000	
Zulässiges Drehmoment für Reibkorrosion und Verschleissfestigkeit(Nm)	[Ta]	71688.786	
Zulässiges Drehmoment begrenzt durch die Scherfestigkeit der Welle(Nm)	[Tss]	38964.505	
Sicherheiten:			
Scherfestigkeitsmoment	[SS]	8.19	
Fressen und Verschleissfestigkeit	[SR]	4.32	

### 8.2 Nabe

		----- Welle -----	Nabe -----
Breite auf Nabe (mm)	[bs]		75.000
Zulässige Scherspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[ssA]		273.378
Kernhärte (HRC)	[HCore]		34.620
Zulässiges Drehmoment der Aussenverzahnung bei Keilwellenkupplungen aus legiertem Stahl (Nm)	[Ta]		136072.830
Zulässige Kontaktspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[scA]		141.398
Oberflächenhärte (HRC)	[HSurface]		61.000

Zulässiges Drehmoment für Reibkorrosion und Verschleissfestigkeit (Nm)	[Ta]	71688.786
Sicherheiten:		
Scherfestigkeitsmoment	[SS]	8.19
Fressen und Verschleissfestigkeit	[SR]	4.32
Kontrolle Ringbruchfestigkeit:		
Drehzahl (1/min)	[n]	0.000
Wandstärke (mm)	[tw]	32.000
Lewis Faktor	[Y]	1.5
Aussendurchmesser Nabe (mm)	[dso]	200.000
Fussdurchmesser Innenverzahnung (mm)	[dri]	136.000
Radiale Komponente (N/mm <sup>2</sup> )	[s1]	16.948
Zugspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[s2]	34.951
Zentrifugale Ringspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[s3]	0.000
Gesamtzugspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[st]	51.899
Zulässige Spannung (N/mm <sup>2</sup> )	[stA]	300.978
Sicherheit Ringbruch	[SRB]	5.80

## 9 Ergänzende Daten

### 9.1 Trägheitsmoment

		----- Welle -----	----- Nabe -----
Trägheitsmoment (System bezogen auf Rad 1):			
Berechnung ohne Berücksichtigung der exakten Zahnform			
Räder einzeln, (da+df)/2...di (kg*m <sup>2</sup> )	[J]	0.00749	0.07523
System, (da+df)/2...di (kg*m <sup>2</sup> )	[J]		0.08272

## 10 Modifikationen und Bestimmung der Zahnform

### 10.1 Daten zur Zahnformberechnung

Daten nicht vorhanden.

Bitte führen Sie eine Berechnung im Tab "Zahnform" aus und öffnen Sie das Hauptprotokoll erneut.

## 11 Bemerkungen

### 11.1 Konventionen

- Angaben mit **.e/i** bedeuten: Maximal **.e** und Minimalwert **.i** bei Berücksichtigung aller Toleranzen.
- Angaben mit **.m** bedeuten: Mittelwert in der Toleranz.

### 11.2 Berechnungen und Faktoren

- Zulässiges Drehmoment der Aussenverzahnung bei Keilwellenkupplungen aus legiertem Stahl:

$$T_a = \pi \cdot d^2 \cdot b' \cdot s_{sA} / (8000 \cdot K_m)$$

Annahme: Die Last wird von 50 % der Zähne getragen.

- Zulässiges Drehmoment für Reibkorrosion und Verschleissfestigkeit:

$$T_a = z \cdot b' \cdot s_{cA} \cdot (d_{os}^2 - d_{is}^2) / (8000 \cdot K_m)$$

Annahme: Die Last wird von 100 % der Zähne getragen.

- Zulässiges Drehmoment begrenzt durch die Scherfestigkeit der Welle:

$$T_{ss} = s_{sA} \cdot \pi \cdot (d_{min}^4 - d_i^4) / (16000 \cdot d_{min})$$

- Ringbruch-Berechnung:

$$s_1 = 1000 \cdot T \cdot \tan(\alpha_n) / (\pi \cdot d \cdot t_w \cdot b')$$

$$s_2 = 4000 \cdot T / (d^2 \cdot b' \cdot Y)$$

Y: Lewis Faktor wird fest auf 1.5 gesetzt (Wert für 30° Zahnwelle).

Annahme: Die Last wird von 100 % der Zähne getragen.

$$s_3 = 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot n^2 \cdot (2 \cdot d_{so}^2 + 0.424 \cdot d_n^2)$$

$$s_t = K_m \cdot (s_1 + s_2) + s_3$$

---

Ende Protokoll (Zeilen: 334)

---

# Zahnwelle

Abtrieb innen

Geändert am 06.07.2025, 20:35:22  
Geändert von vom44604

OTH Regensburg, DE - Regensburg (4626)  
KISSsoft Release 2024 -SP2

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Meldungen</b>	3
<b>2</b>	<b>Übersicht</b>	3
<b>3</b>	<b>Zahngeometrie</b>	3
3.1	Spezielle Daten für ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989	3
<b>4</b>	<b>Werkstoffe</b>	3
4.1	Zahnrad Rauigkeiten	4
<b>5</b>	<b>Geometrie</b>	4
5.1	Bezugsprofile	4
5.2	Grunddaten	5
5.3	Durchmesser und deren Abmasse	5
<b>6</b>	<b>Prüfmasse für die Zahndicke</b>	5
6.1	Prüfmasse nach ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989 (Actual)	6
6.2	Prüfmasse nach ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989 (Effective)	6
6.3	Verdrehflankenspiel	6
<b>7</b>	<b>Verzahnungstoleranzen</b>	6
<b>8</b>	<b>Festigkeitsberechnung</b>	7
8.1	Welle	7
8.2	Nabe	7
<b>9</b>	<b>Ergänzende Daten</b>	8
9.1	Trägheitsmoment	8
<b>10</b>	<b>Modifikationen und Bestimmung der Zahnform</b>	8
10.1	Daten zur Zahnformberechnung	8
<b>11</b>	<b>Bemerkungen</b>	8
11.1	Konventionen	8
11.2	Berechnungen und Faktoren	8

## 1 Meldungen



Berechnung ist konsistent.

## 2 Übersicht

ISO 4156:2021 - volle Fussrundung, 45.0°

Welle ISO 4156 EXT 16 Z x 5.00 m x 45.0R x 6h

Nabe ISO 4156 INT 16 Z x 5.00 m x 45.0R x 7H

Zeichnungs- oder Artikelnummer:

Welle: 0.000.0

Nabe: 0.000.0

## 3 Zahngeometrie

### 3.1 Spezielle Daten für ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989

		----- Welle -----	Nabe -----
Normalmodul (mm)	[mn]	5.0000	
Normal Diametral Pitch (1/in)	[Pnd]	5.08000	
Normaleingriffswinkel (°)	[αn]	45.000	
Zähnezahl	[z]	16	-16
Zahnwellen-Teilkreisdurchmesser (mm)	[D]	80.000	-80.000
Grundkreisdurchmesser (mm)	[Db]	56.569	-56.569
Kopfkreis / Fusskreis / Formkreis:			
Dee_max, Dee_min (mm)	[Dee]	84.000 /83.948	
Dii_max, Dii_min (mm)	[Dii]		-76.052 /-76.000
Die_max, Die_min (mm)	[Die]	74.000 /73.775	
Dei_max, Dei_min (mm)	[Dei]		-86.225 /-86.000
DFe_max, DFi_min (mm)	[DFe]	75.166	-85.000
Hinweis: Gemäss ISO 4156-1:2021, Table 1, wird Die_max, Die_min, Dei_max, Dei_min mit Kopfkreistoleranz $e_{sv}/\tan(\alpha)$ berechnet.			
Schrägungswinkel am Teilkreis (°)	[β]	0.0000	
Zahnbreite (mm)	[b]	75.00	75.00
Schrägungsrichtung			Geradverzahnt

## 4 Werkstoffe

### Welle

18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet, ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernhärte  $\geq 25\text{HRC}$  Jominy J=12mm<HRC28

### Nabe

18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet, ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernhärte  $\geq 25\text{HRC}$  Jominy J=12mm<HRC28

		----- Welle -----	Nabe -----
Oberflächen-Härte		HRC 61	HRC 61
Elastizitätsmodul (N/mm <sup>2</sup> )	[E]	206000	206000

Poissonzahl	[ν]	0.300	0.300
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>B</sub> ]	800.00	600.00
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>S</sub> ]	570.00	425.00

## 4.1 Zahnrad Rauigkeiten

		----- Welle -----	Nabe -----
Mittenrauhwert R <sub>a</sub> , Flanke (μm)	[RAH]	0.00	0.00
Mittenrauhwert R <sub>a</sub> , Fuss (μm)	[RAF]	0.00	0.00
Gemittelte Rauhtiefe R <sub>z</sub> , Flanke (μm)	[RZH]	4.80	4.80
Gemittelte Rauhtiefe R <sub>z</sub> , Fuss (μm)	[RZF]	20.00	20.00

## 5 Geometrie

### 5.1 Bezugsprofile

#### Bezugsprofil von Rad 1

Bezugsprofil	ISO 4156:2021/ANSI B92.2M, grosse Fussrundung, 0.60 / 0.25 / 0.40, 45°		
Fusshöhenfaktor	[hfP*]	0.600	
Fussradiusfaktor	[ρfP*]	0.250	
	[ρfPmax*]	0.448	
Kopfhöhenfaktor	[haP*]	0.400	
Kopfradiusfaktor	[ρaP*]	0.000	
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000	
Protuberanzwinkel	[αprP]	0.000	
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000	
Kantenbrechflankenwinkel	[αKP]	0.000	
	nicht überschneidend		
Kleinster Krümmungsradius, Fussrundung (mm)	[ρmin.e/i]	1.323 / 1.327	

#### Bezugsprofil von Rad 2

Bezugsprofil	ISO 4156:2021/ANSI B92.2M, grosse Fussrundung, 0.60 / 0.25 / 0.40, 45°		
Fusshöhenfaktor	[hfP*]	0.600	
Fussradiusfaktor	[ρfP*]	0.250	
	[ρfPmax*]	0.448	
Kopfhöhenfaktor	[haP*]	0.400	
Kopfradiusfaktor	[ρaP*]	0.000	
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000	
Protuberanzwinkel	[αprP]	0.000	
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000	
Kantenbrechflankenwinkel	[αKP]	0.000	
	nicht überschneidend		

#### 5.1.1 Angaben für die Fertigbearbeitung

		----- Welle -----	Nabe -----
Fusshöhe Bezugsprofil	[hfP*]	0.600	0.600
Fussradius Bezugsprofil	[ρfP*]	0.250	0.250
Kopfhöhe Bezugsprofil	[haP*]	0.400	0.400
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000	0.000
Protuberanzwinkel (°)	[αprP]	0.000	0.000
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000	0.000
Kantenbrechflankenwinkel (°)	[αKP]	0.000	0.000

## 5.2 Grunddaten

		----- Welle -----	Nabe -----
Stirnmodul (mm)	[mt]	5.000	
Stirneingriffswinkel (°)	[αt]	45.000	
Grundschrägungswinkel (°)	[βb]	0.000	
Profilverschiebungsfaktorsumme	[Σxi]	0.0000	
Profilverschiebungsfaktor	[x]	0.0000	0.0000
Normal-Lückenweite am Fusskreis (mm)	[efn]	1.947	1.773
(mm)	[efn.e/i]	1.947 / 1.834	1.773 / 1.679
Teilkreisteilung (mm)	[pt]	15.708	
Grundkreisteilung (mm)	[pbt]	11.107	
Stirneingriffsteilung (mm)	[pet]	11.107	
Zahnhöhe (mm)	[h]	5.000	5.000
Kopfspiel theoretisch (mm)	[c]	1.000	1.000
Kopfspiel effektiv (mm)	[c.e/i]	1.139 / 1.000	1.139 / 1.000
Normalzahndicke am Kopfkreis (mm)	[san]	3.948	3.763
(mm)	[san.e/i]	4.003 / 3.855	3.812 / 3.622

## 5.3 Durchmesser und deren Abmasse

		----- Welle -----	Nabe -----
Zahnwellen-Teilkreisdurchmesser (mm)	[d]	80.000	80.000
Grundkreisdurchmesser (mm)	[db]	56.569	56.569
Kopfkreisdurchmesser (mm)	[da]	84.000	76.000
Effektiver Kopfkreisdurchmesser (mm)	[da.e/i]	84.000 / 83.948	76.000 / 76.052
Kopfkreisabmasse (mm)	[Ada.e/i]	0.000 / -0.052	0.000 / 0.052
Fusskreisdurchmesser (mm)	[df]	74.000	86.000
Effektiver Fusskreisdurchmesser (mm)	[df.e/i]	74.000 / 73.775	86.000 / 86.225
Fusskreisabmasse (mm)	[Adf.e/i]	0.000 / -0.225	-0.000 / 0.225
Hinweis: Gemäss ISO 4156-1:2021, Table 1, wird Adf.e/i mit Kopfkreistoleranz $esv/\tan(\alpha)$ berechnet.			
Fussformkreisdurchmesser (mm)	[DFe,DFi.e/i]	75.166 / 0.000	85.000 / -0.000
Durchmesser, welche nicht definiert sind, werden mit 0 angegeben.			
Exakte Angaben zum Fussformdurchmesser $d_{Ff}$ mit allen Toleranzen sind im Report der Zahnformberechnung dokumentiert.			
Kopfnutzkreisdurchmesser (mm)	[dNa.e/i]	84.000 / -0.000	76.000 / 76.052
Fussnutzkreisdurchmesser (mm)	[dNf.e/i]	76.000 / 76.052	84.000 / 83.948

## 6 Prüfmasse für die Zahndicke

		----- Welle -----	Nabe -----
Toleranzklasse		6	7
Zahndickentoleranz		ISO 4156 h	ISO 4156 H
Messzähnezahl	[k]	5.0000	4.0000
Zahnweite spielfrei (mm)	[Wk]	62.1221	51.0149
Messkreisdurchmesser (mm)	[dMWk.m]	83.9955	76.2095
Theor. Messkörperdurchmesser (mm)	[dm]	12.3604	10.1439
Effektiver Messkörperdurchmesser (mm)	[DMeff]	14.0000	10.5000
Diametrales Kugelmass spielfrei (mm)	[MRe/Mri-ball]	105.2743	62.1150
Diametrales Rollenmass spielfrei (mm)	[MRe/Mri-pin]	105.2743	62.1150

## 6.1 Prüfmasse nach ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989 (Actual)

	----- Welle -----	Nabe -----
Zahndicke (mm)	[Smax/Smin] 7.802 / 7.713	
Lückenweite (mm)	[Emax/Emin]	8.0791/7.9307
Zahndickentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Smax/min]-0.0516/-0.1407	
Zahnlückentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Emax/min]	0.2251/0.0767
Zahnweite (mm)	[Wk.Smax/Smin]62.0857/62.0227	
Zahnweite (mm)	[Wk.Smax/Smin]	51.1741/51.0692
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]105.2278/105.1475	
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]	62.3682/62.2014
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]105.2278/105.1475	
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]	62.3682/62.2014

## 6.2 Prüfmasse nach ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989 (Effective)

	----- Welle -----	Nabe -----
Zahndicke (mm)	[Svmax/min] 7.8540/7.7649	
Lückenweite (mm)	[Evmax/min]	8.0024/7.8540
Zahndickentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Svmax/min] 0.0000/-0.0891	
Zahnlückentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Evmax/min]	0.1484/0.0000
Zahnweite (mm)	[Wk.Svmax/min] 62.1221/62.0591	
Zahnweite (mm)	[Wk.Svmax/min]	51.1199/51.0149
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]105.2743/105.1940	
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]	62.2821/62.1150
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]105.2743/105.1940	
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]	62.2821/62.1150

## 6.3 Verdrehflankenspiel

Verdrehflankenspiel, Stirnschnitt:

-Theoretisch, ohne Formfehler (mm)	[jt.act]	0.3658/0.1283
-Effektiv, mit Formfehler (mm)	[jt.eff]	0.2375/0.0000

Normalflankenspiel:

-Theoretisch, ohne Formfehler (mm)	[jn.act]	0.2587/0.0907
-Effektiv, mit Formfehler (mm)	[jn.eff]	0.1679/0.0000

Radialspiel:

-Theoretisch, ohne Formfehler (mm)	[jr.act]	0.1293/0.0454
-Effektiv, mit Formfehler (mm)	[jr.eff]	0.0840/0.0000

Hinweis: Bei Kontrolle der Splines mit Einzelmessung, Zahnweite/Rollenmass sind die Angaben zu 'Actual Dimensions' einzuhalten.

## 7 Verzahnungstoleranzen

	----- Welle -----	Nabe -----
Nach ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989:		
Toleranzklasse	[Vqual] 6	7
Teilungs-Gesamtabweichung (µm)	[Fp] 68.5	97.6
Profil-Gesamtabweichung (µm)	[Fα] 49.0	77.8
Flankenlinien-Gesamtabweichung (µm)	[Fβ] 17.1	27.3

Form-Gesamtabweichung nach ISO 4156 ( $\mu\text{m}$ )	[ $\lambda$ ]	51.6	76.7	
Toleranz ( $\mu\text{m}$ )	[Tv]	89.1	148.4	
Toleranz ( $\mu\text{m}$ )	[Tv+ $\lambda$ ]	140.7	225.1	*1
Toleranz ( $\mu\text{m}$ )	[T]	173.5	148.4	
Toleranz ( $\mu\text{m}$ )	[T+ $\lambda$ ]	225.1	225.1	*2

\*1 Tv+ $\lambda$  wird entsprechend der eingegebenen Toleranzklasse berechnet. Verwendet für: Svmax/min, Evmax/min.

\*2 Gemäss ISO 4156-1:2021, Table 1, Note 1, wird T+ $\lambda$  nach Toleranzklasse 7 berechnet. Verwendet für: da.e/i, df.e/i.

## 8 Festigkeitsberechnung

Rechenmethode:	AGMA 6123-C16		
		----- Welle -----	Nabe -----
Innendurchmesser (mm)	[dis]		-76.00
Aussendurchmesser (mm)	[dos]	84.00	
Nenn Drehmoment (Nm)	[T]	13290.00	
Anwendungsfaktor	[KA]	1.25	
Betriebsdrehmoment (Nm)	[Tmax=T·KA]	16612.50	
Flankenmittendurchmesser (mm)	[dm]	80.00	
Fluchtungstyp:	ausgerichtet		
Tragende Länge (mm)	[b']	75.000	
Lastverteilungsfaktor	[Km]	1.000	
Sollsicherheit Kontaktspannung	[SminS]	1.000	
Sollsicherheit Verschleissfestigkeit	[SminW]	1.000	
Sollsicherheit Ringbruch	[SminR]	1.000	

### 8.1 Welle

		----- Welle -----	Nabe -----
Breite auf Welle (mm)	[bs]	75.000	
Zulässige Scherspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[ssA]	273.378	
Kernhärte (HRC)	[HCore]	34.620	
Zulässiges Drehmoment der Aussenverzahnung bei Keilwellenkupplungen aus legiertem Stahl (Nm)	[Ta]	51530.539	
Zulässige Kontaktspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[scA]	141.398	
Oberflächenhärte (HRC)	[HSurface]	61.000	
Zulässiges Drehmoment für Reibkorrosion und Verschleissfestigkeit(Nm)	[Ta]	27148.416	
Zulässiges Drehmoment begrenzt durch die Scherfestigkeit der Welle(Nm)	[Tss]	21751.470	
Sicherheiten:			
Scherfestigkeitsmoment	[SS]	3.10	
Fressen und Verschleissfestigkeit	[SR]	1.63	

### 8.2 Nabe

		----- Welle -----	Nabe -----
Breite auf Nabe (mm)	[bs]		75.000
Zulässige Scherspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[ssA]		273.378
Kernhärte (HRC)	[HCore]		34.620
Zulässiges Drehmoment der Aussenverzahnung bei Keilwellenkupplungen aus legiertem Stahl (Nm)	[Ta]		51530.539
Zulässige Kontaktspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[scA]		141.398
Oberflächenhärte (HRC)	[HSurface]		61.000

Zulässiges Drehmoment für Reibkorrosion und Verschleissfestigkeit (Nm)	[Ta]	27148.416
Sicherheiten:		
Scherfestigkeitsmoment	[SS]	3.10
Fressen und Verschleissfestigkeit	[SR]	1.63
Kontrolle Ringbruchfestigkeit:		
Drehzahl (1/min)	[n]	0.000
Wandstärke (mm)	[tw]	12.000
Lewis Faktor	[Y]	1.5
Aussendurchmesser Nabe (mm)	[dso]	110.000
Fussdurchmesser Innenverzahnung (mm)	[dri]	86.000
Radiale Komponente (N/mm <sup>2</sup> )	[s1]	73.443
Zugspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[s2]	92.292
Zentrifugale Ringspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[s3]	0.000
Gesamtzugspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[st]	165.735
Zulässige Spannung (N/mm <sup>2</sup> )	[stA]	300.978
Sicherheit Ringbruch	[SRB]	1.82

## 9 Ergänzende Daten

### 9.1 Trägheitsmoment

		----- Welle -----	----- Nabe -----
Trägheitsmoment (System bezogen auf Rad 1):			
Berechnung ohne Berücksichtigung der exakten Zahnform			
Räder einzeln, (da+df)/2...di (kg*m <sup>2</sup> )	[J]	0.00224	0.00595
System, (da+df)/2...di (kg*m <sup>2</sup> )	[J]		0.00819

## 10 Modifikationen und Bestimmung der Zahnform

### 10.1 Daten zur Zahnformberechnung

Daten nicht vorhanden.

Bitte führen Sie eine Berechnung im Tab "Zahnform" aus und öffnen Sie das Hauptprotokoll erneut.

## 11 Bemerkungen

### 11.1 Konventionen

- Angaben mit **.e/i** bedeuten: Maximal **.e** und Minimalwert **.i** bei Berücksichtigung aller Toleranzen.
- Angaben mit **.m** bedeuten: Mittelwert in der Toleranz.

### 11.2 Berechnungen und Faktoren

- Zulässiges Drehmoment der Aussenverzahnung bei Keilwellenkupplungen aus legiertem Stahl:

$$T_a = \pi \cdot d^2 \cdot b' \cdot s_{sA} / (8000 \cdot K_m)$$

Annahme: Die Last wird von 50 % der Zähne getragen.

- Zulässiges Drehmoment für Reibkorrosion und Verschleissfestigkeit:

$$T_a = z \cdot b' \cdot s_{cA} \cdot (d_{os}^2 - d_{is}^2) / (8000 \cdot K_m)$$

Annahme: Die Last wird von 100 % der Zähne getragen.

- Zulässiges Drehmoment begrenzt durch die Scherfestigkeit der Welle:

$$T_{ss} = s_{sA} \cdot \pi \cdot (d_{min}^4 - d_i^4) / (16000 \cdot d_{min})$$

- Ringbruch-Berechnung:

$$s_1 = 1000 \cdot T \cdot \tan(\alpha_n) / (\pi \cdot d \cdot t_w \cdot b')$$

$$s_2 = 4000 \cdot T / (d^2 \cdot b' \cdot Y)$$

Y: Lewis Faktor wird fest auf 1.5 gesetzt (Wert für 30° Zahnwelle).

