



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

DIPLOMARBEIT

# Entwicklung eines Prüfstands für Freiläufe nach dem Verspannprinzip

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines  
Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.Ing. Michael Weigand

E307

Institut für Konstruktionswissenschaften und Technische Logistik

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Clemens Ortmayr BSc

Matr.Nr. 0625815

Belvederegasse 28/17, 1040 Wien

Wien, im Mai 2016

.....

(Clemens Ortmayr)



Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

## DIPLOMARBEIT

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe. Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im Mai 2016

.....

(Clemens Ortmayr)

# Kurzfassung

Freiläufe sind kritische und hochbelastete Bauteile in den Antriebssystemen von Hubschraubern. Fehlfunktionen dieser Bauteile können zu katastrophalen Folgen führen.

Gegenstand dieser Diplomarbeit ist die Entwicklung eines Freilaufprüfstands bestehend aus Umlaufgetriebe und Verspanneinheit.

Als theoretische Grundlagen werden die Gesetzmäßigkeiten der Umlaufgetriebe und der Verspanneinheit erklärt. Auf dieser Basis werden Gleichungssysteme erstellt um die kinematischen Zusammenhänge in Prüfstandsystemen bestehend aus Umlaufgetriebe und Verspanneinheit zu beschreiben. In MATLAB-Skripten werden die Parameter dieser Prüfstandsysteme variiert um eine für die Konstruktion eines solchen Prüfstands günstige Variante zu finden.

Eine Variante des Prüfstands wird ausgearbeitet, in CATIA konstruiert, in KISSsys modelliert und in KISSsoft berechnet. Durch Auswahl geeigneter, als Katalogware angebotener Komponenten und der Durchführung von Tragfähigkeitsberchnungen für die konstruierten Bauteile wird die Umsetzbarkeit eines solchen Prüfstandes gezeigt.

# Abstract

Freewheeling clutches are a crucial and heavy loaded elements in the rotor drive system of rotorcrafts. Malfunctions of these units can lead to catastrophic consequences.

The scope of this thesis is to develop a test rig for freewheel clutches consisting of the power circuit of a torque test rig and an epicyclic transmission.

For a better understanding this thesis starts with an explanation of the mechanical principals of epicyclic transmissions and torque test rigs. Systems of equations are developed based on these principals in order to depict the kinematic behaviour of different variants of test rigs combining the power circuit of a torque test rig with an epicyclic transmission unit. The parameters of these test rigs are varied using MATLAB in order to find the best feasible variant for the implementation of such a test rig.

One variant of a test rig is further elaborated, constructed in CATIA, modelled in KISSsys and calculated using KISSsoft. By choosing appropriate components available from manufacturer catalogues and by performance of calculations to prove the load-bearing capacity of the constructed components the feasibility of such test rig is demonstrated.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Freiläufe und ihre Bedeutung in Hubschraubern</b>	<b>1</b>
1.1	Freiläufe . . . . .	1
1.2	Freiläufe in Hubschraubern . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Kinematisches Modell</b>	<b>5</b>
2.1	Grundlagen . . . . .	5
2.1.1	Prinzip des Verspannprüfstands . . . . .	5
2.1.2	Grundlagen einfacher Umlaufgetriebe . . . . .	6
2.2	Kinematik von Verspannprüfstand und Umlaufgetriebe . . . . .	11
2.2.1	Kinematik der Verspanneinheit . . . . .	11
2.2.2	Kinematik Planetengetriebe . . . . .	12
2.2.3	Kinematik Cyclo-Getriebe . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Ermittlung geeigneter Prüfstandsvarianten</b>	<b>15</b>
3.1	Vorgehensweise . . . . .	15
3.2	MATLAB-Skript: <i>PGVar1</i> . . . . .	17
3.3	Skriptvariation für andere Varianten . . . . .	24
3.4	Ergebnisse der MATLAB-Skripten . . . . .	24
3.5	Konstruktive Einschränkungen . . . . .	26
<b>4</b>	<b>Konstruktion</b>	<b>28</b>
4.1	Überblick . . . . .	28
4.2	Notwendige Abweichungen vom theoretischen Modell . . . . .	31
4.3	Verbindende Komponenten der Verspanneinheit . . . . .	31

4.3.1	Drehmomentmesswelle . . . . .	32
4.3.2	Metallbalgkupplungen . . . . .	33
4.3.3	Hydraulisch schaltbare Lamellenkupplung . . . . .	34
4.3.4	Freilauf . . . . .	35
4.4	Schmierstoff . . . . .	36
4.5	Tragfähigkeitsnachweise . . . . .	37
4.6	Berechnung der Zahnräder . . . . .	39
4.6.1	Planetengeriebe . . . . .	39
4.6.2	Stirnradstufen Z1Z2 und Z3Z4 . . . . .	41
4.6.3	Stirnradstufe Z5Z6 . . . . .	43
4.7	Gestaltung der Wellen und Lagerung . . . . .	45
4.7.1	Planetengeriebestufe . . . . .	45
4.7.2	Modellierung der Planetengeriebestufe mit angeschlossenen Wellen in KISSsys . . . . .	51
4.7.3	Weitere konstruktive Merkmale . . . . .	52
<b>5</b>	<b>Diskussion und Ausblick</b>	<b>56</b>
<b>A</b>	<b>MATLAB Berechnung der Zähnezahlen</b>	<b>62</b>
A.1	Planetengeriebe Variante 1 . . . . .	62
A.2	Planetengeriebe Variante 2 . . . . .	66
A.3	Planetengeriebe Variante 3 . . . . .	70
A.4	Planetengeriebe Variante 4 . . . . .	74
A.5	Cyclogetriebe Variante 1 . . . . .	77
A.6	Cyclogetriebe Variante 2 . . . . .	81
A.7	Cyclogetriebe Variante 3 . . . . .	84
A.8	Cyclogetriebe Variante 4 . . . . .	88
A.9	Planetengeriebe Variante 2 Erweitert . . . . .	92
A.10	Planetengeriebe Variante 3 Erweitert . . . . .	95
<b>B</b>	<b>KISSsoft Berechnungen</b>	<b>100</b>
B.1	Planetengeriebestufe . . . . .	100

---

B.2	Stirnradrufe Z1Z2 . . . . .	114
B.3	Stirnradrufe Z3Z4 . . . . .	125
B.4	Stirnradrufe Z5Z6 . . . . .	136
B.5	Wellen und Lager Planetengetriebe, WelleZ4, WelleZ5 . . . . .	147
B.6	Planetenbolzen und -lager . . . . .	218
B.7	Welle und Lager WelleZ1 . . . . .	236
B.8	Welle und Lager WelleZ2 . . . . .	274
B.9	Welle und Lager WelleZ3 . . . . .	301
B.10	Welle und Lager WelleZ6 . . . . .	332
B.11	DIN5480 Sonnenwelle . . . . .	359
B.12	DIN5480 WelleZ4-Planetenträger . . . . .	365
B.13	DIN5480 WelleZ5-Hohlrad . . . . .	371
B.14	Keilwelle Z1 . . . . .	377
B.15	Keilwelle Z2 . . . . .	380
B.16	Keilwelle Z3 . . . . .	383
B.17	Keilwelle Z4 . . . . .	386
B.18	Keilwelle Z5 . . . . .	389
B.19	Passfeder WelleZ1 - LP1-4000 . . . . .	392
B.20	Passfeder WelleZ3 - hydraulische Lamellenkupplung . . . . .	396
B.21	Passfeder WelleZ6 - MotorE1 . . . . .	400
B.22	Vollstifte Hohlrad . . . . .	404
B.23	Schwerspannstifte Hohlrad . . . . .	407

# Symbolverzeichnis

Symbol	Beschreibung	Einheit
$F$	Kraft	$N$
$f$	Funktion	–
$i$	Übersetzung	–
$k$	Drehzahlverhältnis	–
$n$	Drehzahl	$U/min$
$M$	Drehmoment	$Nm$
$m$	Masse	$kg$
$P$	Leistung	$W$
$p$	Druck	$Pa$
$r$	Radius	$m$
$w_1$	Richtung des Leistungsflusses	–
$z$	Zähnezahl	–
$\eta$	Wirkungsgrad	–
$\omega$	Winkelgeschwindigkeit	$rad/s$
$\rho$	Dichte	$kg/m^3$

## Indizes

Symbol	Beschreibung
1	Sonnenwelle Planetengetriebe
2	Hohlrad Planetengetriebe
$E_1$	Motor $E_1$
$E_2$	Motor $E_2$
$F$	Freilauf
$p$	Planet
$s$	Steg Planetengetriebe
$Z_1$	Stirnrad $Z_1$
$Z_2$	Stirnrad $Z_2$
$Z_3$	Stirnrad $Z_3$
$Z_4$	Stirnrad $Z_4$
$Z_5$	Stirnrad $Z_5$
$Z_6$	Stirnrad $Z_6$

# Kapitel 1

## Freiläufe und ihre Bedeutung in Hubschraubern

### 1.1 Freiläufe

Freiläufe sind Maschinenelemente, bei denen zwischen zwei Wellen in einer Drehrichtung keine Verbindung besteht (Überholbetrieb genannt), in der anderen Drehrichtung besteht hingegen eine Verbindung und Drehmomente werden übertragen (Mitnahmebetrieb genannt)[1, S.5].

Übliche Bauarten sind der Klemmstück- oder Klemmkörperfreilauf und der Klemmrollenfreilauf (siehe Abbildung 1.1 und 1.2).

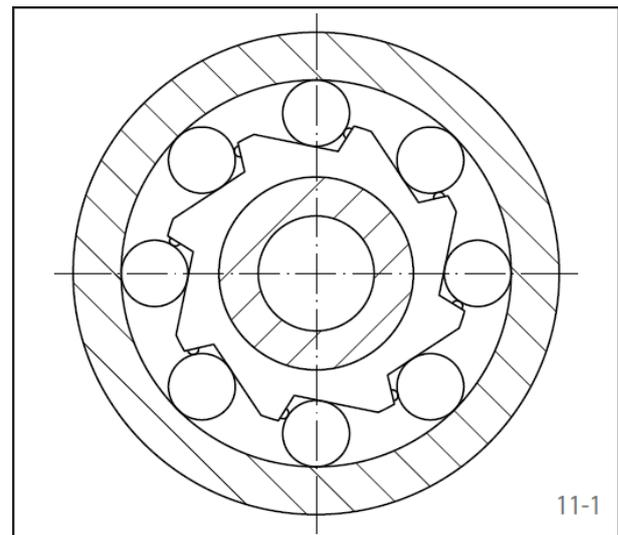
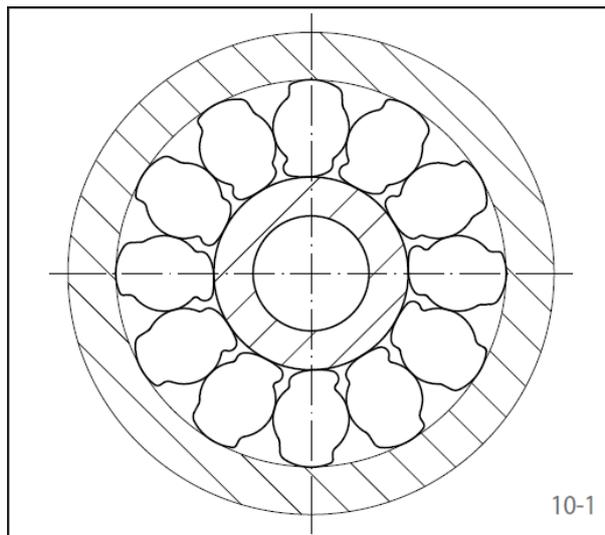


Abbildung 1.1: Klemmstückfreilauf [1, S.10]    Abbildung 1.2: Klemmrollenfreilauf [1, S.11]

Die Klemmstücke beziehungsweise Klemmrollen werden durch Federn in ihrer Position gehalten, damit sie in Sperrichtung zwischen Innen- und Außenring schlupffrei verspannen und durch die Haftreibung Drehzahl- und Drehmomentübertragung gewährleisten. In der Freilaufichtung werden sie gegen die Federn gedrückt und füllen den Querschnitt zwischen Innen- und Außenring nicht mehr aus, was zum Überholbetrieb führt (Abbildung 1.3 und 1.4).

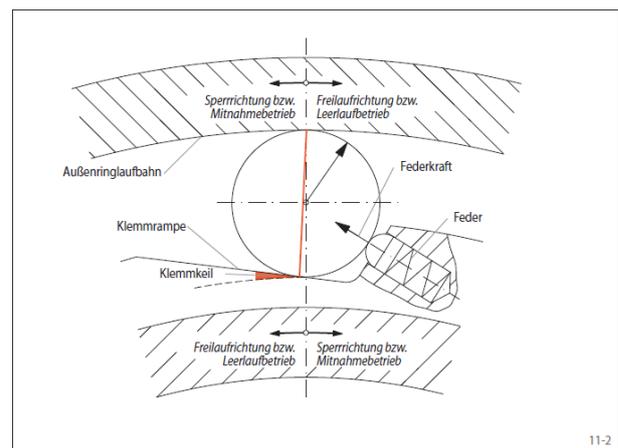
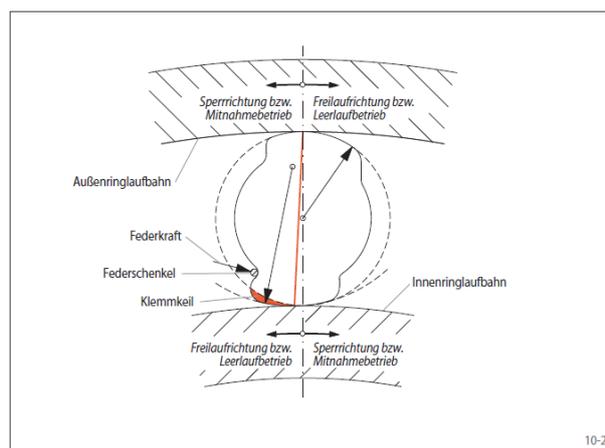


Abbildung 1.3: Funktionsprinzip Klemmstückfreilauf [1, S.10]

Abbildung 1.4: Funktionsprinzip Klemmrollenfreilauf [1, S.11]

## 1.2 Freiläufe in Hubschraubern

In Hubschraubergetrieben werden Freiläufe zwischen den Motoren und dem Hauptgetriebe, welches die Rotoren antreibt, eingebaut. Die Freiläufe haben die Aufgabe sowohl die Leistungsübertragung von den Motoren zum Hauptgetriebe zu gewährleisten, aber auch zu ermöglichen, dass sich das Hauptgetriebe mit einer höheren Drehzahl drehen kann, als von den Motoren vorgegeben wird.

So werden bei Hubschraubern mit mehreren Turbinen diese für gewöhnlich nach einander auf Betriebsdrehzahl hochgefahren, wobei der Freilauf der noch nicht hochgefahrenen Turbine zum Hauptgetriebe im Überholbetrieb läuft.

Die Zertifizierungsbestimmungen der Europäischen Luftfahrtbehörde EASA schreiben die Verwendung von Freiläufen in den Zulassungsbestimmungen für kleine und große Drehflügler (CS-27 beziehungsweise CS-29), in den Bestimmungen für die Gestaltung des Rotorantriebs, vor:

### ROTOR DRIVE SYSTEM

#### CS 27.917 Design

- (a) Each rotor drive system must incorporate a unit for each engine to automatically disengage that engine from the main and auxiliary rotors if that engine fails.
- (b) Each rotor drive system must be arranged so that each rotor necessary for control in autorotation will continue to be driven by the main rotors after disengagement of the engine from the main and auxiliary rotors. [2, S.1-E-2]

und

### ROTOR DRIVE SYSTEM

#### CS 29.917 Design

- (a) General. The rotor drive system includes any part necessary to transmit power from the engines to the rotor hubs. This includes gearboxes, shafting, universal joints, couplings, rotor brake assemblies, clutches, supporting bearings

for shafting, any attendant accessory pads or drives, and any cooling fans that are a part of, attached to, or mounted on the rotor drive system.

(b) Design assessment. A design assessment must be performed to ensure that the rotor drive system functions safely over the full range of conditions for which certification is sought. The design assessment must include a detailed failure analysis to identify all failures that will prevent continued safe flight or safe landing, and must identify the means to minimise the likelihood of their occurrence.

(c) Arrangement. Rotor drive systems must be arranged as follows:

(1) Each rotor drive system of multiengine rotorcraft must be arranged so that each rotor necessary for operation and control will continue to be driven by the remaining engines if any engine fails.

(2) For single-engine rotorcraft, each rotor drive system must be so arranged that each rotor necessary for control in autorotation will continue to be driven by the main rotors after disengagement of the engine from the main and auxiliary rotors.

(3) Each rotor drive system must incorporate a unit for each engine to automatically disengage that engine from the main and auxiliary rotors if that engine fails. [3, S.1-E-2]

Diese Vorgaben werden mit Freiläufen gelöst. Bei Ausfall eines Motors wird durch den funktionierenden Freilauf die Autorotationsfähigkeit beziehungsweise die Trennung dieses Motors vom Antriebsstrang sichergestellt.

Es ist ebenfalls zu gewährleisten, dass der sogenannte Stick-Slip-Effekt nicht auftritt. Dabei kann durch abwechselndes Gleiten und Haften der Klemmrollen beziehungsweise Klemmkörper kein kontrollierbarer Flugzustand sichergestellt werden.

Verschleiß oder Versagen von Freiläufen kann katastrophale Folgen für den Hubschrauber und die Besatzung haben und muss daher vermieden werden.

# Kapitel 2

## Kinematisches Modell

### 2.1 Grundlagen

Um Verschleißverhalten und Versagen von Freiläufen sowie das Schaltverhalten, die Schließ-, Öffnungs- und Belastungsgeschwindigkeiten, unter unterschiedlichen Betriebsbedingungen möglichst realitätsnah untersuchen zu können, soll ein Prüfstand konstruiert werden, der die genaue Steuerung der am Freilauf wirksamen Drehzahlen und Drehmomentbelastungen ermöglicht. Da an üblichen Motor-Bremse-Prüfständen das Öffnen und Schließen nur über das Ausnutzen von Massenträgheit realisiert werden kann, wird der Freilaufprüfstand nach dem Prinzip des Verspannkreises konzipiert.

#### 2.1.1 Prinzip des Verspannprüfstands

Das Prinzip des Verspannprüfstands wird bei vielen größeren Prüfständen eingesetzt. Anschaulich kann ein Verspannkreis am FZG-Ölprüfstand gezeigt werden (siehe Abbildung 2.1).

Durch Belastung einer Teilwelle und die anschließende Verspannung wird ein Torsionsmoment in den Verspannkreis eingebracht. In den beiden Stirnradstufen kommt es zu entsprechenden Reaktionskräften. Über den Motor wird das System angetrieben. Die Belastung der Zahnräder und Wellen ergibt sich aus der Vorspannung und der Drehzahlen der Wel-

len. Die beiden Stirnradstufen treiben sich dabei gegenseitig an, die Leistung zirkuliert im System der Wellen und Stirnradstufen. Über den Motor muss nur die Verlustleistung zugeführt werden.

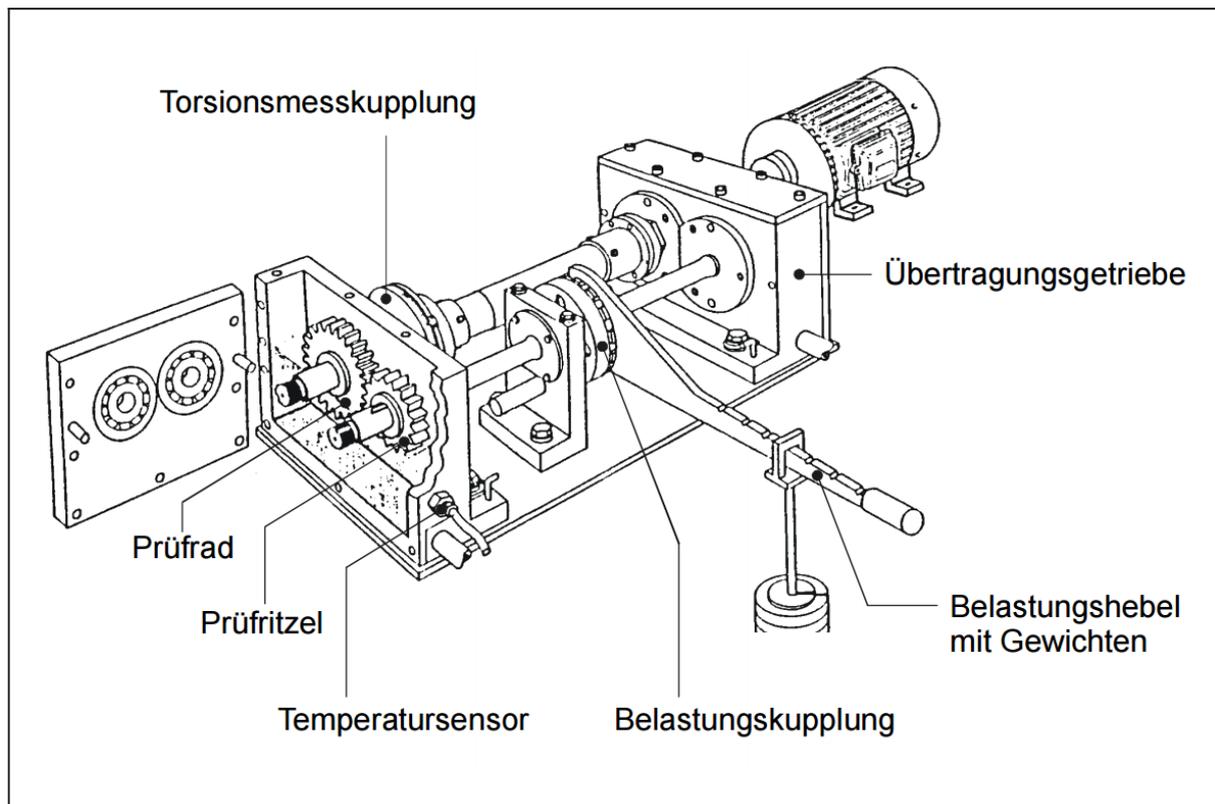


Abbildung 2.1: FZG-Verspannprüfstand [4, S. 12]

Das System des FZG-Verspannprüfstands hat nur einen Freiheitsgrad, alle Geschwindigkeiten sind von der Drehzahl des Motors bestimmt. Die beiden Wellen haben aufgrund der verbindenden Stirnradstufe entgegengesetzten Drehsinn.

## 2.1.2 Grundlagen einfacher Umlaufgetriebe

Definition zu einfachen Umlaufgetrieben nach Müller:

„Einfache Planetengetriebe“ besitzen nur einen Steg mit darauf gelagerten

einfachen oder Stufen-Planeten. Als „rückkehrende“ einfache Planetengetriebe haben sie dazu zwei angeschlossene Zentralräder und eine beliebige Anzahl nicht angeschlossener Planetenräder... Als „offene“ besitzen sie nur ein angeschlossenes Zentralrad und dazu ein oder mehrere angeschlossene Planetenräder... Ein Rad oder sonstiges Getriebeglied ist „angeschlossen“, wenn es mit einer nach außen geführten „Anschlusswelle“ verbunden ist, über die es sein Drehmoment weiterleiten kann... „Einfache Umlaufgetriebe“ sind entweder einfache Planetengetriebe oder sonstige, durch zusätzliche Drehbarkeit des Gehäuses aus einfachen Übersetzungsgetrieben entstandene Umlaufgetriebe mit zwei oder drei drehbaren Wellen ...[5, S. 24f]

Einfache Umlaufgetriebe werden abhängig von ihrer Übersetzung bei stillstehendem Steg, genannt Standübersetzung, in Plus- und Minusgetriebe unterschieden. Bei Plusgetrieben drehen sich die Standgetriebewellen gleichsinnig, bei Minusgetrieben gegensinnig. Alle Plusbeziehungsweise Minusgetriebe verhalten sich ähnlich hinsichtlich ihrer inneren Leistungsflüsse, ihrer Umlaufwirkungsgrade und ihrer Selbsthemmungsfähigkeit [5, S. 25].

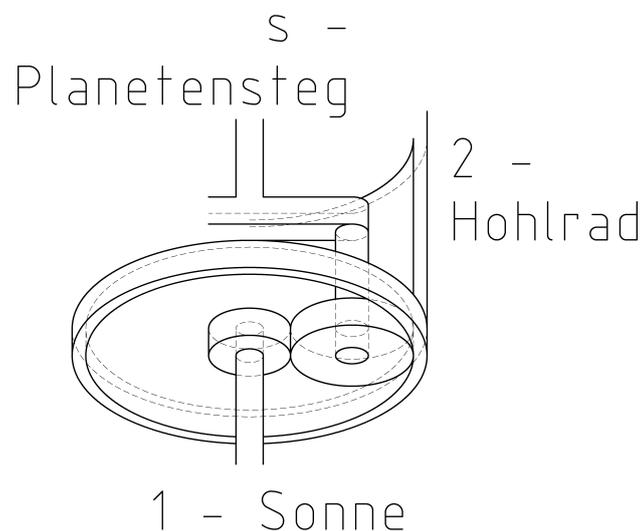


Abbildung 2.2: Einfaches Planetengetriebe

Für die Drehzahlverhältnisse der drei Wellen der Umlaufgetriebe gilt stets folgender, als Drehzahlgrundgleichung bezeichneter, Zusammenhang:

$$n_1 - n_2 * i_{12} - n_s * (1 - i_{12}) = 0 \quad (2.1)$$

Dabei ist die Standübersetzung  $i_{12}$  als das Verhältnis von An- zu Abtriebsdrehzahl eines Umlaufgetriebes bei stillstehendem Steg definiert:

$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2} \text{ bei } n_s = 0 \quad (2.2)$$

Bei stationärer Bewegung gilt nach den Gleichgewichtsbedingungen, dass die Summe der Momente der drei Wellen eines Umlaufgetriebes gleich Null sein muss:

$$M_1 + M_2 + M_s = 0 \quad (2.3)$$

Deshalb muss stets der Betrag des größten Moments der drei Wellen gleich der Summe der Beträge der beiden kleineren Momente sein, und das Vorzeichen des größten Moments entgegengesetzt dem Vorzeichen der beiden kleineren Momente.

Es gilt aber ebenfalls:

$$M_1 : M_2 : M_s \approx f(i_{12}) = konst. \quad (2.4)$$

Gleichung 2.3 und 2.4 gelten immer, unabhängig von den Drehzahlen der einzelnen Wellen.

Wird eine andere Welle als der Steg festgehalten ist das Getriebe ebenfalls zwangsläufig. In diesen Fällen spricht man von Umlaufübersetzungen, sie werden mit  $i_{1s}$ ,  $i_{2s}$ ,  $i_{s1}$ ,  $i_{s2}$  bezeichnet.

Im Unterschied dazu werden die freien Drehzahlverhältnisse mit  $k_{ab}$  bezeichnet:

$$k_{ab} = \frac{n_a}{n_b} \text{ bei beliebigem } n_c \quad (2.5)$$

Zwischen den Stand- und Umlaufübersetzungen der verschiedenen An- und Abtriebswellenkombinationen gilt folgender Zusammenhang:

$$i_{12} = 1 - i_{1s} = \frac{1}{1 - i_{2s}} \quad (2.6)$$

Zwischen den Momenten der drei Wellen gelten folgende Beziehungen [5, S. 250]:

$$\frac{M_2}{M_1} = -i_{12} * \eta_0^{w1} \quad \frac{M_s}{M_1} = i_{12} * \eta_0^{w1} - 1 \quad \frac{M_s}{M_2} = \frac{1}{i_{12} * \eta_0^{w1}} - 1 \quad (2.7)$$

Wobei  $w_1$  von der Richtung des Leistungsflusses abhängt:

$$w_1 = \frac{P_{w1}}{|P_{w1}|} \text{ d.h. } w_1 = \pm 1 \quad (2.8)$$

$$\text{daher} \quad w_1 = +1 \rightarrow \eta_0^{w1} = \eta_{12} \quad w_1 = -1 \rightarrow \eta_0^{w1} = \frac{1}{\eta_{21}} \quad (2.9)$$

Die Drehzahlen der Wellen  $n_1$  und  $n_2$  können jeweils als Summe von Teildrehzahlen verstanden werden, wobei eine Teildrehzahl gleich der Drehzahl des Stegs ist. Die Betrachtung dieser Teildrehzahlen ist wichtig, da der mit der Relativedrehzahl gegenüber dem Steg übertragene Teil der Leistung als Wälzleistung bezeichnet wird und verlustbehaftet ist. Drehen sich die Wellen 1, 2 und  $s$  mit gleicher Drehzahl, spricht man vom Kupplungsfall. Da zwischen den Zahnrädern keine Wälzbewegungen stattfinden, ist die durch einen solchen Bewegungszustand übertragene Leistung verlustfrei und wird als Kupplungsleistung bezeichnet. Wird ein Umlaufgetriebe als Standgetriebe betrieben ist die gesamte übertragene Leistung Wälzleistung. In einem allgemeinen Fall ist die übertragene Leistung für gewöhnlich eine Kombination aus Wälzleistung und Kupplungsleistung.

Die Verhältnisse der Drehmomente der drei Wellen sind bei Vernachlässigung der Reibung durch die Standübersetzung festgelegt und unabhängig von den Drehzahlen der Wellen. Bei drei laufenden Wellen ist der Betriebszustand eines Umlaufgetriebes durch die Standübersetzung und ein beliebig gewähltes freies Drehzahlverhältnis bestimmt (siehe Abbildung 2.3).

Der Umlaufwirkungsgrad der Umlaufgetriebe kann nach Feststellung des Betriebsbereiches nach Abbildung 2.4 ermittelt werden.