Annahme: Die Last wird von 100 % der Zähne getragen.

$$s_3 = 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot n^2 \cdot (2 \cdot d_{so}^2 + 0.424 \cdot d_n^2)$$

$$s_t = K_m \cdot (s_1 + s_2) + s_3$$

---

Ende Protokoll (Zeilen: 334)

---

# Zahnwelle

Antrieb

Geändert am 06.07.2025, 20:35:46  
Geändert von vom44604

OTH Regensburg, DE - Regensburg (4626)  
KISSsoft Release 2024 -SP2

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Meldungen</b>	3
<b>2</b>	<b>Übersicht</b>	3
<b>3</b>	<b>Zahngeometrie</b>	3
3.1	Spezielle Daten für ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989	3
<b>4</b>	<b>Werkstoffe</b>	3
4.1	Zahnrad Rauigkeiten	4
<b>5</b>	<b>Geometrie</b>	4
5.1	Bezugsprofile	4
5.2	Grunddaten	5
5.3	Durchmesser und deren Abmasse	5
<b>6</b>	<b>Prüfmasse für die Zahndicke</b>	5
6.1	Prüfmasse nach ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989 (Actual)	6
6.2	Prüfmasse nach ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989 (Effective)	6
6.3	Verdrehflankenspiel	6
<b>7</b>	<b>Verzahnungstoleranzen</b>	6
<b>8</b>	<b>Festigkeitsberechnung</b>	7
8.1	Welle	7
8.2	Nabe	7
<b>9</b>	<b>Ergänzende Daten</b>	8
9.1	Trägheitsmoment	8
<b>10</b>	<b>Modifikationen und Bestimmung der Zahnform</b>	8
10.1	Daten zur Zahnformberechnung	8
<b>11</b>	<b>Bemerkungen</b>	8
11.1	Konventionen	8
11.2	Berechnungen und Faktoren	8

## 1 Meldungen



Berechnung ist konsistent.

## 2 Übersicht

ISO 4156:2021 - volle Fussrundung, 45.0°

Welle ISO 4156 EXT 20 Z x 6.00 m x 45.0R x 6h

Nabe ISO 4156 INT 20 Z x 6.00 m x 45.0R x 7H

Zeichnungs- oder Artikelnummer:

Welle: 0.000.0

Nabe: 0.000.0

## 3 Zahngeometrie

### 3.1 Spezielle Daten für ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989

		----- Welle -----	Nabe -----
Normalmodul (mm)	[mn]	6.0000	
Normal Diametral Pitch (1/in)	[Pnd]	4.23333	
Normaleingriffswinkel (°)	[αn]	45.000	
Zähnezahl	[z]	20	-20
Zahnwellen-Teilkreisdurchmesser (mm)	[D]	120.000	-120.000
Grundkreisdurchmesser (mm)	[Db]	84.853	-84.853
Kopfkreis / Fusskreis / Formkreis:			
Dee_max, Dee_min (mm)	[Dee]	124.800 /124.748	
Dii_max, Dii_min (mm)	[Dii]		-115.252 /-115.200
Die_max, Die_min (mm)	[Die]	112.800 /112.553	
Dei_max, Dei_min (mm)	[Dei]		-127.447 /-127.200
DFe_max, DFi_min (mm)	[DFe]	114.158	-126.000
Hinweis: Gemäss ISO 4156-1:2021, Table 1, wird Die_max, Die_min, Dei_max, Dei_min mit Kopfkreistoleranz $e_{sv}/\tan(\alpha)$ berechnet.			
Schrägungswinkel am Teilkreis (°)	[β]	0.0000	
Zahnbreite (mm)	[b]	75.00	75.00
Schrägungsrichtung			Geradverzahnt

## 4 Werkstoffe

### Welle

18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet, ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernhärte  $\geq 25\text{HRC}$  Jominy J=12mm<HRC28

### Nabe

18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet, ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernhärte  $\geq 25\text{HRC}$  Jominy J=12mm<HRC28

		----- Welle -----	Nabe -----
Oberflächen-Härte		HRC 61	HRC 61
Elastizitätsmodul (N/mm <sup>2</sup> )	[E]	206000	206000

Poissonzahl	[ν]	0.300	0.300
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>B</sub> ]	600.00	600.00
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>S</sub> ]	425.00	425.00

## 4.1 Zahnrad Rauigkeiten

		----- Welle -----	Nabe -----
Mittenrauhwert R <sub>a</sub> , Flanke (μm)	[RAH]	0.00	0.00
Mittenrauhwert R <sub>a</sub> , Fuss (μm)	[RAF]	0.00	0.00
Gemittelte Rauhtiefe R <sub>z</sub> , Flanke (μm)	[RZH]	4.80	4.80
Gemittelte Rauhtiefe R <sub>z</sub> , Fuss (μm)	[RZF]	20.00	20.00

## 5 Geometrie

### 5.1 Bezugsprofile

#### Bezugsprofil von Rad 1

Bezugsprofil	ISO 4156:2021/ANSI B92.2M, grosse Fussrundung, 0.60 / 0.25 / 0.40, 45°		
Fusshöhenfaktor	[hfP*]	0.600	
Fussradiusfaktor	[ρfP*]	0.250	
	[ρfPmax*]	0.448	
Kopfhöhenfaktor	[haP*]	0.400	
Kopfradiusfaktor	[ρaP*]	0.000	
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000	
Protuberanzwinkel	[αprP]	0.000	
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000	
Kantenbrechflankenwinkel	[αKP]	0.000	
	nicht überschneidend		
Kleinster Krümmungsradius, Fussrundung (mm)	[ρmin.e/i]	1.571 / 1.574	

#### Bezugsprofil von Rad 2

Bezugsprofil	ISO 4156:2021/ANSI B92.2M, grosse Fussrundung, 0.60 / 0.25 / 0.40, 45°		
Fusshöhenfaktor	[hfP*]	0.600	
Fussradiusfaktor	[ρfP*]	0.250	
	[ρfPmax*]	0.448	
Kopfhöhenfaktor	[haP*]	0.400	
Kopfradiusfaktor	[ρaP*]	0.000	
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000	
Protuberanzwinkel	[αprP]	0.000	
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000	
Kantenbrechflankenwinkel	[αKP]	0.000	
	nicht überschneidend		

#### 5.1.1 Angaben für die Fertigbearbeitung

		----- Welle -----	Nabe -----
Fusshöhe Bezugsprofil	[hfP*]	0.600	0.600
Fussradius Bezugsprofil	[ρfP*]	0.250	0.250
Kopfhöhe Bezugsprofil	[haP*]	0.400	0.400
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000	0.000
Protuberanzwinkel (°)	[αprP]	0.000	0.000
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000	0.000
Kantenbrechflankenwinkel (°)	[αKP]	0.000	0.000

## 5.2 Grunddaten

		----- Welle -----	Nabe -----
Stirnmodul (mm)	[mt]	6.000	
Stirneingriffswinkel (°)	[αt]	45.000	
Grundschrägungswinkel (°)	[βb]	0.000	
Profilverschiebungsfaktorsumme	[Σxi]	0.0000	
Profilverschiebungsfaktor	[x]	0.0000	0.0000
Normal-Lückenweite am Fusskreis (mm)	[efn]	2.312	2.146
(mm)	[efn.e/i]	2.312 / 2.180	2.146 / 2.042
Teilkreisteilung (mm)	[pt]	18.850	
Grundkreisteilung (mm)	[pbt]	13.329	
Stirneingriffsteilung (mm)	[pet]	13.329	
Zahnhöhe (mm)	[h]	6.000	6.000
Kopfspiel theoretisch (mm)	[c]	1.200	1.200
Kopfspiel effektiv (mm)	[c.e/i]	1.350 / 1.200	1.350 / 1.200
Normalzahndicke am Kopfkreis (mm)	[san]	4.715	4.537
(mm)	[san.e/i]	4.769 / 4.616	4.587 / 4.385

## 5.3 Durchmesser und deren Abmasse

		----- Welle -----	Nabe -----
Zahnwellen-Teilkreisdurchmesser (mm)	[d]	120.000	120.000
Grundkreisdurchmesser (mm)	[db]	84.853	84.853
Kopfkreisdurchmesser (mm)	[da]	124.800	115.200
Effektiver Kopfkreisdurchmesser (mm)	[da.e/i]	124.800 / 124.748	115.200 / 115.252
Kopfkreisabmasse (mm)	[Ada.e/i]	0.000 / -0.052	0.000 / 0.052
Fusskreisdurchmesser (mm)	[df]	112.800	127.200
Effektiver Fusskreisdurchmesser (mm)	[df.e/i]	112.800 / 112.553	127.200 / 127.447
Fusskreisabmasse (mm)	[Adf.e/i]	0.000 / -0.247	-0.000 / 0.247

Hinweis: Gemäss ISO 4156-1:2021, Table 1, wird Adf.e/i mit Kopfkreistoleranz  $esv/\tan(\alpha)$  berechnet.

Fussformkreisdurchmesser (mm) [DFe,DFi.e/i] 114.158 / 0.000 126.000 / -0.000

Durchmesser, welche nicht definiert sind, werden mit 0 angegeben.

Exakte Angaben zum Fussformdurchmesser  $d_{Ff}$  mit allen Toleranzen sind im Report der Zahnformberechnung dokumentiert.

Kopfnutzkreisdurchmesser (mm)	[dNa.e/i]	124.800 / -0.000	115.200 / 115.252
Fussnutzkreisdurchmesser (mm)	[dNf.e/i]	115.200 / 115.252	124.800 / 124.748

## 6 Prüfmasse für die Zahndicke

		----- Welle -----	Nabe -----
Toleranzklasse		6	7
Zahndickentoleranz		ISO 4156 h	ISO 4156 H
Messzähnezahl	[k]	6.0000	5.0000
Zahnweite spielfrei (mm)	[Wk]	91.5171	78.1885
Messkreisdurchmesser (mm)	[dMWk.m]	124.7768	115.4219
Theor. Messkörperdurchmesser (mm)	[dm]	14.4971	12.3817
Effektiver Messkörperdurchmesser (mm)	[DMeff]	15.0000	14.0000
Diametrales Kugelmass spielfrei (mm)	[MRe/Mri-ball]	146.3139	95.0562
Diametrales Rollenmass spielfrei (mm)	[MRe/Mri-pin]	146.3139	95.0562

## 6.1 Prüfmasse nach ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989 (Actual)

	----- Welle -----	Nabe -----
Zahndicke (mm)	[Smax/Smin] 9.365 / 9.270	
Lückenweite (mm)	[Emax/Emin]	9.6719/9.5132
Zahndickentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Smax/min]-0.0597/-0.1545	
Zahnlückentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Emax/min]	0.2472/0.0884
Zahnweite (mm)	[Wk.Smax/Smin]91.4749/91.4079	
Zahnweite (mm)	[Wk.Smax/Smin]	78.3633/78.2510
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]146.2586/146.1708	
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]	95.3339/95.1557
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]146.2586/146.1708	
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]	95.3339/95.1557

## 6.2 Prüfmasse nach ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989 (Effective)

	----- Welle -----	Nabe -----
Zahndicke (mm)	[Svmax/min] 9.4248/9.3300	
Lückenweite (mm)	[Evmax/min]	9.5835/9.4248
Zahndickentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Svmax/min] 0.0000/-0.0948	
Zahnlückentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Evmax/min]	0.1588/0.0000
Zahnweite (mm)	[Wk.Svmax/min] 91.5171/91.4501	
Zahnweite (mm)	[Wk.Svmax/min]	78.3007/78.1885
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]146.3139/146.2261	
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]	95.2347/95.0562
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]146.3139/146.2261	
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]	95.2347/95.0562

## 6.3 Verdrehflankenspiel

Verdrehflankenspiel, Stirnschnitt:

-Theoretisch, ohne Formfehler (mm)	[jt.act]	0.4016/0.1481
-Effektiv, mit Formfehler (mm)	[jt.eff]	0.2535/0.0000

Normalflankenspiel:

-Theoretisch, ohne Formfehler (mm)	[jn.act]	0.2840/0.1047
-Effektiv, mit Formfehler (mm)	[jn.eff]	0.1793/0.0000

Radialspiel:

-Theoretisch, ohne Formfehler (mm)	[jr.act]	0.1420/0.0524
-Effektiv, mit Formfehler (mm)	[jr.eff]	0.0896/0.0000

Hinweis: Bei Kontrolle der Splines mit Einzelmessung, Zahnweite/Rollenmass sind die Angaben zu 'Actual Dimensions' einzuhalten.

## 7 Verzahnungstoleranzen

	----- Welle -----	Nabe -----
Nach ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989:		
Toleranzklasse	[Vqual] 6	7
Teilungs-Gesamtabweichung (µm)	[Fp] 81.1	115.5
Profil-Gesamtabweichung (µm)	[Fα] 55.0	87.3
Flankenlinien-Gesamtabweichung (µm)	[Fβ] 17.1	27.3

Form-Gesamtabweichung nach ISO 4156 ( $\mu\text{m}$ )	[ $\lambda$ ]	59.7	88.4	
Toleranz ( $\mu\text{m}$ )	[Tv]	94.8	158.8	
Toleranz ( $\mu\text{m}$ )	[Tv+ $\lambda$ ]	154.5	247.2	*1
Toleranz ( $\mu\text{m}$ )	[T]	187.5	158.8	
Toleranz ( $\mu\text{m}$ )	[T+ $\lambda$ ]	247.2	247.2	*2

\*1 Tv+ $\lambda$  wird entsprechend der eingegebenen Toleranzklasse berechnet. Verwendet für: Svmax/min, Evmax/min.

\*2 Gemäss ISO 4156-1:2021, Table 1, Note 1, wird T+ $\lambda$  nach Toleranzklasse 7 berechnet. Verwendet für: da.e/i, df.e/i.

## 8 Festigkeitsberechnung

Rechenmethode:	AGMA 6123-C16		
		----- Welle -----	Nabe -----
Innendurchmesser (mm)	[dis]		-115.20
Aussendurchmesser (mm)	[dos]	124.80	
Nenn Drehmoment (Nm)	[T]		26581.00
Anwendungsfaktor	[KA]		1.25
Betriebsdrehmoment (Nm)	[Tmax=T·KA]		33226.25
Flankenmittendurchmesser (mm)	[dm]		120.00
Fluchtungstyp:	ausgerichtet		
Tragende Länge (mm)	[b']		75.000
Lastverteilungsfaktor	[Km]		1.000
Sollsicherheit Kontaktspannung	[SminS]		1.000
Sollsicherheit Verschleissfestigkeit	[SminW]		1.000
Sollsicherheit Ringbruch	[SminR]		1.000

### 8.1 Welle

		----- Welle -----	Nabe -----
Breite auf Welle (mm)	[bs]	75.000	
Zulässige Scherspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[ssA]	273.378	
Kernhärte (HRC)	[HCore]	34.620	
Zulässiges Drehmoment der Aussenverzahnung bei Keilwellenkupplungen aus legiertem Stahl (Nm)	[Ta]	115943.713	
Zulässige Kontaktspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[scA]	141.398	
Oberflächenhärte (HRC)	[HSurface]	61.000	
Zulässiges Drehmoment für Reibkorrosion und Verschleissfestigkeit(Nm)	[Ta]	61083.936	
Zulässiges Drehmoment begrenzt durch die Scherfestigkeit der Welle(Nm)	[Tss]	77040.794	
Sicherheiten:			
Scherfestigkeitsmoment	[SS]	3.49	
Fressen und Verschleissfestigkeit	[SR]	1.84	

### 8.2 Nabe

		----- Welle -----	Nabe -----
Breite auf Nabe (mm)	[bs]		75.000
Zulässige Scherspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[ssA]		273.378
Kernhärte (HRC)	[HCore]		34.620
Zulässiges Drehmoment der Aussenverzahnung bei Keilwellenkupplungen aus legiertem Stahl (Nm)	[Ta]		115943.713
Zulässige Kontaktspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[scA]		141.398
Oberflächenhärte (HRC)	[HSurface]		61.000

Zulässiges Drehmoment für Reibkorrosion und Verschleissfestigkeit (Nm)	[Ta]	61083.936
Sicherheiten:		
Scherfestigkeitsmoment	[SS]	3.49
Fressen und Verschleissfestigkeit	[SR]	1.84
Kontrolle Ringbruchfestigkeit:		
Drehzahl (1/min)	[n]	0.000
Wandstärke (mm)	[tw]	11.400
Lewis Faktor	[Y]	1.5
Aussendurchmesser Nabe (mm)	[dso]	150.000
Fussdurchmesser Innenverzahnung (mm)	[dri]	127.200
Radiale Komponente (N/mm <sup>2</sup> )	[s1]	103.082
Zugspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[s2]	82.040
Zentrifugale Ringspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[s3]	0.000
Gesamtzugspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[st]	185.122
Zulässige Spannung (N/mm <sup>2</sup> )	[stA]	300.978
Sicherheit Ringbruch	[SRB]	1.63

## 9 Ergänzende Daten

### 9.1 Trägheitsmoment

		----- Welle -----	----- Nabe -----
Trägheitsmoment (System bezogen auf Rad 1):			
Berechnung ohne Berücksichtigung der exakten Zahnform			
Räder einzeln, (da+df)/2...di (kg*m <sup>2</sup> )	[J]	0.01145	0.01672
System, (da+df)/2...di (kg*m <sup>2</sup> )	[J]		0.02817

## 10 Modifikationen und Bestimmung der Zahnform

### 10.1 Daten zur Zahnformberechnung

Daten nicht vorhanden.

Bitte führen Sie eine Berechnung im Tab "Zahnform" aus und öffnen Sie das Hauptprotokoll erneut.

## 11 Bemerkungen

### 11.1 Konventionen

- Angaben mit .e/i bedeuten: Maximal .e und Minimalwert .i bei Berücksichtigung aller Toleranzen.
- Angaben mit .m bedeuten: Mittelwert in der Toleranz.

### 11.2 Berechnungen und Faktoren

- Zulässiges Drehmoment der Aussenverzahnung bei Keilwellenkupplungen aus legiertem Stahl:

$$T_a = \pi \cdot d^2 \cdot b' \cdot s_{sA} / (8000 \cdot K_m)$$

Annahme: Die Last wird von 50 % der Zähne getragen.

- Zulässiges Drehmoment für Reibkorrosion und Verschleissfestigkeit:

$$T_a = z \cdot b' \cdot s_{cA} \cdot (d_{os}^2 - d_{is}^2) / (8000 \cdot K_m)$$

Annahme: Die Last wird von 100 % der Zähne getragen.

- Zulässiges Drehmoment begrenzt durch die Scherfestigkeit der Welle:

$$T_{ss} = s_{sA} \cdot \pi \cdot (d_{min}^4 - d_i^4) / (16000 \cdot d_{min})$$

- Ringbruch-Berechnung:

$$s_1 = 1000 \cdot T \cdot \tan(\alpha_n) / (\pi \cdot d \cdot t_w \cdot b')$$

$$s_2 = 4000 \cdot T / (d^2 \cdot b' \cdot Y)$$

Y: Lewis Faktor wird fest auf 1.5 gesetzt (Wert für 30° Zahnwelle).

Annahme: Die Last wird von 100 % der Zähne getragen.

$$s_3 = 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot n^2 \cdot (2 \cdot d_{so}^2 + 0.424 \cdot d_n^2)$$

$$s_t = K_m \cdot (s_1 + s_2) + s_3$$

---

Ende Protokoll (Zeilen: 334)

---

## Zahnwelle

Kupplung\_Zwischenwelle

Geändert am 06.07.2025, 20:36:12  
Geändert von vom44604

OTH Regensburg, DE - Regensburg (4626)  
KISSsoft Release 2024 -SP2

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Meldungen</b>	3
<b>2</b>	<b>Übersicht</b>	3
<b>3</b>	<b>Zahngeometrie</b>	3
3.1	Spezielle Daten für ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989	3
<b>4</b>	<b>Werkstoffe</b>	4
4.1	Zahnrad Rauigkeiten	4
<b>5</b>	<b>Geometrie</b>	4
5.1	Bezugsprofile	4
5.2	Grunddaten	5
5.3	Durchmesser und deren Abmasse	5
<b>6</b>	<b>Prüfmasse für die Zahndicke</b>	6
6.1	Prüfmasse nach ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989 (Actual)	6
6.2	Prüfmasse nach ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989 (Effective)	6
6.3	Verdrehflankenspiel	6
<b>7</b>	<b>Verzahnungstoleranzen</b>	7
<b>8</b>	<b>Festigkeitsberechnung</b>	7
8.1	Welle	7
8.2	Nabe	8
<b>9</b>	<b>Ergänzende Daten</b>	8
9.1	Trägheitsmoment	8
<b>10</b>	<b>Modifikationen und Bestimmung der Zahnform</b>	8
10.1	Daten zur Zahnformberechnung	8
<b>11</b>	<b>Bemerkungen</b>	9
11.1	Konventionen	9
11.2	Berechnungen und Faktoren	9

## 1 Meldungen



Berechnung ist konsistent.



Für diesen Rohdurchmesser (130 mm) des Werkstoffs 18CrNiMo7-6 sind in der Datenbank keine Werte für Bruchfestigkeit und Streckgrenze vorhanden!  
Geschätzte Werte werden angenommen.

Zur Eingabe von Werkstoffdaten rufen Sie das KISSsoft Datenbanktool im Menü Extras auf.



Für diesen Rohdurchmesser (160 mm) des Werkstoffs 18CrNiMo7-6 sind in der Datenbank keine Werte für Bruchfestigkeit und Streckgrenze vorhanden!  
Geschätzte Werte werden angenommen.

Zur Eingabe von Werkstoffdaten rufen Sie das KISSsoft Datenbanktool im Menü Extras auf.



Die Aufnahme der Kraft ist üblicherweise in der Mitte der Nut.  $a_0$  wäre dann die tragende Länge/2 = 35.00 mm.  
Ihre Eingabe ist möglicherweise unkorrekt.