Betriebsbereich					Leistungsteilg.			Leistungsummiertg		
$i_{12}$	$k_{12}$	$k_{1s}$	$k_{2s}$	Glw	Fall	Lfl	w1	Fall	Lfl	w1
< 0	< $i_{12}$	> $i_{1s}$	< 0	1	A	$1 < \frac{2}{s}$	+1	B	$\frac{2}{s} > 1$	-1
	$i_{12} \dots 0$	< 0	> $i_{2s}$	2	C	$2 > \frac{1}{s}$	-1	D	$\frac{1}{s} > 2$	+1
	0...1	0...1	1... $i_{2s}$	s	E	$s < \frac{1}{2}$	+1	F	$\frac{1}{2} > s$	-1
	> 1	1... $i_{1s}$	0...1	s	G	$s < \frac{1}{2}$	-1	H	$\frac{1}{2} > s$	+1
0...1	< 0	0... $i_{1s}$	$i_{2s} \dots 0$	s	E	$s > \frac{1}{2}$	+1	F	$\frac{1}{2} > s$	-1
	0... $i_{12}$	< 0	< $i_{2s}$	2	C	$2 < \frac{1}{s}$	-1	D	$\frac{1}{s} > 2$	+1
	$i_{12} \dots 1$	> 1	> 1	1	A	$1 < \frac{2}{s}$	+1	B	$\frac{2}{s} > 1$	-1
	> 1	$i_{1s} \dots 1$	0...1	1	I	$1 < \frac{2}{s}$	-1	K	$\frac{2}{s} > 1$	+1
> 1	< 0	$i_{1s} \dots 0$	0... $i_{2s}$	s	G	$s < \frac{1}{2}$	-1	H	$\frac{1}{2} > s$	+1
	0...1	0...1	$i_{2s} \dots 1$	2	L	$2 < \frac{1}{s}$	+1	M	$\frac{1}{s} > 2$	-1
	1... $i_{12}$	> 1	> 1	2	C	$2 < \frac{1}{s}$	-1	D	$\frac{1}{s} > 2$	+1
	> $i_{12}$	< $i_{1s}$	< 0	1	A	$1 < \frac{2}{s}$	+1	B	$\frac{2}{s} > 1$	-1

Glw: Gesamtleistungswelle, Lfl: äußerer Leistungsfluß, w1: Exponent von  $\eta_0^{w1}$

Abbildung 2.3: Betriebsbereich bei 3 laufenden Wellen [5, S. 251]

Fall	Lfl	Umlaufwirkungsgrad	Fall	Lfl	Umlaufwirkungsgrad
A	$1 < \frac{2}{s}$	$\frac{k_{12} - i_{12} + i_{12}\eta_{12}(1 - k_{12})}{k_{12}(1 - i_{12})}$	B	$\frac{2}{s} > 1$	$\frac{k_{12}\eta_{21}(1 - i_{12})}{\eta_{21}(k_{12} - i_{12}) + i_{12}(1 - k_{12})}$
C	$2 < \frac{1}{s}$	$\frac{k_{12} - i_{12} + \eta_{21}(1 - k_{12})}{1 - i_{12}}$	D	$\frac{1}{s} > 2$	$\frac{\eta_{12}(1 - i_{12})}{\eta_{12}(k_{12} - i_{12}) + 1 - k_{12}}$
E	$s < \frac{1}{2}$	$\frac{(k_{12} - i_{12}\eta_{12})(1 - i_{12})}{(k_{12} - i_{12})(1 - i_{12}\eta_{12})}$	F	$\frac{1}{2} > s$	$\frac{(k_{12} - i_{12})(\eta_{21} - i_{12})}{(k_{12}\eta_{21} - i_{12})(1 - i_{12})}$
G	$s < \frac{1}{2}$	$\frac{(k_{12}\eta_{21} - i_{12})(1 - i_{12})}{(k_{12} - i_{12})(\eta_{21} - i_{12})}$	H	$\frac{1}{2} > s$	$\frac{(k_{12} - i_{12})(1 - i_{12}\eta_{12})}{(k_{12} - i_{12}\eta_{12})(1 - i_{12})}$
I	$1 < \frac{2}{s}$	$\frac{\eta_{21}(k_{12} - i_{12}) + i_{12}(1 - k_{12})}{k_{12}\eta_{21}(1 - i_{12})}$	K	$\frac{2}{s} > 1$	$\frac{k_{12}(1 - i_{12})}{k_{12} - i_{12} + i_{12}\eta_{12}(1 - k_{12})}$
L	$2 < \frac{1}{s}$	$\frac{\eta_{12}(k_{12} - i_{12}) + 1 - k_{12}}{\eta_{12}(1 - i_{12})}$	M	$\frac{1}{s} > 2$	$\frac{1 - i_{12}}{k_{12} - i_{12} + \eta_{21}(1 - k_{12})}$

Abbildung 2.4: Umlaufwirkungsgrad der Betriebsbereiche A bis M [5, S. 251]

## 2.2 Kinematik von Verspannprüfstand und Umlaufgetriebe

### 2.2.1 Kinematik der Verspanneinheit

Die getriebene Welle des Freilaufs ist mit dem Stirnrad  $Z2$  und dem Umlaufgetriebe verbunden, wobei die Drehmomentübertragung vom Umlaufgetriebe zum Stirnrad  $Z2$  erfolgen soll. Für die Auslegung wird die Betriebsdrehzahl des Freilaufs mit  $n_F$  bezeichnet, das Stirnrad  $Z2$  hat deshalb ebenfalls die Drehzahl  $n_F$ . Die Welle mit den Zahnrädern  $z_{Z1}$  und  $z_{Z3}$  sowie dem Elektromotor  $E2$  hat folglich die Drehzahl  $n_{E2}$ :

$$n_{E2} = -n_F * \frac{z_{Z2}}{z_{Z1}} \quad \text{mit } z_{Zx} \text{ als Zähnezahl des jeweiligen Stirnrads} \quad (2.10)$$

Das Stirnrad  $Z4$  hat die Drehzahl:

$$n_{Z4} = n_F * \frac{z_{Z2} * z_{Z3}}{z_{Z1} * z_{Z4}} \quad (2.11)$$

Soll über den Freilauf ein Moment übertragen werden, muss die Drehzahl jener Welle, die die treibende Seite des Freilaufs mit dem Umlaufgetriebe verbindet, ebenfalls  $n_F$  sein. Das Stirnrad  $Z4$  ist ebenfalls mit einer Welle des Umlaufgetriebes verbunden. Die Drehzahl der dritten Welle des Umlaufgetriebes, über welche der Prüfstand vom Elektromotor  $E1$  angetrieben wird, ist bei vorgegebener Drehzahl des Freilaufs, nach der Drehzahlgrundgleichung (siehe Gl.2.1), nur von der Standübersetzung  $i_{12}$  und dem Verhältnis der Zähnezahlen der Stirnräder  $\frac{z_{Z2} * z_{Z3}}{z_{Z1} * z_{Z4}}$  abhängig.

An der Welle  $Z1Z3E2$  greifen drei Momente an.  $M_{Z1}$  hängt von  $M_F$  und dem Verhältnis  $z_{Z1}/z_{Z2}$  ab.  $M_{Z3}$  ergibt sich durch  $M_F$  und die gewählten Parameter des Umlaufgetriebes (Verbindungen der Verspanneinheit mit dem Umlaufgetriebe und Standübersetzung). Für den Gleichgewichtszustand ergibt sich  $M_{E2}$  als die negative Differenz von  $M_{Z1}$  und  $M_{Z3}$  da:

$$M_{Z1} + M_{Z2} + M_{E2} = 0 \quad (2.12)$$

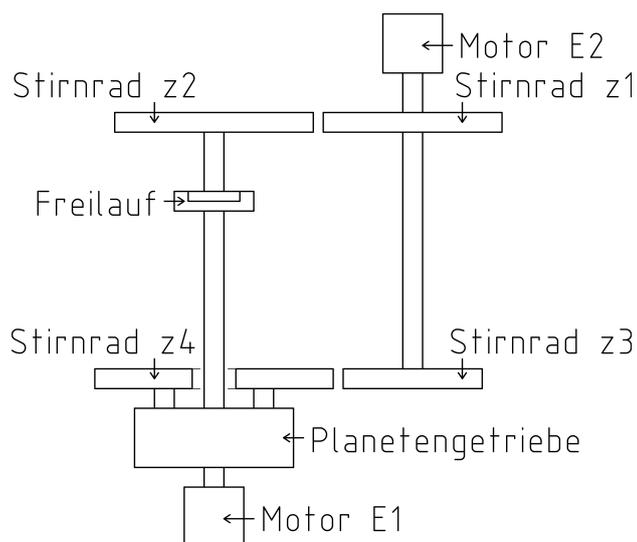


Abbildung 2.5: Kombination aus Verspannkreis und Umlaufgetriebe

Als Umlaufgetriebe werden rückkehrende Minusgetriebe vom Typ 1.19a nach Müller und Cyclogetriebe, welche offenen Plusgetrieben des Typs 1.18l nach Müller entsprechen, betrachtet.

### 2.2.2 Kinematik Planetengetriebe

Planetengetriebe nach Typ 1.19a nach Müller bestehen aus den drei coaxialen Wellen: Sonnenwelle 1, Hohlrads 2 und dem Planetenträger  $s$  (auch Steg genannt). Da die Sonnen- und Planetenräder mit positiver, das Hohlrads mit negativer Profilverschiebung ausgelegt werden, errechnen sich die Zähnezahlen wie für ein Planetengetriebe ohne Profilverschiebung:

$$z_2 = -(z_1 + 2 * z_p) \quad (2.13)$$

Bei stillstehendem Steg drehen Sonnen- und Hohlrads gegensinnig, die Standübersetzung  $i_{12}$  ergibt sich zu:

$$i_{12} = \frac{z_2}{z_1} \quad (2.14)$$

Übliche Standübersetzungen  $i_{12}$  liegen zwischen  $-1,2$  und  $-11,3$  und können auch durch die Anzahl der Planetenräder weiter beschränkt werden [5, S.27,S.74]. Planetengetriebe sind bereits bei einem eingebauten Planeten zwangsläufig, bei mehreren regelmäßig angeordneten

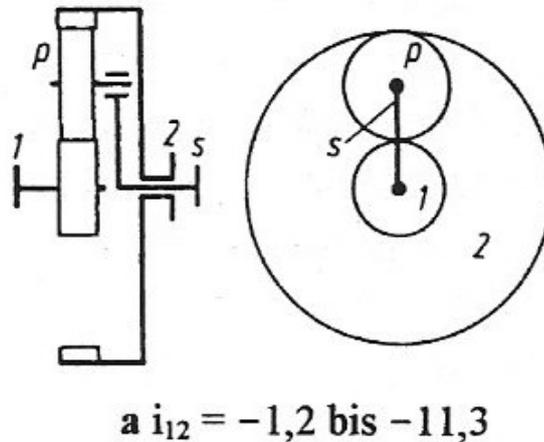


Abbildung 2.6: Planetengetriebe Typ 1.19a nach Müller [5, S. 27]

Planeten heben sich jedoch die resultierenden Kräfte auf Sonnen- und Hohlrads auf. Da dadurch aber auch eine statische Überbestimmtheit erreicht werden kann, muss auf den Lastausgleich geachtet werden. Bei 3 Planeten ist ein ungelagertes Glied notwendig, bei 5 Planeten 2 Glieder. Bei niedrigen Drehzahlen wird die geringste Lastüberhöhung durch einen einstellbeweglichen Steg, bei hohen Drehzahlen durch ein ungelagertes Sonnenrad erreicht [6, S. 883]. Der Standwirkungsgrad wird etwa mit  $i_{12} \approx i_{21} \approx 0,985$  angenommen.

### 2.2.3 Kinematik Cyclo-Getriebe

Bei Cyclogetrieben rollen mit der Exzentrizität  $e$ , exzentrische, cycloidverzahnte Planetenscheiben 2 in einem triebstockverzahnten Hohlrads 1, dessen Triebstöcke als Rollen ausgebildet sind. In den Planetenscheiben wird von größeren Bohrungen  $B$  auf die mit dem Spiel  $2e$  Rollen  $R$  des Abtriebsflanschs  $2z$  übertragen (siehe Abbildung 2.7). Die cycloidverzahnten Planetenscheiben haben dabei gewöhnlich eine Ausnehmung weniger als die Anzahl der Rollen des Hohlrads. Dadurch sind Übersetzungen  $i_{s2}$  von  $-6$  bis  $-179$  üblich. Wird das Hohlrads 1 zum Rotieren gebracht, können diese Getriebe ebenfalls als Dreiwelldengetriebe ausgeführt werden. Cyclogetriebe sind kinematisch gleichwertig zu offenen Planetengetrieben des Typs 1.18l nach Müller (siehe Abbildung 2.8). Die Standübersetzung  $i_{12}$  errechnet

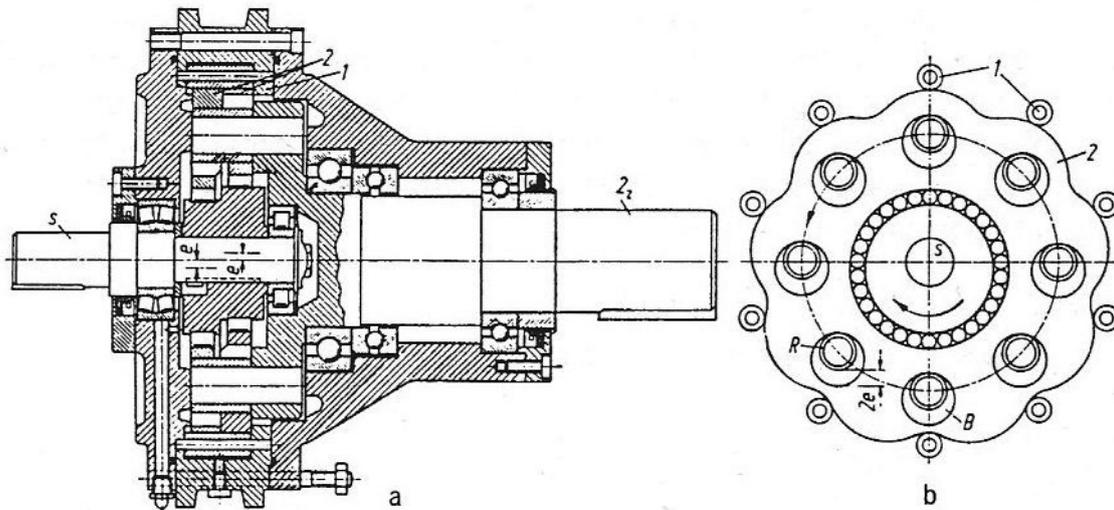
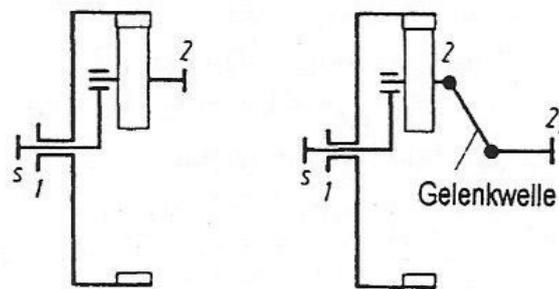


Abbildung 2.7: Cyclogetriebe [5, S. 83]



$$|i_{12\min}| = 0,55$$

Abbildung 2.8: Offenes Plusgetriebe Typ 1.181 nach Müller [5, S.26]

sich zu:

$$i_{12} = -\frac{z_2}{z_1} = -\frac{z_2}{-z_2 - 1} \quad (2.15)$$

Der Umlaufwirkungsgrad  $\eta_{s2}$  liegt zwischen 0,8 und 0,92, für mittlere Werte bei 0,85. Der Standwirkungsgrad  $\eta_{12}$  errechnet sich zu:

$$\eta_{12} = -\frac{\eta_{s2}}{i_{12}(1 - \eta_{s2}) - 1} \quad (2.16)$$

Da die Zähnezahzahl des innenverzahnten Hohlrads negativ in die Gleichung einzusetzen ist, ergibt sich stets eine Standübersetzung  $i_{12}$ , die positiv und kleiner 1 ist.

# Kapitel 3

## Ermittlung geeigneter Prüfstandsvarianten

Um für die Konstruktion eine günstige Variante des Prüfstands, bestehend aus Verspanneinheit und Umlaufgetriebe, sowie passende Zähnezahlen zu finden, werden basierend auf den in Kapitel 2 beschriebenen kinematischen Gesetzmäßigkeiten der Verspanneinheit und der Umlaufgetriebe verschiedene Kombinationsmöglichkeiten von Verspanneinheit und Umlaufgetriebe untersucht. Um die an den Elektromotoren benötigten Drehzahlen und Drehmomente abschätzen zu können werden die Drehmomentbilanzen um übliche Wirkungsgrade erweitert.

### 3.1 Vorgehensweise

Da zwei der drei Wellen der Verspanneinheit mit den Wellen des Umlaufgetriebes verbunden werden (siehe Abbildung 2.6), ergibt sich die Drehzahl der dritten Welle des Umlaufgetriebes bei Verspannung zwangsläufig für eine vorgegebene Freilaufdrehzahl und gegebene Zähnezahlen der Verspanneinheit und des Umlaufgetriebes. Die Momentenverhältnisse zwischen den verschiedenen Wellen des Prüfstands sind ebenfalls nur von den gewählten Zähnezahlen, dem über den Freilauf übertragenen Drehmoment und den Wirkungsgraden der einzelnen Getriebestufen abhängig.

Deshalb wird versucht Zähnezahlen so zu wählen, dass die Leistungsverzweigung des Planetengetriebes und die Verspanneinheit ausgenutzt werden, um mit möglichst geringer Leistung der Motoren eine möglichst große Last am Freilauf wirken zu lassen und die Elektromotoren in einem günstigen Drehzahlbereich zu betreiben.

Die Betriebsdrehzahlen der Freiläufe, die mit dem Prüfstand geprüft werden sollen, liegen zwischen  $6000U/min$  und  $7100U/min$ . Diese Drehzahlen sollen im Prüfbetrieb bis zu dem Faktor 1,2 überschritten werden. Die Betriebsdrehmomente betragen bis zu  $719Nm$  und werden bis zu dem Faktor 1,4 erhöht, was einem Prüfmoment bis zu  $1006Nm$  entspricht. Für die mögliche Verbindung der Verspanneinheit mit dem Umlaufgetriebe werden die folgenden Varianten untersucht:

Tabelle 3.1: Untersuchte Varianten

Variante	Freilauf	Stirnrad Z4	Elektromotor E1
<i>PGVar1</i>	Steg	Hohlrad	Sonne
<i>PGVar2</i>	Sonne	Steg	Hohlrad
<i>PGVar3</i>	Sonne	Hohlrad	Steg
<i>PGVar4</i>	Hohlrad	Steg	Sonne
<i>CycloVar1</i>	Steg	Sonne	Hohlrad
<i>CycloVar2</i>	Hohlrad	Sonne	Steg
<i>CycloVar3</i>	Sonne	Hohlrad	Steg
<i>CycloVar4</i>	Steg	Hohlrad	Sonne

Mithilfe von MATLAB-Skripten (siehe Anhang A) werden sämtliche Zähnezahlkombinationen für die verschiedenen Kombinationen der Verspanneinheit und des Planetengetriebes betrachtet und die jeweils benötigten Drehzahlen und Drehmomente der Elektromotoren ermittelt. Um sicherzustellen, dass die mit dem Freilauf verbundene Welle des Planetengetriebes die Gesamtleistungswelle ist, wird nach den freien Drehzahlverhältnissen gefiltert (siehe Abbildung 2.3).

## 3.2 MATLAB-Skript: *PGVar1*

Am Beispiel der Variante *PGVar1* wird das MATLAB-Berechnungsskript erklärt. Mit den Befehlen „clear“ und „close all“ werden eventuell schon vorhandene Variablen des Workspaces gelöscht und falls Diagramme offen sein sollten diese geschlossen. „format long“ legt die Darstellung der ausgegebenen Ergebnisse fest. Für die gefundenen Lösungen wird ein Counter mit Eins als Startwert eingeführt. Als Parameter für die Ermittlung der Lösungen werden noch die Drehzahl des Freilaufs, das zu übertragende Moment und die Wirkungsgrade der Stirnradstufen sowie die Standwirkungsgrade des Planetengetriebes festgelegt. Dabei ist zu beachten, dass das Moment am Freilauf als Last mit negativem Vorzeichen eingegeben wird. Für die abzuspeichernden Lösungen wird zur Speicherreservierung ein Array mit 25 Spalten und 300 000 Zeilen mit Nullen gefüllt. Dadurch muss, wenn später Ergebnisse in das Array gespeichert werden, nicht zusätzlicher Speicher belegt werden, was die benötigte Zeit erheblich verkürzt (siehe Code 3.1).

Code 3.1: MATLAB: Definition der Konstanten und Startwerte

```
%% PG_Var1 Freilauf-Steg, z4-2, E1-1
clear;
close all;
format long;
Ber='PG_Var1'
% DEFINITION DER KONSTANTEN, KOEFFIZIENTEN UND STARTWERTE
count=1; %Counter für Berechnung
nF=8520; %Drehzahl des Freilaufs
MF=-1006; %Moment am Freilauf
etaSR=0.99; %Wirkungsgrad der Stirnradstufen
etaPG12=0.985; %Wirkungsgrad des Planetengetriebes
etaPG21=0.985;

lsg=zeros(300000,25);
```

Mit Hilfe von „for“-Schleifen werden für die beiden Stirnradstufen sämtliche Kombinationen mit einer Gesamtzähnezahl zwischen 45 und 120 Zähnen pro Stufe und mindestens 15

Zähnen pro Stirnrad durchlaufen (siehe Code 3.2).

Code 3.2: MATLAB: Variation der Stirnräder

```
for a=45:120 %Schleife für die Gesamtzähnezahl in einer Stirnradstufe
for b=15:(a-15) %Schleife für die Aufteilung z1z2
for c=15:(a-15) %Schleife für die Aufteilung z3z4

zZ1=a-b;
zZ2=b;
zZ3=a-c;
zZ4=c;
```

Für das Planetengetriebe werden sämtliche Kombinationen, bei denen die Sonnenzähnezahl zwischen 16 und 152 und die Planetenzähnezahl zwischen 15 und 82 liegt, untersucht. Damit sind nach Gleichung 2.13 und Gleichung 2.14 Standübersetzungen zwischen  $-11,3$  und  $-1,2$  berücksichtigt.

Um einen regelmäßigen Einbau von 3 Planeten (bei positiver Profilverchiebung von Sonnen- und Planetenrädern und negativer Profilverchiebung des Hohlrads) zu gewährleisten, wird überprüft, dass die Summe der Zähnezahl des Sonnerads und der negativen Zähnezahl des Hohlrads durch 3 restlos teilbar ist. Da es für das Laufgeräusch schnelllaufender Planetengetriebe vorteilhaft ist, wird ebenfalls geprüft, dass die einzelnen Zähnezahlen von Sonnen- und Hohlrad nicht durch 3 restlos teilbar sind, da dann die Zahneingriffsstöße der Planeten nicht zugleich erfolgen [5, S. 237]. Für die weitere Berechnung wird entsprechend der Zähnezahlen des Planetengetriebes die Standübersetzung ermittelt (siehe Code 3.3).

Code 3.3: MATLAB: Variation des Planetengetriebe

```
for z1 = 16:152 %Schleife für Zähnezahl Sonne
for zp = 15:82 %Schleife für Zähnezahl Planet

z2=-(z1+2*zp);
z1z2=abs(z1)+abs(z2);
```

```

if mod(z1z2,3) == 0 %Überprüfung Teilung PGS
if mod(z1,3) ~=0 % Zur Sicherstellung dass die Planeten nicht
% zugleich mit dem Sonnen- und Hohlrad in Eingriff kommen
i12=z2/z1; %kleiner -1

```

Da der Elektromotor  $E2$  an der Welle  $Z1Z3E2$  vorgesehen ist, wird überprüft, dass der Betrag der Drehzahl dieser Welle, bei einer Freilaufdrehzahl von  $7200U/min$ , zwischen  $2400U/min$  und  $3000U/min$  liegt, da bei zweipoligen Drehstrommotoren bei  $50Hz$  die Synchrondrehzahl bei  $3000U/min$  liegt.

Für die Antriebswelle des Planetengetriebes wird überprüft, dass die Drehzahl zumindest größer als  $50U/min$  ist. Dadurch wird es ermöglicht die Drehzahl dieser Antriebswelle mit einer Stirnradstufe auf die Synchrondrehzahl eines 16-poligen Drehstromasynchronmotors bei  $50Hz$  zu übersetzen. Für diese Überprüfung werden die Standübersetzung  $i_{12}$ , die Drehzahl des Stirnrades  $Z4$ , welches mit dem Hohlrad verbunden ist, nach Gleichung 2.11 und die Drehzahl des mit dem Freilauf verbundenen Steps in die Drehzahlgrundgleichung (siehe Gl.2.1) eingesetzt.

Als weiteres Selektionskriterium wird das Verhältnis der an diesem Motor benötigten Leistung zur Freilaufleistung überprüft. Dafür wird das Drehmoment der Antriebswelle (nach Gl.2.7) mit der Drehzahl der Antriebswelle multipliziert und durch die Drehzahl und das Moment des Freilaufs dividiert (siehe Code 3.4). Für diese Selektion wird der Wirkungsgrad der Stirnradstufen und der Umlaufgetriebe noch verlustfrei (mit  $\eta = 1$ ) angenommen. Je näher dieser Wert sich an Null annähert, desto mehr Leistung zirkuliert innerhalb der Verspanneinheit.

Code 3.4: MATLAB: Überprüfung der Drehzahlen und Leistung

```

if abs((-nF*zZ2/zZ1)) > 2400 %Grenzen des Drehzahlbereichs für E2
if abs((-nF*zZ2/zZ1)) < 3000

%Sicherstellung der Minstdrehzahl für E1
if abs((1-i12)*nF+i12*nF*((zZ2*zZ3)/(zZ1*zZ4))) > 50
%Überprüfung der benötigten Leistung der Motoren
if abs(((1-i12)+i12*((zZ2*zZ3)/(zZ1*zZ4)))*(1/(i12-1))) < 0.02

```

Für die weitere Berechnung werden die Drehzahl der Welle  $Z1Z3E2$  und sämtliche Drehzahlen des Planetengetriebes errechnet und für weitere Rechenschritte in den Workspace geschrieben. Zur anschließenden Überprüfung der Gesamtleistungswelle und des Umlauffalles (siehe [5, S. 251]) werden die freien Drehzahlverhältnisse (siehe Gl.2.5) errechnet und in den Workspace geschrieben (siehe Code 3.5).

Code 3.5: MATLAB: Berechnung der Drehzahlen und freien Drehzahlverhältnisse

```
%Drehzahlen
nE2=-nF*(zZ2/zZ1); %Drehzahl der Welle z1z3-E2
ns=nF; %Drehzahl Steg
nZ4=nF*((zZ2*zZ3)/(zZ1*zZ4)); %Drehzahl z4
n2=nZ4; %Drehzahl Hohlrad
n1=(i12*n2+(1-i12)*ns); %Drehzahl Sonne

%Freie Drehzahlverhältnisse
k1s=n1/ns;
k12=n1/n2;
k2s=n2/ns;
```

Entsprechend Abbildung 2.3 wird sichergestellt, dass die mit dem Freilauf verbundene Stegwelle die Gesamtleistungswelle des Planetengetriebes ist. Da der Bereich für die Standübersetzung (in dieser Planetengetriebevariante kleiner  $-1$ ) bekannt ist, kann der Betriebsbereich durch eine Überprüfung der freien Drehzahlverhältnisse überprüft werden. Anschließend wird entsprechend des Leistungsfalles nach Abbildung 2.4 der Umlaufwirkungsgrad des Planetengetriebes errechnet und in den Workspace geschrieben (siehe Code 3.6).

Code 3.6: MATLAB: Überprüfung der Gesamtleistungswelle und Berechnung des Umlaufwirkungsgrades

```
if k12>0 %Sicherstellung s->GLW nach Müller Umlaufgetriebe Arbeitsblatt 3
if k12>1
%Fall H nach Müller Umlaufgetriebe Arbeitsblatt 3
w=+1;
```

```

etaw10=etaPG12;
etaPG=((k12-i12)*(1-i12*etaPG12))/((k12-i12*etaPG12)*(1-i12));
else
%Fall F nach Müller Umlaufgetriebe Arbeitsblatt 3
w=-1;
etaw10=1/etaPG21;
etaPG=((k12-i12)*(etaPG21-i12))/((k12*etaPG21-i12)*(1-i12));
end

```

Entsprechend den Gleichungen 2.7 werden die am Planetengetriebe angreifenden Drehmomente, die Drehmomente der Stirnradstufen und die Drehmomente an den Anschlusswellen unter Berücksichtigung der Wirkungsgrade berechnet. Mit den Drehmomenten der Anschlusswellen wird anschließend, in Verbindung mit den Drehzahlen der jeweiligen Wellen, die von den angeschlossenen Elektromotoren zuzuführende Leistung errechnet (siehe Code 3.7).

Code 3.7: MATLAB: Berechnung von Drehmomenten und Leistungen der Motoren

```

nE1=n1;
Ms=MF;

%Berechnung der Momente mit Berücksichtigung der Wirkungsgrades
M1=(Ms/(i12*etaw10-1));
ME1=M1;
M2=Ms/(1/(i12*etaw10)-1);
Mz3=M2*(zZ3/zZ4)/etaSR;
Mz1=MF*(zZ1/zZ2)*etaSR;
ME2=-Mz1-Mz3;

%Berechnung der Motorleistungen
PE1=2*pi/60*nE1*ME1/1000;
PE2=2*pi/60*nE2*ME2/1000;
PGes=PE1+PE2;

```

Mithilfe der Drehzahlgrundgleichung (siehe Gl. 2.1) werden die Drehzahlen der Welle zwischen Freilauf und Planetengetriebe errechnet, die sich ergeben sollten, falls jeweils einer der beiden Elektromotoren stillsteht, der andere jedoch mit Betriebsdrehzahl dreht. Der Wert, bei welchem der Elektromotor  $E1$  mit Betriebsdrehzahl läuft und Elektromotor  $E2$  stillsteht, ist nur ein theoretischer Wert, der auf Grund der Sperrichtung des Freilaufs bei planmäßig eingebautem Freilauf nicht möglich ist.

Außerdem wird jene Drehzahl des Elektromotors  $E1$  errechnet, bei der die Welle zwischen Freilauf und Planetengetriebe still steht, falls der Elektromotor  $E2$  mit Betriebsdrehzahl betrieben wird (siehe Code 3.8). Das Verhältnis der Stirnradzähnezahlen wird errechnet und zum späteren Vergleich der gefundenen Lösungen in den Workspace geschrieben.