## 2 Übersicht

ISO 4156:2021 - volle Fussrundung, 45.0°

Welle

ISO 4156 EXT 20 Z x 6.00 m x 45.0R x 6h

Nabe

ISO 4156 INT 20 Z x 6.00 m x 45.0R x 7H

Zeichnungs- oder Artikelnummer:

Welle:

0.000.0

Nabe:

0.000.0

## 3 Zahngeometrie

### 3.1 Spezielle Daten für ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989

		----- Welle -----	Nabe -----
Normalmodul (mm)	[mn]	6.0000	
Normal Diametral Pitch (1/in)	[Pnd]	4.23333	
Normaleingriffswinkel (°)	[αn]	45.000	
Zähnezahl	[z]	20	-20
Zahnwellen-Teilkreisdurchmesser (mm)	[D]	120.000	-120.000
Grundkreisdurchmesser (mm)	[Db]	84.853	-84.853
Kopfkreis / Fusskreis / Formkreis:			
Dee_max, Dee_min (mm)	[Dee]	124.800 /124.760	
Dii_max, Dii_min (mm)	[Dii]		-115.235 /-115.200
Die_max, Die_min (mm)	[Die]	112.800 /112.553	
Dei_max, Dei_min (mm)	[Dei]		-127.447 /-127.200
DFe_max, DFi_min (mm)	[DFe]	114.158	-126.000
Hinweis: Gemäss ISO 4156-1:2021, Table 1, wird Die_max, Die_min, Dei_max, Dei_min mit Kopfkreistoleranz $e_{sv}/\tan(\alpha)$ berechnet.			
Schrägungswinkel am Teilkreis (°)	[β]	0.0000	
Zahnbreite (mm)	[b]	200.00	70.00
Schrägungsrichtung			Geradverzahnt

## 4 Werkstoffe

### Welle

18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet, ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernhärte  $\geq 25\text{HRC}$  Jominy  $J=12\text{mm}$   $< \text{HRC}28$

### Nabe

18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet, ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernhärte  $\geq 25\text{HRC}$  Jominy  $J=12\text{mm}$   $< \text{HRC}28$

		----- Welle -----	Nabe -----
Oberflächen-Härte		HRC 61	HRC 61
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	600.00 *	
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Rp]	425.00 *	
*Durchmesserbereich (mm)	[l]	0	
Bauteil-Rohdurchmesser (mm)	[deff]	130	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]		600.00 *
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Rp]		425.00 *
*Durchmesserbereich (mm)	[l]		0
Bauteil-Rohdurchmesser (mm)	[deff]		160
Oberflächen-Härte		HRC 61	HRC 61
Elastizitätsmodul (N/mm <sup>2</sup> )	[E]	206000	206000
Poissonzahl	[ν]	0.300	0.300
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σB]	600.00	600.00
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σS]	425.00	425.00

### 4.1 Zahnrad Rauigkeiten

		----- Welle -----	Nabe -----
Mittenrauhwert $R_a$ , Flanke (μm)	[RAH]	0.00	0.00
Mittenrauhwert $R_a$ , Fuss (μm)	[RAF]	0.00	0.00
Gemittelte Rauhtiefe $R_z$ , Flanke (μm)	[RZH]	4.80	4.80
Gemittelte Rauhtiefe $R_z$ , Fuss (μm)	[RZF]	20.00	20.00

## 5 Geometrie

### 5.1 Bezugsprofile

#### Bezugsprofil von Rad 1

Bezugsprofil	ISO 4156:2021/ANSI B92.2M, grosse Fussrundung, 0.60 / 0.25 / 0.40, 45°	
Fusshöhenfaktor	[hfP*]	0.600
Fussradiusfaktor	[ρfP*]	0.250
	[ρfPmax*]	0.448
Kopfhöhenfaktor	[haP*]	0.400
Kopfradiusfaktor	[ρaP*]	0.000
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000
Protuberanzwinkel	[αprP]	0.000
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000
Kantenbrechflankenwinkel	[αKP]	0.000
	nicht überschneidend	
Kleinster Krümmungsradius, Fussrundung (mm)	[ρmin.e/i]	1.571 / 1.574

#### Bezugsprofil von Rad 2

Bezugsprofil	ISO 4156:2021/ANSI B92.2M, grosse Fussrundung, 0.60 / 0.25 / 0.40, 45°	
Fusshöhenfaktor	[hfP*]	0.600
Fussradiusfaktor	[ρfP*]	0.250
	[ρfPmax*]	0.448

Kopfhöhenfaktor	[haP*]	0.400
Kopfradiusfaktor	[paP*]	0.000
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000
Protuberanzwinkel	[αprP]	0.000
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000
Kantenbrechflankenwinkel	[αKP]	0.000
	nicht überschneidend	

### 5.1.1 Angaben für die Fertigbearbeitung

		----- Welle -----	Nabe -----
Fusshöhe Bezugsprofil	[hfP*]	0.600	0.600
Fussradius Bezugsprofil	[ρfP*]	0.250	0.250
Kopfhöhe Bezugsprofil	[haP*]	0.400	0.400
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000	0.000
Protuberanzwinkel (°)	[αprP]	0.000	0.000
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000	0.000
Kantenbrechflankenwinkel (°)	[αKP]	0.000	0.000

### 5.2 Grunddaten

		----- Welle -----	Nabe -----
Stirnmodul (mm)	[mt]	6.000	
Stirneingriffswinkel (°)	[αt]	45.000	
Grundschrägungswinkel (°)	[βb]	0.000	
Profilverschiebungsfaktorsumme	[Σxi]	0.0000	
Profilverschiebungsfaktor	[x]	0.0000	0.0000
Normal-Lückenweite am Fusskreis (mm)	[efn]	2.312	2.146
(mm)	[efn.e/i]	2.312 / 2.179	2.146 / 2.042
Teilkreisteilung (mm)	[pt]	18.850	
Grundkreisteilung (mm)	[pbt]	13.329	
Stirneingriffsteilung (mm)	[pet]	13.329	
Zahnhöhe (mm)	[h]	6.000	6.000
Kopfspiel theoretisch (mm)	[c]	1.200	1.200
Kopfspiel effektiv (mm)	[c.e/i]	1.344 / 1.200	1.341 / 1.200
Normalzahndicke am Kopfkreis (mm)	[san]	4.715	4.537
(mm)	[san.e/i]	4.757 / 4.617	4.571 / 4.385

### 5.3 Durchmesser und deren Abmasse

		----- Welle -----	Nabe -----
Zahnwellen-Teilkreisdurchmesser (mm)	[d]	120.000	120.000
Grundkreisdurchmesser (mm)	[db]	84.853	84.853
Kopfkreisdurchmesser (mm)	[da]	124.800	115.200
Effektiver Kopfkreisdurchmesser (mm)	[da.e/i]	124.800 / 124.760	115.200 / 115.235
Kopfkreisabmasse (mm)	[Ada.e/i]	0.000 / -0.040	0.000 / 0.035
Fusskreisdurchmesser (mm)	[df]	112.800	127.200
Effektiver Fusskreisdurchmesser (mm)	[df.e/i]	112.800 / 112.553	127.200 / 127.447
Fusskreisabmasse (mm)	[Adf.e/i]	0.000 / -0.247	-0.000 / 0.247

Hinweis: Gemäss ISO 4156-1:2021, Table 1, wird Adf.e/i mit Kopfkreistoleranz  $esv/\tan(\alpha)$  berechnet.

Fussformkreisdurchmesser (mm) [DFe,DFi.e/i] 114.158 / 0.000 126.000 / -0.000

Durchmesser, welche nicht definiert sind, werden mit 0 angegeben.

Exakte Angaben zum Fussformdurchmesser  $d_{Ff}$  mit allen Toleranzen sind im Report der Zahnformberechnung dokumentiert.

Kopfnutzkreisdurchmesser (mm)	[dNa.e/i]	124.800 / -0.000	115.200 / 115.235
Fussnutzkreisdurchmesser (mm)	[dNf.e/i]	115.200 / 115.235	124.800 / 124.760

## 6 Prüfmasse für die Zahndicke

		----- Welle -----	Nabe -----
Toleranzklasse		6	7
Zahndickentoleranz		DIN 5480 h	DIN 5480 H
Messzähnezahl	[k]	6.0000	5.0000
Zahnweite spielfrei (mm)	[Wk]	91.5171	78.1885
Messkreisdurchmesser (mm)	[dMWk.m]	124.7771	115.4219
Theor. Messkörperdurchmesser (mm)	[dm]	14.4971	12.3817
Effektiver Messkörperdurchmesser (mm)	[DMeff]	15.0000	14.0000
Diametrales Kugelmass spielfrei (mm)	[MRe/Mri-ball]	146.3139	95.0562
Diametrales Rollenmass spielfrei (mm)	[MRe/Mri-pin]	146.3139	95.0562

### 6.1 Prüfmasse nach ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989 (Actual)

		----- Welle -----	Nabe -----
Zahndicke (mm)	[Smax/Smin]	9.364 / 9.270	
Lückenweite (mm)	[Emax/Emin]		9.6719/9.5131
Zahndickentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Smax/min]	-0.0606/-0.1545	
Zahnlückentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Emax/min]		0.2472/0.0883
Zahnweite (mm)	[Wk.Smax/Smin]	91.4743/91.4079	
Zahnweite (mm)	[Wk.Smax/Smin]		78.3633/78.2509
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]	146.2578/146.1708	
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]		95.3339/95.1555
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]	146.2578/146.1708	
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]		95.3339/95.1555

### 6.2 Prüfmasse nach ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989 (Effective)

		----- Welle -----	Nabe -----
Zahndicke (mm)	[Svmax/min]	9.4248/9.3309	
Lückenweite (mm)	[Evmax/min]		9.5836/9.4248
Zahndickentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Svmax/min]	0.0000/-0.0939	
Zahnlückentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Evmax/min]		0.1589/0.0000
Zahnweite (mm)	[Wk.Svmax/min]	91.5171/91.4508	
Zahnweite (mm)	[Wk.Svmax/min]		78.3008/78.1885
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]	146.3139/146.2269	
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]		95.2348/95.0562
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]	146.3139/146.2269	
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]		95.2348/95.0562

### 6.3 Verdrehflankenspiel

Verdrehflankenspiel, Stirnschnitt:			
-Theoretisch, ohne Formfehler (mm)	[jt.act]	0.4016/0.1489	
-Effektiv, mit Formfehler (mm)	[jt.eff]	0.2527/0.0000	
Normalflankenspiel:			
-Theoretisch, ohne Formfehler (mm)	[jn.act]	0.2840/0.1053	
-Effektiv, mit Formfehler (mm)	[jn.eff]	0.1787/0.0000	

**Radialspiel:**

-Theoretisch, ohne Formfehler (mm)	[jr.act]	0.1420/0.0526
-Effektiv, mit Formfehler (mm)	[jr.eff]	0.0894/0.0000

Hinweis: Bei Kontrolle der Splines mit Einzelmessung, Zahnweite/Rollenmass sind die Angaben zu 'Actual Dimensions' einzuhalten.

## 7 Verzahnungstoleranzen

		----- Welle -----	Nabe -----	
Nach ISO 4156:2021/ANSI B92.2M-1989:				
Toleranzklasse	[Vqual]	6	7	
Teilungs-Gesamtabweichung (µm)	[Fp]	81.1	115.5	
Profil-Gesamtabweichung (µm)	[Fα]	55.0	87.3	
Flankenlinien-Gesamtabweichung (µm)	[Fβ]	24.0	26.7	
Form-Gesamtabweichung nach ISO 4156 (µm)				
Toleranz	[λ]	60.6	88.3	
Toleranz (µm)	[Tv]	93.9	158.9	
Toleranz (µm)	[Tv+λ]	154.5	247.2	*1
Toleranz (µm)	[T]	186.6	158.9	
Toleranz (µm)	[T+λ]	247.2	247.2	*2

\*1 Tv+λ wird entsprechend der eingegebenen Toleranzklasse berechnet. Verwendet für: Svmax/min, Evmax/min.

\*2 Gemäss ISO 4156-1:2021, Table 1, Note 1, wird T+λ nach Toleranzklasse 7 berechnet. Verwendet für: da.e/i, df.e/i.

## 8 Festigkeitsberechnung

Rechenmethode:		G. Niemann, Maschinenelemente I, 4.Auflage.	
		----- Welle -----	Nabe -----
Tragende Länge (mm)	[l <sub>tr</sub> ]	70.00	
Maximale Umfangskraft (N)	[F <sub>t</sub> ]	553782.37	
Maximale Umfangskraft pro Zahn (N)	[F <sub>t/z</sub> ]	27689.12	
Kraftangriffs Durchmesser (mm)	[d <sub>m</sub> ]	120.00	
Zahnhöhe (mm)	[h]	4.76	
Abstand a <sub>0</sub> (mm)	[a <sub>0</sub> ]	0.00	
Längenfaktor	[k <sub>λ</sub> ]	1.11	
Anteilmfaktor, äquivalente Last	[k <sub>φβq</sub> ]	4.00	
Anteilmfaktor, maximale Last	[k <sub>φβmax</sub> ]	3.00	
Die Anteilfaktoren k <sub>φβ</sub> nach Niemann werden entsprechend der Toleranzklasse nach DIN 5480 bestimmt.			
Entsprechende Toleranzklasse nach DIN 5480 [Q] 11			
Nenn Drehmoment (Nm)	[T <sub>nenn</sub> ]	26581.00	
Anwendungsfaktor	[KA]	1.25	
Betriebsdrehmoment (Nm)	[T <sub>eq</sub> ]	33226.25	
Maximaldrehmoment (Nm)	[T <sub>max</sub> ]	33226.25	
Drehmoment-Verlauf:	Kein Wechselmoment		
Häufigkeit der Lastspitze	[NL]	1000	
Häufigkeit der Lastrichtungswechsel	[NW]	1	
Lastrichtungswechselfaktor	[f <sub>w</sub> ]	1.00	
Toleranzfeld nach DIN 5480	"H11"		

### 8.1 Welle

		----- Welle -----	Nabe -----
Breite auf Welle (mm)	[l <sub>W</sub> ]	200.00	
Tragende Fläche (mm <sup>2</sup> )	[Fl <sub>w=ltr·h·z</sub> ]	6667.50	
Kopfformkreisdurchmesser (mm)	[d <sub>Fa1.i</sub> ]	124.76	
Äquivalente wirksame Flächenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[p <sub>eq</sub> ]	367.49	
Maximale wirksame Flächenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[p <sub>max</sub> ]	367.49	

Stützfaktor	[fs]	1.30
Lastspitzenfaktor	[fL]	1.50
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.15
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzuleq]	635.38
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzulmax]	953.06
fw·pzul/peq		1.73
fL·pzul/pmax		2.59
Sollsicherheit	[Smin]	1.00
Minimale Sicherheit	[S]	1.73

## 8.2 Nabe

	----- Welle -----	Nabe -----
Breite auf Nabe (mm)	[L_N]	70.00
Tragende Fläche (mm <sup>2</sup> )	[Fln=ltr*h*z]	6667.50
Kopfformkreisdurchmesser (mm)	[dFa2.i]	-115.23
Kleiner Aussendurchmesser (mm)	[D1]	150.00
Grosser Aussendurchmesser (mm)	[D2]	150.00
Breite des Nabenteils mit D <sub>2</sub> (mm)	[c]	70.00
Ersatzdurchmesser Nabe (mm)	[D]	150.00
Äquivalente wirksame Flächenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[peq]	367.49
Maximale wirksame Flächenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pmax]	367.49
Stützfaktor	[fs]	1.50
Lastspitzenfaktor	[fL]	1.50
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.15
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzuleq]	733.13
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzulmax]	1099.69
fw·pzul/peq		1.99
fL·pzul/pmax		2.99
Sollsicherheit	[Smin]	1.00
Minimale Sicherheit	[S]	1.99

## 9 Ergänzende Daten

### 9.1 Trägheitsmoment

	----- Welle -----	Nabe -----
Trägheitsmoment (System bezogen auf Rad 1): Berechnung ohne Berücksichtigung der exakten Zahnform		
Räder einzeln, (da+df)/2...di (kg*m <sup>2</sup> )	[J]	0.02425      0.01560
System, (da+df)/2...di (kg*m <sup>2</sup> )	[J]	0.03986

## 10 Modifikationen und Bestimmung der Zahnform

### 10.1 Daten zur Zahnformberechnung

Daten nicht vorhanden.

Bitte führen Sie eine Berechnung im Tab "Zahnform" aus und öffnen Sie das Hauptprotokoll erneut.

## 11 Bemerkungen

### 11.1 Konventionen

- Angaben mit **.e/i** bedeuten: Maximal **.e** und Minimalwert **.i** bei Berücksichtigung aller Toleranzen.
- Angaben mit **.m** bedeuten: Mittelwert in der Toleranz.

### 11.2 Berechnungen und Faktoren

- Zur Rechenmethode:

$$h = (d_{Fa1,i} - \text{ABS}(d_{Fa2,i})) / 2.0$$

$$d_m = (d_{Fa1,i} + \text{ABS}(d_{Fa2,i})) / 2.0$$

$$F_t = M_{\max} \cdot 2000 / d_m$$

$$\text{Pressbelastung: } p_{(eq,max)} = k_{\phi\beta(eq,max)} \cdot k_\lambda \cdot M \cdot 2000 / (d_m \cdot l \cdot h \cdot z); p_{\max} \geq p_{eq}$$

Wenn  $p_{\max} < p_{eq}$  wird  $p_{\max} = p_{eq}$  gesetzt.

Lastrichtungswechselfaktor nach DIN 6892:2012/ Bild 7.

$$p_{zul\text{eq}} = f_s \cdot f_H \cdot f_w \cdot (R_m, R_p)$$

$$p_{zul\text{max}} = f_s \cdot f_H \cdot f_L \cdot (R_m, R_p)$$

$R_m$  bei sprödem Werkstoff;  $R_p$  bei duktilem Werkstoff.

Ende Protokoll (Zeilen: 355)

# Dry Friction Product Specifications\*

## CLUTCHTEX<sup>®</sup> P-7

**Description** 100% KEVLAR<sup>®</sup> fiber composite material is a non-molded and non-asbestos, textile-reinforced polymer for industrial clutch and brake applications. Offers uniquely high wear resistance and low opposing surface wear. Available bonded to carrier plates in thicknesses as required (often laminated over a cork-nitrile substrate), or as a flexible laminate up to 10 mm (3/8") thick.

### Physical and mechanical properties

Composition	100% long KEVLAR <sup>®</sup> fibers and proprietary polymer binders. Includes no metal, no abrasives, no cotton, and no fillers.
Density	0.91 g/cu. cm (0.033 lb./cu.in.)
Thermal conductivity	Extremely low
Shock resistance	Excellent (does not crack, or break)
Lubricant contaminant resistance	Does not degrade
Abrasiveness	Non-abrasive to opposing iron, steel, and copper surfaces

### Operating conditions

Static pressure	Up to 6900 kPa (1,000 p.s.i.), (or as limited by substrate)
Dynamic pressure	140 - 3100 kPa (20-450 p.s.i.)
Temperature	Ambient to 315° C (600° F)
Surface speed	Static to 40 m/s (8,000 ft./min.)
Opposing surface	Machined and unfractured surface required, no fine finishing necessary

Surface speed, temperature, and pressure are interdependent energy parameters. Values represent typical conditions and are not the ultimate limits of the material. Burnish time to achieve full mating surface contact can be three to five times that of conventional materials.

### Approximate dry friction properties (after extended burnish)

Wear rate	1/5 to 1/10 that of asbestos materials 1/2 to 1/3 that of sintered bronze materials
Dynamic coefficient of friction	0.36 $\mu$ $\pm$ 0.1 in the 95 - 345° C range (200° F - 650° F) Approximately 25% higher than molded asbestos, glass - fibered, and graphitic materials
Static to dynamic ratio	1.05
Fade	Significant fade to 260° C (500° F), accelerating at 370° C (700° F)

\*All values shown are approximations derived from a variety of tests and field applications. No warranty or implied liability assumed herein. Friction values shown are for guide purposes only, as actual values can deviate with individual design and operating conditions.

Patented. Developed and manufactured exclusively by:

**Tribco, Inc., 18901 Cranwood Parkway  
Cleveland, Ohio 44128 USA  
216-486-2000, Fax 216-486-2099, [www.tribco.com](http://www.tribco.com)**



# Wet Friction Product Specifications\*

## CLUTCHTEX® P-7

**Description** 100% KEVLAR® fiber composite material is a non-molded and non-paper, textile-reinforced polymer containing no asbestos. Offers improved performance for all wet clutch and brake applications, featuring dramatically higher energy threshold to failure. Available bonded to carrier plates.

### Physical and mechanical properties

Composition	100% long KEVLAR® fibers and proprietary polymerbinders feature higher temperature resistance than phenolics. Includes no metal, no abrasives, no cotton, and no fillers.
Density	0.88 g/cu. cm (0.032 lb./cu.in.)
Shock resistance	Excellent (does not crack, chip, or break)
Abrasiveness	Non-abrasive to opposing surfaces
Porosity	Unique "open, continuous-pore" structure (Characteristic of proprietary textile-reinforced composite production process)

### Operating conditions

Static pressure	As limited by bond and carrier plate
Dynamic pressure	140 - 2760 kPa (20-400 p.s.i.) Upper limit not yet determined
Oil Bath Temperature	Ambient to 150° C (300° F) in automatic transmission fluid Ambient to 205° C (400° F) in silicone oil
Lubricant/Coolant	No known limitations. Resists ethylene glycol.
Opposing surface	No fine finishing required, runs against steel, iron, stainless steel, copper, hard aluminum.

Surface speed, temperature, and pressure are interdependent energy parameters. Values represent typical conditions and are not the ultimate limits of the material. Burnish time to achieve full mating surface contact can be three to five times that of conventional materials.

### Approximate wet friction properties in automatic transmission fluid (after extended burnish)

Wear rate	1/2 to 1/5 that of organics and paper, 1/2 to 1/3 that of sintered bronze materials
Dynamic coefficient of friction	0.10 to 0.15 $\mu$ in the 23 - 290 W/sq. cm range (0.2 - 2.5 HP/sq. in.) Approximately 10% higher than paper, maintaining coefficient beyond the energy limits of sintered bronze.
Static to dynamic ratio	1.05 - 1.15

\*All values shown are approximations derived from a variety of tests and field applications. No warranty or implied liability assumed herein. Friction values shown are for guide purposes only, as actual values can deviate with individual design and operating conditions.

Patented. Developed and manufactured exclusively by:

**Tribco, Inc., 18901 Cranwood Parkway  
Cleveland, Ohio 44128 USA  
216-486-2000, Fax 216-486-2099, [www.tribco.com](http://www.tribco.com)**



**TK 6587 - Werkstoffdatenblatt - Einsatz- und Wälzlagerstahl**

Wst.Nr. 1.6587	18CrNiMo7-6
Min.	C 0,15 Si - Mn 0,5 P - S - Cr 1,5 Mo 0,25 Ni 1,4 *)
Max.	C 0,21 Si 0,4 Mn 0,9 P 0,025 S 0,035 Cr 1,8 Mo 0,35 Ni 1,7 *)

Kundenspezifische Einschränkungen der Normanalyse sind nach Rücksprache mit der ThyssenKrupp Materials Austria möglich.

**Normen und Bezeichnungen**

DIN EN 10084	1.6587 18CrNiMo7-6
BS	EN355 822A17 822H17 817M17
DIN EN ISO 683-17	18CrNiMo7-6

**Verwendungshinweise**

TK 6587 verfügt über eine gute Zähigkeit und ist gut zerspanbar. Dieser Stahl wird für höchstbeanspruchte Getriebeteile wie Tellerräder oder Antriebsritzeln und für Zahnräder verwendet.

**Technischer Lieferzustand**

Weichgeglüht (+A)	max. 229 HB
Geglüht auf kugeligen Zementit (+AC)	max. 179 HB
Behandelt auf Ferrit-Perlit Gefüge (+FP)	159 – 207 HB
Auf Scherbarkeit behandelt (+S)	max. 255 HB
Behandelt auf Härtespanne (+TH)	179 – 229 HB

**Schweißen**

TK 6587 ist in der Regel schweißbar.

**Warmumformung**

TK 6587 wird bei 1100°C – 850°C warmumgeformt.

**Physikalische Eigenschaften**

Dichte (kg/dm <sup>3</sup> )	7,8
Elastizitätsmodul in GPa	210
Elektr. Widerstand bei 20 °C in (Ω mm <sup>2</sup> )/m	0,12
Wärmeleitfähigkeit bei 20 °C in W/(m K)	39,8
Spez. Wärmekapazität bei 20 °C in J/(kg K)	431
Mittlerer Wärmeausdehnungskoeffizient Im weichgeglühten Zustand in 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	
20 – 100 °C	11,5
20 – 200 °C	12,5
20 – 300 °C	13,3
20 – 400 °C	13,9

**Wärmebehandlung**

	Temperatur in °C	Abkühlung <sup>1)</sup>
Weichglühen (+A)	650 – 700	Öl, Polymer
Aufkohlen	880 – 980	Öl, Polymer
Kernhärten	830 – 870	Öl, Polymer
Randhärten	780 – 820	Öl, Polymer
Anlassen	150 – 200	Luft

<sup>1)</sup> Die Art des Abkühlmittels hängt zB von der Gestalt der Erzeugnisse, den Abkühlbedingungen und dem Füllgrad des Ofens ab.