Code 3.8: MATLAB: Berechnung der Freilaufdrehzahl bei stillstehenden Motoren und der Drehzahl  $n_{E1}$ , damit der Freilauf stillsteht

```
ns1E=-n2*i12/(1-i12); %ns wenn E1 stillsteht
ns2E=n1/(1-i12);%ns wenn E2 stillsteht
n1s0=i12*n2; %n1 damit ns=0

VzSR=(zZ2*zZ3/(zZ1*zZ4)); %Verhältnis der Stirnräder
```

Sämtliche errechneten, für eine spätere Auswertung benötigten Werte der aktuellen Lösung werden in das Lösungsarray „lsg“ geschrieben. Der Counter „count“ wird dabei verwendet, um die Zeile, in die die Lösung zu schreiben ist, anzugeben und erst nach dem alle Werte geschrieben wurden, um Eins erhöht. Der zweite Counter „count2“ gibt die Spalte, in die der Wert geschrieben wird, an und wird nach jedem Wert erhöht (siehe Code 3.9).

Code 3.9: MATLAB: Schreiben der Lösung ins Lösungsarray

```
%Speichern der jeweiligen Lösung
count2=1;
lsg(count,count2)=nF;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=MF;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=a;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zZ1;count2=count2+1;
```

```
lsg(count, count2)=zZ2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=zZ3; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=zZ4; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=VzSR; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=z2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=z1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=i12; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ns; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ME1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=PE1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=nE2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ns1E; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ns2E; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n1s0; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=etaPG; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ME2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=PE2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=PGes; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n1s0/n1; count2=count2+1;

count=count+1;
```

Nachdem die letzte gefundene Lösung ins Lösungsarray geschrieben ist, wird der Counter „count“ noch um Eins erhöht und hat als Wert die Anzahl der Lösungen plus Eins. Um die für die Speicherreservierung ins Lösungsarray anfangs eingetragenen und nicht überschriebenen Nullen nicht in die Exceltabelle zu übertragen, werden diese mit dem Befehl „lsg(count:300000,:)=[];“ aus dem Lösungsarray gelöscht.

In die erste Zeile der Excelmappe wird der Spalte „header“ mit den Bezeichnungen der abgespeicherten Werte geschrieben. Darunter werden sämtliche gefundenen Lösungswerte in die Excelmappe übertragen (siehe Code 3.10).

---

Code 3.10: MATLAB: Speichern der Lösungen in einer Exceltabelle

```

lsg(count:300000,:)=[];

filename = 'Berechnung.xlsx';

header = {'nF', 'MF', 'a', 'zZ1', 'zZ2', 'zZ3', 'zZ4', 'VzSR', 'z2', 'z1', ...
         'i12', 'n2=nZ4', 'n1=nE1', 'ns=nF', 'ME1', 'PE1', 'nE2', 'nF nE1=0', 'nF ...
         nE2=0', ...
         'nE1 damit nF=0', 'etaPG', 'ME2', 'PE2', 'PGes', '(nE1 damit nF=0)/nE1'};
xlswrite(filename,header, 'PG_Var1');
xlswrite(filename,lsg, 'PG_Var1', 'A2');
    
```

### 3.3 Skriptvariation für andere Varianten

Die Berechnung der Drehzahlen des Umlaufgetriebes sowie der Drehmomente muss an das jeweilige Modell angepasst werden. Auch bei der Überprüfung der Gesamtleistungswelle nach Abbildung 2.3 muss jeweils eine Überprüfung erfolgen, die sicherstellt, dass die jeweils mit dem Freilauf verbundene Welle Gesamtleistungswelle ist. Durch diese Forderung ergibt sich aber auch die Notwendigkeit in den Varianten *PGVar3* und *CycloVar4* ein zusätzliches Stirnrad in die Verspanneinheit einzufügen, um zu erreichen, dass die mit dem Freilauf verbundene Welle des Umlaufgetriebes und die mit dem Stirnrad Z4 verbundene Welle entgegengesetzten Drehsinn haben, da sonst die Welle zum Freilauf nicht Gesamtleistungswelle sein kann. Die MATLAB-Skripte der untersuchten Varianten sind in den Anhängen A.1 bis A.8 zu finden.

### 3.4 Ergebnisse der MATLAB-Skripten

In Tabelle 3.2 ist der bei der jeweiligen Variante gewählte Grenzwert des Quotienten des verlustfreien Verhältnisses der Leistung der Elektromotoren zur Leistung des Freilaufs, die Anzahl der für die jeweilige Variante gefundenen Lösungen sowie der Bereich des Umlaufwirkungsgrades des Umlaufgetriebes der jeweiligen Variante angegeben. Dabei ist ersichtlich, dass der Umlaufwirkungsgrad des Planetengetriebes, da es sich dabei um ein Minusgetriebe

handelt, stets besser als dessen Standwirkungsgrad ist. Bei dem Cyclogetriebe variiert der Umlaufwirkungsgrad deutlich stärker.  $\eta_{s2}$  wird mit dem mittleren Wert 0,85 angenommen und  $\eta_{12}$  jeweils errechnet. Bei den Umlaufwirkungsgraden der Lösungen fällt auf, dass in den Varianten *CycloVar1* und *CycloVar4*, bei denen der Steg als Gesamtleistungswelle an der Leistungszirkulation in der Verspanneinheit beteiligt ist, der Wirkungsgrad mit Werten zwischen 0,8256 und 0,8478 signifikant niedriger ist.

Tabelle 3.2: Lösungen: Anzahl und Wirkungsgrad

Variante	$P_E/P_F$	Lösungen	$\eta_{PG/Cyc}$
<i>PGVar1</i>	0,02	122383	0,9933 bis 0,9990
<i>PGVar2</i>	0,02	26390	0,9888 bis 0,9917
<i>PGVar3</i>	0,02	36770	0,9851 bis 0,9851
<i>PGVar4</i>	0,02	181003	0,9930 bis 0,9987
<i>CycloVar1</i>	0,1	966	0,8343 bis 0,8478
<i>CycloVar2</i>	0,02	3692	0,9726 bis 0,9931
<i>CycloVar3</i>	0,02	33656	0,9756 bis 1
<i>CycloVar4</i>	0,2	30966	0,8256 bis 0,8320

Tabelle 3.3 gibt einen Überblick über die gesamt in den jeweiligen Varianten benötigte Leistung beider Elektromotoren. Da die Wirkungsgrade der Stirnradstufen mit 0,99 angenommen wurden, passen die gesamt benötigten Leistungen zu den Umlaufwirkungsgraden der Umlaufgetriebe. Es ist jedoch zu beachten, dass in den Varianten *PGVar3* und *CycloVar4* jeweils ein zusätzliches Stirnrad in den Verspannkreis eingefügt ist, was die zusätzliche Leistung gegenüber Varianten mit ähnlicher Umlaufübersetzung erklärt.

In der Variante *CycloVar3* kommt es bei einem Teil der Lösungen zu dem Phänomen des Kupplungsfalles. Da die Welle des Freilaufes und die Welle des Stirnrads *Z4* die gleiche Drehzahl haben, muss die Welle des Elektromotors *E1* auch die gleiche Drehzahl haben, um die Drehzahlgrundgleichung (siehe Gl. 2.1) zu erfüllen. Da zwischen den Wellen des Cyclogetriebes keine Relativgeschwindigkeiten vorhanden sind, werden die Drehmomente verlustfrei übertragen, was auch erklärt, dass nach Tabelle 3.2, der Umlaufwirkungsgrad für diese Variante den Wert 1 annehmen kann.

Um die beide Seiten des Freilaufes unabhängig von einander auf Betriebsdrehzahl bringen zu können, ist der Wert „ $n_{E1}$  damit  $n_F = 0$ “ von entscheidender Bedeutung. In Tabelle 3.3 sind die Verhältnissbereiche von „ $n_{E1}$  damit  $n_F = 0$ “ zu  $n_{E1}$  bei Nenndrehzahl angegeben. Dabei ist zu erkennen, dass, je kleiner das Verhältnis der an den Elektromotoren benötigten Leistung zur Leistung des Freilaufs wird, desto betragsmäßig größer das Verhältnis der am Elektromotor  $E1$  benötigten Drehzahl wird, um die mit dem Umlaufgetriebe verbundene Seite des Freilaufs auf Drehzahl 0 zu halten, während der Elektromotor  $E2$  mit Betriebsdrehzahl läuft.

 Tabelle 3.3: Lösungen: Leistung,  $n_{E1}$  und  $(n_{E1} \text{ für } n_F = 0)/n_{E1}$ 

Variante	$P_{Ges}$ [kW]	$n_{E1}$ [rpm]	$(n_{E1} \text{ d. } n_F = 0)/n_{E1}$
<i>PGVar1</i>	15,83 bis 20,41	50 bis 1700	-49 bis -1650
<i>PGVar2</i>	21,59 bis 23,79	-50 bis -118,5	-49 bis -114
<i>PGVar3</i>	26,65 bis 26,71	50 bis 65	-49 bis -64
<i>PGVar4</i>	16,22 bis 20,52	-50 bis -1553	-49 bis -1481
<i>CycloVar1</i>	152,35 bis 166,47	-50 bis -119	-9 bis -23
<i>CycloVar2</i>	20,37 bis 36,66	-50 bis -7200	-49 bis -2999
<i>CycloVar3</i>	15,1 bis 34,41	52 bis 7200	-49 bis -2870
<i>CycloVar4</i>	175,69 bis 183,44	50 bis 205	-4 bis -20

### 3.5 Konstruktive Einschränkungen

Die durch den exzentrischen Umlauf der Planetenräder entstehende Zentrifugalkraft ergibt sich zu:

$$F_{Zentrifugal} = (m_{Planet} + 2 * m_{Lager}) * (n_s * 2 * \pi / 60)^2 * r_s \quad (3.1)$$

In einer Variante, bei der der Freilauf mit der Planetenträgerwelle verbunden ist, würde bei der für die Auslegung vorgesehnen Drehzahlen, allein durch die Zentrifugalkraft der Massen der Planetenräder und Planetenlager, die Tragfähigkeit der Planetenlager und Planetenbolzen deutlich überschritten werden.

Von der Variante, das Hohlradd mit dem Freilauf zu verbinden, wird einerseits auf Grund der

durch den Zahnkranzeinfluss reduzierten Tragfähigkeit des Hohlrad bei hohen Drehzahlen, andererseits auf Grund der großen rotatorischen Energie des schnell drehenden Hohlrad und der Schwierigkeit das Hohlrad für so hohe Drehzahlen zu wuchten, Abstand genommen. Die Varianten mit einem Cyclogetriebe als Plusgetriebe haben einen niedrigeren Wirkungsgrad als jene mit Minusgetrieben. Zusätzlich liegt der übliche Einsatzbereich von Cyclogetrieben unter  $55kW$  und unter  $3000U/min$  Antriebsdrehzahl (siehe [5, S.84]).

Damit bleiben als denkbare Varianten der Freilauf am Sonnenrad und der Motor  $E1$  am Hohlrad oder am Planetenträger übrig. Von diesen zwei Varianten hat die Variante mit dem Motor  $E1$  am Hohlrad den Vorteil, dass kein zusätzliches Stirnrad in der zweiten Stirnradstufe benötigt wird.

Bei der Auswahl der Zähnezahlen muss auch die Relativedrehzahl des Planetenrades gegenüber dem Planetenträger berücksichtigt werden. Diese ergibt sich zu [7, S.34ff]:

$$n_{rel} = -\frac{z_1}{z_p} * (n_1 - n_s) \quad (3.2)$$

Um eine Variante zu finden, bei der die Planetenträgerdrehzahl unter  $1700U/min$ , die Relativedrehzahl unter  $4700U/min$  und das benötigte Drehmoment unter  $4000Nm$  liegt, wird die am Motor  $E1$  benötigte Leistung auf bis zu 5 Prozent der Leistung am Freilauf angehoben. Die jeweiligen Skripte sind in den Anhängen A.9 und A.10 zu finden.

# Kapitel 4

## Konstruktion

### 4.1 Überblick

Aus den mit MATLAB errechneten Kombinationen werden folgende Zähnezahlen für die Konstruktion nach der Variante *PGVar2* (siehe Tabelle 3.1) gewählt:

Tabelle 4.1: Gewählte Zähnezahlen

Planetenge triebe	Sonne	Planet	Hohlrad	
Zähnezahl	22	32	-86	
Stirnräder	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$
Zähnezahl	85	29	21	36

Ein 3D-Modell des Prüfstands wird in der CAD-Software CATIA V5R20 von Dassault Systems erstellt (siehe Abbildung 4.1). Die Berechnung der einzelnen Komponenten wird mit der Software KISSsoft und der Erweiterung KISSsys durchgeführt. KISSsys bietet die Möglichkeit, die vorher aufgestellten Gleichungssysteme zu modellieren und anschließend zu verifizieren.

Es werden Tragfähigkeitsnachweise nach den gängigen Normen für die

- Verzahnung der Planetengetriebestufe

- Verzahnung der Stirnradstufen
- Wellen des Verspannkreises und der angeschlossenen Wellen mit Berücksichtigung aller kritischen Kerben
- Wälzlager der Wellen des Verspannkreises, der angeschlossenen Wellen und des Planetengetriebes
- Zahnwellenverbindungen des Planetengetriebes mit den angeschlossenen Wellen
- Keilwellenverbindungen der Stirnräder mit deren Wellen
- Passfederverbindungen der Wellen mit den Motoren und Kupplungen
- Stiftverbindung des Hohlrads

in KISSsoft geführt. Die einzelnen Berechnungen sind in Anhang B zu finden.

Für den Planetenträger und das Hohlrads werden zur Untersuchung der Tragfähigkeit Finite-Elemente-Methode-Analysen in CATIA durchgeführt.

Wälzlager, Kupplungen, Drehmomentmesswelle, Radialwellendichtringe und Elektromotoren werden entsprechend den Anforderungen aus Herstellerkatalogen ausgewählt und in das 3D-Modell eingefügt, um sicher zu stellen, dass die Montierbarkeit gewährleistet ist.

Die Prüfung der Freiläufe soll mit Drehmomenten bis  $1006\text{ Nm}$  und Drehzahlen bis  $8520\text{ U/min}$  erfolgen. Dadurch ergeben sich laut der MATLAB-Berechnung folgende Drehzahlen und Drehmomente:

Tabelle 4.2: Vorausgesagte Drehzahlen und Drehmomente

	Sonne	Planetenträger	Hohlrads	Elektromotor $E2$
Drehzahl [U/min]	8520	1695,647	-50,1176	-2906,824
Drehmoment [Nm]	-1006	5013,75	-3992,43	-26,07

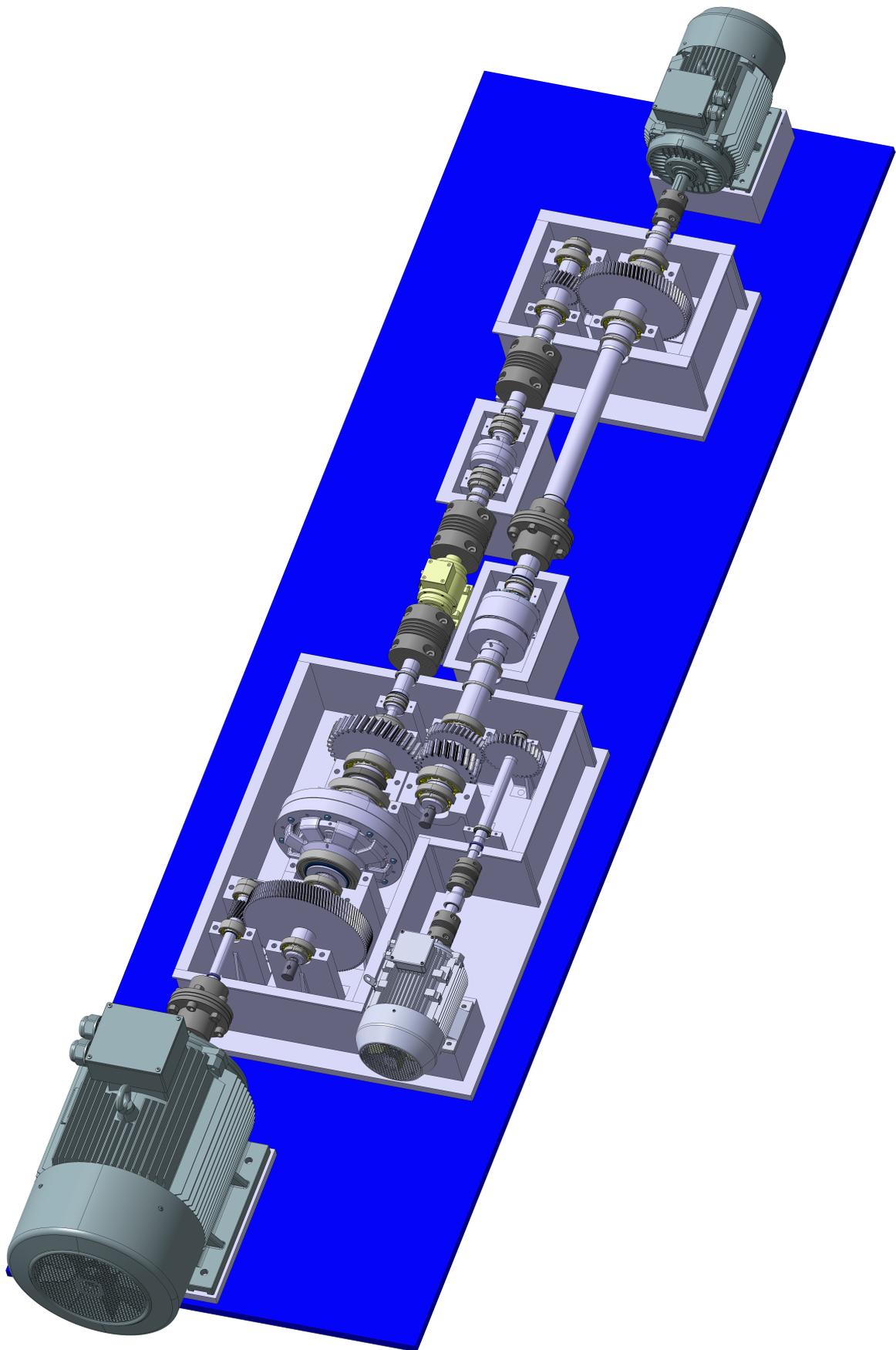


Abbildung 4.1: Modell des Prüfstands in CATIA

## 4.2 Notwendige Abweichungen vom theoretischen Modell

Um die mit dem Hohlrad verbundene Welle für die Schmiermittelzufuhr für das Planetengetriebe nutzen zu können und eine höhere Motordrehzahl und ein geringeres Motordrehmoment zu erlauben, wird die Stirnradstufe  $Z5Z6$  hinzugefügt. Das Stirnrad  $Z5$  mit 125 Zähnen sitzt auf der mit dem Hohlrad verbundenen Welle, das Stirnrad  $Z6$  mit 16 Zähnen auf der vom Motor  $E1$  angetriebenen Welle. Damit ergibt sich für den Motor  $E1$  eine Drehzahl von  $391,5rpm$  und ein Drehmoment von  $517,75Nm$ . Für die gewählte Variante wäre mindestens die  $-42$ -fache Betriebsdrehzahl an der Eingangswelle des Planetengetriebes erforderlich, um einen Stillstand der mit dem Planetengetriebe verbundenen Welle des Freilaufs zu erreichen, während die Drehzahl der Welle  $Z2$  und der anderen Seite des Freilaufs die volle Betriebsdrehzahl ist.

Um die im Realbetrieb auftretenden Beanspruchungen der Freiläufe möglichst genau nachzubilden zu können ist es jedoch notwendig, am Freilauf vom vollen Überholbetrieb (eine Seite stillstehend, während die andere mit voller Betriebsdrehzahl überholt) bis zum Schließen und zur Übertragung des maximalen Drehmoments sämtliche Betriebszustände durchlaufen zu können. Deshalb wird zwischen den Stirnrädern  $Z1$  und  $Z3$  eine hydraulisch schaltbare Lamellenkupplung vorgesehen. Wird diese geöffnet, kann über einen zusätzlichen Antrieb die Welle des Stirnrads  $Z3$  gesteuert werden und somit die Drehzahl der Stegwelle und damit die Drehzahl der mit dem Planetengetriebe verbundenen Seite des Freilaufs unabhängig von der Drehzahl der anderen Seite des Freilaufs vorgegeben werden.

## 4.3 Verbindende Komponenten der Verspanneinheit

Die Durchmesser der verwendeten Kupplungen und Drehmomentmesswelle haben maßgeblichen Einfluss auf den notwendigen Achsabstand der Verspanneinheit. Um die Umfangsgeschwindigkeiten der Stirnradstufen möglichst gering zu halten wurden die folgenden Komponenten gewählt:

### 4.3.1 Drehmomentmesswelle

Für die Messung des am Freilauf angreifenden Drehmoments und der Freilaufdrehzahl wird eine Drehmomentmesswelle, Typ „TMHS 315“ von Magtrol, mit einem Durchmesser von  $125\text{mm}$  gewählt. Das Nenndrehmoment der Drehmomentmesswelle liegt bei  $2000\text{Nm}$ , der Nenndrehzahlbereich zwischen  $1\text{U}/\text{min}$  und  $16000\text{U}/\text{min}$  und der kombinierte Fehler unter einem Prozent des Nenndrehmoments [8, S. 2]. Die Drehmomentmesswelle funktioniert nach dem Prinzip eines Transformators mit drehmomentabhängiger Kopplung. An beiden Seiten des Wellenmessabschnitts sind konzentrische Aluminiumtrommeln befestigt. Diese besitzen kreisförmig an ihrem Umfang angeordnete Schlitze, die einander im unbelasteten Zustand nicht überlappen. Innerhalb der Aluminiumtrommeln werden die Primärspulen mit 20 Kiloherz-Wechselstrom angeregt. Durch Torsion des Wellenmessabschnitts kommt es zu einer graduellen Überlappung der Schlitze der beiden Aluminiumtrommeln und drehmomentproportional wird außerhalb der Aluminiumtrommeln Wechselspannung in den Sekundärspulen induziert. Mittels eines optischen Sensors wird auf einer Verzahnung die Geschwindigkeit abgelesen [8, S.3] (siehe Abbildung4.2).

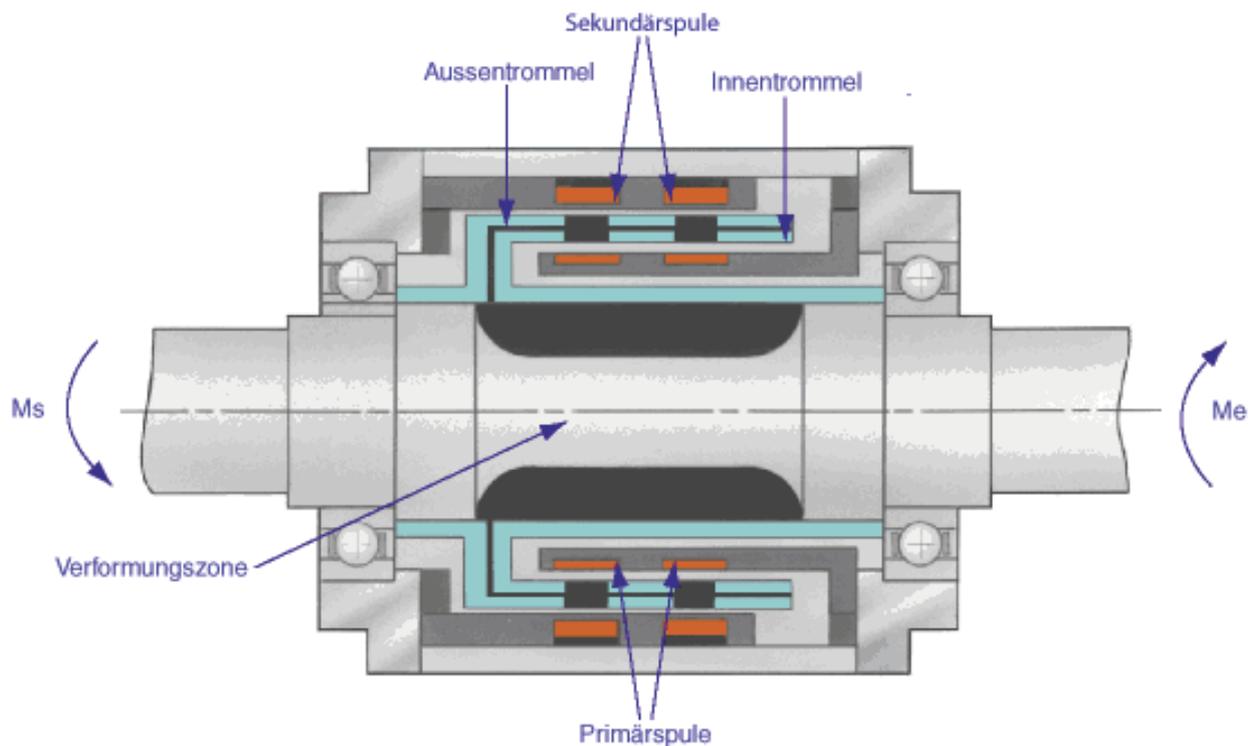


Abbildung 4.2: Funktionsprinzip der Drehmomentmesswelle [9]

### 4.3.2 Metallbalgkupplungen

Für die Verbindungen von Sonnenwelle, Drehmomentmesswelle, innerer und äußerer Welle des Freilaufs und der Welle Z2 werden, aufgrund der hohen Torsionssteifigkeit und der Eignung für große Drehzahlen, Metallbalgkupplungen verwendet. Wegen der einfacheren Montage und der Modularität des Prüfstands wird der Typ „BKH 1500“, mit geteilter Nabe, von RW-Kupplung gewählt. Das angegebene Nenndrehmoment dieses Typs ist  $1500\text{Nm}$ , laut Hersteller sind kurzzeitige Belastungen bis zu dem doppelten Nenndrehmoment möglich. Da der Freilaufprüfstand für ein am Freilauf übertragenes Drehmoment von  $1006\text{Nm}$  und einen Anwendungsfaktor von 1,25 ausgelegt wird, wird das Nenndrehmoment von  $150\text{Nm}$  als ausreichend erachtet. Der Durchmesser beträgt  $157\text{mm}$ , das nächstgrößere Modell „BKH 4000“ mit einem Nenndrehmoment von  $4000\text{Nm}$  hat einen Durchmesser von  $200\text{mm}$  und würde dadurch zu einem signifikant größerem Achsabstand führen (siehe Abbildung 4.3).

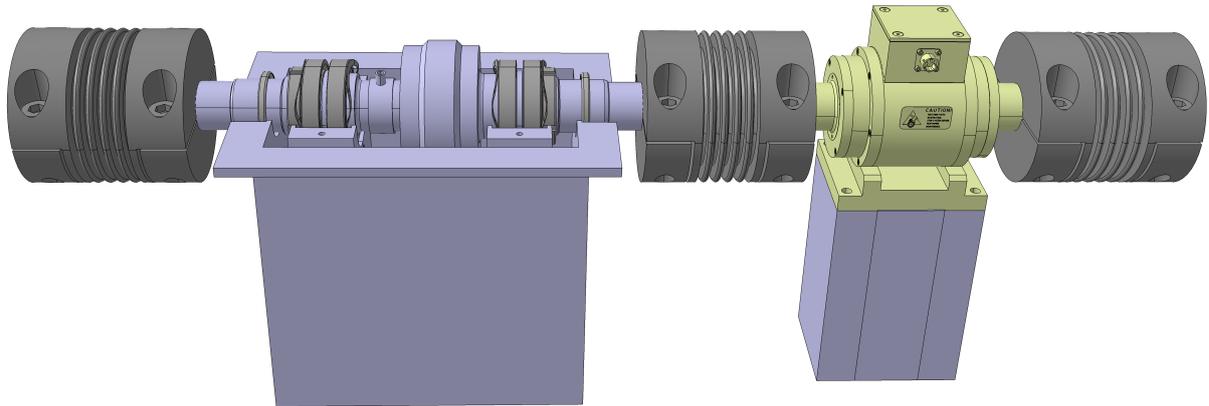


Abbildung 4.3: Drehmomentmesswelle und Freilauf, verbunden mit Metallbalkkupplungen

### 4.3.3 Hydraulisch schaltbare Lamellenkupplung

Um eine schaltbare Verbindung der Wellen der Stirnrädern  $Z1$  und  $Z3$  zu ermöglichen, wird eine hydraulisch schaltbare Lamellenkupplung vom „Typ 48 Baureihe 8“ des Herstellers Prodan eingebaut. Die Kupplung ermöglicht bei einer maximalen Länge von  $123\text{mm}$ , einem Durchmesser von  $182\text{mm}$  und einem Gewicht zwischen  $10\text{kg}$  und  $14\text{kg}$  die Übertragung von Drehmomenten bis zu  $5600\text{Nm}$ . Je nach gewählter Anzahl der Kupplungslamellen liegt der für die Übertragung des Drehmoments notwendige Betriebsdruck zwischen  $24\text{bar}$  und  $34\text{bar}$ .

Die hydraulisch schaltbare Lamellenkupplung befindet sich in einem eigenen Gehäuse und benötigt auch einen eigenen Ölkreislauf. Der Hersteller empfiehlt eine Viskosität mit  $30\text{mm}^2/\text{s}$  bis  $40\text{mm}^2/\text{s}$ . Über eine Dreheinführung und eine axiale Bohrung am Ende der Welle des Stirnrads  $Z3$  wird das Öl zum Schließen der Kupplung in die Welle des Stirnrads  $Z3$  eingeführt. Um die durch Reibung beim Schließen und Öffnen der Kupplung entstehenden Wärme abzuführen, wird Öl über radiale und axiale Bohrungen zugeführt (siehe Abbildung 4.4).

Der für die Zufuhr des Öls zur Wärmeabfuhr benötigte dynamische Druck (ohne Berücksichtigung von Reibungsverlusten) ergibt sich zu:

$$p_{min} = \frac{\rho}{2} * \omega^2 * r^2 \quad (4.1)$$

Bei einer Drehzahl von  $2907U/min$  und einem Radius von  $35mm$  beträgt der dynamische Druck für die Ölzufuhr der hydraulisch schaltbaren Lamellenkupplung  $0,68bar$ .

Die Übertragung des Drehmoments zwischen der Kupplung und der Welle des Stirnrads Z3 wird durch zwei Passfedern, die axiale Sicherung des Innenteils der Kupplung auf der Welle des Stirnrads Z3 mit einem Sicherungsring nach DIN 471 sichergestellt. Der Außenteil der Kupplung ist innerhalb des Gehäuses der hydraulisch schaltbaren Lamellenkupplung gelagert und wird zur Welle des Stirnrads Z1 mit einer Passfeder und einer Lamellenkupplung des Typs „LP1 4000“ von RW-Kupplungen verbunden. Das Nenndrehmoment dieser Kupplung liegt bei  $4000Nm$ , das maximal übertragbare Drehmoment bei  $8000Nm$ .

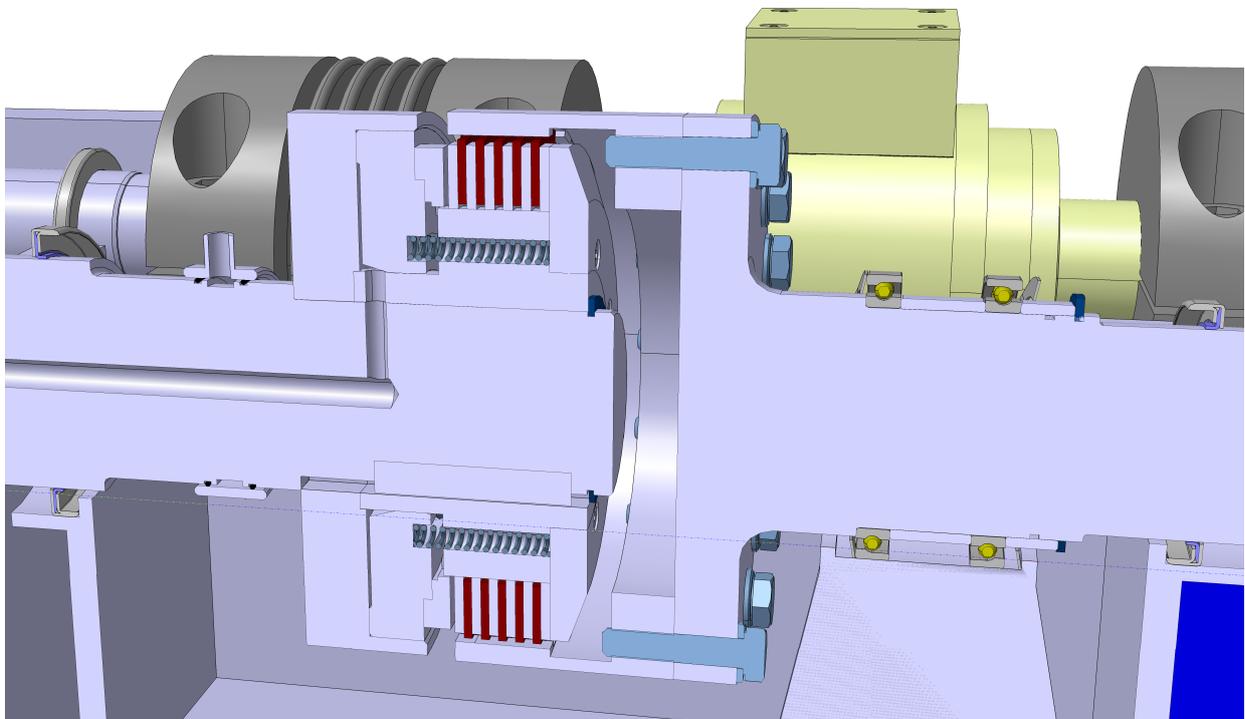


Abbildung 4.4: Schnittmodell der hydraulisch schaltbaren Lamellenkupplung

#### 4.3.4 Freilauf

Um das für den zu testenden Freilauf verwendete Öl, unabhängig vom Öl der anderen Komponenten des Prüfstandes, wählen zu können, werden der Freilauf, seine Ölzufuhr und Lagerung in einem eigenen Gehäuse untergebracht. Bei einer Drehzahl des Freilaufs von

8520U/min und einem Wellendurchmesser von 52,4mm beträgt der dynamische Druck des Öls des Freilaufs 3,28bar (siehe Abbildung 4.5

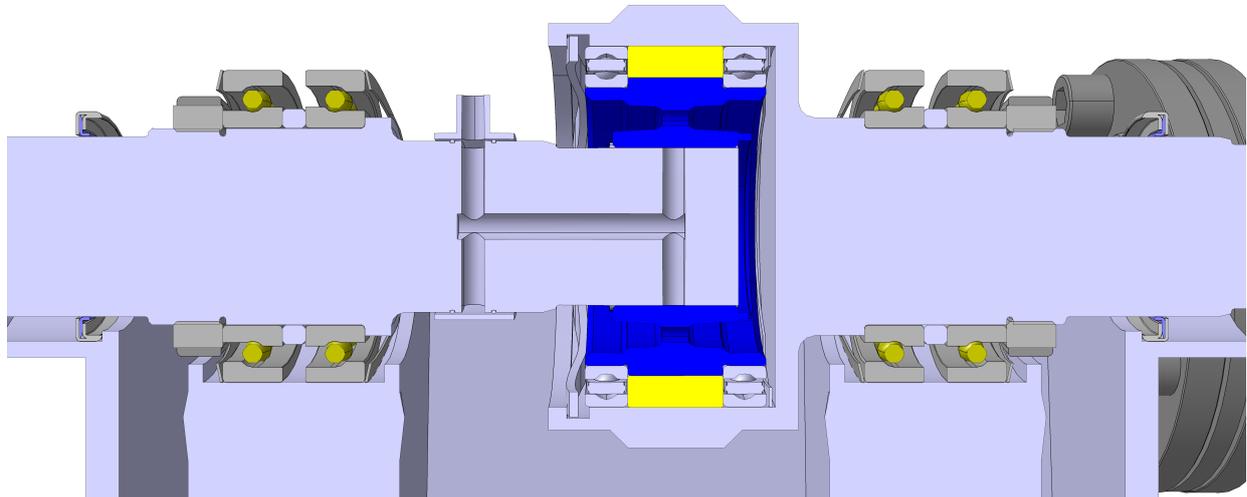


Abbildung 4.5: Schnittmodell des Freilaufs im Gehäuse des Prüfstands

## 4.4 Schmierstoff

Als Schmierstoffe werden Klübersynth GEM 4-32 und Klübersynth GEM 4-150, synthetische Hochleistungsgetriebe- und Mehrzwecköle auf Polyalphaolefinbasis, gewählt. Diese Öle sind sowohl für die Schmierung der Verzahnung des Planetengetriebes und der Stirnradstufen als auch für die Schmierung der Wälzlager geeignet und sind verträglich mit Dichtungen aus Nitrilkautschuk, Fluorkautschuk und Polytetrafluorethylen. Aufgrund der unterschiedlichen Betriebszustände innerhalb des Prüfstandes wird für das Getriebegehäuse mit dem Planetengetriebe und den Wellen der Stirnräder Z3, Z4, Z5, Z6 und Z8 die ISO-VG-Klasse  $150\text{mm}^2/\text{s}$  und für das Getriebegehäuse mit den Welle der Stirnräder Z1 und Z2 die ISO-VG-Klasse  $32\text{mm}^2/\text{s}$  gewählt. Die niedrige Drehzahl der Wellen der Stirnräder Z5 und Z6 erfordern eine ausreichend hohe Viskosität für die Wälzlager. Schneller drehende Lager benötigen nur eine niedrigere Viskosität für die ausreichende Ausbildung eines Schmierfilms. Bei zu hoher Viskosität entstehen auch Probleme bei der Abführung der durch Reibung erzeugten Wärme. Deshalb stellt sich auch die Wahl der ISO-VG Klasse  $150\text{mm}^2/\text{s}$  als ein

Kompromiss der Anforderungen der Lagerung des Planetengetriebes und der Lagerung der Wellen der Stirnräder  $Z5$  und  $Z6$  dar.

## 4.5 Tragfähigkeitsnachweise

Für die Stirnräder werden in KISSsoft Tragfähigkeitsnachweise nach DIN 3990-3 Methode B für die Zahnfußtragfähigkeit, DIN 3990-2 Methode B für die Grübchentragfähigkeit der Zahnflanken und DIN 3990-4 Methode B für die Fresstragfähigkeit der Zahnflanken sowie nach ISO/TR 15144 für die Sicherheit gegen Graufleckigkeit geführt. Für die Innenverzahnung des Hohlrads wird der Nachweis der Zahnfußtragfähigkeit zusätzlich unter Berücksichtigung des Zahnkranzeinflusses nach VDI 2737 geführt.

Zur Berechnung der Sicherheiten gegen das jeweilige Schadensereignis werden ausgehend vom Nenndrehmoment mithilfe von Faktoren die tatsächlich wirksamen Belastungen ermittelt. Nach den Berechnungsvorschriften werden die zulässigen Belastungen mit den an Standard-Referenz-Prüfrädern ermittelten zulässigen Belastungswerten entsprechend der jeweiligen Verzahnungen und der geforderten Sicherheit ermittelt.

Die minimalen Sicherheiten gegen Zahnfußbruch  $S_{Fmin}$  und die Grübchentragfähigkeit  $S_{Hmin}$  werden nach der Anwendungsnorm DIN 3990 Teil 21 für Schnelllaufgetriebe mit  $S_{Fmin} = 1,6$  und  $S_{Hmin} = 1,3$  gewählt.

Für die Wellen werden Tragfähigkeitsnachweise nach DIN 743 durchgeführt. Für den Planetenträger und die das Drehmoment übertragende Gehäusehälfte des Hohlrads wird eine Finite-Elemente-Methode-Analyse durchgeführt. Für die Tragfähigkeit der Wälzlager werden erweiterte Lebensdauerberechnungen nach DIN 281 durchgeführt. Der Festigkeitsnachweis der evolventischen Zahnwellenverbindungen nach DIN 5480 und der Keilwellenverbindungen nach DIN ISO 14 erfolgt nach Niemann/Winter, der Festigkeitsnachweis der Passfedern nach DIN 6885 erfolgt nach DIN 6892.

In den KISSsys-Settings werden die folgenden Parameter für alle Berechnungen festgelegt:

Tabelle 4.3: KISSsys Settings

Schmierungsart	Einspritzschmierung
Öltemperatur	80°C
minimale Lebensdauer	20000 Stunden
Rechenmethode Stirnräder	DIN 3990:1987 Methode B
Anwendungsfaktor KA	1,25
Referenztemperatur	20°C
Gehäusetemperatur	40°C
Öltemperatur	80°C
Wälzlagerberechnungsmethode	SKF Katalog 2013
Wälzlagererlebenswahrscheinlichkeit	99%

Für die Modellierung und Berechnung in KISSsys und KISSsoft werden die Planetengetriebestufe und die Wellen der Stirnräder  $Z4$  und  $Z5$  in eine koaxiale Baugruppe gefasst. Die Wellen der Stirnräder  $Z1$ ,  $Z2$ ,  $Z3$  und  $Z6$  und  $Z8$  werden als einzelne Wellenberechnungen angelegt. Für die Berechnung werden die Drehmomentmesswelle und der Freilauf zwischen der Sonnenwelle und der Welle des Stirnrads  $Z2$  sowie die hydraulisch schaltbare Lamellenkupplung zwischen den Welle der Stirnräder  $Z1$  und  $Z3$  durch starre Kupplungen zwischen den jeweiligen Wellen ersetzt (siehe Abbildung 4.6).

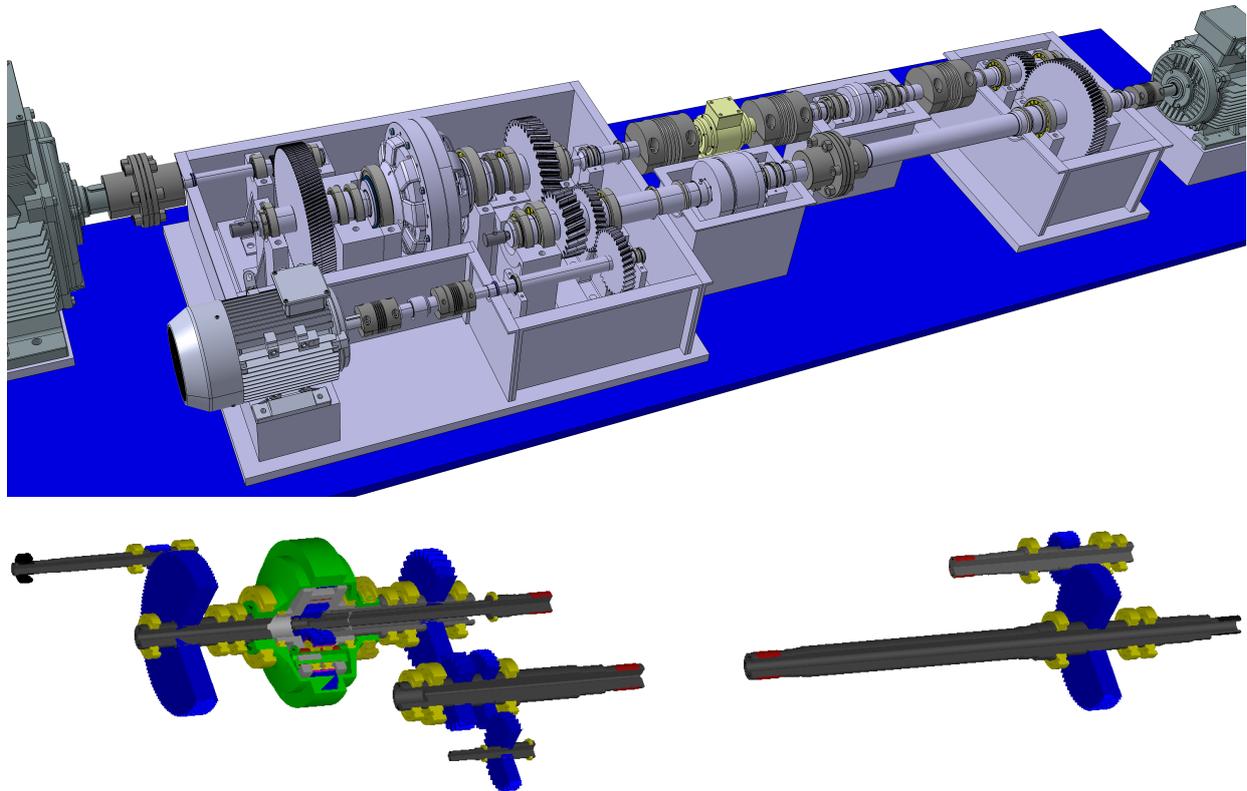


Abbildung 4.6: Modelle des Prüfstands in Catia und KISSsys

## 4.6 Berechnung der Zahnräder

### 4.6.1 Planetengetriebe

Als Zähnezahlen werden 22 für das Sonnenrad, 32 für die Planetenräder und  $-86$  für das Hohlrad gewählt. Damit erfüllt die Planetenstufe die Bedingung für eine gleichmäßige Anordnung von 3 Planeten am Umfang ( $120^\circ$  Winkel zwischen Sonnenrad und 2 Planetenrädern) [5, S. 237]. Es wird Geradverzahnung und ein Modul von  $3,5\text{mm}$  gewählt.

Sonnenrad und Hohlrad werden mit  $54\text{mm}$ , die Planetenräder mit  $56\text{mm}$  Zahnbreite ausgeführt, um kleine axiale Verschiebungen der Planeten durch die angestellte Planetenträgerlagerung zu kompensieren. Sonnenrad und Planetenräder erhalten eine positive, das Hohlrad eine negative Profilverschiebung. Als Werkstoff wird für Sonnen- und Planetenräder

einsatzgehärteter Einsatzstahl 18CrNiMo7-6 gewählt. Für das Hohlräder wird 30CrNiMo8 Vergütungsstahl gewählt. Alternativ wäre, um den beim Härten entstehenden Verzug und eine anschließend notwendige Nachbearbeitung zu verhindern und trotzdem guten Widerstand gegen Abrasiv- und Fressverschleiß zu erreichen, auch zu überlegen, das Hohlräder aus 16MnCr5 Einsatzstahl zu fertigen, jedoch Nitrieren statt Einsatzhärten als Wärmebehandlung zu wählen[6, S. 463].

The screenshot shows a software interface for designing a planetary gear set. It is divided into three main sections: Systemdaten, Geometrie, and Werkstoffe und Schmierung.

**Systemdaten:**

- Normalmodul  $m_n$ : 3.5000 mm
- Eingriffswinkel im Normalschnitt  $\alpha_n$ : 20.0000 °
- Achsabstand  $a$ : 96.1901 mm
- Sonne: geradverzahnt
- Schrägungswinkel am Teilkreis  $\beta$ : 0.0000 °
- Anzahl Planeten: 3

**Geometrie:**

	Sonne	Planeten	Hohlräder
Zähnezahl $z$	22	32	-86
Zahnbreite $b$	54.0000	56.0000	54.0000 mm
Profilverschiebungsfaktor $x^*$	0.3000	0.2136	-0.7273
Qualität (DIN 3961) $Q$	5	5	5

**Werkstoffe und Schmierung:**

- Sonne: 18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet, ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernfestigkeit  $\geq 25\text{HRC}$  Jominy J=12mm  $\geq \text{HRC}28$
- Planeten: 18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet, ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernfestigkeit  $\geq 25\text{HRC}$  Jominy J=12mm  $< \text{HRC}28$
- Hohlräder: 30 CrNiMo 8 (1), Vergütungsstahl, legiert, vergütet, ISO 6336-5 Bild 5/6 (MQ)
- Schmierung: Öl: Klübersynth GEM 4-150 N\_NEW
- Öl-Einspritzschmierung

Abbildung 4.7: Basisdaten des Planetengetriebes

Am Planeten ergibt sich bei der gewählten Profilverschiebung von 0,2136 ein Fußkreisdurchmesser von 104,746mm. Dadurch ist es möglich außenringlose Wälzlager mit Außendurchmesser 80mm in die Planetenräder zu montieren, da das Material zwischen Fußkreis- und Innendurchmesser jeweils mehr als der 3,5-fache Modul stark ist.

Als erzeugende Werkzeuge werden für Sonnen- und Planetenräder Abwälzfräser nach DIN 3972 „Profil III x 3.5“ und für das Hohlräder ein Stoßrad nach DIN 1826 ”3.5 x 75 x31 A BP 2“ gewählt. Für die Berechnung der Zahnfußsicherheit des Hohlraders wird zusätzlich zur Berechnung nach DIN 3990 Methode B auch die Berechnung nach VDI 2737 mit Zahnkranzeinfluss durchgeführt. Für die Planetengetriebestufe ergeben sich die folgenden Sicherheiten:

Tabelle 4.4: Sicherheiten und Überdeckung der Planetenstufe

	Sonne	Planet	Hohlrاد
Zahnfußsicherheit	3,1773	2,1335	1,6682
Zahnfußsicherheit VDI 2737			2,4486
Zahnflankensicherheit	1,3387	1,3864	1,3877
	Sonne-Planet	Planet-Hohlrاد	
Sicherheit gegen Fressen (Integraltemperatur)	4,0547	6,3066	
Sicherheit gegen Fressen (Blitztemperatur)	6,8097	31,0682	
Sicherheit gegen Micropitting (Methode B)	4,6314	6,7826	
Überdeckung	1,4430	1,6402	

#### 4.6.2 Stirnradstufen Z1Z2 und Z3Z4

In der in MATLAB ermittelten Variante haben die Stirnräder der zweiten Stufe Z3Z4 42 beziehungsweise 72 Zähne. Bei einer Verdoppelung des Moduls der Stufe Z1Z2 werden die Zähnezahlen halbiert, um bei den verschiedenen Drehzahl- und Drehmomentverhältnissen, jedoch gleichem Achsabstand und vorgegebenen Übersetzungen der beiden Stufen, ein besseres Verhältnis von Zahnfuß- zu Zahnflankensicherheit in der Stirnradstufe Z3Z4 zu erhalten.

Die Stirnradstufe Z1Z2 wird mit Modul  $4\text{mm}$ , Stirnradstufe Z3Z4 mit Modul  $8\text{mm}$  ausgelegt, der Achsabstand wird mit  $231,4509$  festgelegt. Dieser Achsabstand reicht aus, da die zwischen den Rädern Z1 und Z3 eingebaute Lamellenkupplung einen Durchmesser von  $182\text{mm}$ , die zwischen Z2 und Z4 eingebaute Drehmomentmesswelle einen Durchmesser von  $125\text{mm}$  und die Metallbalgkupplungen einen Durchmesser von  $157\text{mm}$  haben. Die hydraulisch schaltbare Lamellenkupplung und der Freilauf werden jeweils in eigenen Gehäusen eingebaut. Dadurch lassen sich Kupplungen zwischen parallelen Wellen nebeneinander einbauen.

Die Zahnbreite der Stufe Z1Z2 beträgt  $45\text{mm}$ , die der Stufe Z3Z4  $55\text{mm}$ . Der Schrägungswinkel beider Stufen ist  $12^\circ$ . Als Werkstoff werden 18CrNiMo7-6 einsatzgehärtet, als

Herstellungswerkzeug Abwälzfräßer nach DIN 3972 „Profil III x 4“ und DIN 3972 „Profil III x 8“ gewählt. Aufgrund der hohen Umfangsgeschwindigkeiten über  $52\text{m/s}$  wird Einspritzschmierung und Verzahnungsqualität 5 nach DIN 3961 gewählt. In der Stufe Z3Z4 wird die mittlere Rauhtiefe auf  $0,2\mu\text{m}$  reduziert, um eine ausreichende Sicherheit gegen Fressen zu gewährleisten.

In Abbildung 4.8 und 4.9 sind die wichtigsten Eingabedaten der beiden Stufe zu sehen:

Geometrie		Rad 1	Rad 2	Details...
Normalmodul $m_n$	4.0000 mm			
Eingriffswinkel im Normalschnitt $\alpha_n$	20.0000 °	Zähnezahl $z$	85	29
Rad 1	linkssteigend	Zahnbreite $b$	45.0000	45.0000 mm
Schrägungswinkel am Teilkreis $\beta$	12.0000 °	Profilverschiebungsfaktor $x^*$	-0.3190	-0.0810
Achsabstand $a$	231.4509 mm	Qualität (DIN 3961) $Q$	5	5

Werkstoffe und Schmierung	
Rad 1	18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet, ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernfestigkeit $\geq 25\text{HRC}$ Jominy J=12mm <HRC28
Rad 2	18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet, ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernfestigkeit $\geq 25\text{HRC}$ Jominy J=12mm <HRC28
Schmierung	Öl: Klübersynth GEM 4-32 N_NEW
	Öl-Einspritzschmierung

Abbildung 4.8: Basisdaten der Stufe Z1Z2, Rad1=Z1 Rad2=Z2

Geometrie		Rad 1	Rad 2	Details...
Normalmodul $m_n$	8.0000 mm			
Eingriffswinkel im Normalschnitt $\alpha_n$	20.0000 °	Zähnezahl $z$	21	36
Rad 1	linkssteigend	Zahnbreite $b$	55.0000	55.0000 mm
Schrägungswinkel am Teilkreis $\beta$	12.0000 °	Profilverschiebungsfaktor $x^*$	0.2380	-0.4380
Achsabstand $a$	231.4509 mm	Qualität (DIN 3961) $Q$	5	5

Werkstoffe und Schmierung	
Rad 1	18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet, ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernfestigkeit $\geq 25\text{HRC}$ Jominy J=12mm <HRC28
Rad 2	18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet, ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernfestigkeit $\geq 25\text{HRC}$ Jominy J=12mm <HRC28
Schmierung	Öl: Klübersynth GEM 4-150 N_NEW
	Öl-Einspritzschmierung

Abbildung 4.9: Basisdaten der Stufe Z3Z4, Rad1=Z3 Rad2=Z4

Die Sicherheiten und Überdeckungen der beiden Stufen ergeben sich zu:

Tabelle 4.5: Sicherheiten und Überdeckung Stufe  $Z1Z2$  und  $Z3Z4$ 

	$Z1$	$Z2$	$Z3$	$Z4$
Zahnfußsicherheit	1,694	1,706	2,364	2,230
Zahnflankensicherheit	1,446	1,432	1,401	1,404
	$Z1Z2$		$Z3Z4$	
Sicherheit gegen Fressen (Integraltemperatur)	2,881		3,437	
Sicherheit gegen Fressen (Blitztemperatur)	2,142		2,110	
Sicherheit gegen Micropitting (Methode B)	11,359		13,370	
Profilüberdeckung	1,742		1,593	
Sprungüberdeckung	0,745		0,455	
Gesamtüberdeckung	2,487		2,048	

### 4.6.3 Stirnradstufe $Z5Z6$

Um die Schmiermittelversorgung des Planetengetriebes durch eine Bohrung in der mit dem Hohlrad verbundenen Welle der Stirnrads  $Z5$  und eine höhere Drehzahl des Motors  $E1$  zu ermöglichen, wird die Stirnradstufe  $Z5Z6$  mit 16 und 125 Zähnen ausgelegt. Mit nur knapp über  $1m/s$  liegt die Umfangsgeschwindigkeit unter der Einschränkung der ISO 15144 für die Berechnung der Graufleckigkeit. Wird die Einschränkung der Berechnungsmethode ignoriert, ist Verzahnungsqualität 4 nach DIN 3961 und ein Mittelrauhwert von  $0,15\mu m$  an den Zahnflanken notwendig, um eine Sicherheit gegen Graufleckigkeit über einem Wert 2 zu erreichen.

Geometrie		Rad 1	Rad 2	Details...
Normalmodul	$m_n$	3.0000 mm		
Eingriffswinkel im Normalschnitt	$\alpha_n$	20.0000 °		
Rad 1		rechtssteigend		
Schrägungswinkel am Teilkreis	$\beta$	15.0000 °		
Achsabstand	$a$	221.2775 mm		
Zähnezahl	$z$	16	125	
Zahnbreite	$b$	60.0000	60.0000 mm	
Profilverschiebungsfaktor	$x^*$	0.6500	0.1500	
Qualität (DIN 3961)	$Q$	4	4	

Werkstoffe und Schmierung	
Rad 1	Eigene Eingabe
Rad 2	Eigene Eingabe
Schmierung	Öl: Klübersynth GEM 4-150 N_NEW
	Öl-Einspritzschmierung

Abbildung 4.10: Basisdaten der Stufe  $Z5Z6$ , Rad1= $Z6$  Rad2= $Z5$ Tabelle 4.6: Sicherheiten und Überdeckung Stufe  $Z5Z6$ 

	$Z5$	$Z6$
Zahnfußsicherheit	1,826	1,604
Zahnflankensicherheit	1,370	1,340
	$Z5Z6$	
Sicherheit gegen Fressen (Integraltemperatur)	5,019	
Sicherheit gegen Fressen (Blitztemperatur)	7,238	
Sicherheit gegen Micropitting (Methode B)	2,215	
Profilüberdeckung	1,360	
Sprungüberdeckung	1,648	
Gesamtüberdeckung	3,008	

Um bei geöffnetem Zustand der hydraulisch schaltbaren Lamellenkupplung die Drehzahlen der Welle des Stirnrads  $Z3$  und damit auch die Welle des Stirnrads  $Z4$  und den Planetenträger steuern zu können, wird an der Welle des Stirnrads  $Z3$  auch ein Stirnrad der Stirnradstufe  $Z7Z8$  angebracht. Mittels eines Hülsenfreilaufs zwischen dem Motor  $E3$  und dem Stirnrad  $Z8$  wird sichergestellt, dass bei geschlossener hydraulischer Lamellenkupplung die Welle des Stirnrads  $Z3$  nicht vom Motor  $E3$  gebremst werden kann.

## 4.7 Gestaltung der Wellen und Lagerung

### 4.7.1 Planetengetriebestufe

Das Planetengetriebe wird mit ungeteiltem Planetenträger und einem beidseitig gelagerten Hohlrad ausgeführt. Der Planetenträger ist im Hohlrad mit zwei Schrägkugellagern in X-Anordnung gelagert. Die Vorspannung erfolgt mit einer Wellenfeder, die einen Distanzring gegen den Außenring des linken Schrägkugellagers presst. Das Hohlrad ist in Fest-Los-Anordnung mit zwei Rillenkugellagern gelagert (siehe Abbildung 4.17).

#### Planetenbolzen

Die Planetenbolzen verbinden die Planetenräder mit dem Planetenträger. Die Lagerung der Planetenräder erfolgt auf den Planetenbolzen mit Wälzlagern ohne Außenring, die Wälzkörper laufen direkt im Planetenrad. Dadurch ist es möglich, Lager mit hoher Tragfähigkeit bei gleichzeitig geringen Abmaßen und geringem Gewicht zu verwenden.

Zur Montage werden zuerst Sicherungsringe nach DIN 472 in die dafür vorgesehenen Nuten im Planetenrad eingesetzt. Dann werden zuerst jeweils eine Anlaufscheibe und dann die Wälzkörper mit Lagerinnenring von außen in den Planeten eingesetzt. Der Planet samt Lager wird in den Planetenträger eingesetzt und der Planetenbolzen kann durch Planetenträger und den Planeten samt Lager gesteckt und von der anderen Seite mit einer Wellenmutter fixiert werden. Durch eine kleine Scheibe wird die Position des Planetenbolzens im Planetenträger gegen Verdrehen gesichert, da es wichtig ist, dass die für die Schmierung vorgesehenen Bohrungen in Planetenbolzen und Planetenträger auf einander ausgerichtet sind und somit die Ölzufuhr zu den Planetenlagern sichergestellt ist (siehe Abbildung 4.11 und Abbildung 4.12).

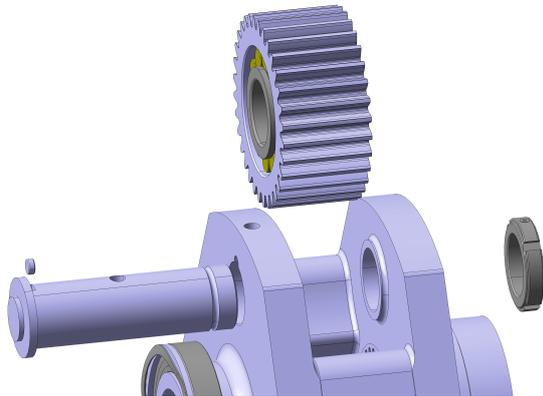


Abbildung 4.11: Einbau des Planeten

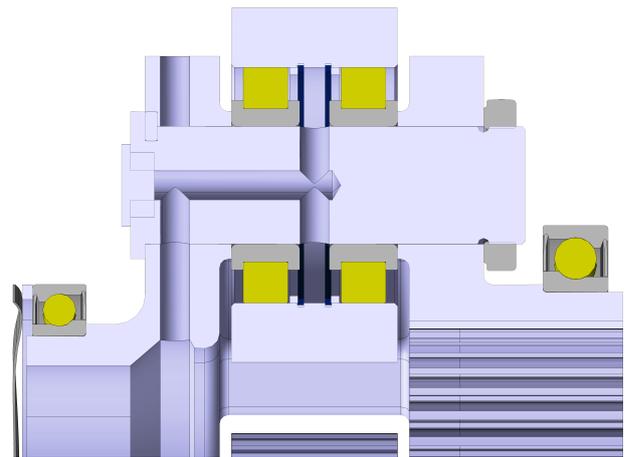


Abbildung 4.12: Schnitt durch den Planetenträger und Planet

Aufgrund der exzentrischen Lage der Planetenbolzen müssen die Lager und Bolzen zusätzlich zu den aus den Zahneingriffen resultierenden Kräften auch die Zentrifugalkräfte entsprechend der Massen der Planetenräder, der Planetenlager und der Zentrifugalbeschleunigung tragen können (siehe Gl.3.1).