\*) Chemische Zusammensetzung (in Massen-% nach DIN EN 10084)

**TK 6587 - Werkstoffdatenblatt - Einsatz- und Wälzlagerstahl**

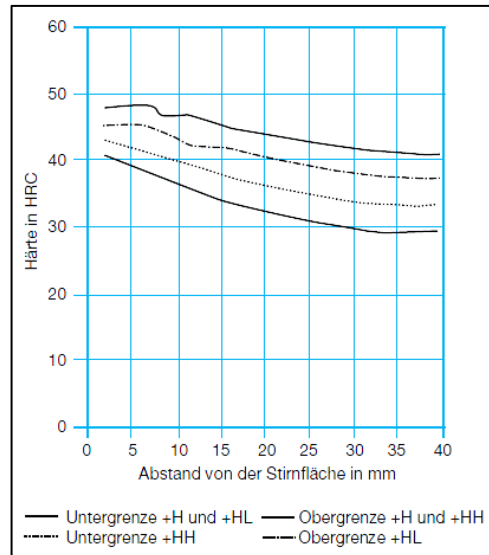
**Mechanische Eigenschaften**

Bei Raumtemperatur im blindgehärteten Zustand <sup>2)</sup>

d in mm	Streckgrenze in MPa	Zugfestigkeit in MPa	Bruchdehnung (L <sub>0</sub> = 5 d <sub>0</sub> ) in %	Brucheinschnürung in %	Kerbschlagarbeit ISO - V in J
11	835	1180 – 1420	7	30	41
30	785	1080 – 1320	8	35	41
63	685	980 – 1270	8	35	41

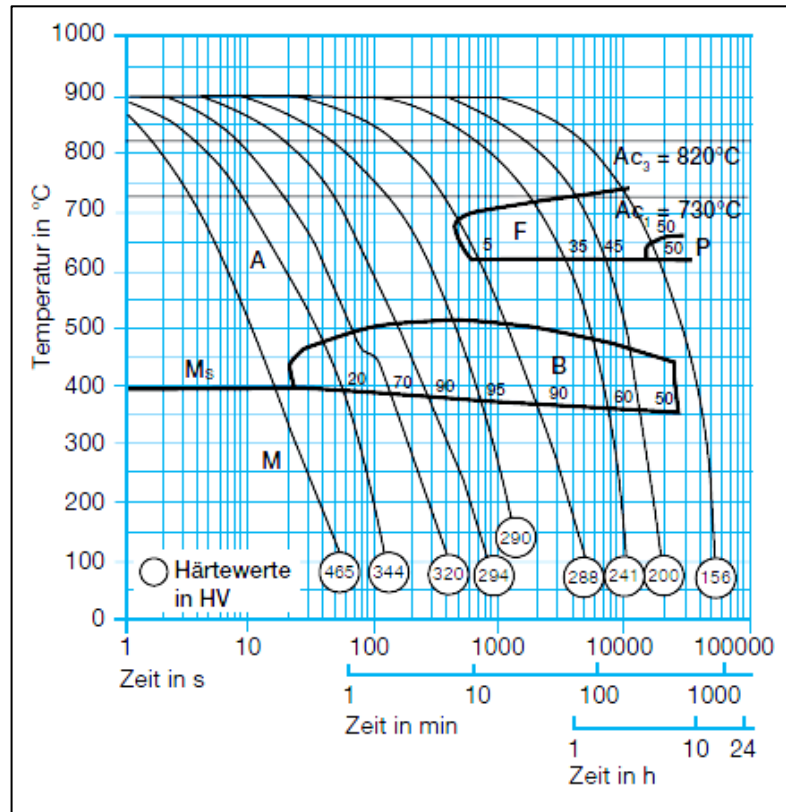
**Härtbarkeitsstreuband**

Härtetemperatur: 860 °C



**Zeit-Temperatur-Umwandlungsdiagramm**

C 0,16 Si 0,32 Mn 0,5  
P 0,016 S 0,017 Cr 1,57  
Ni 1,47 Mo 0,29



<sup>2)</sup> Angaben zu abmessungsabhängigen Festigkeitskennwerten werden in der Norm nicht mehr angegeben. Oben stehende Werte stammen aus der veralteten Norm DIN 17210 und dienen lediglich als Anhaltswerte.

### Wichtiger Hinweis

Die in diesem Datenblatt enthaltenen Angaben über die Beschaffenheit oder Verwendbarkeit von Materialien bzw. Erzeugnissen sind keine Eigenschaftszusicherungen, sondern dienen der Beschreibung. Die Angaben, mit denen wir Sie beraten wollen, entsprechen den Erfahrungen des Herstellers und unseren eigenen. Eine Gewähr für die Ergebnisse bei der Verarbeitung und Anwendung der Produkte können wir nicht übernehmen.

# Tellerfedern

## Berechnung

**DIN**  
**2092**

Disc springs; calculation

### Inhalt

	Seite		Seite
<b>0 Begriff, Mitgeltende Normen</b> . . . . .	1	<b>5.4</b> Verschiedenartige Anordnung von Einzeltellerfedern . . . . .	5
0.1 Begriff . . . . .	1	<b>6</b> <b>Berechnung von Tellerfedern mit ruhender bzw. selten wechselnder Beanspruchung</b> . . . . .	5
0.2 Mitgeltende Normen . . . . .	1	6.1 Maßgebende Querschnittsstelle . . . . .	5
<b>1</b> <b>Darstellung</b> . . . . .	1	6.2 Zulässige Beanspruchungen . . . . .	5
<b>2</b> <b>Formelzeichen, Maßbuchstaben, Benennungen und Einheiten</b> . . . . .	2	<b>7</b> <b>Berechnung von Tellerfedern mit schwingender Beanspruchung</b> . . . . .	6
<b>3</b> <b>Berechnungsgleichungen und Beiwerte für den Einzelteller</b> . . . . .	2	7.1 Für den Schwingungsbruch maßgebende Querschnittsstelle . . . . .	6
3.1 Einzeltellerfeder mit üblicher Krafteinleitung . . . . .	2	7.2 Mindestvorspannfederweg zur Vermeidung von Anrissen . . . . .	6
3.2 Einzeltellerfeder mit Krafteinleitung über verkürzte Hebelarme . . . . .	3	7.3 Zulässige Beanspruchungen und zulässiger Federwegbereich . . . . .	6
3.3 Beiwerte $K_1$ , $K_2$ und $K_3$ . . . . .	3	<b>8</b> <b>Berechnungsbeispiele</b> . . . . .	7
<b>4</b> <b>Federkennlinie der Einzeltellerfeder</b> . . . . .	4	8.1 Tellerfedern mit ruhender bzw. selten wechselnder Beanspruchung . . . . .	7
<b>5</b> <b>Kombination von Einzeltellerfedern</b> . . . . .	4	8.2 Tellerfedern mit schwingender Beanspruchung . . . . .	9
5.1 Reibungskraft . . . . .	4		
5.2 Federpaket . . . . .	4		
5.3 Federsäule . . . . .	4		

## 0 Begriff, Mitgeltende Normen

### 0.1 Begriff

Tellerfedern sind kegelförmig gestaltete, in Achsrichtung belastbare Ringscheiben. Sie sind sowohl ruhend als auch dauerschwingend belastbar. Die Tellerfedern lassen sich als Einzelteller, in Paketen gleichsinnig geschichtet, wechselsinnig aneinandergereiht oder als wechselsinnig aneinandergereihte Federpakete verwenden. Sie werden mit und ohne Auflageflächen gefertigt.

### 0.2 Mitgeltende Normen

DIN 2093 Tellerfedern; Maße, Werkstoff, Eigenschaften

DIN 50 100 Werkstoffprüfung; Dauerschwingversuch, Begriffe, Zeichen, Durchführung, Auswertung

## 1 Darstellung

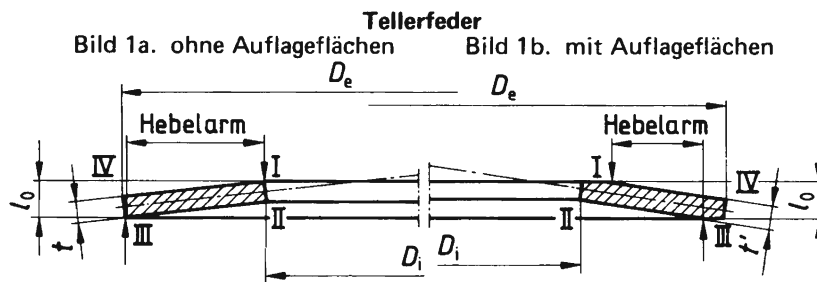


Bild 1. Einzeltellerfeder und Querschnittsstellen der rechnerischen Spannungen

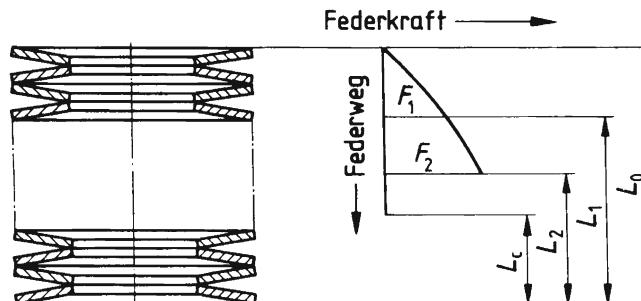


Bild 2. Beispiel einer Federsäule

Fortsetzung Seite 2 bis 10  
Erläuterungen Seite 11

## 2 Formelzeichen, Maßbuchstaben, Benennungen und Einheiten

$D_e$	Außendurchmesser	in mm
$D_i$	Innendurchmesser	in mm
$E$	Elastizitätsmodul (siehe DIN 2093)	in N/mm <sup>2</sup>
$F$	Federkraft des Einzeltellers	in N
$F_1, F_2, F_3 \dots$	Federkräfte, zugeordnet den Federwegen $s_1, s_2, s_3 \dots$	in N
$F_c$	Errechnete Federkraft bei plattgedrücktem Zustand	in N
$F_{ges}$	Federkraft der Federpakete, zugeordnet dem Federweg $s_{ges}$	in N
$L_0$	Länge der unbelasteten Federsäule oder des unbelasteten Federpaketes	in mm
$L_1, L_2, L_3 \dots$	Längen der belasteten Federsäule oder des belasteten Federpaketes, zugeordnet den Federkräften $F_1, F_2, F_3 \dots$	in mm
$L_c$	Errechnete Länge der Federsäule oder des Federpaketes im plattgedrückten Zustand	in mm
$N$	Anzahl der Lastspiele bis zum Bruch	
$R$	Federrate	in N/mm
$W$	Federungsarbeit	in N mm
$h_0$	Rechengröße (theoretischer Federweg bis zur Planlage); $h_0 = l_0 - t$	in mm
$i$	Anzahl der wechelsinnig zu einer Säule aneinandergereihten Einzelteller oder Federpakete	
$l_0$	Bauhöhe des unbelasteten Einzeltellers	in mm
$n$	Anzahl der gleichsinnig zu einem Paket geschichteten Einzelteller	
$s$	Federweg des Einzeltellers	in mm
$s_1, s_2, s_3 \dots$	Federwege, zugeordnet den Federkräften $F_1, F_2, F_3 \dots$	in mm
$s_{ges}$	Federweg der Federsäule oder des Federpaketes ohne Berücksichtigung der Reibung Empfohlener Größtwert $s_{ges} \approx 0,75 (L_0 - L_c)$	in mm
$t$	Dicke des Einzeltellers	in mm
$t'$	Reduzierte Dicke des Einzeltellers bei Tellerfedern mit Auflageflächen (siehe DIN 2093)	in mm
$\sigma$	Rechnerische Spannung	in N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_I, \sigma_{II}, \sigma_{III}, \sigma_{IV}$	Rechnerische Spannungen für die Stellen I, II, III, IV (siehe Bild 1)	in N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_0$	Rechnerische Oberspannung bei Tellerfedern mit Dauerschwingbeanspruchung	in N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_u$	Rechnerische Unterspannung bei Tellerfedern mit Dauerschwingbeanspruchung	in N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_h$	Hubspannung, zugeordnet dem Arbeitsweg bei Tellerfedern mit Dauerschwingbeanspruchung	in N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_O$	Oberspannung der Dauerschwingfestigkeit	in N/mm <sup>2</sup>

$\sigma_U$  Unterspannung der Dauerschwingfestigkeit in N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_H = \sigma_O - \sigma_U$  Dauerhubfestigkeit (siehe Abschnitt 7) in N/mm<sup>2</sup>

$K_1, K_2, K_3$  } Beiwerte (siehe Abschnitt 3)

$\delta = \frac{D_e}{D_i}$  = Durchmesser Verhältnis

$\mu$  Poisson-Zahl. Für Federstahl ist  $\mu \approx 0,3$

## 3 Berechnungsgleichungen und Beiwerte für den Einzelteller

Bei der Berechnung der Einzeltellerfeder ist zu beachten, daß die wirksamen Hebelarme von der Art der Krafteinleitung beim Belasten der Tellerfeder abhängig sind. Üblicherweise erfolgt die Krafteinleitung über die Stellen I und III nach Bild 1a (siehe Abschnitt 3.1). Die Kraft kann jedoch auch über verkürzte Hebelarme, z. B. nach Bild 1b, eingeleitet werden (siehe Abschnitt 3.2).

### 3.1 Einzeltellerfeder mit üblicher Krafteinleitung

Bei Krafteinleitung über die Stellen I und III nach Bild 1a wird nach den Gleichungen von Almen und László gerechnet, siehe auch [1] und [2].

Beiwerte  $K_1, K_2$  und  $K_3$  siehe Abschnitt 3.3.

#### 3.1.1 Federkraft

$$F = \frac{4E}{1-\mu^2} \cdot \frac{t^4}{K_1 \cdot D_e^2} \cdot \frac{s}{t} \left[ \left( \frac{h_0}{t} - \frac{s}{t} \right) \left( \frac{h_0}{t} - \frac{s}{2t} \right) + 1 \right] \quad (1)$$

#### 3.1.2 Rechnerische Spannungen

$$\sigma_I = \frac{4E}{1-\mu^2} \cdot \frac{t^2}{K_1 \cdot D_e^2} \cdot \frac{s}{t} \left[ -K_2 \left( \frac{h_0}{t} - \frac{s}{2t} \right) - K_3 \right] \quad (2)$$

$$\sigma_{II} = \frac{4E}{1-\mu^2} \cdot \frac{t^2}{K_1 \cdot D_e^2} \cdot \frac{s}{t} \left[ -K_2 \left( \frac{h_0}{t} - \frac{s}{2t} \right) + K_3 \right] \quad (3)$$

$$\sigma_{III} = \frac{4E}{1-\mu^2} \cdot \frac{t^2}{K_1 \cdot D_e^2} \cdot \frac{s}{t} \cdot \frac{1}{\delta} \left[ \left( 2K_3 - K_2 \right) \left( \frac{h_0}{t} - \frac{s}{2t} \right) + K_3 \right] \quad (4)$$

$$\sigma_{IV} = \frac{4E}{1-\mu^2} \cdot \frac{t^2}{K_1 \cdot D_e^2} \cdot \frac{s}{t} \cdot \frac{1}{\delta} \left[ \left( 2K_3 - K_2 \right) \left( \frac{h_0}{t} - \frac{s}{2t} \right) - K_3 \right] \quad (5)$$

Positive Ergebnisse sind Zugspannungen, negative Ergebnisse Druckspannungen. Die Spannung  $\sigma_{IV}$  ist von untergeordneter Bedeutung.

Für Edelmehle mit  $E = 206\,000$  N/mm<sup>2</sup> (siehe DIN 2093)

$$\text{ist } \frac{4E}{1-\mu^2} = 905\,495 \text{ N/mm}^2$$

#### 3.1.3 Federrate

$$R = \frac{dF}{ds} = \frac{4E}{1-\mu^2} \cdot \frac{t^3}{K_1 \cdot D_e^2} \left[ \left( \frac{h_0}{t} \right)^2 - 3 \frac{h_0}{t} \cdot \frac{s}{t} + \frac{3}{2} \left( \frac{s}{t} \right)^2 + 1 \right] \quad (6)$$

(siehe auch Abschnitt 4)

#### 3.1.4 Federungsarbeit

$$W = \int_0^s F \cdot ds = \frac{2E}{1-\mu^2} \cdot \frac{t^5}{K_1 \cdot D_e^2} \left( \frac{s}{t} \right)^2 \left[ \left( \frac{h_0}{t} - \frac{s}{2t} \right)^2 + 1 \right] \quad (7)$$

### 3.2 Einzeltellerfeder mit Kräfteinleitung über verkürzte Hebelarme

Die Kraft wird nicht über die Stellen I und III nach Bild 1 a, sondern über verkürzte Hebelarme eingeleitet, so daß die in Abschnitt 3.1 angegebenen Gleichungen nicht mehr zutreffen. Verschiedene Möglichkeiten der Kräfteinleitung über verkürzte Hebelarme sind in der einschlägigen Literatur behandelt worden, siehe [1 bis 13], und können auch bei den Federherstellern erfragt werden. Bei Tellerfedern mit Auflageflächen, z. B. Tellerfedern der Gruppe 3 nach DIN 2093, wird die Kraft ebenfalls über verkürzte Hebelarme eingeleitet (siehe Bild 1 b). Bei diesen Tellerfedern wird, um die vorgeschriebene Federkraft  $F$  bei  $s \approx 0,75 h_0$  zu erreichen, die Tellerdicke  $t$  vom Hersteller auf die Dicke  $t'$  verringert. Einzelheiten über die Berechnung von Einzeltellerfedern mit Kräfteinleitung über verkürzte Hebelarme sind dem Schrifttum bzw. den Katalogen der Federhersteller zu entnehmen. Berechnungsmethoden zur Einbeziehung von Tellerfedern mit Auflageflächen in die allgemeine Berechnung nach DIN 2093 siehe [8 bis 10].

### 3.3 Beiwerte $K_1$ , $K_2$ und $K_3$

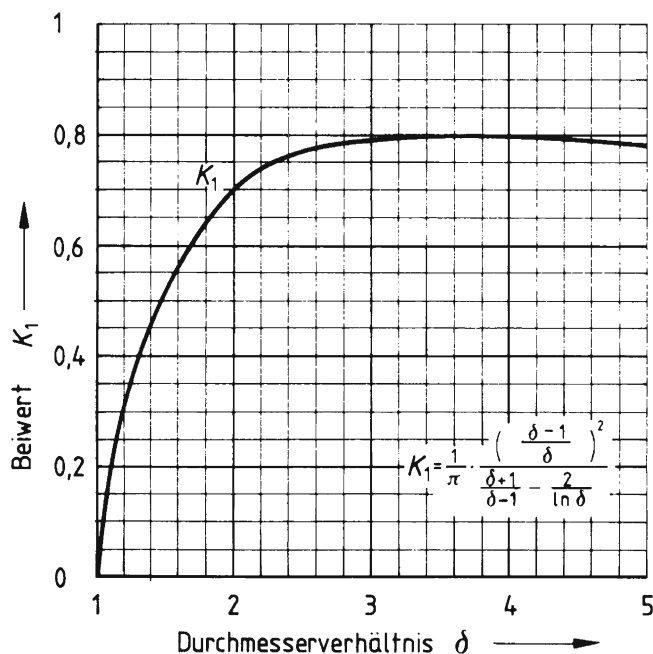


Bild 3. Beiwert  $K_1$  in Abhängigkeit vom Durchmesser-  
verhältnis  $\delta$

$\delta$	$K_1$	$K_2$	$K_3$
1,2	0,29	1,02	1,05
1,3	0,39	1,04	1,09
1,4	0,46	1,07	1,14
1,5	0,52	1,10	1,18
1,6	0,57	1,12	1,22
1,7	0,61	1,15	1,26
1,8	0,65	1,17	1,30
1,9	0,67	1,20	1,34
2,0	0,69	1,22	1,38
2,1	0,71	1,24	1,42
2,2	0,73	1,26	1,45
2,3	0,74	1,29	1,49
2,4	0,75	1,31	1,53
2,5	0,76	1,33	1,56
2,6	0,77	1,35	1,60

$\delta$	$K_1$	$K_2$	$K_3$
2,7	0,77	1,37	1,63
2,8	0,78	1,39	1,67
2,9		1,41	1,70
3,0	0,79	1,43	1,74
3,1		1,45	1,77
3,2	0,80	1,46	1,81
3,4		1,50	1,87
3,6	0,80	1,54	1,94
3,8		1,57	2,00
4,0	0,80	1,60	2,07
4,2		1,64	2,13
4,4	0,80	1,67	2,19
4,6		1,70	2,25
4,8	0,79	1,73	2,31
5,0		1,76	2,37

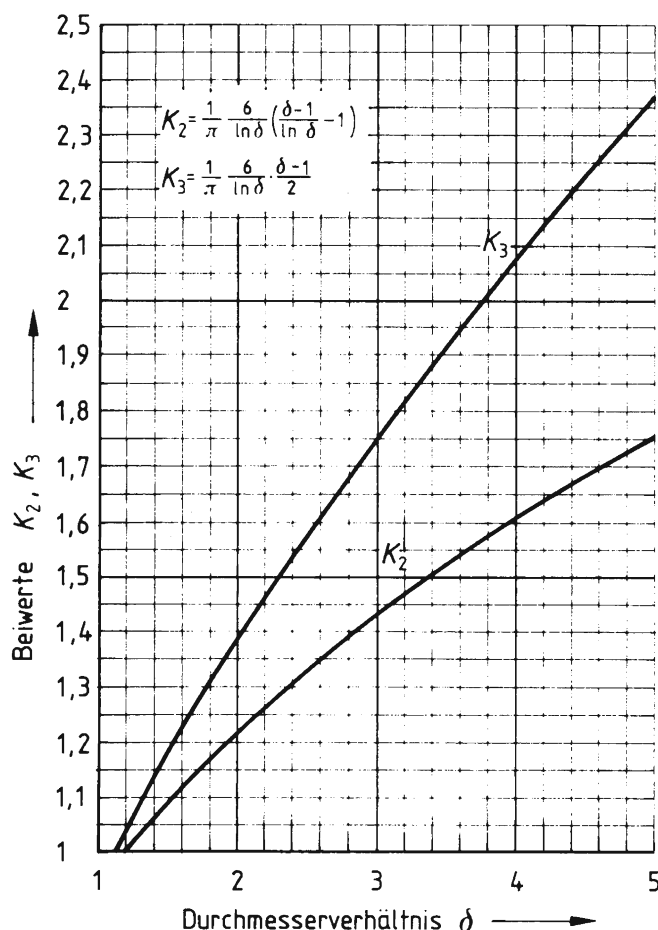
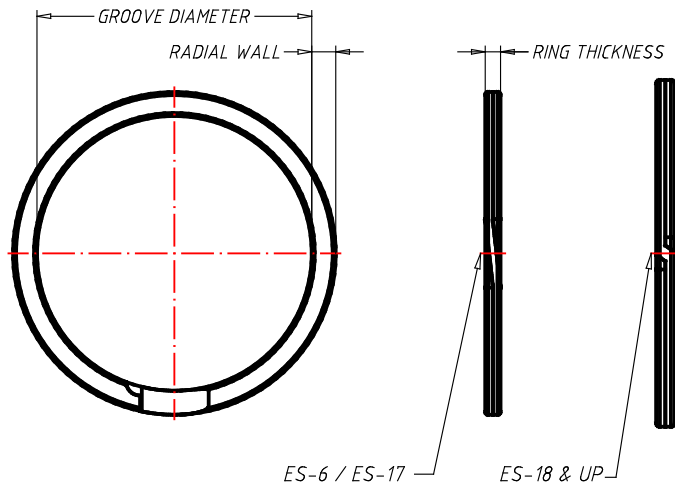


Bild 4. Beiwerte  $K_2$  und  $K_3$  in Abhängigkeit vom Durch-  
messer Verhältnis  $\delta$



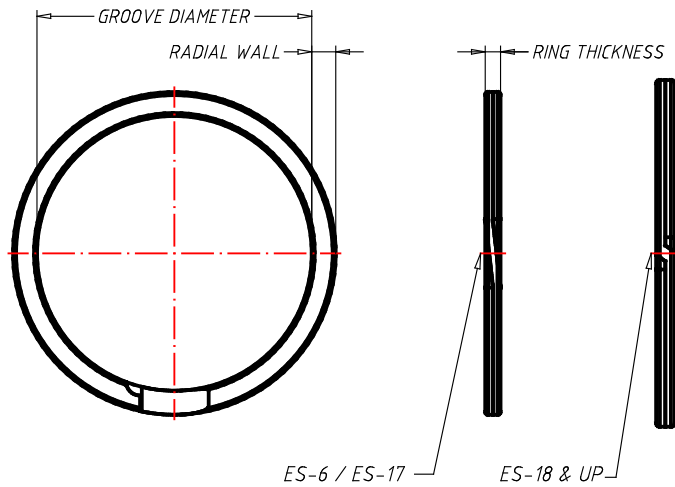
Part No.	ES-55
Material	Carbon Steel SAE 1070-1090
Shaft Diameter (mm)	55.000
Groove Diameter (mm)	53.150 (+/- .15)
Ring Type	External
Groove Width Min. (mm)	1.420 (+.10/- .00)
Ring Diameter (mm)	52.620 (+.00/- .63)
Crimp	Yes
Number of Turns	2
Ring Thickness (mm)	1.250 (+/- .08)
Ring Radial Wall (mm)	3.510 (+.07/- .13)
Ring Shear (N)	62500
Groove Yield (N)	24910

SMALLEY CAD DWG



TYPE	External
SMALLEY SERIES	Spiral Retaining Rings - Metric Series
SMALLEY PART NUMBER	ES-55

555 Oakwood Road • Lake Zurich, IL 60047 • USA  
 847-719-5900 • F:847-719-5999 • info@smalley.com



Part No.	ES-190
Material	Carbon Steel SAE 1070-1090
Shaft Diameter (mm)	190.000
Groove Diameter (mm)	185.200 (+/- .20)
Ring Type	External
Groove Width Min. (mm)	2.400 (+.15/- .00)
Ring Diameter (mm)	183.700 (+.00/-1.52)
Crimp	Yes
Number of Turns	2
Ring Thickness (mm)	2.180 (+/- .10)
Ring Radial Wall (mm)	7.920 (+.11/- .20)
Ring Shear (N)	376560
Groove Yield (N)	220080

SMALLEY CAD DWG



TYPE	External
SMALLEY SERIES	Spiral Retaining Rings - Metric Series
SMALLEY PART NUMBER	ES-190

555 Oakwood Road • Lake Zurich, IL 60047 • USA  
 847-719-5900 • F:847-719-5999 • info@smalley.com

# Klübersynth GH 6

Synthetisches Hochleistungsgetriebe- und Hochtemperaturöl mit KlüberComp Lube Technology



## Ihre Vorteile auf einen Blick

- Hohe Sicherheit vor Fressen
- Ausgezeichneter Verschleißschutz für Verzahnungen und Wälzlager
- Gute Scherstabilität für zuverlässige Schmierfilmbildung
- Hoher Schutz vor Graufleckenbildung
- Optimiert für die Schmierung von Schneckengetrieben
- Ausgezeichnete Alterungs- und Oxidationsstabilität
- Einsatz über weiten Temperaturbereich durch gutes Viskositäts-Temperatur-Verhalten
- Geringe Schaumneigung
- Energieeinsparungen durch optimiertes Reibungsverhalten
- Gute Elastomerverträglichkeit
- Freigegeben durch zahlreiche Getriebe-OEMs

## Ihre Anforderungen - unsere Lösung

Klübersynth GH 6 ist ein synthetisches Hochleistungsgetriebe- und Hochtemperaturöl auf Polyglykolbasis, das den ständig steigenden Anforderungen und höheren Leistungsdichten von modernen Getrieben gerecht wird. Die KlüberComp Lube Technology\* in Klübersynth GH 6 sorgt durch die Auswahl hochwertiger Rohstoffe und moderner Additivtechnologien für höchstes Leistungsniveau bei der Schmierung aller Getriebekomponenten.