Bei einer Gesamtmasse von  $3,78\text{kg}$  (Planet, 2 Lager, 2 Anlaufscheiben, 2 Sicherungsringe) und einer Stegdrehzahl von  $1695\text{U}/\text{min}$  beträgt die Zentrifugalkraft  $11461,2\text{N}$ . Um die Zentrifugalkraft bei der Tragfähigkeitsberechnung des Bolzens und der Planetenlager zu berücksichtigen, wird am Planetenrad eine zentrische Last mit diesem Betrag über die gesamte Radbreite aufgebracht.

Die Planetenbolzen werden aus Vergütungsstahl 34CrMo4 gefertigt, anschließend vergütet und haben einen Durchmesser von  $40\text{mm}$ . Es werden außenringlose Lager vom Typ „RN308-E-MPBX“ von INA verwendet.

An der  $10\text{mm}$  Querbohrung für die Ölversorgung in der Bolzenmitte beträgt die Sicherheit gegen Dauerbruch 1,91 und die maximale Vergleichsspannung beträgt  $123,87\text{N}/\text{mm}^2$ .

### Planetenträger

Um sicher zu stellen, dass die Planetenbolzen auf beiden Seiten im Planetenträger abgestützt werden und damit beide Seiten des Planetenträgers für die Übertragung des Dreh-

moments zu nutzen, wird eine ungeteilte Konstruktion des Planetenträgers vorgenommen. Die Öffnung an der Seite zur Welle des Stirnrads  $Z5$  ist mit  $70\text{mm}$  Durchmesser groß genug um nicht mit dem, an der Stirnseite der Welle des Stirnrads  $Z5$  eingeschraubten, für die Ölversorgung des Planetengetriebes vorgesehenen, Adapterstücks (Durchmesser  $65\text{mm}$ ) zu überschneiden. In einer Innennut im Planetenträger wird aus diesem Adapterstück ausströmendes Öl gesammelt und durch drei radiale Bohrungen zu den Planetenbolzen gefördert. Mit der Welle des Stirnrads  $Z4$  ist der Planetenträger durch eine Verzahnung nach  $DIN5480-N95.00 * 3.00 * 30 * 9H$  mit  $55\text{m}$  Länge verbunden.

Für den Planetenträger wird in CATIA eine Finite-Elemente-Methode-Analyse durchgeführt. Dabei werden die Verzahnung nach DIN 5480 durch eine feste Einspannung ersetzt und von den Planetenbolzen ausgeübten Kräfte in den jeweiligen Bohrungen aufgebracht. Das zu übertragende Drehmoment ergibt, unter Berücksichtigung eines Anwendungsfaktors von 1,25 und des Achsabstands von  $96,1901\text{mm}$  eine Kraft von  $10847,671\text{N}$ , die jeweils zur Hälfte tangential in Richtung der Geschwindigkeit auf beide Seiten des Planetenträgers aufgebracht wird. Rechtwinklig dazu wirkt die Zentrifugalkraft, die von den Planetenrädern, Lagern und den Bolzen auf den Planetenträger ausgeübt wird. An jeder Bolzeneinspannung wird zur Berücksichtigung eine radial nach außen zeigende Kraft von  $7627,964\text{N}$  aufgebracht.

Die größte von-Mises-Vergleichsspannung ergibt sich an den Stegen zwischen den beiden Hälften des Planetenträgers, sollte aber mit  $83,6\text{N/mm}^2$  nicht zu einem Bauteilversagen führen (siehe Abbildung 4.13).

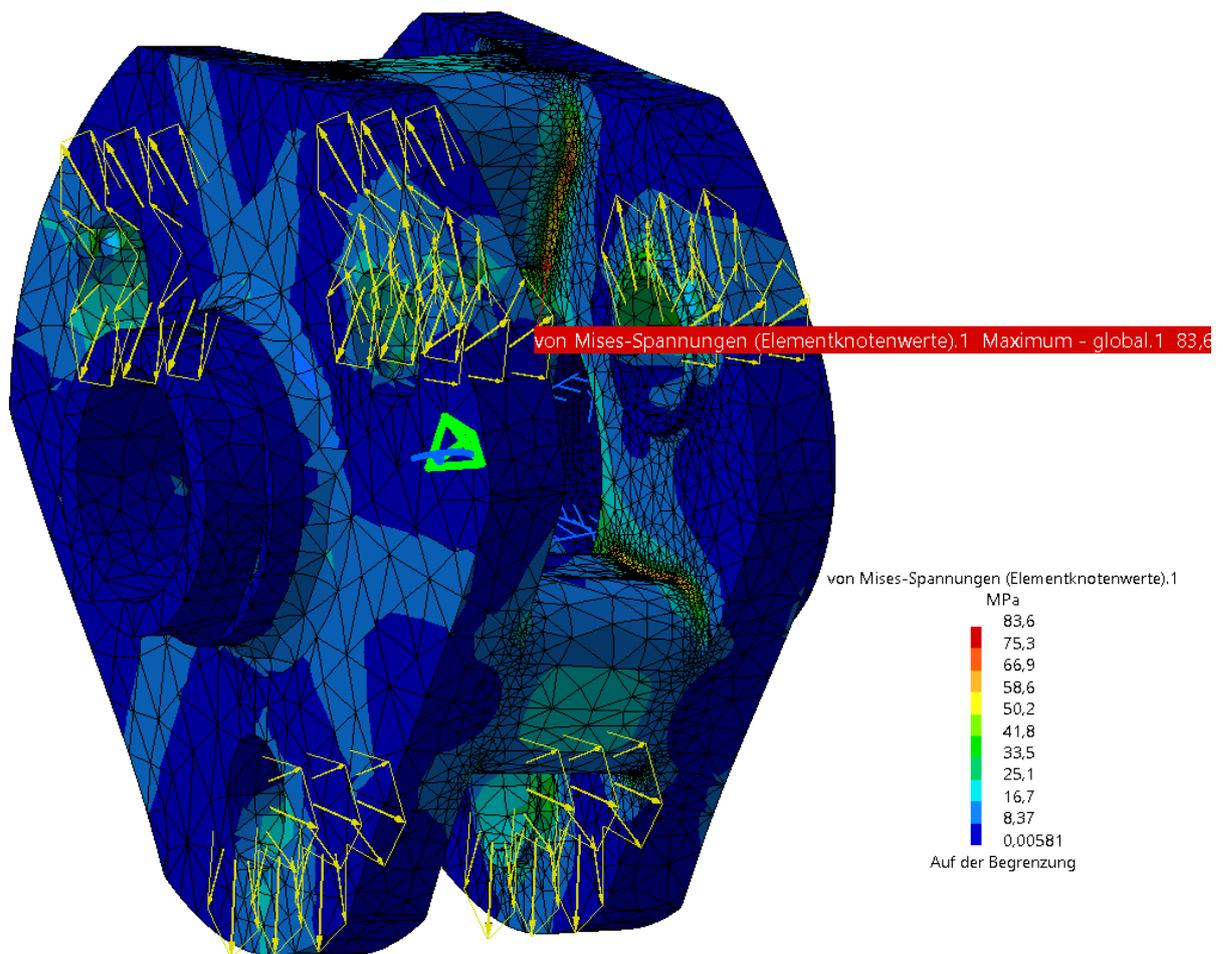


Abbildung 4.13: Finite-Elemente-Methode-Analyse: von-Mises-Spannungen am belasteten Planetenträger

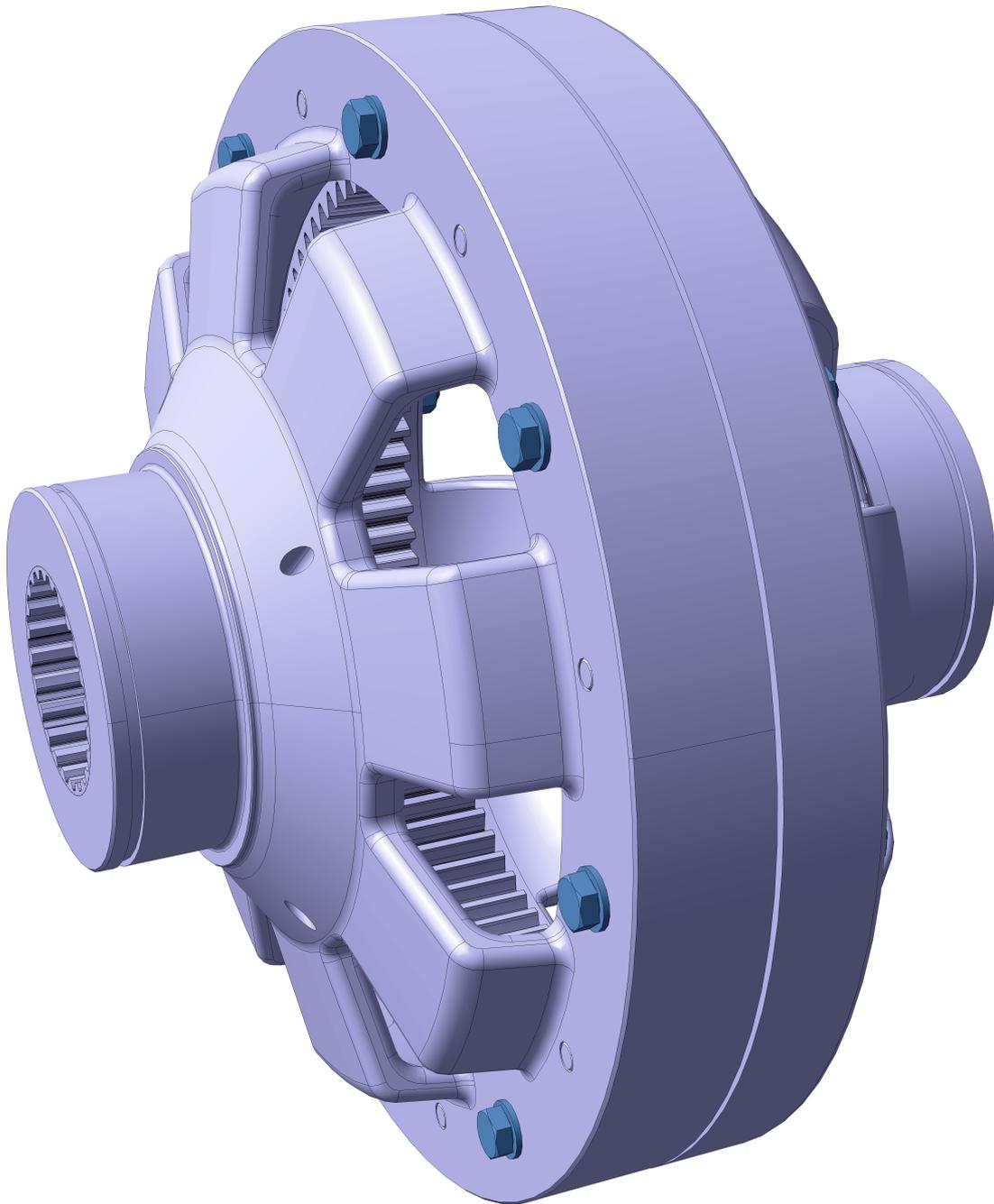
**Hohlrad**

Abbildung 4.14: Zusammengesetztes Hohlrad

Für die Übertragung des Drehmoments ist die linke Gehäusehälfte des Hohlrads mit der Welle des Stirnrads  $Z_5$  mit einer evolventischen Zahnwellenverbindung verbunden. Die

Übertragung des Drehmoments von dieser Gehäusehälfte auf das Zahnrad erfolgt über acht Stifte, die auf einem Durchmesser von  $360\text{mm}$  eine tragende Länge von  $20\text{mm}$  in der Gehäusehälfte und  $54\text{mm}$  in dem Zahnrad haben. Bei einem Bolzendurchmesser von  $10\text{mm}$ , einem zu übertragenden Drehmoment von  $4004\text{Nm}$ , einem Anwendungsfaktor von  $1,25$  und der Annahme eines schwellenden Belastungsfalls ergibt sich für Vollstifte/Bolzen aus  $C45$  vergütetem Stahl eine minimale Sicherheit von  $1,661$ .

Werden statt Vollstiften Schwerverspannstifte nach DIN EN ISO 8752 gewählt, ist in KISSsoft nur der Fall einer statischen Belastung rechenbar, dabei ergibt sich jedoch eine minimale Sicherheit von  $15,139$ .

Die beiden Gehäusehälften werden mit dem Zahnrad über acht  $M10 \times 100$ -Schrauben zusammengeschaubt, dies wird aber bei der Berechnung der Bolzen für die Drehmomentübertragung nicht berücksichtigt.

Der Planetenträger ist innerhalb des Hohlrads mit zwei Schrägkugellagern in angestellter X-Anordnung gelagert. Die Vorspannung dieser Lager und der Ausgleich unterschiedlicher Ausdehnungen in Folge von Temperaturunterschieden erfolgt mit einer Wellenfeder. Durch die Geradverzahnung der Planetengetriebestufe und wegen des Lastausgleichs innerhalb des Planetengetriebes sind die auf diese Lager wirkenden Kräfte gering und werden vor allem durch die Vorspannung der Wellenfeder hervorgerufen. Die Versorgung dieser Lager mit Öl zur Schmierung wäre, besonderes an der Seite zur Welle des Stirnrads  $Z5$ , konstruktiv aufwendig, daher werden an diesen Stellen abgedichtete Schrägkugellager der Typen  $S71918ACEP4A$  und  $S71924ACEP4A$  des Herstellers SKF verwendet. Neben den Lagern sind radiale Bohrungen in den Gehäusehälften, um das Abfließen von Öl, das sich dort ansammeln könnte, zu ermöglichen (siehe Abbildung 4.17).

Für die das Zahnrad mit der Welle des Stirnrads  $Z5$  verbindende Gehäusehälfte wird in CATIA eine Finite-Elemente-Methode-Analyse durchgeführt. Dabei wird an der Stelle der Zahnwelle die Gehäusehälfte fest eingespannt und jeweils eine Kraft von  $3575\text{N}$  auf acht der Bohrungen als tangentielle Lagerlast aufgebracht. Die größte resultierende von-Mises-Vergleichsspannung beträgt  $66\text{N/mm}^2$  und sollte daher nicht zu einem Bauteilversagen führen (siehe Abbildung 4.15).

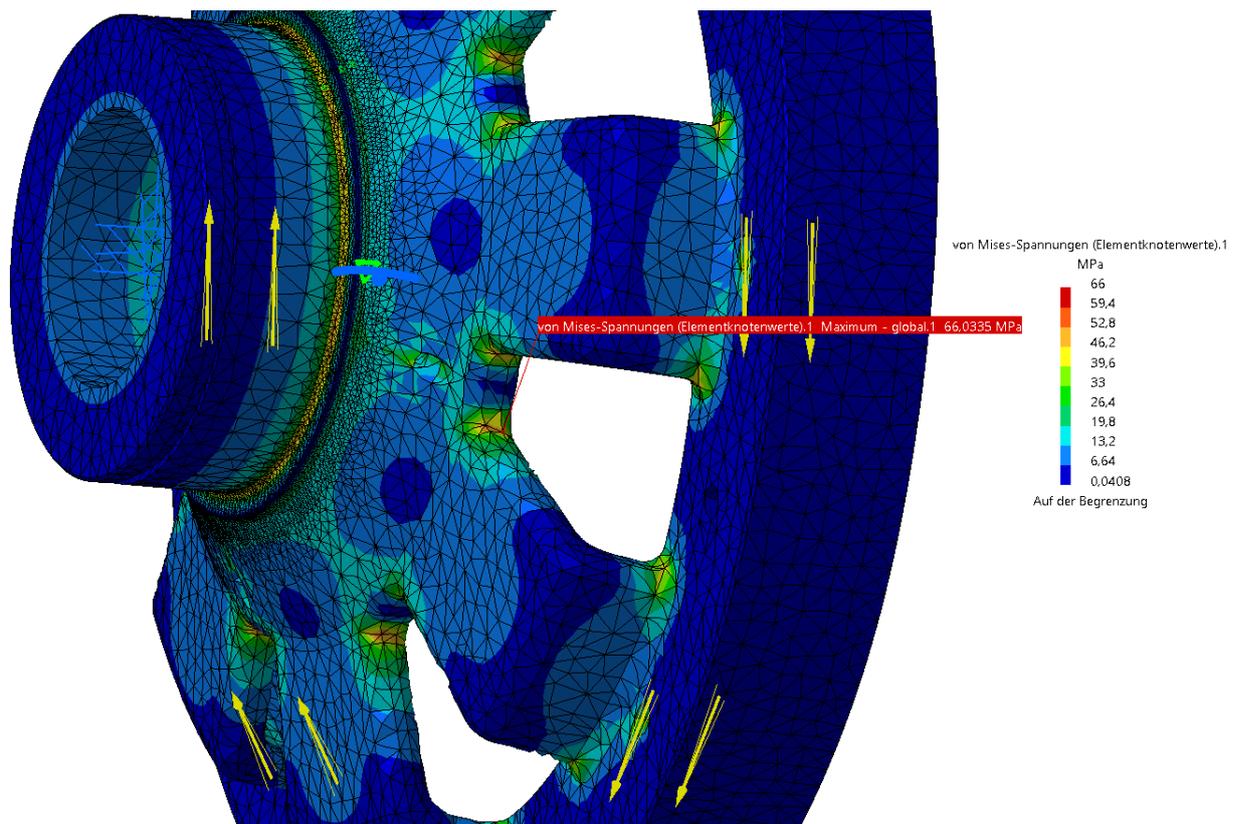


Abbildung 4.15: Finite-Elemente-Methode-Analyse der mit der Welle des Stirnrads Z5 verbundenen Hälfte des Hohlrads

#### 4.7.2 Modellierung der Planetengetriebestufe mit angeschlossenen Wellen in KISSsys

Das Planetengetriebe und die daran angeschlossenen Wellen der Stirnräder Z4 und Z5 werden in KISSsys als ein System von coaxialen Wellen betrachtet, indem sie in einer gemeinsamen Berechnung durch Verwendung von verbindenden Wälzlagern zwischen Planetenträger und Hohlrad und allgemeinen Verbindungen anstelle der Zahneingriffe modelliert werden. Die allgemeinen Verbindungen der Zahnwellen lassen nur axiale Verschiebungen, die allgemeinen Verbindungen der Zahnräder nur axiale Verschiebungen und Verdrehungen zu (siehe Abbildung 4.16).

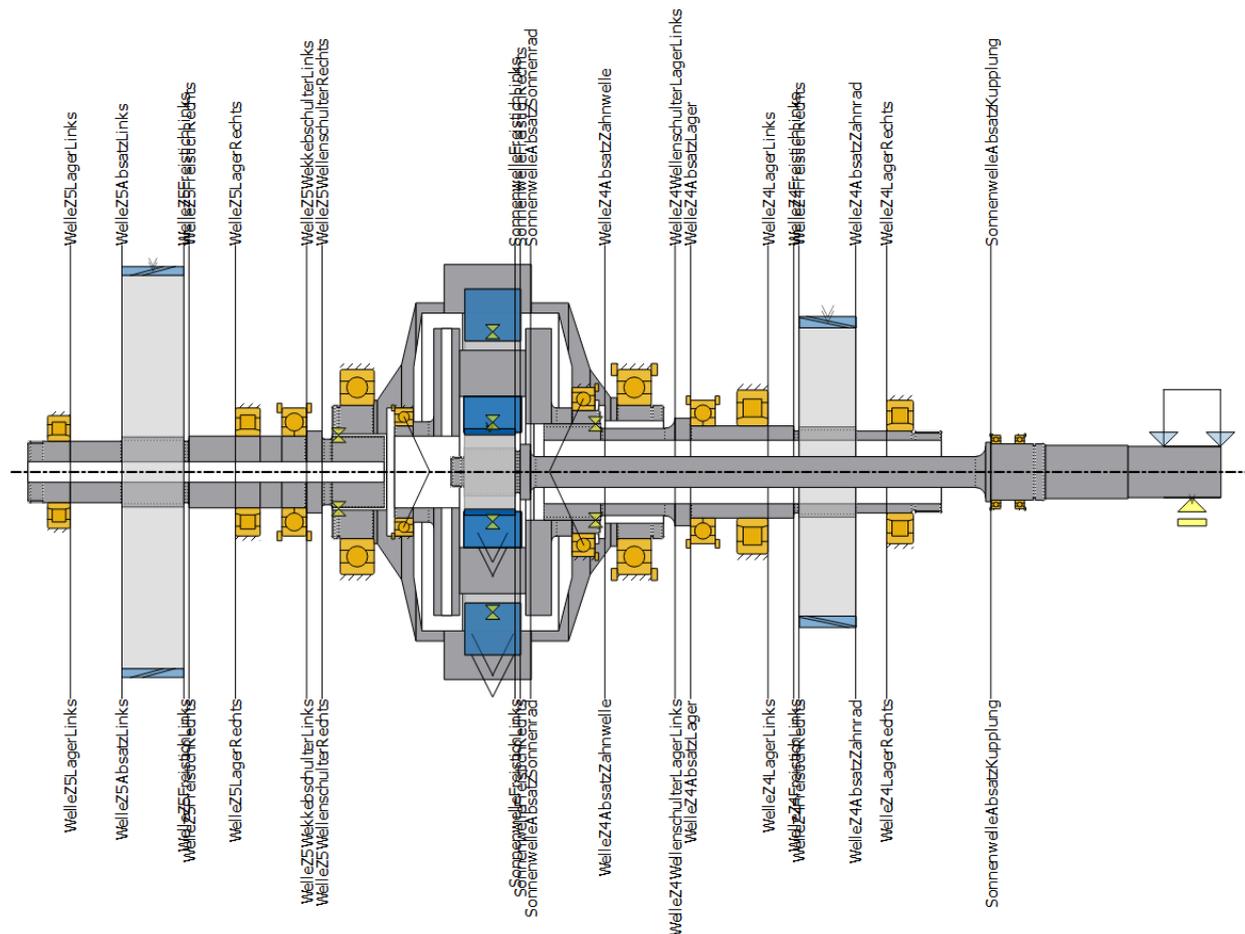


Abbildung 4.16: Planetentriebsebene mit den Wellen der Stirnräder Z4 und Z5 mit den gewählten Querschnitten für die Tragfähigkeitsberechnung nach DIN 743

### 4.7.3 Weitere konstruktive Merkmale

Für die Konstruktion sind weiters die folgenden Punkte hervorzuheben:

- Als ungelagertes Glied des Planetengetriebes ist das Sonnenrad für den Lastausgleich innerhalb des Planetengetriebes verantwortlich. Deshalb wird die Sonnenwelle mit einem geringen Durchmesser von  $30\text{mm}$  ausgelegt.
- Die Welle des Stirnrads Z6 wird aufgrund des Ritzelfußkreisdurchmessers von  $46,074\text{mm}$  und dem Innendurchmesser der benötigten Wälzlager von  $35\text{mm}$  als Ritzelwelle ausgeführt.

- Für die Lagerung der Wellen der Stirnräder  $Z1$ ,  $Z2$ ,  $Z3$ ,  $Z4$ ,  $Z5$  und  $Z6$  werden jeweils NU-Zylinderrollenlager für die Aufnahme der Radialkräfte und Vierpunktlager für die axiale Lagerung eingesetzt.  
Zwischen den Vierpunktlagern und den benachbarten Zylinderrollenlagern der Wellen der Stirnräder  $Z1$ ,  $Z2$ ,  $Z3$ ,  $Z4$  und  $Z5$  wird mit Distanzhülsen freier Raum geschaffen, in den aus den oberen Hälften der Lagergehäuse das Öl für die Schmierung und Kühlung der Lager eingespritzt werden kann.
- Alle Wälzlager haben eine erweiterte Lagerlebensdauer von über 27000 Stunden bei einem Prozent Ausfallwahrscheinlichkeit, die minimale Sicherheiten nach DIN 743 liegen bei 1,7 gegen Schwingbruch und 1,74 gegen Gewaltbruch. Die minimale Sicherheit der Passfedern ist 1,42.
- Die unteren Hälften der Lagergehäuse der Wellen der Stirnräder  $Z4$ ,  $Z5$ , und der Lagerung der Sonnenwelle werden geteilt ausgeführt und nach dem Zusammensetzen miteinander verschraubt, um die axiale Montage der Welle des Stirnrads  $Z5$  beziehungsweise der Welle des Stirnrads  $Z4$  und des Planetengetriebes zu ermöglichen.
- Aufgrund des Zahnkopfdurchmessers des Sonnenrads und des Innendurchmessers der Welle des Stirnrads  $Z4$  muss die Welle des Sonnenrads vor der Welle des Stirnrads  $Z4$  in das Planetengetriebe eingesetzt werden. Alternativ kann die Welle des Stirnrads  $Z4$  über die Welle des Sonnenrads geschoben werden. Anschließend werden beide Wellen zugleich in das Planetengetriebe eingesetzt.
- In ein Innengewinde an der im Planetengetriebe gelegenen Stirnseite der Welle des Stirnrads  $Z5$  wird ein Adapterstück eingeschraubt und mit Klebstoff gesichert. In diesem Adapterstück wird durch Bohrungen das durch die Dreheinführung an der Welle des Stirnrads  $Z5$  eingespritzte Öl sowohl in eine Nut im Planetenträger (und anschließende Bohrungen bis zu den Planetenlagern) als auch durch andere Bohrungen in den Zahneingriff zwischen Sonnenrad und Planetenrädern gelenkt (siehe Abbildung 4.17). Alternativ ist es auch möglich, einen Teil des Öls durch eine weitere axiale Bohrung an die Stirnseite der Sonnenwelle zur Kühlung zu spritzen.
- Die Lager des Hohlrads werden durch das aus den Vierpunktlagern austretende Öl

geschmiert. Um zu verhindern, dass zuviel Öl zu den abgedichteten Schrägkugellagern zwischen Hohlrund und Planetenträger gelangt, steht an Wellenschulter der Welle des Stirnrads Z4 eine erhöhte Kante über (siehe Abbildung 4.17).

- Für die Sonnenwelle und die Wellen des Freilaufs, an denen große Drehmomente, aber in der Theorie keine resultierenden Kräfte auftreten, wird die Lagerung durch Einheiten bestehend aus zwei gegensinnig orientierten Schrägkugellagern, einer Distanzhülse und zwei Wellenfedern realisiert (siehe Abbildung 4.18).
- Aufgrund der Umfangsgeschwindigkeiten von über  $23\text{m/s}$  werden für die Sonnenwelle, die Wellen des Freilaufs und die Welle Z2 Radialwellendichtringe mit PTFE-Lippe gewählt.

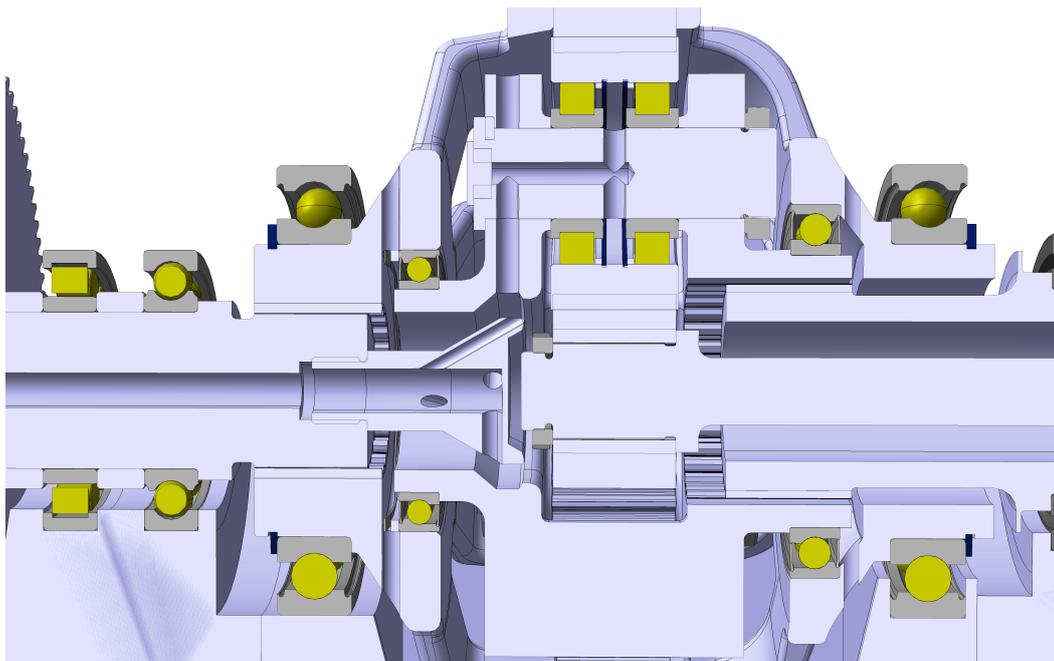


Abbildung 4.17: Schnitt der Planetengetriebestufe mit den angeschlossenen Wellen der Stirnräder Z4 und Z5

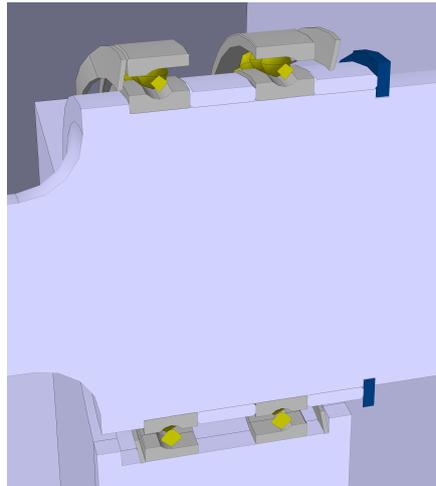


Abbildung 4.18: Schnitt durch die Lagerung der Sonnenwelle

# Kapitel 5

## Diskussion und Ausblick

Die Konzeption eines Freilaufprüfstands nach dem Verspannprinzip hat neben der Möglichkeit das Schaltverhalten des Freilaufs gezielt untersuchen zu können, eine möglichst große Leistungszirkulation zu erreichen und daher eine möglichst niedrige Motorleistung zu benötigen, zum Ziel.

Die Auswertung der mit MATLAB errechneten Kennwerte der unterschiedlichen Prüfstandsvarianten und Zähnezahlkombinationen lässt erkennen, dass bei niedriger benötigter Leistung eine umso größere Drehzahländerung der Motoren erforderlich ist, um eine ausreichende Drehzahländerung am Freilauf zu erzielen.

Eine Modellierung des Prüfstands in KISSsys bestätigte die Gleichungssysteme und die mit MATLAB prognostizierten Drehzahlen und Leistungen.

Der mit dem Verspannprinzip einhergehende Anstieg der Komplexität des Prüfstandsystems macht daher sowohl im Hinblick auf die benötigten Komponenten als auch auf den Entwicklungsaufwand die Realisierung eines Prüfstands mit geringer Leistungszirkulation weniger interessant.

Viele der grundsätzlich denkbaren Varianten scheitern in der Umsetzung an der zulässigen Belastbarkeit der benötigten Maschinenelemente.

Die Problemstellung einer großen Leistungszirkulation in Verbindung mit größter Drehzahlvariabilität konnte durch Hinzufügen eines zusätzlichen Freiheitsgrades in das System durch eine schaltbare Kupplung gelöst werden.

Eine Herausforderung in der Konstruktion war es auch, eine ausreichende Tragfähigkeit, speziell in der coaxialen Baugruppe des Planetengetriebes mit den angeschlossenen Wellen, unter Berücksichtigung der gegenseitigen geometrischen Einschränkung der Wellen untereinander, zu erreichen.

Die ausgeführte Konstruktion zeigt, dass ein Freilaufprüfstand nach dem Verspannprinzip für die geforderten Parameter möglich ist.

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Klemmstückfreilauf [1, S.10] . . . . .	2
1.2	Klemmrollenfreilauf [1, S.11] . . . . .	2
1.3	Funktionsprinzip Klemmstückfreilauf [1, S.10] . . . . .	2
1.4	Funktionsprinzip Klemmrollenfreilauf [1, S.11] . . . . .	2
2.1	FZG-Verspannprüfstand [4, S. 12] . . . . .	6
2.2	Einfaches Planetengetriebe . . . . .	7
2.3	Betriebsbereich bei 3 laufenden Wellen [5, S. 251] . . . . .	10
2.4	Umlaufwirkungsgrad der Betriebsbereiche A bis M [5, S. 251] . . . . .	10
2.5	Kombination aus Verspannkreis und Umlaufgetriebe . . . . .	12
2.6	Planetengetriebe Typ 1.19a nach Müller [5, S. 27] . . . . .	13
2.7	Cyclogetriebe [5, S. 83] . . . . .	14
2.8	Offenes Plusgetriebe Typ 1.18l nach Müller [5, S.26] . . . . .	14
4.1	Modell des Prüfstands in CATIA . . . . .	30
4.2	Funktionsprinzip der Drehmomentmesswelle [9] . . . . .	33
4.3	Drehmomentmesswelle und Freilauf, verbunden mit Metallbalgkupplungen . . . . .	34
4.4	Schnittmodell der hydraulisch schaltbaren Lamellenkupplung . . . . .	35

---

4.5	Schnittmodell des Freilaufs im Gehäuse des Prüfstands . . . . .	36
4.6	Modelle des Prüfstands in Catia und KISSsys . . . . .	39
4.7	Basisdaten des Planetengetriebes . . . . .	40
4.8	Basisdaten der Stufe $Z1Z2$ , $Rad1=Z1$ $Rad2=Z2$ . . . . .	42
4.9	Basisdaten der Stufe $Z3Z4$ , $Rad1=Z3$ $Rad2=Z4$ . . . . .	42
4.10	Basisdaten der Stufe $Z5Z6$ , $Rad1=Z6$ $Rad2=Z5$ . . . . .	44
4.11	Einbau des Planeten . . . . .	46
4.12	Schnitt durch den Planetenträger und Planet . . . . .	46
4.13	Finite-Elemente-Methode-Analyse: von-Mises-Spannungen am belasteten Planetenträger . . . . .	48
4.14	Zusammengesetztes Hohlrads . . . . .	49
4.15	Finite-Elemente-Methode-Analyse der mit der Welle des Stirnrads $Z5$ verbundenen Hälfte des Hohlrads . . . . .	51
4.16	Planetengtriebestufe mit den Wellen der Stirnräder $Z4$ und $Z5$ mit den gewählten Querschnitten für die Tragfähigkeitsberechnung nach DIN 743 . . . . .	52
4.17	Schnitt der Planetengtriebestufe mit den angeschlossenen Wellen der Stirnräder $Z4$ und $Z5$ . . . . .	54
4.18	Schnitt durch die Lagerung der Sonnenwelle . . . . .	55
B.1	Planetengtriebe, Welle $Z4$ und Welle $Z5$ . . . . .	147
B.2	Planetebolzen . . . . .	218
B.3	Welle $Z1$ . . . . .	236
B.4	Welle $Z2$ . . . . .	274
B.5	Welle $Z3$ . . . . .	301

B.6 WelleZ6 . . . . . 332

# Tabellenverzeichnis

3.1	Untersuchte Varianten . . . . .	16
3.2	Lösungen: Anzahl und Wirkungsgrad . . . . .	25
3.3	Lösungen: Leistung, $n_{E1}$ und $(n_{E1}$ für $n_F = 0)/n_{E1}$ . . . . .	26
4.1	Gewählte Zähnezahlen . . . . .	28
4.2	Vorausgesagte Drehzahlen und Drehmomente . . . . .	29
4.3	KISSsys Settings . . . . .	38
4.4	Sicherheiten und Überdeckung der Planetenstufe . . . . .	41
4.5	Sicherheiten und Überdeckung Stufe Z1Z2 und Z3Z4 . . . . .	43
4.6	Sicherheiten und Überdeckung Stufe Z5Z6 . . . . .	44

# MATLAB Codes

3.1	MATLAB: Definition der Konstanten und Startwerte . . . . .	17
3.2	MATLAB: Variation der Stirnräder . . . . .	18
3.3	MATLAB: Variation des Planetengetriebe . . . . .	18
3.4	MATLAB: Überprüfung der Drehzahlen und Leistung . . . . .	19
3.5	MATLAB: Berechnung der Drehzahlen und freien Drehzahlverhältnisse . . .	20
3.6	MATLAB: Überprüfung der Gesamtleistungswelle und Berechnung des Um- laufwirkungsgrades . . . . .	20
3.7	MATLAB: Berechnung von Drehmomenten und Leistungen der Motoren . .	21
3.9	MATLAB: Schreiben der Lösung ins Lösungsarray . . . . .	22
3.10	MATLAB: Speichern der Lösungen in einer Exceltabelle . . . . .	23

# Literaturverzeichnis

- [1] Ringspann GmbH. Katalog: Freiläufe, 2015. URL: <http://www.ringspann.de/de/files/P84-D-140401-237.pdf> [cited 09-05-2016].
- [2] EASA European Aviation Safety Agency. Certification specifications for small rotorcraft cs-27 amendment 3, 2012. URL: <https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/CS-27%20Amendment%203.pdf> [cited 07-05-2016].
- [3] EASA European Aviation Safety Agency. Certification specifications for large rotorcraft cs-29 amendment 3, 2012. URL: <https://easa.europa.eu/system/files/dfu/CS-29%20Amendment%203.pdf> [cited 07-05-2016].
- [4] Helmut Krieger. *Alterung von Schmierstoffen im Zahnradprüfstand und in Praxisgeräten*. PhD thesis, Technische Universität München, 2004.
- [5] Herbert W. Müller. *Die Umlaufgetriebe: Auslegung und vielseitige Anwendungen*. Springer Berlin, Heidelberg, 1998.
- [6] Berthold Schlecht. *Maschinenelemente 2: Getriebe - Verzahnungen - Lagerungen*. Pearson Studium, 2010.
- [7] Johannes Looman. *Zahnradgetriebe Grundlagen, Konstruktion, Anwendungen in Fahrzeugen*. Springer, dritte auflage edition, 1996.
- [8] Magtrol. Datenblatt tmhs 315 stand 02/2016, 02 2016. URL: [http://www.magtrol.de/datenblatter/tm314-317\\_de.pdf](http://www.magtrol.de/datenblatter/tm314-317_de.pdf) [cited 15-02-2016].
- [9] Magtrol. Drehmomentaufnehmer, 02 2016. URL: <http://www.magtrol.de/drehmomentaufnehmer/drehmomentmesswellen.html> [cited 15-02-2016].

# Anhang A

## MATLAB Berechnung der Zähnezahlen

Hier sind für die in Kapitel 3 beschriebene Berechnung möglicher Zähnezahlkombinationen für das Modell in Matlab.

### A.1 Planetengetriebe Variante 1

Code A.1: MATLAB:PG Var 1

```
%% PG_Var1 Freilauf-Steg, z4-2, E1-1
clear;
close all;
format long;
Ber='PG_Var1'
% DEFINITION DER KONSTANTEN, KOEFFIZIENTEN UND STARTWERTE
count=1; %Counter für Berechnung
nF=7200; %Drehzahl des Freilaufs
MF=-1006; %Moment am Freilauf
etaSR=0.99; %Wirkungsgrad der Stirnradstufen
etaPG12=0.985; %Wirkungsgrad des Planetengetriebes
etaPG21=0.985;
```

```

lsg=zeros(300000,25);

for a=45:120 %Schleife für die Gesamtzähnezahl in einer Stirnradstufe
for b=15:(a-15) %Schleife für die Aufteilung z1z2
for c=15:(a-15) %Schleife für die Aufteilung z3z4

zSR1=a-b;
zSR2=b;
zSR3=a-c;
zSR4=c;

for z1 = 16:152 %Schleife für Zähnezahl Sonne
for zp = 15:82 %Schleife für Zähnezahl Planet

z2=-(z1+2*zp);
z1z2=abs(z1)+abs(z2);

if mod(z1z2,3) == 0 %Überprüfung Teilung PGS
if mod(z1,3) ~=0 % Zur Sicherstellung dass die Planeten nicht
% zugleich mit dem Sonnen- und Hohlrad in Eingriff kommen
i12=z2/z1; %kleiner -1

if abs((-nF*zSR2/zSR1)) > 2400 %Grenzen des Drehzahlbereichs für E2
if abs((-nF*zSR2/zSR1)) < 3000

%Sicherstellung der Mindestdrehzahl für E1
if abs((1-i12)*nF+i12*nF*((zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4))) > 50
%Überprüfung der benötigten Leistung der Motoren
if abs(((1-i12)+i12*((zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4)))*(1/(i12-1))) < 0.02

%Drehzahlen
nE2=-nF*(zSR2/zSR1); %Drehzahl der Welle z1z3-E2
ns=nF; %Drehzahl Steg
nSR4=nF*((zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4)); %Drehzahl z4
n2=nSR4; %Drehzahl Hohlrad
n1=(i12*n2+(1-i12)*ns); %Drehzahl Sonne

```

```

%Freie Drehzahlverhältnisse
k1s=n1/ns;
k12=n1/n2;
k2s=n2/ns;

if k12>0 %Sicherstellung s->GLW nach Müller Umlaufgetriebe Arbeitsblatt 3
if k12>1
%Fall H nach Müller Umlaufgetriebe Arbeitsblatt 3
w=+1;
etaw10=etaPG12;
etaPG=((k12-i12)*(1-i12*etaPG12))/((k12-i12*etaPG12)*(1-i12));
else
%Fall F nach Müller Umlaufgetriebe Arbeitsblatt 3
w=-1;
etaw10=1/etaPG21;
etaPG=((k12-i12)*(etaPG21-i12))/((k12*etaPG21-i12)*(1-i12));
end

nE1=n1;
Ms=MF;

%Berechnung der Moment mit Berücksichtigung der Wirkungsgrade
M1=(Ms/(i12*etaw10-1));
ME1=M1;
M2=Ms/(1/(i12*etaw10)-1);
Mz3=M2*(zSR3/zSR4)/etaSR;
Mz1=MF*(zSR1/zSR2)*etaSR;
ME2=-Mz1-Mz3;

%Berechnung der Motorleistungen
PE1=2*pi/60*nE1*ME1/1000;
PE2=2*pi/60*nE2*ME2/1000;
PGes=PE1+PE2;

ns1E=-n2*i12/(1-i12); %ns wenn E1 stillsteht
ns2E=n1/(1-i12); %ns wenn E2 stillsteht

```

```
n1s0=i12*n2; %n1 damit ns=0

VzSR=(zSR2*zSR3/(zSR1*zSR4)); %Verhältnis der Stirnräder

%Speichern der jeweiligen Lösung
count2=1;
lsg(count,count2)=nF;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=MF;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=a;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR3;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR4;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=VzSR;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=z2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=z1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=i12;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=n2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=n1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=ns;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=ME1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=PE1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=nE2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=ns1E;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=ns2E;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=n1s0;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=etaPG;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=ME2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=PE2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=PGes;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=n1s0/n1;count2=count2+1;

count=count+1;

end
end
end
end
```

```

end
end
end
end
end
end
end
end

lsg(count:300000,:)=[];

filename = 'Berechnung.xlsx';

header = {'nF','MF','a','zSR1','zSR2','zSR3','zSR4','VzSR','z2','z1',...
          'i12','n2=nSR4','n1=nE1','ns=nF','ME1','PE1','nE2','nF nE1=0','nF ...
          nE2=0',...
          'nE1 damit nF=0','etaPG','ME2','PE2','PGes','(nE1 damit nF=0)/nE1'};
xlswrite(filename,header,'PG_Var1');
xlswrite(filename,lsg,'PG_Var1','A2');

```

## A.2 Planetengetriebe Variante 2

Code A.2: MATLAB:PG Var 2

```

%% PG_Var2 Freilauf-1, z4-Steg, E1-2
clear;
close all;
format long;
Ber='PG_Var2'
% DEFINITION DER KONSTANTEN, KOEFFIZIENTEN UND STARTWERTE
count=1; %Counter für Berechnung
nF=7200; %Drehzahl des Freilaufs
MF=-1006; %Moment am Freilauf
etaSR=0.99; %Wirkungsgrad der Stirnradstufen

```

```

etaPG12=0.985; %Wirkungsgrad des Planetengetriebes
etaPG21=0.985;
count3=1;
lsg=zeros(300000,25);

for a=100:120 %Schleife für die Gesamtzähnezahl in einer Stirnradstufe
for b=15:(a-15) %Schleife für die Aufteilung z1z2
for c=15:(a-15) %Schleife für die Aufteilung z3z4

zSR1=a-b;
zSR2=b;
zSR3=a-c;
zSR4=c;

for z1 = 16:152 %Schleife für Zähnezahl Sonne
for zp = 15:82%Schleife für Zähnezahl Planet

z2=-(z1+2*zp);
z1z2=abs(z1)+abs(z2);

if mod(z1z2,3) == 0 %Überprüfung Teilung PGS
if mod(z1,3) ~=0 % Zur Sicherstellung dass die Planeten nicht zugleich ...
    mit dem Sonnen und Hohlrad in Eingriff kommen
i12=z2/z1; %kleiner -1
if abs((-nF*zSR2/zSR1)) > 2400 %Grenzen des Drehzahlbereichs für E2
if abs((-nF*zSR2/zSR1)) < 3000
if abs((nF-(1-i12)*nF*(zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4))/i12) > 50 %Sicherstellung ...
    der Mindestdrehzahl für E1
if abs(((nF-(1-i12)*nF*(zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4))/i12)/nF*(-i12)) < ...
    0.02%Überprüfung der benötigten Leistung der Motoren
%Drehzahlen
nE2=-nF*(zSR2/zSR1); %Drehzahl der Welle z1z3-E2
n1=nF; %Drehzahl Sonne
nSR4=nF*((zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4)); %Drehzahl z4
ns=nSR4; %Drehzahl Steg
n2=(n1-(1-i12)*ns)/i12; %Drehzahl Hohlrad
%Freie Drehzahlverhältnisse

```

```

k1s=n1/ns;
k12=n1/n2;
k2s=n2/ns;
count3=count3+1;
if k12<i12 %Sicherstellung 1->GLW nach Müller Umlaufgetriebe ...
    Arbeitsblatt 3
%Fall B nach Müller Umlaufgetriebe Arbeitsblatt 3
w=-1;
etaw10=1/etaPG21;
etaPG=( (k12*etaPG21*(1-i12)) / (etaPG21*(k12-i12)+i12*(1-k12)) );

nE1=n2;
M1=MF;
%Berechnung der Moment mit Berücksichtigung der Wirkungsgrade
M2=-i12*etaw10*M1;
ME1=M2;
Ms=(i12*etaw10-1)*M1;
Mz3=Ms*(zSR3/zSR4)/etaSR;
Mz1=MF*(zSR1/zSR2)*etaSR;
ME2=-Mz1-Mz3;
%Berechnung der Motorleistungen
PE1=2*pi/60*nE1*ME1/1000;
PE2=2*pi/60*nE2*ME2/1000;
PGes=PE1+PE2;

n11E=(1-i12)*ns; %n1 wenn E1 stillsteht
n12E=i12*n2; %n1 wenn E2 stillsteht
n210=-(1-i12)*ns/i12; %n2 damit n1=0

VzSR=(zSR2*zSR3/(zSR1*zSR4)); %Verhältnis der Stirnräder

%Speichern der jeweiligen Lösung
count2=1;
lsg(count,count2)=nF;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=MF;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=a;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR1;count2=count2+1;

```



```
header = {'nF', 'MF', 'a', 'zSR1', 'zSR2', 'zSR3', 'zSR4', 'VzSR', 'z2', 'z1', 'i12',
'n2=nE1', 'n1=nF', 'ns=nSR4', 'ME1', 'PE1', 'nE2', 'nF nE1=0', 'nF nE2=0',
'nE1 damit nF=0', 'etaPG', 'ME2', 'PE2', 'PGes', '(nE1 damit nF=0)/nE1'};
xlswrite(filename, header, 'PG_Var2');
xlswrite(filename, lsg, 'PG_Var2', 'A2');
```

### A.3 Planetengetriebe Variante 3

Code A.3: MATLAB:PG Var 3

```
%% PG_Var3 Freilauf-1, z4-2, E1-Steg
clear;
close all;
format long;
Ber='PG_Var3'
% DEFINITION DER KONSTANTEN, KOEFFIZIENTEN UND STARTWERTE
count=1; %Counter für Berechnung
nF=7200; %Drehzahl des Freilaufs
MF=-1006; %Moment am Freilauf
etaSR=0.99; %Wirkungsgrad der Stirnradstufen
etaPG12=0.985; %Wirkungsgrad des Planetengetriebes
etaPG21=0.985;

lsg=zeros(300000,26);

for a=45:120 %Schleife für die Gesamtzähnezahl in einer Stirnradstufe
for b=15:(a-15) %Schleife für die Aufteilung z1z2
for c=15:(a-15) %Schleife für die Aufteilung z3z4
for d=13:18

zSR1=a-b;
zSR2=b;
zSR3=a-c-d;
zSR4=c;
```

```

zzd=d;

for z1 = 16:152 %Schleife für Zähnezahl Sonne
for zp = 15:82 %Schleife für Zähnezahl Planet

z2=-(z1+2*zp);
z1z2=abs(z1)+abs(z2);

if mod(z1z2,3) == 0 %Überprüfung Teilung PGS
if mod(z1,3) ~=0 % Zur Sicherstellung dass die Planeten nicht zugleich ...
    mit dem Sonnen und Hohlrad in Eingriff kommen
i12=z2/z1; %kleiner -1
if abs((-nF*zSR2/zSR1)) > 2400 %Grenzen des Drehzahlbereichs für E2
if abs((-nF*zSR2/zSR1)) < 3000
if abs((nF+i12*nF*(zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4))/(1-i12)) > 50 %Sicherstellung ...
    der Mindestdrehzahl für E1
if abs(((nF+i12*nF*(zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4))/(1-i12))/nF*(i12-1)) < 0.02
%Drehzahlen
nE2=-nF*(zSR2/zSR1); %Drehzahl der Welle z1z3-E2
n1=nF; %Drehzahl Sonne
nSR4=-nF*((zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4)); %Drehzahl z4
n2=nSR4; %Drehzahl Hohlrad
ns=(n1-i12*n2)/(1-i12); %Drehzahl Steg
%Freie Drehzahlverhältnisse
k1s=n1/ns;
k12=n1/n2;
k2s=n2/ns;

if k12<i12 %Sicherstellung 1->GLW nach Müller Umlaufgetriebe ...
    Arbeitsblatt 3
%Fall B nach Müller Umlaufgetriebe Arbeitsblatt 3

w=-1;
etaw10=1/etaPG21;
etaPG=((k12*etaPG21*(1-i12))/(etaPG21*(k12-i12)+i12*(1-k12)));

nE1=ns;

```

```

M1=MF;
%Berechnung der Moment mit Berücksichtigung der Wirkungsgrade
Ms=(i12*etaw10-1)*M1;
ME1=Ms;
M2=(-i12*etaw10)*M1;
Mz3=-M2*(zSR3/zSR4)/etaSR;
Mz1=MF*(zSR1/zSR2)*etaSR;
ME2=-Mz1-Mz3;
%Berechnung der Motorleistungen
PE1=2*pi/60*nE1*ME1/1000;
PE2=2*pi/60*nE2*ME2/1000;
PGes=PE1+PE2;

n11E=i12*n2; %n1 wenn E1 stillsteht
n12E=(1-i12)*ns; %n1 wenn E2 stillsteht
ns10=-i12*n2/(1-i12); %ns damit n1=0

VzSR=(zSR2*zSR3/(zSR1*zSR4)); %Verhältnis der Stirnräder

%Speichern der jeweiligen Lösung
count2=1;
lsg(count,count2)=nF;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=MF;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=a;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR3;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR4;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zsd;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=VzSR;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=z2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=z1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=i12;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=n2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=n1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=ns;count2=count2+1;

```



## A.4 Planetengetriebe Variante 4

Code A.4: MATLAB:PG Var 4

```
% PG_Var4 Freilauf-2, z4-Steg, E1-1
clear;
close all;
format long;
Ber='PG_Var4'
% DEFINITION DER KONSTANTEN, KOEFFIZIENTEN UND STARTWERTE
count=1; %Counter für Berechnung
nF=7200; %Drehzahl des Freilaufs
MF=-1006; %Moment am Freilauf
etaSR=0.99; %Wirkungsgrad der Stirnradstufen
etaPG12=0.985; %Wirkungsgrad des Planetengetriebes
etaPG21=0.985;

lsg=zeros(300000,25);

for a=45:120 %Schleife für die Gesamtzähnezahl in einer Stirnradstufe
for b=15:(a-15) %Schleife für die Aufteilung z1z2
for c=15:(a-15) %Schleife für die Aufteilung z3z4

zSR1=a-b;
zSR2=b;
zSR3=a-c;
zSR4=c;

for z1 = 16:152 %Schleife für Zähnezahl Sonne
for zp = 15:82 %Schleife für Zähnezahl Planet

z2=-(z1+2*zp);
z1z2=abs(z1)+abs(z2);

if mod(z1z2,3) == 0 %Überprüfung Teilung PGS
```

```

if mod(z1,3) ~=0 % Zur Sicherstellung dass die Planeten nicht zugleich ...
    mit dem Sonnen und Hohlrad in Eingriff kommen
i12=z2/z1; %kleiner -1
if abs((-nF*zSR2/zSR1)) > 2400 %Grenzen des Drehzahlbereichs für E2
if abs((-nF*zSR2/zSR1)) < 3000
if abs(i12*nF+(1-i12)*nF*((zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4))) > 50 %Sicherstellung ...
    der Mindestdrehzahl für E1
if abs((i12*nF+(1-i12)*nF*((zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4)))/nF*(1/(-i12))) < ...
    0.02 %Überprüfung der benötigten Leistung der Motoren
%Drehzahlen
nE2=-nF*(zSR2/zSR1); %Drehzahl der Welle z1z3-E2
n2=nF; %Drehzahl Hohlrad
nSR4=nF*((zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4)); %Drehzahl z4
ns=nSR4; %Drehzahl Steg
n1=(i12*nF+(1-i12)*ns); %Drehzahl Sonne
%Freie Drehzahlverhältnisse
k1s=n1/ns;
k12=n1/n2;
k2s=n2/ns;

if k1s<0 %Sicherstellung 2->GLW nach Müller Umlaufgetriebe Arbeitsblatt 3
%Fall D nach Müller Umlaufgetriebe Arbeitsblatt 3
w=1;
etaw10=etaPG12;
etaPG=(etaPG12*(1-i12))/(etaPG12*(k12-i12)+1-k12);

nE1=n1;
M2=MF;
%Berechnung der Moment mit Berücksichtigung der Wirkungsgrade
M1=M2/(-i12*etaw10);
ME1=M1;
Ms=(1/(i12*etaw10)-1)*M2;
Mz3=Ms*(zSR3/zSR4)/etaSR;
Mz1=MF*(zSR1/zSR2)*etaSR;
ME2=-Mz1-Mz3;
%Berechnung der Motorleistungen
PE1=2*pi/60*nE1*ME1/1000;

```

```
PE2=2*pi/60*nE2*ME2/1000;
PGes=PE1+PE2;

n21E=-ns*(1-i12)/i12; %n2 wenn E1 stillsteht
n22E=n1/i12; %n2 wenn E2 stillsteht
n120=(1-i12)*ns; %n1 damit n2=0

VzSR=(zSR2*zSR3/(zSR1*zSR4)); %Verhältnis der Stirnräder

%Speichern der jeweiligen Lösung
count2=1;
lsg(count, count2)=nF; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=MF; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=a; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=zSR1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=zSR2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=zSR3; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=zSR4; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=VzSR; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=z2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=z1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=i12; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ns; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ME1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=PE1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=nE2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n21E; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n22E; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n120; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=etaPG; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ME2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=PE2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=PGes; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n120/n1; count2=count2+1;
```

```
count=count+1;
end
lsg(count:300000,:)=[];
filename = 'Berechnung.xlsx';

header = {'nF','MF','a','zSR1','zSR2','zSR3','zSR4','VzSR','z2','z1','i12',
'n2=nF','n1=nE1','ns=nSR4','ME1','PE1','nE2','nF nE1=0','nF nE2=0',
'nE1 damit nF=0','etaPG','ME2','PE2','PGes','(nE1 damit nF=0)/nE1'};
xlswrite(filename,header,'PG_Var4');
xlswrite(filename,lsg,'PG_Var4','A2');

%
```

## A.5 Cyclogetriebe Variante 1

Code A.5: MATLAB:Cyclo Var 1

```
%% Cyclo_Var1 Freilauf-Steg, z4-1, E1-2
clear;
close all;
format long;
Ber='Cyclo_Var1'
% DEFINITION DER KONSTANTEN, KOEFFIZIENTEN UND STARTWERTE
```

```

count=1; %Counter für Berechnung
nF=7200; %Drehzahl des Freilaufs
MF=-1006; %Moment am Freilauf
etaSR=0.99; %Wirkungsgrad der Stirnradstufen

etas2=0.85;

lsg=zeros(300000,25);

for a=45:120 %Schleife für die Gesamtzähnezahl in einer Stirnradstufe
for b=15:(a-15) %Schleife für die Aufteilung z1z2
for c=15:(a-15) %Schleife für die Aufteilung z3z4

zSR1=a-b;
zSR2=b;
zSR3=a-c;
zSR4=c;

for z2 = 6:179 %Schleife für den Planet mit Zycloidverzahnung
z1=-z2-1;
i12=-z2/z1; %zwischen 0 und 1

etaPG12=-etas2/(i12*(1-etas2)-1);
etaPG21=etaPG12;

if abs((-nF*zSR2/zSR1)) > 2400 %Grenzen des Drehzahlbereichs für E2
if abs((-nF*zSR2/zSR1)) < 3000
if abs((nF*(zSR2*zSR3/(zSR1*zSR4))-((1-i12)*nF))/i12) > 50 ...
    %Sicherstellung der Mindestdrehzahl für E1
if ...
    abs((((nF*(zSR2*zSR3/(zSR1*zSR4))-((1-i12)*nF))/i12)/nF)*(1/((1/i12)-1))) ...
    < 0.1 %Überprüfung der benötigten Leistung der Motoren
%Drehzahlen
nE2=-nF*(zSR2/zSR1); %Drehzahl der Welle z1z3-E2
ns=nF; %Drehzahl "Steg"
nSR4=nF*((zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4)); %Drehzahl z4
n1=nSR4; %Drehzahl "Hohlrad"

```

```

n2=(n1-(1-i12)*ns)/(i12); %Drehzahl "Planet"
%Freie Drehzahlverhältnisse
k1s=n1/ns;
k12=n1/n2;
k2s=n2/ns;

if k12<0 %Sicherstellung s->GLW nach Müller Umlaufgetriebe Arbeitsblatt 3
%Fall F nach Müller Umlaufgetriebe Arbeitsblatt 3
w=-1;
etaw10=1/etaPG21;
etaPG=((k12-i12)*(etaPG21-i12))/((k12*etaPG21-i12)*(1-i12));

nE1=n2;
Ms=MF;
%Berechnung der Moment mit Berücksichtigung der Wirkungsgrade
M1=(Ms/(i12*etaw10-1));
M2=Ms/(1/(i12*etaw10)-1);
ME1=M2;
Mz3=M1*(zSR3/zSR4)/etaSR;
Mz1=MF*(zSR1/zSR2)*etaSR;
ME2=-Mz1-Mz3;

%Berechnung der Motorleistungen
PE1=2*pi/60*nE1*ME1/1000;
PE2=2*pi/60*nE2*ME2/1000;
PGes=PE1+PE2;

ns1E=n1/(1-i12); %ns wenn E1 stillsteht
ns2E=-n2*i12/(1-i12); %ns wenn E2 stillsteht
n2s0=n1/i12; %n2 damit ns=0

VzSR=(zSR2*zSR3/(zSR1*zSR4)); %Verhältnis der Stirnräder

%Speichern der jeweiligen Lösung
count2=1;
lsg(count,count2)=nF;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=MF;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=a;count2=count2+1;