Die Anforderungen für Schmieröle CLP nach DIN 51517-3 werden von Klübersynth GH 6 deutlich übertroffen. Alle Getriebe mit dieser Anforderung an Getriebeöle können ohne Rückfrage unter Beachtung der allgemeinen Anwendungshinweise auf Klübersynth GH 6 umgestellt werden.

Klübersynth GH 6 bietet eine hohe Fresstragfähigkeit, API GL-5 ab ISO VG 220. Ihre Getriebe werden auch bei extrem hohen Spitzenlasten, fehlendem Einlauf, Vibrationen und Schwingungen ausreichend vor Fressschäden geschützt. Der ausgezeichnete Verschleißschutz für sowohl Zahnräder als auch Wälzlager ermöglicht eine lange Lebensdauer dieser Komponenten und sorgt dafür, dass die errechnete Lebensdauer zuverlässig erreicht wird. So ist für Sie eine Reduzierung der Instandhaltungs- und Reparaturkosten möglich. Die hohe Graufleckenstragfähigkeit von GFT  $\geq 10$  nach FVA 54/7 bietet auch bei hochbelasteten und graufleckengefährdeten Getrieben einen ausreichenden Schutz vor Graufleckenschäden.

Die ausgezeichnete Alterungs- und Oxidationsstabilität der ausgewählten Rohstoffe verleiht Klübersynth GH 6 eine deutlich längere Gebrauchsdauer als Mineralölen. Serviceintervalle können ausgedehnt und Wartungskosten reduziert werden. In bestimmten Fällen kann sogar eine Lebensdauerschmierung

realisiert werden. Die guten Anti-Schaum- und Korrosionsschutz-Eigenschaften sorgen für einen störungsfreien Betrieb Ihrer Getriebe. Freudenberg Dichtungen der Materialien 72 NBR 902 (Ausnahme ISO VG 22), 75 FKM 585, 75 FKM 260466 sowie 75 FKM 170055 sind beständig gegenüber Klübersynth GH 6. Leckagen und Verunreinigungen durch auslaufendes Öl werden vermieden.

Das ausgezeichnete Viskositäts-Temperatur-Verhalten unterstützt die Bildung eines ausreichenden Schmierfilms über einen weiten Gebrauchstemperaturbereich, auch bei erhöhten und hohen Temperaturen. Dies ermöglicht in vielen Fällen die Verwendung nur einer Viskositätsklasse, sowohl bei niedrigen als auch bei hohen Temperaturen.

Das durch die Verwendung ausgesuchter Grundöle auf Polyglykolbasis optimierte Reibungsverhalten von Klübersynth GH 6 mindert die Verlustleistung und verbessert den Wirkungsgrad Ihrer Anwendung, insbesondere bei Schneckengetrieben. Durch die optimierte Additivierung erreicht Klübersynth GH 6 niedrige Verschleißwerte und eine besonders niedrige Verschleißintensität nach DIN 3996, Schneckenstragfähigkeit-Berechnung.

Klübersynth GH 6 ist freigegeben durch Siemens-Flender, Siemens Geared Motors, SEW Eurodrive, Getriebebau Nord, Stöber Antriebstechnik, Lenze, ZAE Antriebssysteme, Cavex, Bonfiglioli, Rossi Motoriduttori, Motovario, Moventas, Boston Gear, Baldor u.v.m.

Mit der Verwendung von Klübersynth GH 6 erhalten Sie eine Reihe von Vorteilen, die Ihnen zusätzlich einfach und effizient Kosten einsparen. Sprechen Sie uns an, wir freuen uns auf Ihre Kontaktaufnahme.

# Klübersynth GH 6

## Synthetisches Hochleistungsgetriebe- und Hochtemperaturöl mit KlüberComp Lube Technology

\* Weitere Informationen hierzu finden Sie in unserem Flyer: KlüberComp Lube Technology – Getriebeöle für höchste Anforderungen

### Anwendungsgebiete

Klübersynth GH 6 wurde speziell zur Schmierung von Schneckengetrieben mit Stahl/Bronze- oder Stahl/ Graugusspaarungen entwickelt.

Ebenso wird Klübersynth GH 6 zur Schmierung hoch belasteter Stirn-, Kegel- und Planetengetriebe, Gleit- und Wälzlagern sowie Zahnkupplungen aller Art eingesetzt, insbesondere bei höheren Temperaturen.

Darüber hinaus kann Klübersynth GH 6 auch zur Schmierung von Last-, Leistungs- und Transportketten vorgesehen werden.

### Anwendungshinweise

Klübersynth GH 6 kann zur Tauch-, Tauchumlauf- und Einspritzschmierung verwendet werden. Weiterhin ist die Verwendung von Tropföln, Pinseln, Ölkannen oder geeigneten automatischen Schmiersystemen möglich. Bei Verwendung von automatischen Schmiersystemen sind die Geräteherstellerangaben hinsichtlich der maximal zulässigen Viskosität zu beachten. Die niedrigen Viskositäten werden auch zur Ölnebelschmierung verwendet.

Klübersynth GH 6 ist nicht mit Mineralölen und synthetischen Kohlenwasserstoffen mischbar. Vor der Umstellung sollten die Schmierstellen gereinigt bzw. Getriebe oder geschlossene Schmiersysteme mit dem später verwendeten Klübersynth GH 6 gespült werden.

Klübersynth GH 6 verhält sich neutral zu praktisch allen Buntmetallen.

Bei dynamischer Beanspruchung von Kontaktflächen an Konstruktionselementen aus Aluminium oder Aluminiumlegierungen kann es zu erhöhtem Verschleiß kommen, ggf. sollten Verschleiß-untersuchungen durchgeführt werden.

Bei Dauertemperaturen bis max. 80 °C und höheren Viskositäten können Dichtungen aus NBR verwendet werden. Für höhere Temperaturen sind Dichtungen aus FKM vorzusehen. Es ist zu berücksichtigen, dass sich unterschiedliche Elastomer-Qualitäten eines oder verschiedener Hersteller in unterschiedlicher Weise verhalten und deshalb Prüfungen vorgesehen werden sollten.

Bei Verwendung von Klübersynth GH 6 in Getrieben sollten für den Innenanstrich Zweikomponentenlacke, sog. Reaktionslacke, vorgesehen werden. Ölschaugläser sollten bevorzugt aus Naturglas bzw. Polyamid-Werkstoffen ausgeführt werden. Andere transparente Kunststoffe wie Plexiglas neigen zu Spannungsrissbildung. Vor allem bei Serienanwendung sollte die Eignung der verwendeten Materialien geprüft werden.

Wird beim Einlauf Ihres Getriebes eine Tragbildkontrolle durchgeführt, kann hierfür der Tragbildlack Klübertop P 39-462 Spray (Artikel-Nr. 081295) verwendet werden.

Klübersynth GH 6 ist mischbar mit dem speziellen Einlauf- und Korrosionsschutzöl Klübersynth GEZ 6-220.

### Viskositätsauswahl

Bei der Festlegung der Ölviskosität zur Getriebeschmierung sind in jedem Fall die Vorschriften der Getriebehersteller einzuhalten. Nur in den Fällen, in denen keine solche Vorschrift vorliegt, kann die Viskosität auch anhand des Arbeitsblattes ‚Tipps für die Praxis – Viskositätsauswahl‘ bestimmt werden. Zur Ermittlung der korrekten Ölviskosität bei Lagerschmierung verweisen wir auf die Angaben der Lagerhersteller.

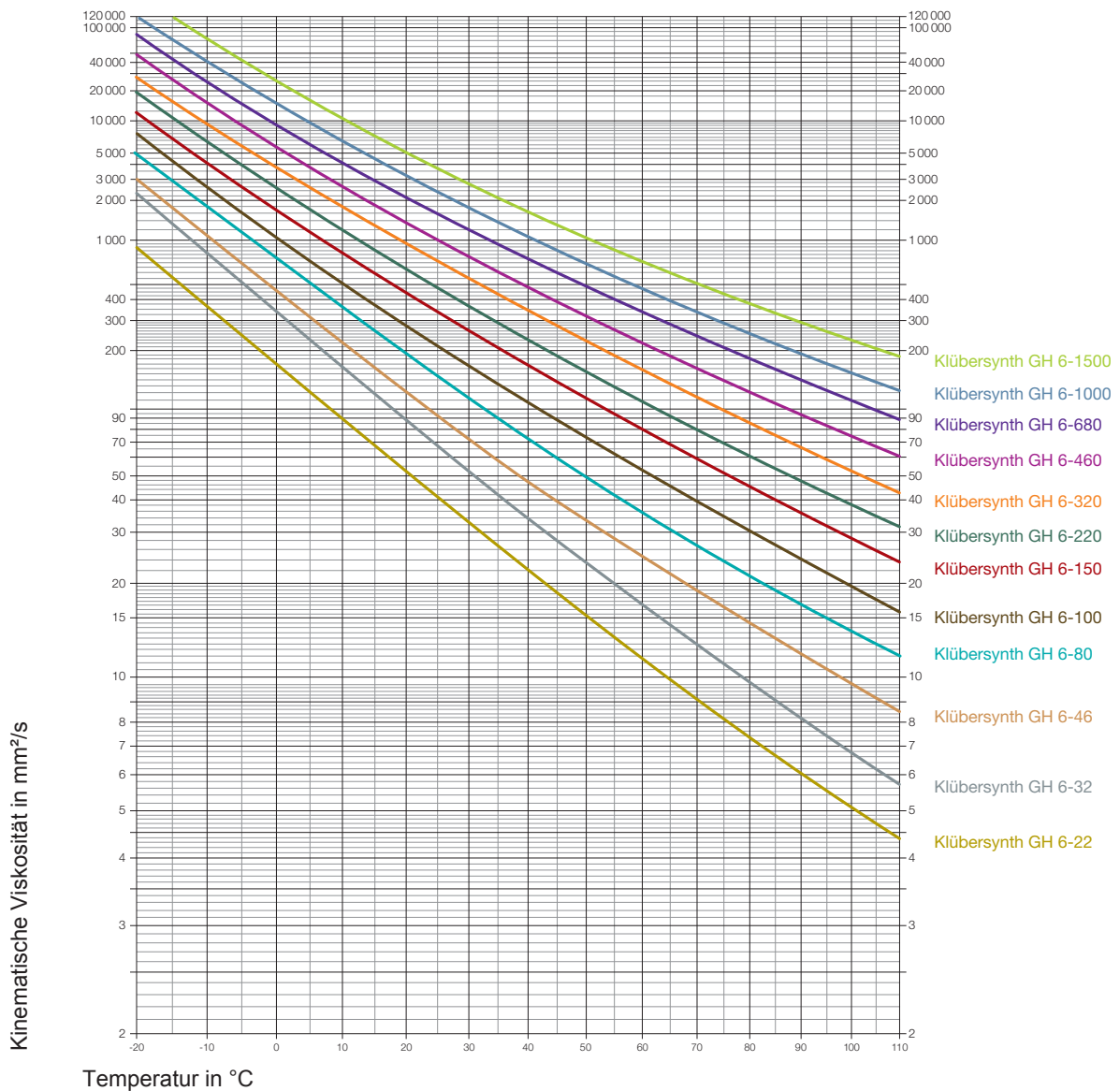
Die Viskosität von Klübersynth GH 6 im Betrieb unterscheidet sich aufgrund des besseren Viskosität-Temperatur-Verhaltens gegenüber Mineralölen und kann dem beigefügten Diagramm entnommen werden.

### Sicherheitsdatenblätter

Die aktuellen Sicherheitsdatenblätter können Sie auf unserer Website [www.klueber.com](http://www.klueber.com) anfordern. Sie sind ebenfalls über Ihren persönlichen Ansprechpartner erhältlich.



## Viskositäts-Temperatur-Diagramm



# Klübersynth GH 6

Synthetisches Hochleistungsgetriebe- und Hochtemperaturöl mit KlüberComp Lube Technology

Gebinde	Klübersynth GH 6-22	Klübersynth GH 6-32	Klübersynth GH 6-46	Klübersynth GH 6-80
Kanister Polyethylen (HDPE) 20 l	+	+	+	+
Fass Stahlblech 200 l	+	+	+	+

Produktkenndaten	Klübersynth GH 6-22	Klübersynth GH 6-32	Klübersynth GH 6-46	Klübersynth GH 6-80
Artikel-Nr.	012287	012157	012009	012158
Kennzeichnung nach DIN 51502		CLP PG 32	CLP PG 46	CLP PG 68
Kennzeichnung nach ISO 12925-1		CKC 32	CKC 46	CKC 68
untere Gebrauchstemperatur	-55 °C / -67 °F	-45 °C / -49 °F	-40 °C / -40 °F	-40 °C / -40 °F
obere Gebrauchstemperatur	160 °C / 320 °F	160 °C / 320 °F	160 °C / 320 °F	160 °C / 320 °F
ISO-Viskositätsklasse, DIN ISO 3448, ISO VG	22	32	46	68
Dichte, DIN 51757 (in Anlehnung) bei 15°C	ca. 1 025 kg/m <sup>3</sup>	ca. 984 kg/m <sup>3</sup>	ca. 1 035 kg/m <sup>3</sup>	ca. 1 040 kg/m <sup>3</sup>
Kinematische Viskosität, DIN 51562 T01/ASTM D-445/ASTM D 7042, 20°C	ca. 54 mm <sup>2</sup> /s	ca. 88 mm <sup>2</sup> /s	ca. 113 mm <sup>2</sup> /s	ca. 205 mm <sup>2</sup> /s
Kinematische Viskosität, DIN 51562 T01/ASTM D-445/ASTM D 7042, 40°C	ca. 22 mm <sup>2</sup> /s	ca. 32 mm <sup>2</sup> /s	ca. 46 mm <sup>2</sup> /s	ca. 68 mm <sup>2</sup> /s
Kinematische Viskosität, DIN 51562 T01/ASTM D-445/ASTM D 7042, 100°C	ca. 5,3 mm <sup>2</sup> /s	ca. 6,5 mm <sup>2</sup> /s	ca. 9 mm <sup>2</sup> /s	ca. 14,5 mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsindex, DIN ISO 2909	>= 150	>= 150	>= 190	>= 190
Flammpunkt, DIN EN ISO 2592, Cleveland, offener Tiegel	>= 165 °C	>= 180 °C	>= 180 °C	>= 220 °C
Pourpoint, DIN ISO 3016	<= -55 °C	<= -45 °C	<= -40 °C	<= -40 °C
Schaumtest, ASTM D 892, ISO 6247, Sequenz I/24°C	<= 100/10 ml	<= 100/10 ml	<= 100/10 ml	<= 100/10 ml
Schaumtest, ASTM D 892, ISO 6247, Sequenz II/93,5°C	<= 100/10 ml	<= 100/10 ml	<= 100/10 ml	<= 100/10 ml
Schaumtest, ASTM D 892, ISO 6247, Sequenz III/24°C	<= 100/10 ml	<= 100/10 ml	<= 100/10 ml	<= 100/10 ml
Korrosionswirkung auf Kupfer, DIN EN ISO 2160, 24h/100°C	1 - 100 Korrosionsgrad	1 - 100 Korrosionsgrad	1 - 100 Korrosionsgrad	1 - 100 Korrosionsgrad
Korrosionsverhindernde Eigenschaften gegenüber Stahl, DIN ISO 7120, Verfahren A, 24h/60°C	kein Rost Korrosionsgrad	kein Rost Korrosionsgrad	kein Rost Korrosionsgrad	kein Rost Korrosionsgrad
Alterungsverhalten, ASTM D2893, Viskositätszunahme	<= 6 %	<= 6 %	<= 6 %	<= 6 %
FZG-Fresstest, DIN ISO 14635-1 in Anlehnung, A/16,6/90, Schadenskraftstufe	>= 12	>= 12	>= 12	>= 12
FZG-Fresstest, DIN ISO 14635-1, A/8,3/90, Schadenskraftstufe	>= 14	>= 14	>= 14	>= 14
API Freßtragfähigkeit				
FAG FE8-Wälzlagertest, DIN 51819-3, D 7,5/80-80, Wälzkörperverschleiss	<= 30 mg	<= 30 mg	<= 30 mg	<= 30 mg
FAG FE8-Wälzlagertest, DIN 51819-3, D 7,5/80-80, Käfigverschleiss	<= 200 mg	<= 200 mg	<= 200 mg	<= 200 mg
Mindestlagerdauer ab Herstellung - bei Lagerung in trockenen, frostfreien Räumen und original verschlossenen Gebinden ca.	36 Monate	36 Monate	36 Monate	36 Monate





# Klübersynth GH 6

Synthetisches Hochleistungsgetriebe- und Hochtemperaturöl mit KlüberComp Lube Technology



---

## Klüber Lubrication – your global specialist

Unsere Leidenschaft sind innovative tribologische Lösungen. Durch persönliche Betreuung und Beratung helfen wir unseren Kunden, erfolgreich zu sein – weltweit, in allen Industrien, in allen Märkten. Mit anspruchsvollen ingenieurtechnischen Konzepten und erfahrenen, kompetenten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern meistern wir seit über 80 Jahren die wachsenden Anforderungen an leistungsfähige und wirtschaftliche Spezialschmierstoffe.

**Klüber Lubrication München SE & Co. KG /  
Geisenhausenerstraße 7 / 81379 München / Deutschland /  
Telefon +49 89 7876-0 / Telefax +49 89 7876-333.**

Die Angaben in diesem Dokument basieren auf unseren allgemeinen Erfahrungen und Kenntnissen zum Zeitpunkt der Veröffentlichung. Sie sollen dem technisch erfahrenen Leser Hinweise für mögliche Anwendungen geben. Die Angaben beinhalten jedoch keine Zusicherung von Eigenschaften und keine Garantie der Eignung des Produkts für den Einzelfall. Sie entbinden den Anwender nicht davon, das ausgewählte Produkt vorher in der Anwendung zu testen. Alle Angaben sind Richtwerte, die sich am Schmierstoffaufbau, am vorgegebenen Einsatzzweck und an der Anwendungstechnik orientieren. Schmierstoffe ändern je nach Art der mechanischen, dynamischen, chemischen und thermischen Beanspruchung druck- und zeitabhängig ihre technischen Werte. Diese Veränderungen können Einfluss auf die Funktion von Bauteilen nehmen. Wir empfehlen grundsätzlich ein individuelles Beratungsgespräch und stellen auf Wunsch und nach Möglichkeit gerne Proben für Tests zur Verfügung. Klüber Produkte werden kontinuierlich weiterentwickelt. Deshalb behält sich Klüber Lubrication das Recht vor, alle technischen Daten in diesem Dokument jederzeit und ohne Vorankündigung zu ändern.

Herausgeber und Copyright: Klüber Lubrication München SE & Co. KG.  
Nachdruck, auch auszugsweise, nur bei Quellenangabe und Zusendung eines Belegexemplars und nur nach Absprache mit Klüber Lubrication München SE & Co. KG gestattet.

# Hydraulic standard cylinder type DZ25

operating pressure  $p_{max}$                       250 bar  
 lifting speed    max. 0.5 m/s



## Product characteristics

- compact design
- with or without cushioning
- four different mounting styles

## Table of Contents

Technical data.....	2
Determination of piston rod diameter.....	4
Dimensions and connections.....	6
Accessories.....	10
Order information.....	12
Contact details.....	14

## Technical data

### General

<b>type</b>	hydraulic cylinder, differential design, double-acting		
<b>mounting type</b>	DZ25 M_	thread at cylinder head	
	DZ25 G_	rod eye with spherical bearing at cylinder bottom	
	DZ25 R_	round flange at cylinder head	
	DZ25 S_	trunnion at cylinder head	
<b>corrosion protection</b>	grounding with active pigmentation based on alkyd resins		
<b>ambient temperature</b>	-30 to +70 °C		
<b>sealing type</b>	S:	standard seals	
	R:	low friction seals	
<b>tolerances</b>	mounting dimensions:	DIN2768-m-S/R	
	stroke:	DIN24333	
	piston rod:	chromium plated	
	layer thickness:	25±5 µm	

### Hydraulic parameters

Hydraulic fluid: mineral oil according to DIN 51524, other media on request

<b>nominal pressure</b>	250 bar
<b>operating pressure</b>	250 bar
<b>statical test pressure</b>	max. 20 bar
<b>hydraulic fluid temperature</b>	-25 to +70 °C
<b>viscosity</b>	10-600 mm <sup>2</sup> /s
<b>permissible degree of pollution</b>	max. class 22/19/16 according ISO 4406
<b>filter recommendation</b>	filter retention rate $\beta_{25} > 75$
<b>lifting speed*</b>	max. 0.5 m/s, higher speeds on request

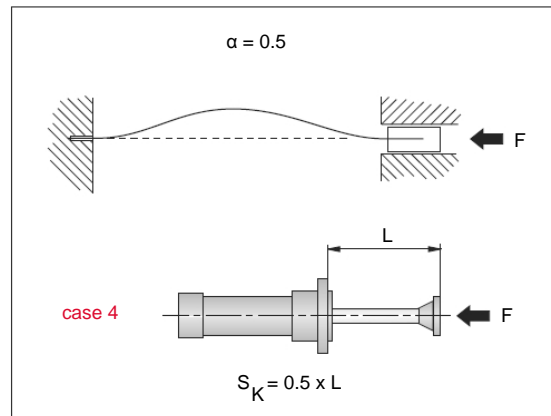
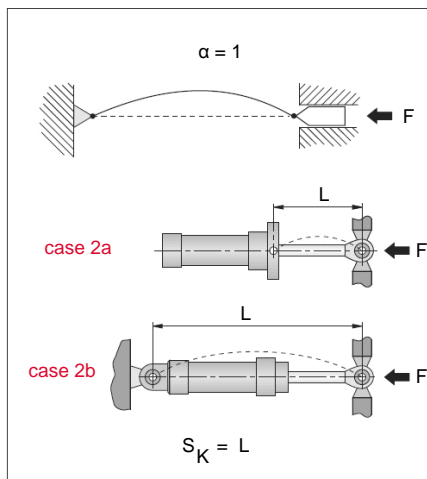
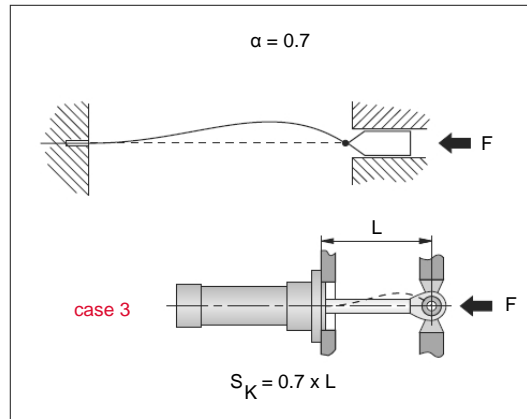
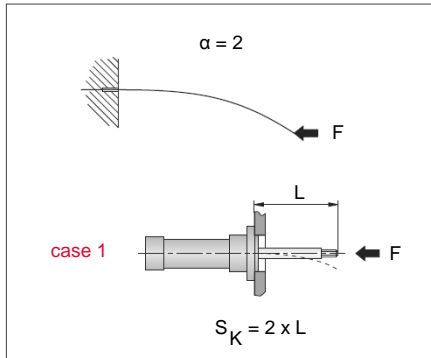
\*At lifting speeds > 0.1 m/s the use of cylinders with end position cushioning is recommended. The cushioning process is not designed to brake huge external masses. This could considerably increase the system pressure. In this case confer with the factory.

## Mechanical parameters

piston- $\varnothing$ [mm]	32		40		50		63		80		100		125	
rod- $\varnothing$ [mm]	18	22	22	28	28	36	36	45	45	56	56	70	70	90
piston area A [cm <sup>2</sup> ]	8.1	8.1	12.6	12.6	19.7	19.7	31.2	31.2	50.3	50.3	78.6	78.6	122.8	122.8
annulus area A <sub>R</sub> [cm <sup>2</sup> ]	5.5	4.3	8.8	6.5	13.5	9.5	21.0	15.3	34.4	25.7	54.0	40.1	84.3	59.2
area ratio A/A <sub>R</sub>	1.5	1.9	1.5	1.9	1.5	2.1	1.5	2.0	1.5	2.0	1.5	2.0	1.5	2.1
minimum stroke [mm]	45		45		45		45		50		60		65	
cushioning length [mm]	not possible		25		25		25		30		35		40	
damping ratio, head [cm <sup>2</sup> ]	not possible		5.5		8.3		13.1		22.0		34.4		51.8	
damping ratio, bottom [cm <sup>2</sup> ]	not possible		11.4		17.6		28.6		46.5		70.5		112.5	

## Determination of piston rod diameter

### Load characteristics

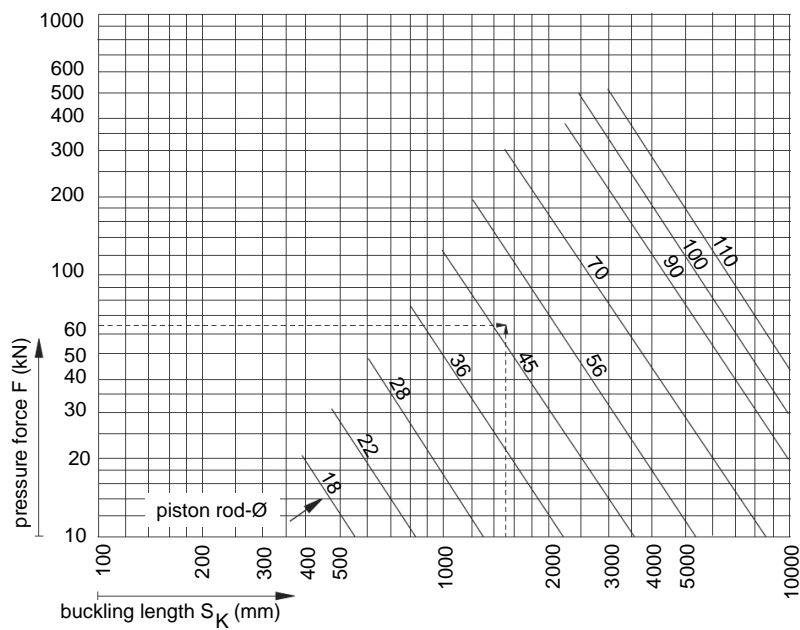


Case 4 is unfavourable and should be avoided.

1. Determination of load characteristic:  $\alpha$
2. Determination of the extended length:  $L$
3. Calculation of the buckling length :  $S_K = \alpha \times L$
4. Determination of the rod diameter from the piston rod load diagram

**Piston rod load diagram**

buckling security = 3.5



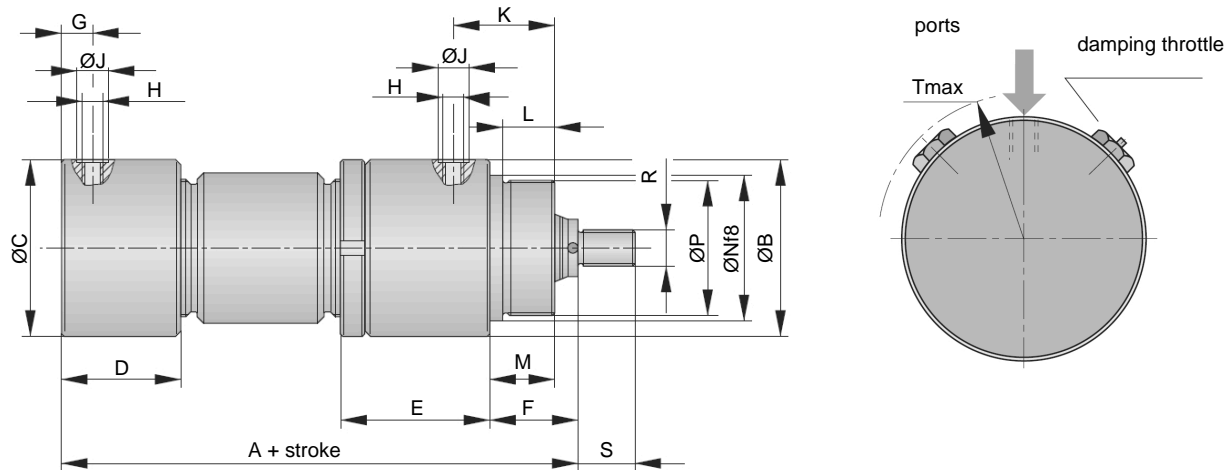
A cylinder according case 1 ( $\alpha=2$ ) with an extended length of 760 mm ( $S_K=1520$  mm) results in a rod- $\emptyset$  of 56 mm for a pressure force of 64 kN.

**Example:** For a cylinder according load characteristic 1 ( $\rightarrow \alpha=2$ ) with an extended length of 760 mm ( $\rightarrow S_K=1520$  mm) a piston rod diameter of 56 mm arises from a pressure force of 64 kN.

## Dimensions and connections

Dimensions are given in mm.

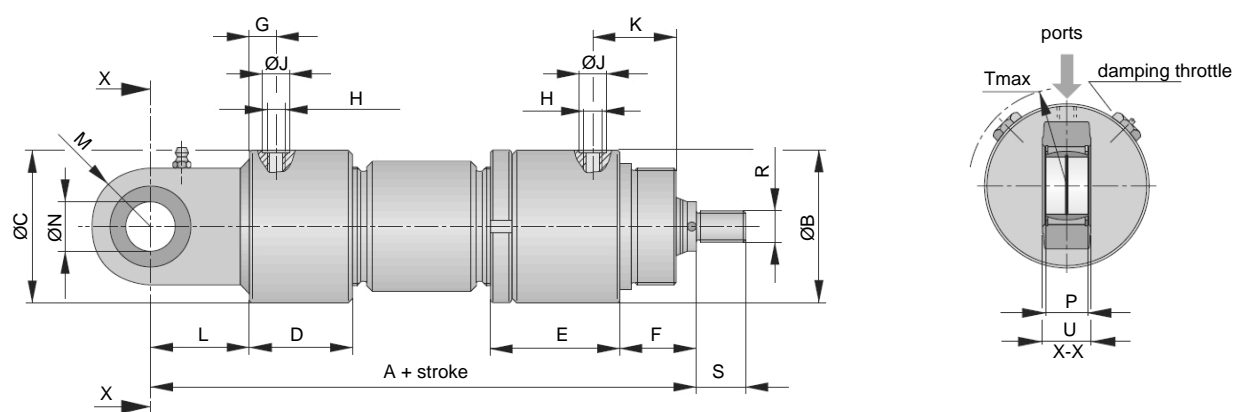
**M: thread at cylinder head**



Dimensions dependent on piston diameter [mm]

piston Ø	32	40	50	63	80	100	125
rod Ø	18/22	22/28	28/36	36/45	45/56	56/70	70/90
A	121	143	155	171	187	208	241
B	56	67	77	92	112	138	172
C	56	67	77	90	108	133	167
D	57	63	66	75	80	89	100
E	72	83	85	88	99	108	123
F	33	37	42	50	57	67	80
G	15	16	16	21	21	23	27
H	G1/4	G3/8	G3/8	G1/2	G1/2	G1/2	G3/4
J	23	28	28	33	33	33	42
K	40	46	51	57	62	72	87
L	17	20	25	30	35	42	52
M	22	25	30	35	40	50	60
N	42	52	62	75	95	118	146
P	M40x1.5	M50x1.5	M60x1.5	M74x1.5	M94x2	M116x2	M145x2
R	M14x1.5	M16x1.5	M22x1.5	M28x1.5	M35x1.5	M45x1.5	M58x1.5
S	18	16	22	28	35	45	58
T	-	39	43	59	67	77	93

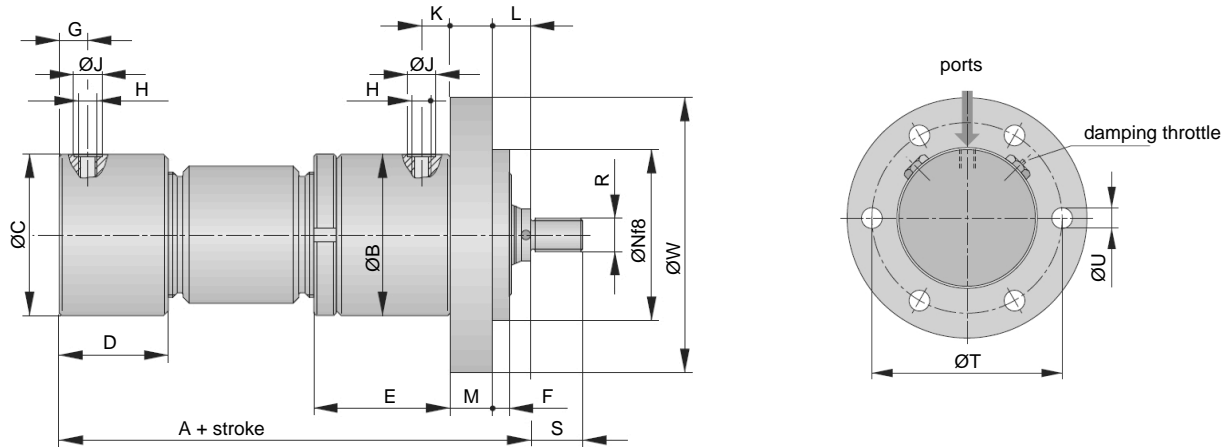
### G: spherical eye at cylinder bottom



Dimensions dependent on piston diameter [mm]

piston Ø	32	40	50	63	80	100	125
rod Ø	18/22	22/28	28/36	36/45	45/56	56/70	70/90
A	157	188	206	232	256	296	341
B	56	67	77	92	112	138	172
C	56	67	77	90	108	133	167
D	57	63	66	75	80	89	100
E	72	83	85	88	99	108	123
F	33	37	42	50	57	67	80
G	15	16	16	21	21	23	27
H	G1/4	G3/8	G3/8	G1/2	G1/2	G1/2	G3/4
J	23	28	28	33	33	33	42
K	40	46	51	57	62	72	87
L	36	45	51	61	69	88	100
M	R20	R27.5	R32.5	R41.5	R50	R61.5	R70
N	16	25	30	35	40	50	60
P	16	20	22	25	28	35	44
R	M14x1.5	M16x1.5	M22x1.5	M28x1.5	M35x1.5	M45x1.5	M58x1.5
S	18	16	22	28	35	45	58
T	-	39	43	59	67	77	93
U	14	23	28	30	35	40	50

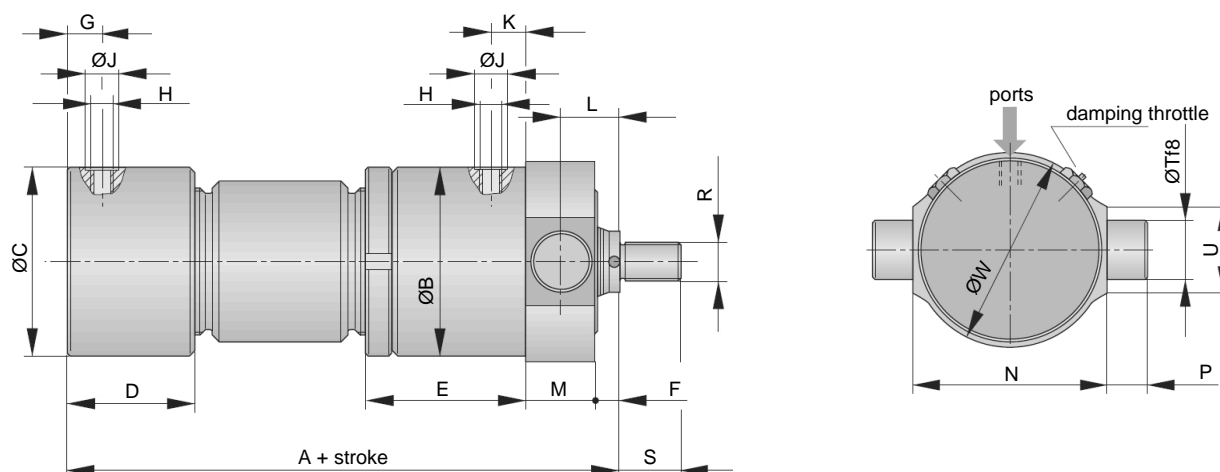
**R: round flange at cylinder head**



**Dimensions dependent on piston diameter [mm]**

piston Ø	32	40	50	63	80	100	125
rod Ø	18/22	22/28	28/36	36/45	45/56	56/70	70/90
A	121	143	155	171	187	208	241
B	56	67	77	92	112	138	172
C	56	67	77	90	108	133	167
D	57	63	66	75	80	89	100
E	72	83	85	88	99	108	126
F	4	4	4	4	4	6	6
G	15	16	16	21	21	23	27
H	G1/4	G3/8	G3/8	G1/2	G1/2	G1/2	G3/4
J	23	28	28	33	33	33	42
K	18	21	21	22	22	22	27
L	17	17	17	22	25	27	30
M	16	20	25	28	32	40	50
N	65	75	85	100	120	145	180
R	M14x1.5	M16x1.5	M22x1.5	M28x1.5	M35x1.5	M45x1.5	M58x1.5
S	18	16	22	28	35	45	58
T	82	95	105	125	150	175	215
U	9	11.5	11.5	14	18	18	22
W	100	120	130	155	185	210	260

**S: trunnion at cylinder head**

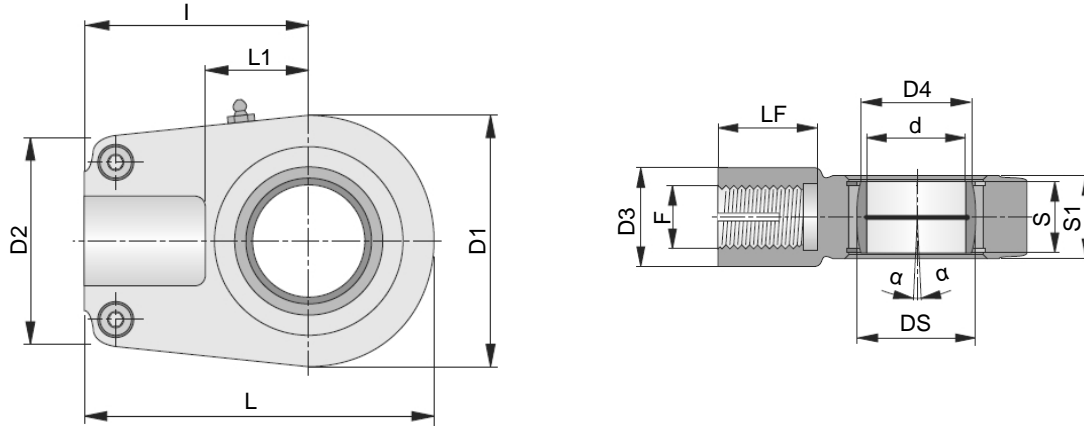


**Dimensions dependent on piston diameter [mm]**

piston Ø	32	40	50	63	80	100	125
rod Ø	18/22	22/28	28/36	36/45	45/56	56/70	70/90
A	121	143	155	171	187	208	241
B	56	67	77	92	112	138	172
C	56	67	77	90	108	133	167
D	57	63	66	75	80	89	100
E	71	80	85	87	96	105	120
F	12	13	13	16	18	18	21
G	15	16	16	21	21	23	27
H	G1/4	G3/8	G3/8	G1/2	G1/2	G1/2	G3/4
J	23	28	28	33	33	33	42
K	17	18	18	19	19	19	24
L	23	26,5	29	34,5	39	44	52
M	22	27	32	37	42	52	62
N	68	75	85	105	135	165	205
P	14	16	18	22	28	36	45
R	M14x1.5	M16x1.5	M22x1.5	M28x1.5	M35x1.5	M45x1.5	M58x1.5
S	18	16	22	28	35	45	58
T	20	25	30	35	40	50	60
U	25	35	40	45	50	60	75
W	64	72	85	105	130	155	195

## Accessories

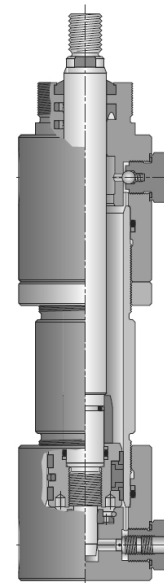
### Spherical eyes



piston-Ø	32	40	50	63	80	100	125
d	16 <sup>H7</sup>	25 <sub>-0.01</sub>	30 <sub>-0.01</sub>	35 <sub>-0.012</sub>	40 <sub>-0.012</sub>	50 <sub>-0.012</sub>	60 <sub>-0.015</sub>
l	44	50	60	70	85	105	130
S	16	20	22	25	28	35	44
LF	19	17	23	29	36	46	59
D1	40	56	64	78	94	116	130
D2	40	46	50	66	76	90	120
D3	21	25	32	40	49	61	75
D4	20	29	34	39,5	45	56	66,5
DS	23	35,5	40,7	47	53	66	80
S1	13	23	28	30	35	40	50
L	64	80	94	112	135	168	200
L1	18	28	30	38	45	55	65
F	M14x1.5	M16x1.5	M22x1.5	M28x1.5	M35x1.5	M45x1.5	M58x1.5
α	4°	7°	6°	6°	7°	6°	6°
ident. no.	HZ660142X	HZ660129X	HZ660130X	HZ660131X	HZ660132X	HZ660134X	HZ660135X

**Seal kits**

piston $\varnothing$	rod $\varnothing$	standard seals	low friction seals
32	18	HC01000	HC02000
32	22	HC01001	HC02001
40	22	HC01010	HC02010
40	28	HC01011	HC02011
50	28	HC01020	HC02020
50	36	HC01021	HC02021
63	36	HC01030	HC02030
63	45	HC01031	HC02031
80	45	HC01040	HC02040
80	56	HC01041	HC02041
100	56	HC01050	HC02050
100	70	HC01051	HC02051
125	70	HC01060	HC02060
125	90	HC01061	HC02061



## Order information

### Type code

DZ25	M	100/070	-	0800	B	M	S
							sealing type
							rod ends
							cushioning**
							stroke [mm]*
							piston diameter / rod diameter
							mounting types
type	hydraulic cylinder						

### mounting types

M	thread at cylinder head
G	rod eye with spherical bearing at cylinder bottom
R	round flange at cylinder head
S	trunnions at cylinder head

### piston diameter / rod diameter

032	../018	../022
040	../022	../028
050	../028	../036
063	../036	../045
080	../045	../056
100	../056	../070
125	../070	../090

### stroke [mm]\*

... freely selectable;  
In particular cases a support extension is necessary for extremely small cylinders (stroke > 15x piston diameter). Contact HAWE.

\*check buckling stress when selecting

### cushioning\*\*

A	without cushioning
B	cushioning at the bottom
K	cushioning at the head
D	cushioning at both sides

\*\*check buckling stress when selecting

**rod ends**

- M thread
- G rod eye with spherical bearing

**sealing type**

- S standard design
- R low-friction design (on request)

## Contact details

### Headquarters

HAWE Hydraulik SE  
Einsteinring 17  
85605 Aschheim  
Germany

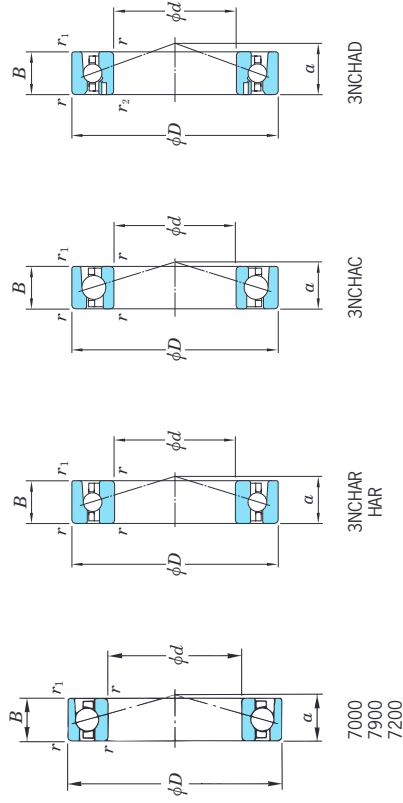
e-mail: [info@hawe.de](mailto:info@hawe.de)  
[www.hawe.com](http://www.hawe.com)

Phone: +49 (0) 89 / 37 91 00 - 1000

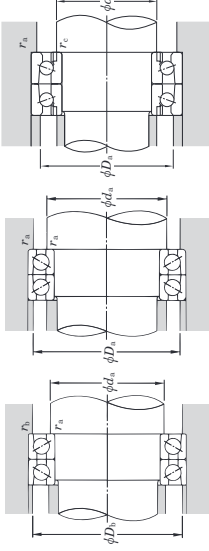
### Contact to the Customer Service

Phone (Head office)	+ 49 (0) 89 / 37 91 00 - 1000
Phone (Spare parts)	+ 49 (0) 89 / 37 91 00 - 1302
Phone (Customer Service)	+ 49 (0) 89 / 37 91 00 - 1491
Fax (Customer Service)	+ 49 (0) 89 / 37 91 00 - 91491
e-mail	<a href="mailto:spareparts@hawe.de">spareparts@hawe.de</a> <a href="mailto:service@hawe.de">service@hawe.de</a>

1. Angular contact ball bearings



We recommend that recesses be added at  $r_a$ ,  $r_b$ , and  $r_c$ .