```

```
lsg(count, count2)=zSR1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=zSR2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=zSR3; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=zSR4; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=VzSR; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=z2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=z1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=i12; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ns; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ME1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=PE1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=nE2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ns1E; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ns2E; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n2s0; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=etaPG; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ME2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=PE2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=PGes; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n2s0/n2; count2=count2+1;

count=count+1;
end
lsg(count:300000, :)=[];
filename = 'Berechnung.xlsx';

header = {'nF', 'MF', 'a', 'zSR1', 'zSR2', 'zSR3', 'zSR4', 'VzSR', 'z2', 'z1', 'i12',
```

```
'n2=nE1', 'n1=nSR4', 'ns=nF', 'ME1', 'PE1', 'nE2', 'nF nE1=0', 'nF nE2=0',
'nE1 damit nF=0', 'etaCyc', 'ME2', 'PE2', 'PGes', '(nE1 damit nF=0)/nE1');
xlswrite(filename,header,'Cyc_Var1');
xlswrite(filename,lsg,'Cyc_Var1','A2');
```

## A.6 Cyclogetriebe Variante 2

Code A.6: MATLAB:Cyclo Var 2

```
%% Cyclo_Var2 Freilauf-2, z4-1, E1-Steg
clear;
close all;
format long;
Ber='Cyclo_Var2'
% DEFINITION DER KONSTANTEN, KOEFFIZIENTEN UND STARTWERTE
count=1; %Counter für Berechnung
nF=7200; %Drehzahl des Freilaufs
MF=-1006; %Moment am Freilauf
etaSR=0.99; %Wirkungsgrad der Stirnradstufen

etas2=0.85;

lsg=zeros(300000,25);

for a=45:120 %Schleife für die Gesamtzähnezahl in einer Stirnradstufe
for b=15:(a-15) %Schleife für die Aufteilung z1z2
for c=15:(a-15) %Schleife für die Aufteilung z3z4

zSR1=a-b;
zSR2=b;
zSR3=a-c;
zSR4=c;

for z2 = 6:179 %Schleife für den Planet mit Zycloidverzahnung
```

```

z1=-z2-1;
i12=-z2/z1; %zwischen 0 und 1

etaPG12=-etas2/(i12*(1-etas2)-1);
etaPG21=etaPG12;

if abs((-nF*zSR2/zSR1)) > 2400 %Grenzen des Drehzahlbereichs für E2
if abs((-nF*zSR2/zSR1)) < 3000
if abs((nF*(zSR2*zSR3/(zSR1*zSR4))-((i12)*nF))/(1-i12)) > 50 ...
    %Sicherstellung der Mindestdrehzahl für E1
if ...
    abs(((nF*(zSR2*zSR3/(zSR1*zSR4))-((i12)*nF))/(1-i12))/nF*((1/(i12))-1)) ...
    < 0.02 %Überprüfung der benötigten Leistung der Motoren
%Drehzahlen
nE2=-nF*(zSR2/zSR1); %Drehzahl der Welle z1z3-E2
n2=nF; %Drehzahl "Planet"
nSR4=nF*((zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4)); %Drehzahl z4
n1=nSR4; %Drehzahl "Hohlrad"
ns=(n1-i12*n2)/(1-i12); %Drehzahl "Steg"
%Freie Drehzahlverhältnisse
k1s=n1/ns;
k12=n1/n2;
k2s=n2/ns;

if k1s<0 %Sicherstellung 2->GLW nach Müller Umlaufgetriebe Arbeitsblatt 3
%Fall D
w=+1;
etaw10=etaPG12;
etaPG=(etaPG12*(1-i12))/(etaPG12*(k12-i12)+1-k12);

nE1=ns;
M2=MF;
%Berechnung der Moment mit Berücksichtigung der Wirkungsgrade
M1=(M2/(-i12*etaw10));
Ms=M2*((1/(i12*etaw10))-1);
ME1=Ms;
Mz3=M1*(zSR3/zSR4)/etaSR;

```

```

Mz1=MF*(zSR1/zSR2)*etaSR;
ME2=-Mz1-Mz3;
%Berechnung der Motorleistungen
PE1=2*pi/60*nE1*ME1/1000;
PE2=2*pi/60*nE2*ME2/1000;
PGes=PE1+PE2;

n21E=n1/i12; %n2 wenn E1 stillsteht
n22E=-ns*(1-i12)/i12; %n2 wenn E2 stillsteht
ns20=n1/(1-i12); %ns damit n2=0

VzSR=(zSR2*zSR3/(zSR1*zSR4)); %Verhältnis der Stirnräder

%Speichern der jeweiligen Lösung
count2=1;
lsg(count, count2)=nF; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=MF; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=a; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=zSR1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=zSR2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=zSR3; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=zSR4; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=VzSR; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=z2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=z1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=i12; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ns; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ME1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=PE1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=nE2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n21E; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n22E; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ns20; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=etaPG; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ME2; count2=count2+1;

```

```

lsg(count, count2)=PE2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=PGes; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ns20/ns; count2=count2+1;

count=count+1;
end
lsg(count:300000, :)=[];
filename = 'Berechnung.xlsx';

header = {'nF', 'MF', 'a', 'zSR1', 'zSR2', 'zSR3', 'zSR4', 'VzSR', 'z2', 'z1', 'i12',
'n2=nF', 'n1=nSR4', 'ns=nE1', 'ME1', 'PE1', 'nE2', 'nF nE1=0', 'nF nE2=0',
'nE1 damit nF=0', 'etaCyc', 'ME2', 'PE2', 'PGes', '(nE1 damit nF=0)/nE1'};
xlswrite(filename, header, 'Cyc_Var2');
xlswrite(filename, lsg, 'Cyc_Var2', 'A2');

```

## A.7 Cyclogetriebe Variante 3

Code A.7: MATLAB:Cyclo Var 3

```

%% Cyclo_Var3 Freilauf-1, z4-2, E1-Steg
clear;
close all;
format long;
Ber='Cyclo_Var3'
% DEFINITION DER KONSTANTEN, KOEFFIZIENTEN UND STARTWERTE
count=1; %Counter für Berechnung

```

```

nF=7200; %Drehzahl des Freilaufs
MF=-1006; %Moment am Freilauf
etaSR=0.99; %Wirkungsgrad der Stirnradstufen

etas2=0.85;

lsg=zeros(300000,25);

for a=45:120 %Schleife für die Gesamtzähnezahl in einer Stirnradstufe
for b=15:(a-15) %Schleife für die Aufteilung z1z2
for c=15:(a-15) %Schleife für die Aufteilung z3z4

zSR1=a-b;
zSR2=b;
zSR3=a-c;
zSR4=c;

for z2 = 6:179 %Schleife für den Planet mit Zycloidverzahnung
z1=-z2-1;
i12=-z2/z1; %zwischen 0 und 1

etaPG12=-etas2/(i12*(1-etas2)-1);
etaPG21=etaPG12;

if abs((-nF*zSR2/zSR1)) > 2400 %Grenzen des Drehzahlbereichs für E2
if abs((-nF*zSR2/zSR1)) < 3000
if abs((nF-i12*nF*(zSR2*zSR3/(zSR1*zSR4)))/(1-i12)) > 50 %Sicherstellung ...
    der Mindestdrehzahl für E1
if abs(((nF-i12*nF*(zSR2*zSR3/(zSR1*zSR4)))/(1-i12))/nF*(i12-1)) < 0.02 ...
    %Überprüfung der benötigten Leistung der Motoren
%Drehzahlen
nE2=-nF*(zSR2/zSR1); %Drehzahl der Welle z1z3-E2
n1=nF; %Drehzahl "Hohlrad"
nSR4=nF*((zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4)); %Drehzahl z4
n2=nSR4; %Drehzahl "Planet"
ns=(n1-i12*n2)/(1-i12); %Drehzahl Steg
%Freie Drehzahlverhältnisse

```

```

k1s=n1/ns;
k12=n1/n2;
k2s=n2/ns;

if k2s>0 %Sicherstellung 1->GLW nach Müller Umlaufgetriebe Arbeitsblatt 3
if k12>1
%Fall K nach Müller Umlaufgetriebe Arbeitsblatt 3
w=+1;
etaw10=etaPG12;
etaPG=(k12*(1-i12))/(k12-i12+i12*etaPG12*(1-k12));
else
%Fall B nach Müller Umlaufgetriebe Arbeitsblatt 3
w=-1;
etaw10=1/etaPG21;
etaPG=(k12*etaPG21*(1-i12))/(etaPG21*(k12-i12)+i12*(1-k12));
end
if etaPG==1
etaw10=1;
end
nE1=ns;
M1=MF;
%Berechnung der Moment mit Berücksichtigung der Wirkungsgrade
M2=M1*(-i12*etaw10);
Ms=M1*(i12*etaw10-1);
ME1=Ms;
Mz3=M2*(zSR3/zSR4)/etaSR;
Mz1=MF*(zSR1/zSR2)*etaSR;
ME2=-Mz1-Mz3;
%Berechnung der Motorleistungen
PE1=2*pi/60*nE1*ME1/1000;
PE2=2*pi/60*nE2*ME2/1000;
PGes=PE1+PE2;

n11E=n2*i12; %n1 wenn E1 stillsteht
n12E=ns*(1-i12); %n2 wenn E2 stillsteht
ns10=-i12*n2/(1-i12); %ns damit n1=0

```

```
VzSR=(zSR2*zSR3/(zSR1*zSR4)); %Verhältnis der Stirnräder

%Speichern der jeweiligen Lösung
count2=1;
lsg(count,count2)=nF;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=MF;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=a;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR3;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR4;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=VzSR;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=z2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=z1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=i12;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=n2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=n1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=ns;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=ME1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=PE1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=nE2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=n11E;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=n12E;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=ns10;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=etaPG;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=ME2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=PE2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=PGes;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=ns10/ns;count2=count2+1;

count=count+1;
end
end
end
end
end
end
```

```

end
end
end
lsg(count:300000,:)=[];
filename = 'Berechnung.xlsx';

header = {'nF', 'MF', 'a', 'zSR1', 'zSR2', 'zSR3', 'zSR4', 'VzSR', 'z2', 'z1', 'i12',
'n2=nSR4', 'n1=nF', 'ns=nE1', 'ME1', 'PE1', 'nE2', 'nF nE1=0', 'nF nE2=0',
'nE1 damit nF=0', 'etaCyc', 'ME2', 'PE2', 'PGes', '(nE1 damit nF=0)/nE1'};
xlswrite(filename,header,'Cyc_Var3');
xlswrite(filename,lsg,'Cyc_Var3','A2');

```

## A.8 Cyclogetriebe Variante 4

Code A.8: MATLAB:Cyclo Var 4

```

%% Cyclo_Var4 Freilauf-Steg, z4-2, E1-1
clear;
close all;
format long;
Ber='Cyclo_Var4'
% DEFINITION DER KONSTANTEN, KOEFFIZIENTEN UND STARTWERTE
count=1; %Counter für Berechnung
nF=7200; %Drehzahl des Freilaufs
MF=-1006; %Moment am Freilauf
etaSR=0.99; %Wirkungsgrad der Stirnradstufen

etas2=0.85;

lsg=zeros(300000,26);

for a=45:120 %Schleife für die Gesamtzähnezahl in einer Stirnradstufe
for b=15:(a-15) %Schleife für die Aufteilung z1z2
for c=15:(a-15) %Schleife für die Aufteilung z3z4

```

```

for d=13:18
zSR1=a-b;
zSR2=b;
zSR3=a-c-d;
zSR4=c;
zsd=d;

for z2 = 6:179 %Schleife für den Planet mit Zycloidverzahnung
z1=-z2-1;
i12=-z2/z1; %zwischen 0 und 1

etaPG12=-etas2/(i12*(1-etas2)-1);
etaPG21=etaPG12;

if abs((-nF*zSR2/zSR1)) > 2400 %Grenzen des Drehzahlbereichs für E2
if abs((-nF*zSR2/zSR1)) < 3000

if abs(i12*(-nF*(zSR2*zSR3/(zSR1*zSR4)))+(1-i12)*nF) > 50 %Sicherstellung ...
    der Mindestdrehzahl für E1
if abs((i12*(-nF*(zSR2*zSR3/(zSR1*zSR4)))+(1-i12)*nF)/nF*(1/(i12-1))) < ...
    0.2 %Überprüfung der benötigten Leistung der Motoren

%Drehzahlen
nE2=-nF*(zSR2/zSR1); %Drehzahl der Welle z1z3-E2
ns=nF; %Dregzahl Steg
nSR4=-nF*((zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4)); %Drehzahl z4
n2=nSR4; %Drehzahl "Planet"
n1=i12*n2+(1-i12)*ns; %Drehzahl "Hohlrad"

%Freie Drehzahlverhältnisse
k1s=n1/ns;
k12=n1/n2;
k2s=n2/ns;

if k12<0 %Sicherstellung s->GLW nach Müller Umlaufgetriebe Arbeitsblatt 3
%Fall F nach Müller Umlaufgetriebe Arbeitsblatt 3
w=-1;

```

```

etaw10=1/etaPG21;
etaPG=((k12-i12)*(etaPG21-i12))/((k12*etaPG21-i12)*(1-i12));

nE1=n1;
Ms=MF;

%Berechnung der Moment mit Berücksichtigung der Wirkungsgrade
M1=Ms/(i12*etaw10-1);
M2=Ms/((1/(i12*etaw10))-1);
ME1=M1;
Mz3=-M2*(zSR3/zSR4)/(etaSR*etaSR);
Mz1=MF*(zSR1/zSR2)*etaSR;
ME2=-Mz1-Mz3;

%Berechnung der Motorleistungen
PE1=2*pi/60*nE1*ME1/1000;
PE2=2*pi/60*nE2*ME2/1000;
PGes=PE1+PE2;

ns1E=-i12*n2/(1-i12); %ns wenn E1 stillsteht
ns2E=n1/(1-i12); %ns wenn E2 stillsteht
n1s0=i12*n2; %n1 damit ns=0

VzSR=(zSR2*zSR3/(zSR1*zSR4)); %Verhältnis der Stirnräder

%Speichern der jeweiligen Lösung
count2=1;
lsg(count, count2)=nF; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=MF; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=a; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=zSR1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=zSR2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=zSR3; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=zSR4; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=zsd; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=VzSR; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=z2; count2=count2+1;

```

```

lsg(count, count2)=z1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=i12; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ns; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ME1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=PE1; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=nE2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ns1E; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ns2E; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n1s0; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=etaPG; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ME2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=PE2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=PGes; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=n1s0/n1; count2=count2+1;

count=count+1;
end

lsg(count:300000, :)=[];
filename = 'Berechnung.xlsx';

header = ...
    {'nF', 'MF', 'a', 'zSR1', 'zSR2', 'zSR3', 'zSR4', 'zSRd', 'VzSR', 'z2', 'z1', 'i12',
    'n2=nSR4', 'n1=nE1', 'ns=nF', 'ME1', 'PE1', 'nE2', 'nF nE1=0', 'nF nE2=0',
    'nE1 damit nF=0', 'etaCyc', 'ME2', 'PE2', 'PGes', '(nE1 damit nF=0)/nE1'};
xlswrite(filename, header, 'Cyc_Var4');

```

```
xlswrite(filename,lsg,'Cyc_Var4','A2');
```

## A.9 Planetengetriebe Variante 2 Erweitert

Code A.9: MATLAB:PG Var 2 Erweitert

```
%% PG_Var2 Freilauf-1, z4-Steg, E1-2
clear;
close all;
format long;
Ber='PG_Var2'
% DEFINITION DER KONSTANTEN, KOEFFIZIENTEN UND STARTWERTE
count=1; %Counter für Berechnung
nF=8520; %Drehzahl des Freilaufs
MF=-1006; %Moment am Freilauf
etaSR=0.99; %Wirkungsgrad der Stirnradstufen
etaPG12=0.985; %Wirkungsgrad des Planetengetriebes
etaPG21=0.985;
count3=1;
lsg=zeros(3000000,25);

for a=30:150 %Schleife für die Gesamtzähnezahl in einer Stirnradstufe
for b=16:(a-16) %Schleife für die Aufteilung z1z2
for c=16:(a-16) %Schleife für die Aufteilung z3z4

zSR1=a-b;
zSR2=b;
zSR3=a-c;
zSR4=c;

for z1 = 16:152 %Schleife für Zähnezahl Sonne
for zp = 15:82%Schleife für Zähnezahl Planet

z2=-(z1+2*zp);
```

```

z1z2=abs(z1)+abs(z2);

if mod(z1z2,3) == 0 %Überprüfung Teilung PGS
if mod(z1,3) ~=0 % Zur Sicherstellung dass die Planeten nicht zugleich ...
    mit dem Sonnen und Hohlrad in Eingriff kommen
i12=z2/z1; %kleiner -1

if abs((-nF*zSR2/zSR1)) < 3552
if abs((nF-(1-i12)*nF*(zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4))/i12) > 50 %Sicherstellung ...
    der Mindestdrehzahl für E1
if abs(((nF-(1-i12)*nF*(zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4))/i12)/nF*(-i12)) < ...
    0.05%Überprüfung der benötigten Leistung der Motoren
%Drehzahlen
nE2=-nF*(zSR2/zSR1); %Drehzahl der Welle z1z3-E2
n1=nF; %Drehzahl Sonne
nSR4=nF*((zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4)); %Drehzahl z4
ns=nSR4; %Drehzahl Steg
if abs(ns)<=2000
n2=(n1-(1-i12)*ns)/i12; %Drehzahl Hohlrad
%Freie Drehzahlverhältnisse
k1s=n1/ns;
k12=n1/n2;
k2s=n2/ns;
count3=count3+1;
if k12<i12 %Sicherstellung 1->GLW nach Müller Umlaufgetriebe ...
    Arbeitsblatt 3
%Fall B nach Müller Umlaufgetriebe Arbeitsblatt 3
w=-1;
etaw10=1/etaPG21;
etaPG=((k12*etaPG21*(1-i12))/(etaPG21*(k12-i12)+i12*(1-k12)));

nE1=n2;
M1=MF;
%Berechnung der Moment mit Berücksichtigung der Wirkungsgrade
M2=-i12*etaw10*M1;
ME1=M2;
Ms=(i12*etaw10-1)*M1;

```

```
Mz3=Ms*(zSR3/zSR4)/etaSR;
Mz1=MF*(zSR1/zSR2)*etaSR;
ME2=-Mz1-Mz3;
%Berechnung der Motorleistungen
PE1=2*pi/60*nE1*ME1/1000;
PE2=2*pi/60*nE2*ME2/1000;
PGes=PE1+PE2;

n11E=(1-i12)*ns; %n1 wenn E1 stillsteht
n12E=i12*n2; %n1 wenn E2 stillsteht
n210=-(1-i12)*ns/i12; %n2 damit n1=0

nprel=-z1/zp*(n1-ns);

if abs(nprel) < 5001

VzSR=(zSR2*zSR3/(zSR1*zSR4)); %Verhältnis der Stirnräder

%Speichern der jeweiligen Lösung
count2=1;
lsg(count,count2)=nF;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=MF;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=a;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR3;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR4;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=VzSR;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=z2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=z1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=i12;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=n2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=n1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=ns;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=ME1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=PE1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=nE2;count2=count2+1;
```



Code A.10: MATLAB:PG Var 3 Erweitert

```
% PG_Var3 Freilauf-1, z4-2, E1-Steg
clear;
close all;
format long;
Ber='PG_Var3'
% DEFINITION DER KONSTANTEN, KOEFFIZIENTEN UND STARTWERTE
count=1; %Counter für Berechnung
nF=8520; %Drehzahl des Freilaufs
MF=-1006; %Moment am Freilauf
etaSR=0.99; %Wirkungsgrad der Stirnradstufen
etaPG12=0.985; %Wirkungsgrad des Planetengetriebes
etaPG21=0.985;

lsg=zeros(3000000,26);

for a=30:120 %Schleife für die Gesamtzähnezahl in einer Stirnradstufe
for b=15:(a-15) %Schleife für die Aufteilung z1z2
for c=15:(a-15) %Schleife für die Aufteilung z3z4
for d=13:18

zSR1=a-b;
zSR2=b;
zSR3=a-c-d;
zSR4=c;
zzd=d;

for z1 = 16:152 %Schleife für Zähnezahl Sonne
for zp = 15:82 %Schleife für Zähnezahl Planet

z2=-(z1+2*zp);
z1z2=abs(z1)+abs(z2);

if mod(z1z2,3) == 0 %Überprüfung Teilung PGS
if mod(z1,3) ~=0 % Zur Sicherstellung dass die Planeten nicht zugleich ...
    mit dem Sonnen und Hohlrad in Eingriff kommen
i12=z2/z1; %kleiner -1
```

```

if abs((-nF*zSR2/zSR1)) < 3552
if abs((nF+i12*nF*(zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4))/(1-i12)) > 50 %Sicherstellung ...
    der Mindestdrehzahl für E1
if abs(((nF+i12*nF*(zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4))/(1-i12))/nF*(i12-1)) < 0.05
%Drehzahlen
nE2=-nF*(zSR2/zSR1); %Drehzahl der Welle z1z3-E2
n1=nF; %Drehzahl Sonne
nSR4=-nF*((zSR2*zSR3)/(zSR1*zSR4)); %Drehzahl z4
n2=nSR4; %Drehzahl Hohlrad

nprel=-z1/zp*(n1-ns);

if abs(n2)<2500

if abs(nprel) < 5001

ns=(n1-i12*n2)/(1-i12); %Drehzahl Steg
%Freie Drehzahlverhältnisse
k1s=n1/ns;
k12=n1/n2;
k2s=n2/ns;

if k12<i12 %Sicherstellung 1->GLW nach Müller Umlaufgetriebe ...
    Arbeitsblatt 3
%Fall B nach Müller Umlaufgetriebe Arbeitsblatt 3

w=-1;
etaw10=1/etaPG21;
etaPG=((k12*etaPG21*(1-i12))/(etaPG21*(k12-i12)+i12*(1-k12)));

nE1=ns;
M1=MF;
%Berechnung der Moment mit Berücksichtigung der Wirkungsgrade
Ms=(i12*etaw10-1)*M1;
ME1=Ms;
M2=(-i12*etaw10)*M1;

```

```

Mz3=-M2*(zSR3/zSR4)/etaSR;
Mz1=MF*(zSR1/zSR2)*etaSR;
ME2=-Mz1-Mz3;
%Berechnung der Motorleistungen
PE1=2*pi/60*nE1*ME1/1000;
PE2=2*pi/60*nE2*ME2/1000;
PGes=PE1+PE2;

if abs(PE1)<30
n11E=i12*n2; %n1 wenn E1 stillsteht
n12E=(1-i12)*ns; %n1 wenn E2 stillsteht
ns10=-i12*n2/(1-i12); %ns damit n1=0

VzSR=(zSR2*zSR3/(zSR1*zSR4)); %Verhältnis der Stirnräder

%Speichern der jeweiligen Lösung
count2=1;
lsg(count,count2)=nF;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=MF;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=a;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR3;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zSR4;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=zsd;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=VzSR;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=z2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=z1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=i12;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=n2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=n1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=ns;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=ME1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=PE1;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=nE2;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=n11E;count2=count2+1;
lsg(count,count2)=n12E;count2=count2+1;

```

```
lsg(count, count2)=ns10; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=etaPG; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ME2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=PE2; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=PGes; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=ns10/ns; count2=count2+1;
lsg(count, count2)=nprel; count2=count2+1;
count=count+1;
end
lsg(count:3000000, :)=[];
filename = 'Berechnung23rel.xlsx';

header = ...
    {'nF', 'MF', 'a', 'zSR1', 'zSR2', 'zSR3', 'zSR4', 'zSRd', 'VzSR', 'z2', 'z1', 'i12',
    'n2=nSR4', 'n1=nF', 'ns=nE1', 'ME1', 'PE1', 'nE2', 'nF nE1=0', 'nF nE2=0', 'nE1 ...
    damit nF=0',
    'etaPG', 'ME2', 'PE2', 'PGes', '(nE1 damit nF=0)/nE1', 'nprel'};
xlswrite(filename, header, 'PG_Var3');
xlswrite(filename, lsg, 'PG_Var3', 'A2');
```

# Anhang B

## KISSsoft Berechnungen

### B.1 Planetengetriebestufe

**BERECHNUNG EINER GERADVERZAHNTEN PLANETENSTUFE**

Zeichnungs- oder Artikelnummer:

Rad 1: 0.000.0  
 Rad 2: 0.000.0  
 Rad 3: 0.000.0

Rechenmethode DIN 3990:1987 Methode B

		----- Sonne -----	Planeten -----	Hohlrad ---
Anzahl Planeten	[p]	(1)	3	(1)
Leistung (kW)	[P]		895.807	
Drehzahl (1/min)	[n]	8520.1		-50.1
Drehzahldifferenz für Planetenlagerberechnung (1/min)	[n2]		4691.8	
Drehzahl Planetenträger (1/min)	[nSteg]		1695.7	
Drehmoment (Nm)	[T]	1004.0	0.0	3924.8
Drehmoment Planetenträger (Nm)	[TSteg]		4928.798	
Anwendungsfaktor	[KA]		1.25	
Leistungsverteilungsfaktor	[Kgam]		1.00	
Geforderte Lebensdauer (h)	[H]	20000.00		
Rad treibend (+) / getrieben (-)		-	+/-	+
Arbeitsflanke Rad 1: Linke Flanke				

**1. ZAHNGEOMETRIE UND WERKSTOFF**

(Geometrieberechnung nach DIN 3960:1987)

		----- RAD 1 -----	RAD 2 -----	RAD 3 ---
Achsabstand (mm)	[a]		96.190	
Achsabstandstoleranz		ISO 286:2010 Abmass js5		
Normalmodul (mm)	[mn]		3.5000	
Eingriffswinkel im Normalschnitt (°)	[alfn]		20.0000	
Schrägungswinkel am Teilkreis (°)	[beta]		0.0000	
Zähnezahl	[z]	22	32	-86
Zahnbreite (mm)	[b]	54.00	56.00	54.00
Schrägungsrichtung		Geradverzahnt		
Kantenbruch Zahnbreite (mm)	[bK]	0.08	0.10	0.10
Planetennachsen können in regelmässiger Teilung angeordnet werden:		120°		
Verzahnungsqualität	[Q-DIN3961:1978]	5	5	5
Innendurchmesser (mm)	[di]	32.40	80.00	
Aussendurchmesser (mm)	[di]			390.00
Innendurchmesser der Bandage (mm)	[dbi]	0.00	0.00	
Aussendurchmesser der Bandage (mm)	[dbi]			0.00
Werkstoff				
Rad 1:		18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernfestigkeit >=25HRC Jominy J=12mm>=HRC28		
Rad 2:		18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernfestigkeit >=25HRC Jominy J=12mm<HRC28		
Rad 3:		30 CrNiMo 8 (1), Vergütungsstahl, legiert, vergütet ISO 6336-5 Bild 5/6 (MQ)		
Oberflächen-Härte		----- RAD 1 -----	RAD 2 -----	RAD 3 ---
Dauerfestigk. Zahnflankenspannung (N/mm²)	[sigFlim]	HRC 61	HRC 61	HBW 266
		460.00	430.00	300.00

PGS1/13

Dauerfestig. Hertzsche Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[sigHlim]	1500.00	1500.00	740.00
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	1200.00	1200.00	1250.00
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[sigs]	850.00	850.00	1050.00
Elastizitätsmodul (N/mm <sup>2</sup> )	[E]	206000	206000	206000
Poissonzahl	[ny]	0.300	0.300	0.300
Mittenrauhwert Ra, Flanke (µm)	[RAH]	0.60	0.60	1.05
Mittenrauhwert Ra, Fuss (µm)	[RAF]	3.00	3.00	3.00
Gemittelte Rauhtiefe Rz, Flanke (µm)	[RZH]	4.80	4.80	8.00
Gemittelte Rauhtiefe Rz, Fuss (µm)	[RZF]	20.00	20.00	20.00

**Angaben für die Vorbearbeitung**

Bezugsprofil des Werkzeugs von Rad 1 :

Fräserbezeichnung DIN 3972 Profil III x 3.5

Schleifzugabe (mm)	[q]	0.130
Kopfhöhenfaktor	[haP0*]	1.358
Fusshöhenfaktor	[hfP0*]	1.200
Kopfradiusfaktor	[rhoaP0*]	0.200 (rhoaP0max*=0.416)
Fussradiusfaktor	[rhofP0*]	0.001
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP0*]	0.000
Protuberanzwinkel (°)	[alfprP0]	0.000
Fussformhöhenfaktor	[hFfP0*]	0.000
Kantenbrechflankenwinkel (°)	[alfKP0]	0.000
Zahndickenfaktor Bezugslinie	[sP0*]	1.571

nicht überschneidend

Kopfhöhenfaktor Bezugsprofil Zahnrad [haP\*] 1.000

Bezugsprofil des Werkzeugs von Rad 2 :

Fräserbezeichnung DIN 3972 Profil III x 3.5

Schleifzugabe (mm)	[q]	0.130
Kopfhöhenfaktor	[haP0*]	1.358
Fusshöhenfaktor	[hfP0*]	1.200
Kopfradiusfaktor	[rhoaP0*]	0.200 (rhoaP0max*=0.416)
Fussradiusfaktor	[rhofP0*]	0.001
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP0*]	0.000
Protuberanzwinkel (°)	[alfprP0]	0.000
Fussformhöhenfaktor	[hFfP0*]	0.000
Kantenbrechflankenwinkel (°)	[alfKP0]	0.000
Zahndickenfaktor Bezugslinie	[sP0*]	1.571

nicht überschneidend

Kopfhöhenfaktor Bezugsprofil Zahnrad [haP\*] 1.000

Bezugsprofil des Werkzeugs von Rad 3 :