**Static equivalent load**  $P_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a$

Contact angle	Single row/ Tandem	Back-to-back/ Face-to-face
15°	$X_0 = 0.5$ $Y_0 = 0.46$	$X_0 = 1$ $Y_0 = 0.92$
20°	$X_0 = 0.5$ $Y_0 = 0.42$	$X_0 = 1$ $Y_0 = 0.84$
30°	$X_0 = 0.5$ $Y_0 = 0.33$	$X_0 = 1$ $Y_0 = 0.66$

Note that in the case of single row or tandem, assume  $P_0 = F_r$ , if  $P_0 < F_a$ .

**Dynamic equivalent load**  $P = X Y F_r + Y F_a$

Contact angle	Single row/ Tandem	Back-to-back/ Face-to-face
15°	$X = 1$ $Y = 0.38$	$X = 1$ $Y = 0.47$
	$X = 0.178$ $Y = 0.38$	$X = 0.178$ $Y = 0.38$
20°	$X = 1$ $Y = 0.47$	$X = 1$ $Y = 0.56$
	$X = 0.178$ $Y = 0.47$	$X = 0.178$ $Y = 0.56$
30°	$X = 1$ $Y = 0.43$	$X = 1$ $Y = 0.51$
	$X = 0.178$ $Y = 0.43$	$X = 0.178$ $Y = 0.51$

$d$  (140) ~ (150)

d	Boundary dimensions (mm)			Basic load ratings (kN)	Fatigue load limit (kN)	Factor $f_0$	Limiting speeds (min <sup>-1</sup> )		Load center (mm)	Interspace volume (cm <sup>3</sup> /row)	(Refer.) Mass (kg/row)	Permissible axial load (static) (kN)	Mounting dimensions (mm)			Nut axial tension (N)	Preload (Combination of DB and DF) (N)			Axial rigidity (Combination of DB and DF) (N/mm)						
	D	B	r				$C_r$	$C_{0r}$					Grease	Oil lub.	$d_a$ min.		$d_a$ max.	$D_a$	$D_b$	$r_a$ max.	$r_b$ max.	$r_c$ max.	S	L	M	H
140	190	24	1.5	42.9	35.3	—	8 400	12 000	42.0	57	1.76	54.2	148.5	181.5	184.5	1.5	1	20 000	960	1 920	320	960	1 920	178	267	349
	190	24	1.5	42.9	35.3	—	11 000	19 000	42.0	57	1.65	35.7	148.5	181.5	184.5	1.5	1	20 000	1 050	2 100	350	1 050	2 100	203	309	404
	190	24	1.5	39.8	32.8	1.30	6 000	8 100	59.6	57	1.76	43.3	148.5	181.5	184.5	1.5	1	20 000	420	2 620	420	1 260	2 520	329	489	626
	190	24	1.5	77.9	53.2	2.15	12 000	19 000	34.1	77	1.31	43.2	148.5	181.5	184.5	1.5	1	20 000	240	1 440	240	720	1 440	86	130	175
	190	24	1.5	76.0	52.0	2.10	11 000	19 000	42.0	77	1.31	52.4	148.5	181.5	184.5	1.5	1	20 000	350	1 050	350	1 050	2 100	177	261	340
	210	33	2	165	145	6.00	6 500	10 000	39.9	137	3.64	78.3	150	200	204.5	2	1	25 000	780	1 960	260	780	1 960	92	145	222
	210	33	2	156	138	5.50	5 800	8 200	57.3	136	3.64	51.7	150	200	204.5	2	1	25 000	1 470	3 430	260	1 470	3 430	389	538	672
	210	33	2	150	133	5.30	5 000	6 400	67.0	136	3.64	41.3	150	200	204.5	2	1	25 000	1 470	3 430	270	1 470	3 430	507	696	852
	210	33	2	76.7	56.2	2.20	8 400	12 000	39.9	120	3.62	71.6	150	200	204.5	2	1	25 000	270	810	270	810	1 620	86	133	180
	210	33	2	76.7	56.2	1.55	11 000	19 000	39.9	120	3.37	45.6	150	200	204.5	2	1	25 000	295	885	295	885	1 770	100	153	206
	210	33	2	74.8	54.8	2.15	7 900	12 000	48.3	120	3.62	84	150	200	204.5	2	1	25 000	400	2 000	400	2 000	2 400	180	265	348
	210	33	2	74.8	54.8	1.50	10 000	18 000	48.3	120	3.37	55.3	150	200	204.5	2	1	25 000	440	1 320	440	1 320	2 640	207	307	400
	210	33	2	69.6	51.0	2.00	5 700	7 500	67.0	120	3.62	71.9	150	200	204.5	2	1	25 000	505	1 515	505	1 515	3 030	326	481	618
	210	33	2	115	73.8	2.90	11 000	19 000	40.0	146	2.84	59.6	150	200	204.5	2	1	25 000	295	885	295	885	1 770	88	135	180
	210	33	2	112	72.1	2.80	10 000	18 000	48.4	146	2.84	72.6	150	200	204.5	2	1	25 000	440	1 320	440	1 320	2 640	185	275	356
	250	42	3	297	254	9.40	5 700	9 100	47.1	301	7.76	136	154	236	243	2.5	1	35 000	520	1 570	520	1 570	3 430	129	211	310
	250	42	3	283	242	8.95	5 000	7 400	66.5	300	7.76	47.0	154	236	243	2.5	1	35 000	2 940	6 370	2 940	6 370	9 810	542	741	892
	250	42	3	273	234	8.65	4 300	5 700	77.3	300	7.76	72.8	154	236	243	2.5	1	35 000	2 940	6 370	2 940	6 370	9 810	704	940	1 118
150	210	28	2	148	132	5.45	6 700	10 000	38.1	117	2.47	69.0	160	200	204.5	2	1	20 000	735	1 530	245	735	1 530	93	146	—
	210	28	2	61.2	48.9	1.90	8 100	12 000	38.1	85	2.68	62.5	160	200	204.5	2	1	20 000	255	765	255	765	1 530	93	141	191
	210	28	2	61.2	48.9	1.35	10 000	16 000	38.1	85	2.50	39.8	160	200	204.5	2	1	20 000	280	840	280	840	1 680	105	162	219
	210	28	2	59.7	47.6	1.85	7 700	11 000	46.8	85	2.68	73.1	160	200	204.5	2	1	20 000	350	1 050	350	1 050	2 100	184	271	354
	210	28	2	59.7	47.6	1.30	9 800	16 000	46.8	85	2.50	48.1	160	200	204.5	2	1	20 000	385	1 155	385	1 155	2 310	211	314	409
	210	28	2	55.4	44.2	1.70	5 600	7 400	66.0	85	2.68	60.3	160	200	204.5	2	1	20 000	470	1 410	470	1 410	2 820	342	504	645
	210	28	2	104	69.8	2.70	10 000	16 000	38.1	118	2.00	56.5	160	200	204.5	2	1	20 000	280	840	280	840	1 680	90	137	183
	210	28	2	102	68.2	2.65	9 800	16 000	46.8	118	2.00	68.9	160	200	204.5	2	1	20 000	385	1 155	385	1 155	2 310	181	270	350
	225	35	2.1	188	169	6.70	6 000	9 500	42.8	169	4.43	89.9	162	213	218	2	1	25 000	275	835	275	835	1 600	96	150	234
	225	35	2.1	178	160	6.25	5 300	7 800	61.6	168	4.43	59.1	162	213	218	2	1	25 000	1 770	3 920	1 770	3 920	6 860	424	576	724
	225	35	2.1	171	154	5.95	4 600	6 000	72.1	168	4.43	47.1	162	213	218	2	1	25 000	1 770	3 920	1 770	3 920	6 860	553	743	921
	225	35	2	90.3	66.1	2.50	7 400	11 000	42.6	150	4.36	84.2	160	215	219.5	2	1	25 000	310	930	310	930	1 860	91	141	190

[Remarks] 1. For the dimensions of the spacers for oil / air lubrication, refer to Table 15.4 on page 63 to 67.

2. For the discharge intervals of the oil / air, refer to Supplementary table 6 on page 215.

3. C, CA, and no character string in the bearing number indicate nominal contact angles of 15°, 20°, and 30°, respectively.

Basic load ratings in case of multiple-row combination bearing

Basic dynamic load ratings	Basic static load ratings
2-row $C_{2r} \times 1.62$	$C_{02r} \times 2$
3-row $C_{3r} \times 2.16$	$C_{03r} \times 3$
4-row $C_{4r} \times 2.64$	$C_{04r} \times 4$

Speed coefficients in case of multiple-row combination bearing

Combination symbols	Preload when mounting	
	Preload S	Preload H
$\emptyset$	0.85	0.65
$\emptyset/\emptyset$	0.80	0.60
$\emptyset/\emptyset$	0.75	0.55
$\emptyset/\emptyset$	0.70	0.40

\*Speed coefficients also vary depending on the distance of bearings.

\*Consult JTEKT for information on High-Ability bearings.

# medias Berechnungsbericht für Lager VCM7018-E-T-P4S-UL-XL

Ausgewählte Berechnungsmethoden

CO<sub>2</sub>e-Emissionen

Lebensdauer

## Eingabe

Lager	
Bezeichnung	VCM7018-E-T-P4S-UL-XL
Innendurchmesser	90 mm
Außendurchmesser	140 mm
Breite	24 mm
Dynamische Tragzahl	90.000 N
Statische Tragzahl	35.000 N
Ermüdungsgrenzbelastung	1.670 N
Grenzdrehzahl	26.100 1/min
Grenzdrehzahl Öl	26.100 1/min
Grenzdrehzahl Fett	17.400 1/min

Sonstige Bedingungen	
Umgebungstemperatur	20 °C
Überlebenswahrscheinlichkeit	90 %
Umlaufverhältnis	drehender Innenring

Grundfrequenzfaktoren bezogen auf 1/s	
Überrollfrequenzfaktor am Außenring	11,4
Überrollfrequenzfaktor am Innenring	13,6
Überrollfrequenzfaktor am Wälzkörper	5,13
Ringkontaktfrequenzfaktor am Wälzkörper	10,3
Drehzahlfaktor des Wälzkörpersatzes für drehenden Innenring	0,456
Drehzahlfaktor des Wälzkörpersatzes für drehenden Außenring	0,544

Schmierungsbedingungen	
Zulässige Schmiermittel	Öl oder Fett
Art der Schmierung	Ölnebelschmierung
ISO VG Klasse	ISO VG 1500
Verschmutzung	große Sauberkeit
Fremdwärmestrom	0 kW

Belastung	
Zeitanteil	100 %
Drehzahl	16.000 1/min
Art der Bewegung	rotierend
Radiallast	11.595 N
Axiallast	0 N
Mittlere Betriebstemperatur	100 °C

# medias Berechnungsbericht für Lager VCM7018-E-T-P4S-UL-XL

## Schätzung der CO<sub>2</sub>e-Emissionen pro Stück

Gesamtwert der CO<sub>2</sub>e



● CO<sub>2</sub>e, das bei der Produktion verursacht wird\* (Upstream)

**4,45 kg**      100 %

CO<sub>2</sub>e      Anteil an den gesamten CO<sub>2</sub>e Emissionen

\*Geschätzter Wert basierend auf Annahmen während der Produktion

**In Arbeit für VCM7018-E-T-P4S-UL-XL**

## CO<sub>2</sub>e, das durch Reibung während des Betriebs verursacht wird

Umfassende Informationen mit sofortigen Berechnungen der CO<sub>2</sub>e-Emissionen unserer Rotationsprodukte in verschiedenen Anwendungsszenarien.

## Lebensdauer

Lh<sub>10</sub>

**487 h**

Gesamtlebensdauer in Stunden (nominell)

P

**11.600 N**

Äquivalente dynamische Belastung

S<sub>0\_min</sub>

**6,04**

Statische Sicherheit

Lh<sub>nm</sub>

**5.160 h**

modifizierte Lebensdauer in Stunden

n

**16.000 1/min**

Äquivalente Drehzahl

P<sub>0\_max</sub>

**5.800 N**

Maximale äquivalente statische Belastung

# medias Berechnungsbericht für Lager VCM7018-E-T-P4S-UL-XL

## Fehler, Warnungen und Hinweise

### Warnungen

Bitte beachten Sie, dass bei der Berechnung des Lagers die innere Axialkraft in der angegebenen Größenordnung berücksichtigt werden muss.

- Axiallast  $\geq 5406.8$  N

Viskositätsverhältnisse  $\kappa > 4$  bringen keine weitere Erhöhung der Schmierfilmhöhe. Daher steigt der Lebensdauerbeiwert  $a_{DIN}$  mit größerem Viskositätsverhältnis nicht weiter an.

### Hinweise

Reibungsverlustleistung: Unsere neue Berechnung liefert schneller Näherungswerte Für genauere Berechnungen, kontaktieren Sie unsere technischen Experten

<https://medias.schaeffler.de/de/stc>

Berechnet mit applicationVersion 1.0.2205.0 / bearinxVersions 12.0.9828 / co2eapi 2024.2.2.0

# medias Berechnungsbericht für Lager HCB7028-E-T-P4S-UL

Ausgewählte Berechnungsmethoden

CO<sub>2</sub>e-Emissionen

Lebensdauer

## Eingabe

Lager	
Bezeichnung	HCB7028-E-T-P4S-UL
Innendurchmesser	140 mm
Außendurchmesser	210 mm
Breite	33 mm
Dynamische Tragzahl	145.000 N
Statische Tragzahl	103.000 N
Ermüdungsgrenzbelastung	6.300 N
Grenzdrehzahl	12.000 1/min
Grenzdrehzahl Öl	12.000 1/min
Grenzdrehzahl Fett	8.000 1/min

Sonstige Bedingungen	
Umgebungstemperatur	20 °C
Umgebungseinfluss	0.8 (mittel)
Überlebenswahrscheinlichkeit	90 %
Umlaufverhältnis	drehender Innenring

Belastung	
Zeitanteil	100 %
Drehzahl	8.000 1/min
Art der Bewegung	rotierend
Radiallast	0 N
Axiallast	32.000 N
Mittlere Betriebstemperatur	70 °C

Grundfrequenzfaktoren bezogen auf 1/s	
Überrollfrequenzfaktor am Außenring	9,29
Überrollfrequenzfaktor am Innenring	11,7
Überrollfrequenzfaktor am Wälzkörper	3,88
Ringkontaktfrequenzfaktor am Wälzkörper	7,77
Drehzahlfaktor des Wälzkörpersatzes für drehenden Innenring	0,442
Drehzahlfaktor des Wälzkörpersatzes für drehenden Außenring	0,558

Schmierungsbedingungen	
Zulässige Schmiermittel	Öl oder Fett
Art der Schmierung	Fett
Fettart	Arcanol MULTI2
Viskosität bei 40°C	110 mm <sup>2</sup> /s
Viskosität bei 100°C	11 mm <sup>2</sup> /s
Verschmutzung	normale Sauberkeit
Fremdwärmestrom	0 kW

All rights are reserved with regard to this document, even in the event that a patent should be granted or a utility model registered. The document must be treated confidentially. Without our written consent, neither the document itself, nor copies thereof or any other renderings of the complete contents or of extracts therefrom may be made available to third parties or put to improper use by the recipient in any other way. The document has been prepared on the basis of your requirements as set forth above and our own assumptions. Our details take into account those risks which were apparent to us on the basis of your requirements as made available to us. The document has been prepared solely in connection with the purchase of our products. The results shown in the document have been worked out carefully and in accordance with the state of the art, but do not constitute an express or implied guaranty as to quality or durability in the legal sense. You are not dispensed thereby from checking the suitability of the products. We shall be liable for the details provided in the document only in the event of willful intent or negligence. If the document is part of a supply agreement, the liability provisions agreed there shall apply.

# medias Berechnungsbericht für Lager HCB7028-E-T-P4S-UL

## Schätzung der CO<sub>2</sub>e-Emissionen pro Stück

Gesamtwert der CO<sub>2</sub>e



● CO<sub>2</sub>e, das bei der Produktion verursacht wird\* (Upstream)

**13 kg**      **100 %**

CO<sub>2</sub>e      Anteil an den gesamten CO<sub>2</sub>e Emissionen

\*Geschätzter Wert basierend auf Annahmen während der Produktion

**In Arbeit für HCB7028-E-T-P4S-UL**

## CO<sub>2</sub>e, das durch Reibung während des Betriebs verursacht wird

Umfassende Informationen mit sofortigen Berechnungen der CO<sub>2</sub>e-Emissionen unserer Rotationsprodukte in verschiedenen Anwendungsszenarien.

## Lebensdauer

Lh<sub>10</sub>

**294 h**

Gesamtlebensdauer in Stunden (nominell)

Lh<sub>nm</sub>

**5.460 h**

modifizierte Lebensdauer in Stunden

P

**27.800 N**

Äquivalente dynamische Belastung

n

**8.000 1/min**

Äquivalente Drehzahl

S<sub>0\_min</sub>

**8,47**

Statische Sicherheit

P<sub>0\_max</sub>

**12.200 N**

Maximale äquivalente statische Belastung

# medias Berechnungsbericht für Lager HCB7028-E-T-P4S-UL

## Fehler, Warnungen und Hinweise

### Warnungen

Bitte beachten Sie die Mischbarkeit von Schmierfetten im Kapitel Fettschmierung.

· HCB7028-E-T-P4S-UL: Fettart = Arcanol MULTI2

Viskositätsverhältnisse  $\kappa > 4$  bringen keine weitere Erhöhung der Schmierfilmhöhe. Daher steigt der Lebensdauerbeiwert  $a_{DIN}$  mit größerem Viskositätsverhältnis nicht weiter an.

### Hinweise

Die Werte der Fettgebrauchsdauer für Spindellager setzen den Einsatz eines Fettes voraus, das dem Betrieb und den Randbedingungen angemessen ist. Deshalb haben die eingegebenen Fettdaten und Minderungsfaktoren keinen Einfluss auf die Ergebnisse der Berechnung.

Reibungsverlustleistung: Unsere neue Berechnung liefert schneller Näherungswerte Für genauere Berechnungen, kontaktieren Sie unsere technischen Experten

<https://medias.schaeffler.de/de/stc>

Berechnet mit applicationVersion 1.0.2205.0 / bearinxVersions 12.0.9828 / co2eapi 2024.2.2.0

# Titanium Alloy Ti 6Al-4V

## Type Analysis

Single figures are nominal except where noted.

<b>Carbon (Maximum)</b>	0.10 %	<b>Titanium</b>	Balance
<b>Aluminum</b>	5.50 to 6.75 %	<b>Vanadium</b>	3.50 to 4.50 %
<b>Nitrogen</b>	0.05 %	<b>Iron (Maximum)</b>	0.40 %
<b>Oxygen (Maximum)</b>	0.020 %	<b>Hydrogen (Maximum)</b>	0.015 %
<b>Other, Total (Maximum)</b>	0.40 %		

\* Other, Each (Maximum) = 0.1%

\*\* For AMS 4928 (Bar, Billet, Forgings) Hydrogen = 0.0125% and Iron = 0.3%

## General Information

### Description

Pure titanium undergoes an allotropic transformation from the hexagonal close-packed alpha phase to the body-centered cubic beta phase at a temperature of 882.5°C (1620.5°F). Alloying elements can act to stabilize either the alpha or beta phase. Through the use of alloying additions, the beta phase can be sufficiently stabilized to coexist with alpha at room temperature. This fact forms the basis for creation of titanium alloys that can be strengthened by heat treating.

Titanium alloys are generally classified into three main categories: Alpha alloys, which contain neutral alloying elements (such as Sn) and/or alpha stabilizers (such as Al, O) only and are not heat treatable; Alpha + beta alloys, which generally contain a combination of alpha and beta stabilizers and are heat treatable to various degrees; and Beta alloys, which are metastable and contain sufficient beta stabilizers (such as Mo, V) to completely retain the beta phase upon quenching, and can be solution treated and aged to achieve significant increases in strength.

Ti 6Al-4V is known as the "workhorse" of the titanium industry because it is by far the most common Ti alloy, accounting for more than 50% of total titanium usage. It is an alpha+beta alloy that is heat treatable to achieve moderate increases in strength.

Ti 6Al-4V is recommended for use at service temperatures up to approximately 350°C (660°F).

Ti 6Al-4V offers a combination of high strength, light weight, formability and corrosion resistance which have made it a world standard in aerospace applications.

### Applications

Ti 6Al-4V may be considered in any application where a combination of high strength at low to moderate temperatures, light weight and excellent corrosion resistance are required. Some of the many applications where this alloy has been used include aircraft turbine engine components, aircraft structural components, aerospace fasteners, high-performance automotive parts, marine applications, medical devices, and sports equipment.

## Corrosion Resistance

Ti 6Al-4V immediately and spontaneously forms a stable, continuous, tightly adherent oxide film upon exposure to oxygen in air or water. This accounts for its excellent corrosion resistance in a variety of media. Ti 6Al-4V is highly resistant to general corrosion in aqueous solutions including seawater, as well as in oxidizing acids, chlorides (in the presence of water), rocket propellants and alkalis. Conditions under which Ti 6Al-4V is susceptible to general corrosion are in the presence of reducing acids or dry chlorine gas.

Stress-corrosion cracking (SCC) and crevice corrosion have been shown to occur in environments containing chlorides or other halide ions. For this reason, it is general practice to avoid the use of chlorinated solvents, cutting fluids, etc., in processing titanium.

Titanium and its alloys, including Ti 6Al-4V, are susceptible to hydrogen embrittlement. Gaseous or cathodic hydrogen can diffuse into the metal, forming brittle hydrides. Thus, it is important to minimize hydrogen pickup during processing, particularly heat treating and acid pickling. Specifications for Ti 6Al-4V mill products typically specify a maximum hydrogen limit of about 150 ppm.

## Titanium Alloy Ti 6Al-4V

**Important Note:** The following 4-level rating scale is intended for comparative purposes only. Corrosion testing is recommended; factors which affect corrosion resistance include temperature, concentration, pH, impurities, aeration, velocity, crevices, deposits, metallurgical condition, stress, surface finish and dissimilar metal contact.

Sulfuric Acid	Moderate	Acetic Acid	Excellent
Sodium Hydroxide	Moderate	Salt Spray (NaCl)	Excellent
Sea Water	Excellent	Humidity	Excellent

### Ti 6Al-4V: General Corrosion Rates in Various Media

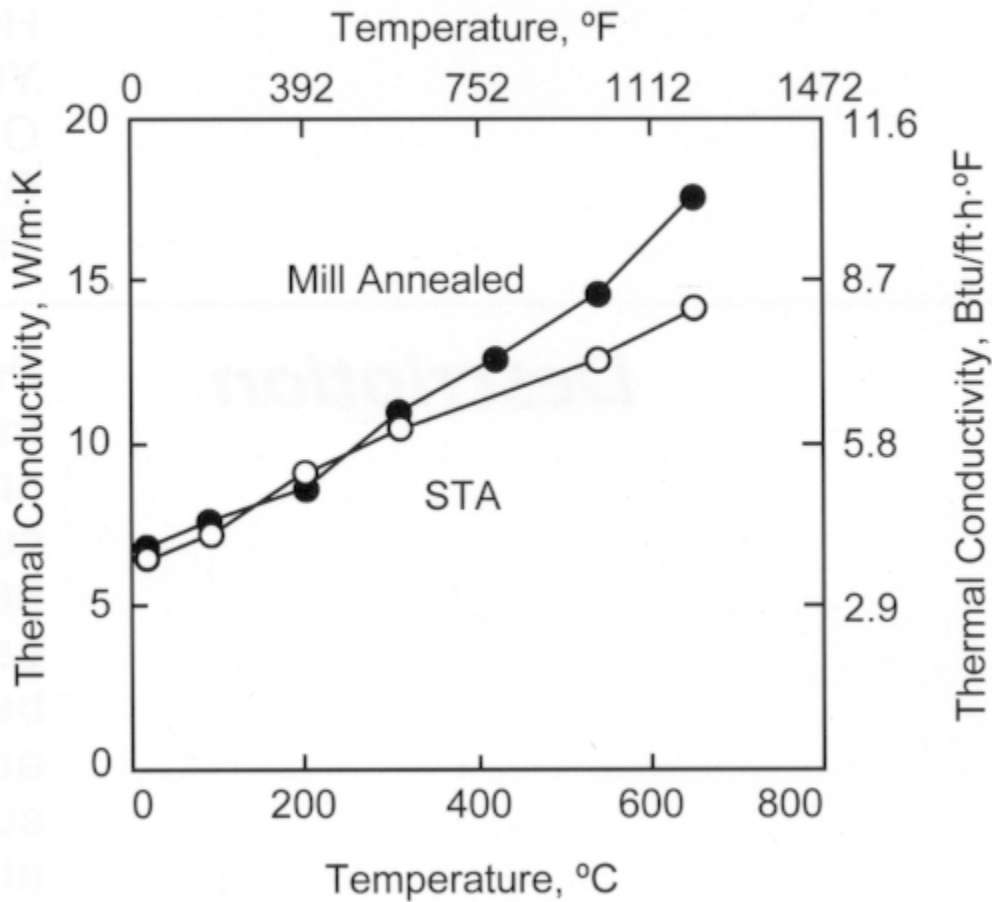
Medium	Concentration %	Temperature		Corrosion Rate	
		°C	°F	mm/yr	mils/yr
Sea Water	n/a	room	room	nil	nil
Hydrochloric Acid	2	37.8	100	nil - .030	nil - 1.2
Hydrochloric Acid	10	37.8	100	0.508 - 1.02	20.0 - 40.0
Hydrochloric Acid + 5% CrO <sub>3</sub>	10	65.6	150	nil - 0.005	nil - 0.2
Hydrochloric Acid	vapors	37.8	100	8.33 - 1.04	328 - 408
Nitric Acid	65	boiling	boiling	0.076 - 0.13	3.0 - 5.0
Sulfuric Acid	2	37.8	100	0.396 - 0.549	15.6 - 21.6
Sodium Hydroxide	25	boiling	boiling	0.046 - 0.051	1.8 - 2.0

## Properties

### Physical Properties

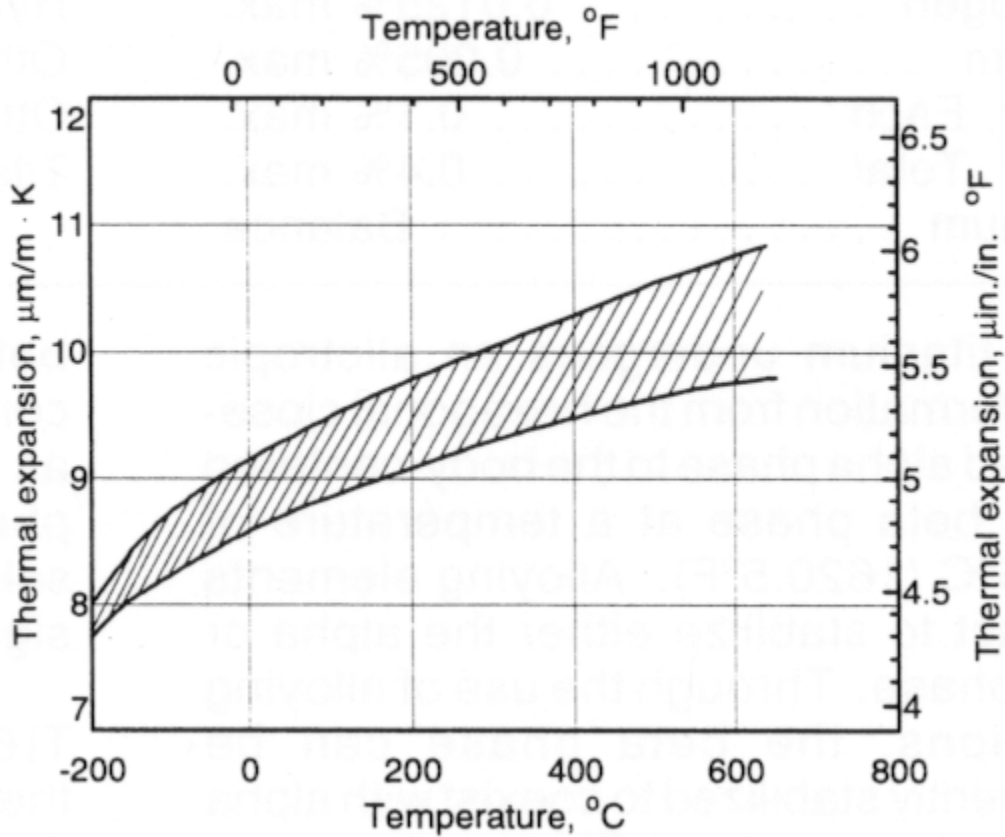
Specific Gravity 0.160

### Thermal Conductivity of Ti 6Al-4V <sup>(1)</sup>



Modulus of Elasticity (E)	15.2 x 10 <sup>3</sup> ksi
Beta Transus	1800 to 1850 °F
Liquidus Temperature	2976 to 3046 °F
Solidus Temperature	2900 to 2940 °F
Electrical Resistivity	
-418°F	902.5 ohm-cir-mil/ft
73°F	1053 ohm-cir-mil/ft
986°F	1143 ohm-cir-mil/ft

## Thermal Expansion of Ti 6Al-4V <sup>(1)</sup>



---

### Magnetic Properties

Magnetic Attraction

- None

---

### Typical Mechanical Properties

Typical Room-Temperature Strengths for Annealed Ti 6Al-4V:

Ultimate Bearing Strength 1380-2070 MPa (200-300 ksi)

Compressive Yield Strength 825-895 MPa (120-130 ksi)

Ultimate Shear Strength 480-690 MPa (70-100 ksi)

Fatigue Limits:

High-cycle fatigue limits for Ti 6Al-4V are greatly influenced by both microstructure and surface conditions. Some generalize fatigue limits for annealed wrought material are provided below.

Fatigue Limit Ranges for Ti 6Al-4V (Axial Fatigue, R = 0.06 to 0.1)

Smooth 400-700 MPa (60-100 ksi)

Notched (KT = 3) 140-270 MPa (20-40 ksi)

Fracture Toughness:

The fracture toughness (K<sub>Ic</sub>) of Ti 6Al-4V lies between that of aluminum alloys and steels. Microstructures that tend to have higher toughness are those with greater amounts of lamellar alpha/beta and coarser structures in general. The ELI grade of Ti 6Al-4V exhibits toughness superior to the standard grade.

# Titanium Alloy Ti 6Al-4V

## Room Temperature Mechanical Properties

Condition	UTS	YS	%EI	%RA
-----------	-----	----	-----	-----

### Minimum Specified Tensile Properties

Annealed	896 MPa (130 ksi)	827 MPa (120 ksi)	10	25
STA (depending on diameter)	1035–1135 MPa (150–165 ksi)	965–1070 MPa (140–155 ksi)	10	20

### Typical Tensile Properties

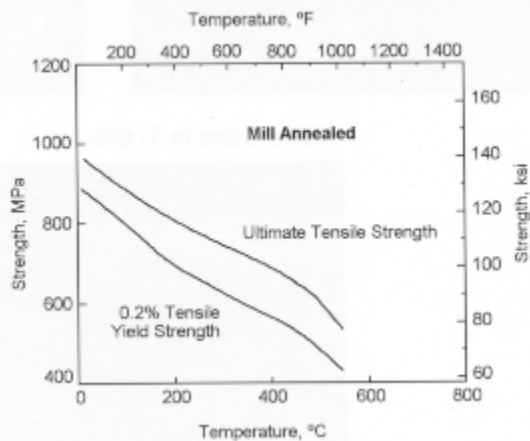
Annealed	965–1090 MPa (140–158 ksi)	875–995 MPa (127–144 ksi)	16	46
STA (depending on diameter)	1100–1220 MPa (160–177 ksi)	1035–1130 MPa (150–164 ksi)	15	52

One reason that Ti 6Al-4V has found such widespread use is its relatively high strength for a lightweight material.

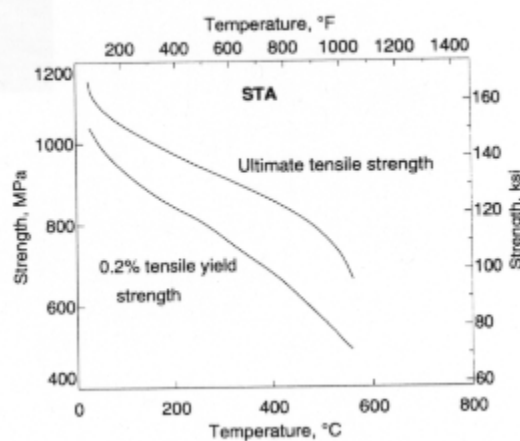
Specific strength (strength/density) provides a means to compare materials on this basis.

Material	UTS		Specific Strength	
	MPa	ksi	m x 10 <sup>3</sup>	in x 10 <sup>6</sup>
Ti 6Al-4V STA	1172	170	27.0	1063
Ti 6Al-4V Annealed	924	134	21.3	838
4130 Steel	1379	200	17.9	707
7075-T6 Aluminum	538	78	19.6	772
2024 T3 Aluminum	441	64	16.1	634
Inconel 718	1276	185	15.3	603

Tensile Strengths - Mill Annealed <sup>(1)</sup>



Tensile Strengths - STA <sup>(1)</sup>



## Heat Treatment

Ti 6Al-4V wrought products are typically used in either a mill annealed or solution treated and aged condition. Rapid quenching following solution treatment (water quench or equivalent) is important in order to maximize the formation of alpha' martensite phase, which in turn maximizes the aging response. Other heat treatments used on Ti 6Al-4V include stress relieving for formed or welded parts, and beta annealing, which is used for improving damage tolerance.

Ti 6Al-4V, like other titanium alloys, has a high affinity for gases including oxygen, nitrogen and hydrogen. Absorption of oxygen results in the formation of an extremely hard, brittle oxygen-stabilized alpha phase layer known as alpha case upon heating in air.

## Titanium Alloy Ti 6Al-4V

---

Intermediate and final annealing of Ti 6Al-4V mill products is often performed in a vacuum or inert gas atmosphere to avoid alpha case formation and the associated material loss. Vacuum annealing can also be used to remove excess hydrogen pickup, a process known as vacuum degassing. Parts to be vacuum heat treated must be thoroughly cleaned (see Descaling (Cleaning) Notes).

### Heat Treatment

Mill Anneal	705-790°C (1300-1450°F) 1-4 hours - air cool (or equivalent)
Solution Treat + Age (STA)	940-970°C (1725-1775°F) 10 min. - water quench (or equiv.) plus 480-595°C (900-1100°F) 2-8 hours - air cool (or equivalent)
Stress Relief	480-650°C (900-1200°F) 1-4 hours - air cool (or equivalent)
Beta Anneal	1035°C (1900°F) 30 min. - air cool plus 730°C (1350°F) 2 hours - air cool

## Workability

### Hot Working

Ti 6Al-4V can be hot worked by standard methods such as hot rolling, forging, and hot pressing. Typically, hot working is done high in the alpha/beta temperature range, at approximately 870-980° C (1600-1800°F). Care must be taken to prevent the formation of excessive alpha case, and alpha case must be removed after processing. Hot forming of sheet is typically done at temperatures around 650°C (1200°F). Ti 6Al-4V has also been successfully processed by superplastic forming, using temperatures in the range of 850°C (1560°F).

### "Warm" Working:

The yield strength of Ti 6Al-4V in both the annealed and STA conditions drops off rapidly with temperature, making it readily formable at intermediate temperatures. For example, heating to just 427°C (800°F) results in approximately a 40% reduction in yield strength. Warm forming is used extensively in the manufacture of many products, including fasteners, aircraft components, and medical devices.

### Cold Working

Ti 6Al-4V can be cold drawn and extruded, although the cold workability is somewhat limited. Cold forming is sometimes used for parts such as brackets and clips. Due to the low modulus of titanium, springback is an issue in room-temperature forming. Theoretically, it can be compensated for by over-bending; however, in practice hot sizing is often used to correct for the variability that occurs.

### Machinability

Using the rating system based on AISI B1112 steel, the machinability of Ti 6Al-4V is rated at 22% of B1112. In general, low cutting speeds, heavy feed rates and copious amounts of cutting fluid are recommended. Also, because of the strong tendency of titanium to gall and smear, feeding should never be stopped while the tool and work are in moving contact. Non-chlorinated cutting fluids should be used to eliminate the possibility of chloride contamination. It should be noted that titanium chips are highly combustible and appropriate safety precautions are necessary.

Following are typical feeds and speeds for Ti 6Al-4V.

## Titanium Alloy Ti 6Al-4V

### Typical Machining Speeds and Feeds – Titanium Alloy Ti-6Al-4V

The speeds and feeds in the following charts are conservative recommendations for initial setup. Higher speeds and feeds may be attainable depending on machining environment.

#### Turning—Single-point and Box Tools

Depth of Cut (Inches)	High Speed Tools			Carbide Tools (Inserts)				
	Tool Material	Speed (fpm)	Feed (ipr)	Tool Material	Speed (fpm)			Feed (ipr)
					Brazed	Throw Away	Coated	
<b>Annealed</b>								
.150	T15, M42	60	.010	C2	145	195	-	.008
.025		70	.005	C3	170	225	-	.005
<b>Aged</b>								
.150	T15, M42	55	.010	C2	135	165	-	.008
.025		65	.005	C3	160	190	-	.005

#### Turning—Cut-Off and Form Tools

Tool Material		Speed (fpm)	Feed (ipr)						
High Speed Tools	Carbide Tools		Cut-Off Tool Width (Inches)				Form Tool Width (Inches)		
			1/16	1/8	1/4	1/2	1	1 ½	2
<b>Annealed</b>									
T15, M42	C2	55	.001	.0015	.002	.0025	.0015	.001	.001
		110	.001	.0015	.002	.0025	.0015	.001	.001
<b>Aged</b>									
T15, M42	C2	40	.001	.0015	.002	.002	.0015	.001	.001
		85	.001	.0015	.002	.002	.0015	.001	.001

#### Rough Reaming

High Speed		Carbide Tools		Feed (ipr) Reamer Diameter (inches)					
Tool Material	Speed (fpm)	Tool Material	Speed (fpm)	1/8	1/4	1/2	1	1 ½	2
<b>Annealed</b>									
T15, M42	65	C2	200	.003	.006	.010	.012	.014	.016
<b>Aged</b>									
T15, M42	30	C2	160	.003	.007	.010	.012	.014	.016

## Titanium Alloy Ti 6Al-4V

### Drilling

Tool Material	Speed (fpm)	High Speed Tools							
		Feed (inches per revolution) Nominal Hole Diameter (inches)							
		1/16	1/8	1/4	1/2	3/4	1	1 1/2	2
T15, M42	35	-	.002	.004	.006	.007	.008	.010	.012
T15, M42	30	-	.002	.003	.005	.006	.007	.009	.010

### Die Threading

Tool Material	FPM for High Speed Tools			
	7 or less, tpi	8 to 15, tpi	16 to 24, tpi	25 and up, tpi
	M1, M2, M7, M10	5 - 20	9 - 25	10 - 30
M3, M2, M7, M10	5 - 20	9 - 25	10 - 30	15 - 40

### Milling, End-Peripheral

Depth of Cut (inches)	High Speed Tools						Carbide Tools					
	Tool Material	Speed (fpm)	Feed (ipr) Cutter Diameter (in)				Tool Material	Speed (fpm)	Feed (ipr) Cutter Diameter (in)			
			1/4	1/2	3/4	1-2			1/4	1/2	3/4	1-2
.050	T15	90	.002	.003	.005	.006	C2	260	.002	3	.006	.008
.050	T15	75	.002	.003	.004	.006	C2	200	.002	.003	.006	.008

### Tapping

High Speed Tools	
Tool Material	Speed (fpm)
M1, M7, M10 Nitrided	7 - 20
M1, M7, M10 Nitrided	3 - 10

### Broaching

High Speed Tools		
Tool Material	Speed (fpm)	Chip Load (ipr)
T15, M42	8	.003
T15, M42	5	.002

When using carbide tools, surface speed feet/minute (SFPM) can be increased between 2 and 3 times over the high-speed suggestions. Feeds can be increased between 50 and 100%.

Figures used for all metal removal operations covered are average. On certain work, the nature of the part may require adjustment of speeds and feeds. Each job has to be developed for best production results with optimum tool life. Speeds or feeds should be increased or decreased in small steps.

### Typical Minimum Stock Removal Requirements for Ti Alloys (after Thermal Exposure in Air)

Heat Treatment	Thermal Cycle	Removal Required
Mill Anneal	760°C (1400°F) 2 hrs.	.038 mm (.0015 in.)
Solution Treat + Age (STA)	954°C (1750°F) 10 min. + 480°C (900°F) 4 hrs	.107 mm (0.0042 in.)

### Weldability

Ti 6Al-4V can be welded using Ti 6Al-4V filler metal. Inert gas shielding techniques must be employed to prevent oxygen pickup and embrittlement in the weld area. Gas tungsten arc welding is the most common welding process for Ti 6Al-4V. Gas metal arc welding is used for thick sections. Plasma arc welding, spot welding, electron beam, laser beam, resistance welding and diffusion welding have all been used successfully in Ti 6Al-4V welding applications.

## Other Information

### Wear Resistance

Ti 6Al-4V, and Ti alloys in general, have a tendency to gall and are not recommended for wear applications.

# Titanium Alloy Ti 6Al-4V

---

## Descaling (Cleaning)

Following heat treatment in air, it is extremely important to completely remove not only the surface scale but the underlying layer of brittle alpha case as well. This removal can be accomplished by mechanical methods such as grinding or machining, or by descaling (using molten salt or abrasive) followed by pickling in a nitric/hydrofluoric acid mixture.

Titanium alloys are also susceptible to hydrogen embrittlement, and care must be taken to avoid excessive hydrogen pickup during heat treating and pickling/chemical milling.

Final heat treatments on finished parts must be performed in a vacuum if machining or pickling is to be avoided.

The cleanliness of parts to be vacuum heat treated is of prime importance. Oils, fingerprints, or residues remaining on the surface can result in the formation of alpha case even in the vacuum atmosphere. In addition, chlorides found in some cleaning agents have been associated with SCC of titanium. Thus, parts to be vacuum heat treated should be processed as follows: thorough cleaning using a non-chlorinated solvent or aqueous cleaning solution, followed by rinsing with copious quantities of deionized or distilled (not regular tap) water to remove all traces of cleaning agent, and finally drying. Following cleaning, parts must be handled with clean gloves to prevent recontamination of the surface.

## Applicable Specifications

- A5.16 (ERTi-5) (Weld Wire)
- AMS 4920 (Forgings)
- AMS 4963 (Bar, Wire, Forgings, Ring, Heat Treatable)
- AMS 4967 (Bar, Wire, Forgings, Ring, STA)
- ASTM B367 (Castings)
- ISO 5832-3
- AMS 4911 (Sheet, Strip, Plate)
- AMS 4928 (Bar, Wire, Forgings, Ring, Annealed)
- AMS 4965 (Bar, Wire, Forgings, Ring, STA)
- ASTM B348 (Bar, Billet)
- ASTM F1472 (All Forms, Annealed)

## Forms Manufactured

\*SMART Coil is a registered trademark of Dynamet Holdings, Inc. licensed to Dynamet Incorporated.

- Bar-Rounds
- Dynalube Coil
- Plate
- Sheet
- ULTRABAR® Precision Bar
- Wire
- Bar-Shapes
- Ingot
- Powder
- SMART Coil® Titanium Coil
- Weld Wire
- Wire-Shapes

## References

The information in this publication was compiled from a variety of sources, including the following:

- Materials Properties Handbook: Titanium Alloys, ASM International, 1994
- Aerospace Structural Metals Handbook, Volume 4, CINDAS/Purdue University, 1998
- Titanium: a Technical Guide, ASM International, 1988
- Metals Handbook, Desk Edition, ASM International, 1984
- Specifications Book, International Titanium Association, 1999
- Metcut Research Associates Inc. data
- Dynamet technical papers and unpublished data

## Technical Articles

- [An Evaluation of Alloys for Golf Club Face Plates](#)
- [Higher Performance Material Solutions for a Dynamic Spine Market](#)
- [New Requirements for Ferrous-Base Aerospace Alloys](#)
- [New, Precision Titanium ULTRABAR™ for Screw Machining Medical and Other Precision Parts](#)
- [Selection of High Strength Stainless Steels for Aerospace, Military and Other Critical Applications](#)
- [Specialty Alloys And Titanium Shapes To Consider For Latest Medical Materials Requirements](#)
- [Toughness Index for Alloy Comparisons](#)

# Titanium Alloy Ti 6Al-4V

---

Ti 6Al-4V specimens can be prepared for metallographic examination by standard methods. Abrasive cutting, especially of small samples, is not recommended due to the tendency to burn the surface and produce alpha case. Kroll's reagent (1–3% hydrofluoric acid plus 2–6% nitric acid in water) is commonly used for

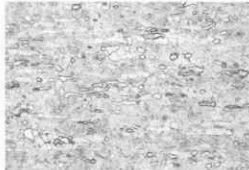
determination of general microstructure. For detection of alpha case, Kroll's etch is followed by an ammonium bifluoride solution which stains the entire sample with the exception of any alpha case. Some typical microstructures are illustrated below.

## Microstructures of Ti 6Al-4V (approximate magnification 200X)

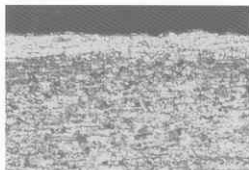
Ti 6Al-4V Mill Annealed Condition



Ti 6Al-4V STA Condition



Alpha Case in Ti 6Al-4V



---

### Disclaimer:

The information and data presented herein are typical or average values and are not a guarantee of maximum or minimum values. Applications specifically suggested for material described herein are made solely for the purpose of illustration to enable the reader to make his/her own evaluation and are not intended as warranties, either express or implied, of fitness for these or other purposes. There is no representation that the recipient of this literature will receive updated editions as they become available.

Unless otherwise specified, registered trademarks are property of CRS Holdings Inc., a subsidiary of [Carpenter Technology Corporation](#)  
Copyright © 2020 CRS Holdings Inc. All rights reserved.

Visit us on the web at [www.carttech.com](http://www.carttech.com)

Edition Date: 07/01/2000