Stossrad DIN 1826 - 3.5 x 100 x 31/44 A BP2

Schleifzugabe (mm)	[q]	0.130
Zähnezahl	[z]	29
Profilverschiebungsfaktor	[x*]	0.000
Grundkreisdurchmesser (mm)	[db0]	95.379
Kopfhöhenfaktor	[haP0*]	1.250
Kopfkreisdurchmesser (mm)	[da0]	110.250
Kopfform: Fase		
Kantenbruch (mm)	[s]	0.175
Winkel (°)	[alfa]	45.000
Fusshöhenfaktor	[hfP0*]	1.200
Fusskreisdurchmesser (mm)	[df0]	93.100
Fussradiusfaktor	[rhofP0*]	0.200
Kopfformkreisdurchmesser (mm)	[dFa0]	109.900
Fussformkreisdurchmesser (mm)	[dFf0]	95.918

nicht überschneidend

Kopfhöhenfaktor Bezugsprofil Zahnrad	[haP*]	1.000		
<b>Angaben für die Fertigbearbeitung</b>				
Fusshöhe Bezugsprofil	[hfP*]	1.250	1.250	1.086
Fusradius Bezugsprofil	[rofP*]	0.200	0.200	0.050
Kopfhöhe Bezugsprofil	[haP*]	1.000	1.000	1.000
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000	0.000	0.000
Protuberanzwinkel (°)	[alfprP]	0.000	0.000	0.000
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000	0.000	0.000
Kantenbrechflankenwinkel (°)	[alfKP]	0.000	0.000	0.000
Daten für Schleifen / Honen:				
Eintauchtiefe	[hgrind*]	1.184	1.184	0.855
Radius am Werkzeugkopf	[rgrind*]	0.100	0.100	0.000
Art der Profilkorrektur: für gleichmässigen Eingriff				
Kopfrücknahme (µm)	[Ca]	8.00	8.00	7.00
Schmierungsart Öl-Einspritzschmierung				
Ölsorte Öl: Klübersynth GEM 4-150 N_NEW				
Schmierstoff-Basis Synthetisches Öl auf Polyalfaolefine-Basis				
Kinem. Nennvisko. Öl bei 40 Grad (mm²/s)	[nu40]	150.00		
Kinem. Nennvisko. Öl bei 100 Grad (mm²/s)	[nu100]	20.00		
FZG-Test A/8.3/90 ( ISO 14635-1:2006)	[FZGtestA]	14		
Spez. Dichte bei 15 Grad (kg/dm³)	[roOil]	0.850		
Öltemperatur (°C)	[TS]	80.000		
----- RAD 1 ----- RAD 2 ----- RAD 3 ---				
Gesamtübersetzung	[itot]	0.199		
Zähnezahlverhältnis	[u]	1.455		-2.688
Stirnmodul (mm)	[mt]	3.500		
Eingriffswinkel am Teilkreis (°)	[alfi]	20.000		
Betriebseingriffswinkel (°)	[alfwt]	22.604		22.604
	[alfwt.e/i]	22.615 /	22.594	22.594 / 22.615
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)	[alfwn]	22.604		22.604
Schrägungswinkel am Wälzkreis (°)	[betaw]	0.000		0.000
Grundschrägungswinkel (°)	[betab]	0.000		
Nullachsabstand (mm)	[ad]	94.500		-94.500
Profilverschiebungsfaktorsumme	[Summexi]	0.5136		-0.5136
Profilverschiebungsfaktor				
Angaben für die Vorbearbeitung	[x]	0.4086	0.3222	-0.6187
Angaben für die Fertigbearbeitung	[x]	0.3000	0.2136	-0.7273
Zahndicke (Bogen) (in Modul) (Modul)	[sn*]	1.7892	1.7263	1.0414
Kopfhöhenänderung (mm)	[k*mn]	-0.108	-0.108	0.000
Teilkreisdurchmesser (mm)	[d]	77.000	112.000	-301.000
Grundkreisdurchmesser (mm)	[db]	72.356	105.246	-282.847
Kopfkreisdurchmesser (mm)	[da]	85.884	120.279	-299.091
(mm)	[da.e/i]	85.884 / 85.874	120.279 / 120.269	-299.091 / -299.101
Kopfkreisabmasse (mm)	[Ada.e/i]	0.000 / -0.010	0.000 / -0.010	0.000 / -0.010
Kantenbruch (1) / Kopfrundung (2)		1	1	1
Kopfkantenbruch (mm)	[hK]	0.080	0.100	0.100
Kopfkantenbruchwinkel (°)	[delhK]	45.000	45.000	45.000
Kopfformkreisdurchmesser (mm)	[dFa]	85.724	120.079	-299.291
(mm)	[dFa.e/i]	85.724 / 85.714	120.079 / 120.069	-299.291 / -299.301
Kopfnutkreisdurchmesser (mm)	[dNa.e/i]	85.724 / 85.714	120.079 / 120.069	-299.291 / -299.301
Wälzkreisdurchmesser (mm)	[dw]	78.377	114.003 / 114.003	-306.383
(mm)	[dw.e]	78.383	114.012 / 113.994	-306.359

(mm)	[dw.i]	78.371	113.994 / 114.012	-306.407
Fusskreisdurchmesser (mm)	[df]	70.351	104.746	-313.693
Erzeugungsprofilverschiebungsfaktor				
Angaben für die Vorbearbeitung	[xE.e/i]	0.3850 / 0.3693	0.2987 / 0.2830	-0.6618 / -0.6854
Angaben für die Fertigbearbeitung	[xE.e/i]	0.2765 / 0.2608	0.1901 / 0.1744	-0.7704 / -0.7940
Erzeugter Fusskreis mit xE (mm)	[df.e]	70.186	104.582	-314.056
(mm)	[df.i]	70.076	104.472	-314.199
(berechnet mit Vorbearbeitungs-Werkzeug)				
Kopfspiel theoretisch (mm)	[c]	0.875	0.875/ 0.517	0.982
Kopfspiel effektiv, Oberes Abmass (mm)	[c.e]	1.025	1.025/ 0.782	1.132
Kopfspiel effektiv, Unteres Abmass (mm)	[c.i]	0.950	0.950/ 0.691	1.057
Fussnutzkreisdurchmesser (mm)	[dNf]	74.132	108.900/ 107.924	-312.030
(mm)	[dNf.e]	74.146	108.915/ 107.939	-312.005
(mm)	[dNf.i]	74.124	108.890/ 107.915	-312.047
Fussformkreisdurchmesser (mm)	[dFf]	72.989	107.090	-313.653
(mm)	[dFf.e/i]	72.927 / 72.888	107.002 / 106.945	-313.936 / -314
.089				
Reserve (dNf-dFf)/2 (mm)	[cF.e/i]	0.629 / 0.598	0.497 / 0.456	1.042 / 0
.945				
Addendum (mm)	[ha = mn * (haP*+x)]		4.442	4.140
(mm)	[ha.e/i]	4.442 / 4.437	4.140 / 4.135	0.955 / 0.955
0.950				
Dedendum (mm)	[hf = mn * (hfP*-x)]		3.324	3.627
(mm)	[hf.e/i]	3.407 / 3.462	3.709 / 3.764	6.528 / 6.346
6.600				
Wälzwinkel zu dFa (°)	[xsi_dFa.e/i]	36.401 / 36.386	31.474 / 31.463	19.819 / 19.819
19.825				
Wälzwinkel zu dNf (°)	[xsi_dNf.e/i]	12.820 / 12.742	15.261 / 15.208	
	[xsi_dNf.e/i]		13.046 / 12.987	26.678 / 26.698
Wälzwinkel zu dFf (°)	[xsi_dFf.e/i]	7.211 / 6.957	10.512 / 10.337	27.592 / 27.592
27.663				
Zahnhöhe (mm)	[H]	7.766	7.766	7.301
Ersatz-Zähnezahl	[zn]	22.000	32.000	-86.000
Normal-Zahndicke am Kopfkreis (mm)	[san]	2.208	2.518	2.948
(mm)	[san.e/i]	2.147 / 2.096	2.459 / 2.411	2.842 / 2.779
(ohne Berücksichtigung Kopfkantenbruch / Kopfrundung)				
Normal-Lückenweite am Fusskreis (mm)	[efn]	0.000	0.000	2.172
(mm)	[efn.e/i]	0.000 / 0.000	0.000 / 0.000	2.114 / 2.109
Max. Gleitgeschwindigkeit am Kopf (m/s)	[vga]	9.554	8.439/ 2.159	3.073
Spezifisches Gleiten am Kopf	[zetaa]	0.582	0.594/ 0.152	0.344
Spezifisches Gleiten am Fuss	[zetaf]	-1.464	-1.390/ -0.524	-0.179
Gleitfaktor am Kopf	[Kga]	0.341	0.301/ 0.077	0.110
Gleitfaktor am Fuss	[Kgf]	-0.301	-0.341/ -0.110	-0.077
Teilkreisteilung (mm)	[pt]		10.996	
Grundkreisteilung (mm)	[pbt]		10.332	
Stirneingriffsteilung (mm)	[pet]		10.332	
Länge der Eingriffsstrecke (mm)	[ga]		14.919	16.960
(mm)	[ga.e/i]		14.939 / 14.880	16.979 / 16.915
Länge T1-A (mm)	[T1A]	22.985	13.987/ 28.907	-65.879
Länge T1-B (mm)	[T1B]	18.398	18.574/ 22.279	-59.252
Länge T1-C (mm)	[T1C]	15.063	21.909/ 21.909	-58.881
Länge T1-D (mm)	[T1D]	12.652	24.320/ 18.574	-55.546
Länge T1-E (mm)	[T1E]	8.065	28.907/ 11.947	-48.919
Durchmesser Einzeleingriffspunkt B (mm)	[d-B]	81.175	111.609/ 114.290	-306.669
(mm)	[d-B.e]	76.653	115.925/ 111.609	-303.896
(mm)	[d-B.i]	76.647	115.966/ 111.603	-303.860
Durchmesser Einzeleingriffspunkt D (mm)	[d-D]	76.653	115.942/ 111.609	-303.882
(mm)	[d-D.e]	81.157	111.609/ 114.274	-306.669
(mm)	[d-D.i]	81.202	111.603/ 114.317	-306.680

Profilüberdeckung	[eps_a]	1.444	1.641
Profilüberdeckung mit Abmassen	[eps_a.e/i]	1.446 / 1.440	1.643 / 1.637
Sprungüberdeckung	[eps_b]	0.000	0.000
Gesamtüberdeckung	[eps_g]	1.444	1.641
Gesamtüberdeckung mit Abmassen	[eps_g.e/i]	1.446 / 1.440	1.643 / 1.637

**2. ALLGEMEINE EINFLUSSFAKTOREN**

		----- RAD 1 -----	RAD 2 -----	RAD 3 ---
Nennumfangskraft im Teilkreis (N)	[Ft]		8692.766	8692.766
Axialkraft (N)	[Fa]	0.0		0.0
Axialkraft (gesamt) (N)	[Fatot=Fa* 3]	0.0		0.0
Radialkraft (N)	[Fr]		3163.908	3163.908
Normalkraft (N)	[Fnorm]	9250.6		9250.6
Nennumfangskraft pro mm (N/mm)	[w]		161.46	161.58
Nur zur Information: Kräfte im Wälzkreis:				
Nennumfangskraft (N)	[Ftw]		8540.028	8540.028
Axialkraft (N)	[Fa]	0.0	0.0/	0.0
Axialkraft (gesamt) (N)	[Fatot=Fa* 3]	0.0		0.0
Radialkraft (N)	[Fr]		3555.616	3555.616
Umfangsgeschwindigkeit Teilkreis (m/s)	[v]		27.51	(Planet)
Einlaufbetrag (µm)	[yp]		0.412	0.874
Einlaufbetrag (µm)	[yf]		0.450	0.874
Radkörperfaktor	[CR, bs/b]		0.863 ( 0.250)	0.863 ( 0.250)
Korrekturfaktor	[CM]		0.800	0.800
Bezugsprofilfaktor	[CBS]		0.975	1.016
Materialfaktor	[E/Est]		1.000	1.000
Einzelfedersteifigkeit (N/mm/µm)	[c']		11.733	13.350
Eingriffsfedersteifigkeit (N/mm/µm)	[cg]		15.639	19.772
Reduzierte Masse (kg/mm)	[mRed]		0.0058	0.0312
Resonanzdrehzahl (min-1)	[nE1]		22483	7508
Bezugsdrehzahl (-)	[N]		0.304	0.625
Einlaufbetrag (µm)	[ya]		0.412	0.874
Planet läuft auf Wälzlagern. Planetenzapfen fest im Träger eingespannt.				
lpa (mm) = 72.80 b (mm) = 53.84 dsh (mm) = 40.00				
Flankenlinienabweichung wirksame (µm)	[Fby]		5.89	4.96
von Verformung der Wellen (µm)	[fsh*B1]		3.43	0.00
(fsh (µm) = 6.87/ 0.00, B1=0.50/ 1.00, fHb5 (µm) = 7.00/ 7.00)				
Flankenlinie			1	0
(0:ohne, 1:ballig, 2:Endrücknahme, 3:volle Korrektur)				
(4:leicht ballig, 5:Schrägungswinkelkorrektur, 6:Schrägungswinkelkorrektur mit Balligkeit)				
von Fertigungstoleranzen (µm)	[fma*B2]		3.50	7.00
(B2= 0.50/ 1.00)				
Flankenlinienabweichung, theoretisch (µm)	[Fbx]		6.93	7.00
Einlaufbetrag y.b (µm)	[yb]		1.04	2.04
Dynamikfaktor	[KV]		1.10	1.21
Breitenfaktoren				
- Flanke	[KHb]		1.21	1.20
- Zahnfuss	[KFb]		1.18	1.17
- Fressen	[KBb]		1.21	1.20
Stirnfaktoren				
- Flanke	[KHa]		1.00	1.00
- Zahnfuss	[KFa]		1.00	1.00
- Fressen	[KBa]		1.00	1.00

Schrägungsfaktor Fressen	[Kbg]		1.00	1.00
Lastwechselzahl (in Mio.)	[NL]	24568.0	5630.2	6284.8

**3. ZAHNFUSS-TRAGFÄHIGKEIT**

Rechnung der Zahnformfaktoren nach Methode: B

Innenverzahnung: Berechnung roF und sFn nach VDI 2737:2005, Annex B

Innenverzahnung: Berechnung YF, YS mit Stossrad (z0= 29, x0= 0.000, rofP\*= 0.050)

		----- RAD 1 -----	RAD 2 -----	RAD 3 ---
Berechnet mit Profilverschiebung	[x]	0.39	0.30	-0.66
Zahnformfaktor	[YF]	1.45	1.47/ 1.19	0.83
Spannungskorrekturfaktor	[YS]	2.29	2.27/ 2.49	5.24
Schleifkerbe tg / rog	[tg/rog]	0.06	0.07	0.00
Zusätzlicher Faktor für Schleifkerbe	[Yg]	1.13	1.14	1.00
Biegehebelarm (mm)	[hF]	4.11	4.32/ 3.46	3.82
Kraftangriffswinkel (°)	[alfFn]	23.62	22.53/ 20.31	22.34
Zahnfussdicke (mm)	[sFn]	7.61	7.79/ 7.79	9.77
Zahnfussradius (mm)	[roF]	1.23	1.25/ 1.25	0.37
(hF* = 1.175/ 1.233/ 0.987/ 1.091 sFn* = 2.175/ 2.226/ 2.226/ 2.792)				
(rof* = 0.350/ 0.357/ 0.357/ 0.104 dsFn = 71.157/ 105.602/ 105.602/ -313.958 alfsFn = 30.0/ 30.0/ 30.0/ 60.0)				
Überdeckungsfaktor	[Yeps]		1.00	1.00
Schrägenfaktor	[Ybet]		1.00	1.00
Massgebende Zahnbreite (mm)	[beff]	54.00	56.00/ 56.00	54.00
Zahnfuss-Nennspannung (N/mm²)	[sigF0]	172.43	168.05/ 149.79	199.24
Zahnfussspannung (N/mm²)	[sigF]	278.54	271.47/ 265.65	353.36
Zulässige Zahnfussspannung von Prüf-Zahnrad				
Stützziffer	[YdrelT]	1.005	1.006/ 1.006	1.027
Oberflächenfaktor	[YRrelT]	0.957	0.957	0.957
Grössenfaktor (Zahnfuss)	[YX]	1.000	1.000	1.000
Zeitfestigkeitsfaktor	[YNT]	1.000	1.000	1.000
Wechselbiegungsfaktor (Mittelspannungseinflussfaktor)	[YM]	1.000	0.700	1.000
Spannungskorrekturfaktor	[Yst]		2.00	
Yst*sigFlim (N/mm²)	[sigFE]	920.00	860.00	600.00
Zulässige Zahnfussspannung (N/mm²)	[sigFP=sigFG/SFmin]	553.12	361.97/ 361.97	368.43
Zahnfuss-Grenzfestigkeit (N/mm²)	[sigFG]	884.99	579.16/ 579.16	589.49
Sollsicherheit	[SFmin]	1.60	1.60	1.60
Sicherheitsfaktor für Zahnfussspannung	[SF=sigFG/sigF]	3.18	2.13/ 2.18	1.67
Übertragbare Leistung (kW)	[kWRating]	1778.89	1194.48/ 1220.63	934.01

**3a. ZAHNKRANZ-BERECHNUNG (Spannungen im Kranz und Zahnfussfestigkeit nach VDI 2737:2005)**

Hinweis: In den Sicherheitsfaktoren ist keine Stützwirkung des Gehäuses berücksichtigt.  
Die effektive Sicherheit des Zahnfusses ist möglicherweise höher als ausgewiesen.

Maximales Drehmoment	(Nm)	11774.351
Anzahl der Planetenräder	(-)	3
Elastizitätsmodul	(N/mm2)	206000.000
Betriebseingriffswinkel	(°)	22.604 (22°36'17)
Teilkreisdurchmesser Aussenkranz	(mm)	301.000
Aussendurchmesser	(mm)	390.000
Hohlrad-Fusskreisdurchmesser	(mm)	313.693
Breite	(mm)	54.000

Spannungen und Verformungen: Im Kraftangriffspunkt

Tangentialspannung	(N/mm <sup>2</sup> )	0.000
Biegespannung	(N/mm <sup>2</sup> )	27.525
Radiale Verformung	(mm)	0.018
Radiale Verformung einschliesslich		
Verformung durch Tangentialspannung	(mm)	0.018

Spannungen und Verformungen: Zwischen den Kraftangriffspunkten

Tangentialspannung	(N/mm <sup>2</sup> )	3.043
Biegespannung	(N/mm <sup>2</sup> )	14.563
Radiale Verformung	(mm)	0.016
Radiale Verformung einschliesslich		
Verformung durch Tangentialspannung	(mm)	0.019

Berechnung der Zahnflusfestigkeit mit Zahnkranzeinfluss nach VDI 2737:2005

Zahnkranz-Dicke (mm)	[sr]	38.154
Maximallast-Faktor	[KFSt]	3.000
Sicherheit Dauerbruch ohne Kranzeinfluss	[SF_VDI2737]	2.257
Sicherheit Statisch ohne Kranzeinfluss	[SFSt_VDI2737]	5.790
Sicherheit Dauerbruch mit Kranzeinfluss	[SF_VDI2737]	2.449
Sicherheit Statisch mit Kranzeinfluss	[SFSt_VDI2737]	5.790
Sicherheit Statisch auf Anriss	[SFcrack]	-1.000

Zwischenresultate der Berechnung nach VDI2737

Ft = 8692.8 N FtB = 8692.8 N FrB = 3163.9 N

Ohne Kranzeinfluss:

hFa = 6.56 mm alfFa = 19.66 ° YFa = 1.44 epsan = 1.64  
 hFe = 3.83 mm sFn(VDI) = 9.80 mm roFn(VDI) = 0.35 mm Yeps = 0.707  
 YFad = -0.128 YSab = 3.456 YFS = 4.528  
 sigm1 = 0.01 N/mm<sup>2</sup> YSZ = 3.247 sigFm1 = 0.02 N/mm<sup>2</sup>  
 sigI = 261.14 N/mm<sup>2</sup> sigF = 261.12 N/mm<sup>2</sup> sigFm2 = 130.56 N/mm<sup>2</sup>  
 sigFEW = 420.00 N/mm<sup>2</sup> sigFEm = 599.99 N/mm<sup>2</sup> KFSt = 4.26 sigFnennmax = 181.35 N/mm<sup>2</sup>  
 sigFmax = sigF \* KFSt = 1111.4 N/mm<sup>2</sup> RmRand = 0.0 N/mm<sup>2</sup>

Mit Kranzeinfluss:

p = 3 m = 175.92 mm hK = 22.91 mm  
 MbK (am belasteten Zahn infolge FrB) = -95.02 Nm  
 MbK (ausserhalb des Zahneingriffbereichs infolge FrB) = 12.54 Nm  
 MbK (ausserhalb des Zahneingriffbereichs infolge FtB) = 108.93 Nm  
 thesmax00 = 44.57 ° thesmax(Ft) = 45.63 ° thesmax(MbK) = 73.78 °  
 YSad = 3.246 YSFt = 3.298 YSMb = 3.258  
 YFa = 1.438 YFad = -0.128 sigm1 = 0.01 N/mm<sup>2</sup>  
 YSZ = 3.247 sigI(c) = -339.39 N/mm<sup>2</sup> sigK = 45.80 N/mm<sup>2</sup>  
 sigF = 385.19 N/mm<sup>2</sup> sigFm2 = -146.82 N/mm<sup>2</sup> sigFEW = 420.00 N/mm<sup>2</sup>  
 sigFEm = 960.00 N/mm<sup>2</sup> sigFEmmax = 960.00 N/mm<sup>2</sup> sigInenn(t) = 181.35 N/mm<sup>2</sup>  
 KFKSt = 3.64 sigK1nenn = -65.35 N/mm<sup>2</sup> sigK2nenn = 33.73 N/mm<sup>2</sup> sigFnennmax = 181.35 N/mm<sup>2</sup>  
 f = 1.00 Rp = 1050.00 N/mm<sup>2</sup>  
 sigFmax = sigI(c) \* KFKSt = -1234.3 N/mm<sup>2</sup> RmRand = 0.0 N/mm<sup>2</sup>

**4. FLANKENSICHERHEIT**

PGS7/13

	----- RAD 1 -----	RAD 2 -----	RAD 3 ---	
Zonenfaktor	[ZH]	2.33	2.33	
Elastizitätsfaktor ( $\sqrt{N/mm}$ )	[ZE]	189.81	189.81	
Überdeckungsfaktor	[Zeps]	0.923	0.887	
Schrägenfaktor	[Zbet]	1.000	1.000	
Massgebende Zahnbreite (mm)	[bEFF]	53.84	53.80	
Nominelle Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[sigH0]	768.69	373.61	
Flankenpressung am Wälzkreis (N/mm <sup>2</sup> )	[sigHw]	990.28	503.87	
Einzeleingriffs-Faktor	[ZB,ZD]	1.04	1.00/ 1.12	1.00
Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[sigHB, sigHD]	1025.56	990.28/563.42	503.87
Schmierstoff-Faktor (bei NL)	[ZL]	0.924	0.924/ 0.856	0.856
(berechnet mit Schmierstoff-Temperatur 80°C)				
Geschwindigkeits-Faktor (bei NL)	[ZV]	1.030	1.030/ 1.064	1.064
Rauhigkeitsfaktor (bei NL)	[ZR]	0.962	0.962/ 0.926	0.926
Werkstoffpaarungs-Faktor (bei NL)	[ZW]	1.000	1.000/ 1.000	1.120
Zeitfestigkeitsfaktor	[ZNT]	1.000	1.000	1.000
Kleine Anzahl Grübchen zulässig:	nein			
Grössenfaktor (Flanke)	[ZX]	1.000	1.000	1.000
Zulässige Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[sigHP=sigHG/SHmin]	1056.08	1056.08/ 973.44	537.86
Grübchen-Grenzfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[sigHG]	1372.90	1372.90/ 1265.47	699.21
Sollsicherheit	[SHmin]	1.30	1.30	1.30
Sicherheit für Flankenpressung Wälzkreis	[SHw]	1.39	1.39/ 2.51	1.39
Sicherheit für Pressung Einzeleingriff	[SHBD=sigHG/sigHBD]	1.34	1.39/ 2.25	1.39
(Sicherheit bezüglich übertragbares Drehmoment)	[(SHBD)^2]	1.79	1.92/ 5.04	1.93
Übertragbare Leistung (kW)	[kWRating]	949.92	1018.81/ 2674.01	1020.74

**4b. MICROPITTING (Graufleckigkeit) NACH ISO/TR 15144-1:2014**

Paarung Rad 1-2:

Berechnung der zulässigen spezifischen Filmstärke

Schmierstoff Kraftstufe nach FVA Infoblatt 54/7 10 (Öl: Klübersynth GEM 4-150 N\_NEW)

Referenzdaten FZG-C Test:

Drehmoment (Nm)	[T1Ref]	265.1
Linienlast in Kontaktpunkt A (N/mm)	[FbbRef,A]	236.3
Öltemperatur (°C)	[theOilRef]	90.0
Massentemperatur (°C)	[theMRef]	122.1
Kontakttemperatur (°C)	[theBRef,A]	221.6
Schmierpaltdicke (µm)	[hRef,A]	0.049
Spezifische Filmstärke im Test (µm)	[lamGFT]	0.098
Materialfaktor	[WW]	1.00
Zulässige spezifische Filmstärke (µm)	[lamGFP]	0.137

Zwischenresultate nach ISO/TR 15144:2014

Reibungszahl	[mym]	0.037
Schmierstofffaktor	[XL]	0.800
Rauhigkeitsfaktor	[XR]	1.120
Massentemperatur (°C)	[theM]	93.7
Kopfrücknahmefaktor	[XCa (A)]	1.601
Verlustfaktor	[HV]	0.145
Ersatz-E-Modul (N/mm <sup>2</sup> )	[Er]	226374
Druck-Viskositäts-Koeffizient (m <sup>2</sup> /N)	[alf38]	0.01326
Dynamische Viskosität (Ns/m <sup>2</sup> )	[etatM]	18.6
Mittenrauhwert (µm)	[Ra]	0.6

Berechnung der Geschwindigkeiten, Lastverteilung und Flankenkrümmung nach Methode B gemäss ISO/TR 15144-1:2014

Ca als optimal angenommen in der Rechnung (0=nein, 1=ja) 1 1

PGS8/13

Berechnung in Punkt (0:A, 1:AB, 2:B, 3:C, 4:D, 5:DE, 6:E, -1:No Point)			1	
Durchmesser (mm)	[dy]	75.264		117.939
Ersatzkrümmungsradius (mm)	[pred]		7.456	
Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pH]		613.558	
Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pdyn]		830.005	
Minimale spezifische Filmdicke (µm)	[lamGFY]		0.636	(hY=0.382 µm)
Sicherheit gegen Mikropitting	[Slam(B)]		4.631	
(Zwischenresultate siehe Datei: Micropitting_12.tmp)				

Paarung Rad 2-3:				
Berechnung der zulässigen spezifischen Filmdicke				
Materialfaktor	[WW]		0.75	
Zulässige spezifische Filmdicke (µm)	[lamGFP]		0.103	

Zwischenresultate nach ISO/TR 15144:2014

Reibungszahl	[mym]		0.022	
Schmierstofffaktor	[XL]		0.800	
Rauhigkeitsfaktor	[XR]		0.863	
Massentemperatur (°C)	[theM]		83.4	
Kopfrücknahmefaktor	[XCa (A)]		1.891	
Verlustfaktor	[HV]		0.046	
Ersatz-E-Modul (N/mm <sup>2</sup> )	[Er]		226374	
Druck-Viskositäts-Koeffizient (m <sup>2</sup> /N)	[alf38]		0.01326	
Dynamische Viskosität (Ns/m <sup>2</sup> )	[etatM]		24.8	
Mittenrauhwert (µm)	[Ra]		0.8	

Berechnung der Geschwindigkeiten, Lastverteilung und Flankenkrümmung nach Methode B gemäss ISO/TR 15144-1:2014

Ca als optimal angenommen in der Rechnung (0=nein, 1=ja)		1		1
Berechnung in Punkt (0:A, 1:AB, 2:B, 3:C, 4:D, 5:DE, 6:E, -1:No Point)			1	
Durchmesser (mm)	[dy]	109.582		-301.522
Ersatzkrümmungsradius (mm)	[pred]		11.810	
Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pH]		512.124	
Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pdyn]		690.676	
Minimale spezifische Filmdicke (µm)	[lamGFY]		0.699	(hY=0.577 µm)
Sicherheit gegen Mikropitting	[Slam(B)]		6.783	
(Zwischenresultate siehe Datei: Micropitting_23.tmp)				

Die Berechnung von Micropitting nach ISO15144 ist nicht für Innenverzahnungen vorgesehen, da es hierzu noch keine gesicherten Untersuchungen gibt.  
Die Resultate dienen nur zur Information.

**5. FRESSTRAGFÄHIGKEIT**

Rechenmethode nach DIN 3990:1987

Schmierfaktorfaktor (für Schmierungsart)	[XS]		1.200	
Relativer Gefügefaktor (Fressen)	[XWrelT]		1.000	1.000
Therm. Kontaktkoeffizient (N/mm/s <sup>0.5</sup> /K)	[BM]	13.780		13.780 13.780
Massgebende Kopfrücknahme (µm)	[Ca]	8.00		8.00 7.00
Optimale Kopfrücknahme (µm)	[Ceff]		17.15	15.07
Ca als optimal angenommen in der Rechnung (0=nein, 1=ja)		1		1/ 1 1
Massgebende Zahnbreite (mm)	[beff]		53.840	53.800
Massgebende Umfangskraft/Zahnbreite (N/mm)	[wBt]		267.954	293.883
Winkelfaktor	[Xalfbet]		1.015	1.015

Blitztemperatur-Kriterium				
Massentemperatur (°C)	[theM-B]		104.69	85.41
theM-B = theoil + XS*0.47*theMflamax	[theMflamax]		43.77	9.59
Fresstemperatur (°C)	[theS]		546.29	546.29

PGS9/13

Koordinate Gamma (Ort der höchsten Temp.)	[Gamma]	0.298	-0.276
(1) [Gamma.A]=0.526 [Gamma.E]=-0.465			
(2) [Gamma.A]=0.319 [Gamma.E]=-0.455			
Höchste Kontakttemp. (°C)	[theB]	148.46	95.00
Blitzfaktor (°K*N <sup>^-0.75</sup> *s <sup>^0.5</sup> *m <sup>^-0.5</sup> *mm)	[XM]	50.058	50.058
Geometriefaktor	[XB]	0.178	0.056
Kraftaufteilungsfaktor	[XGam]	0.750	0.591
Dynamische Viskosität (mPa*s)	[etaM]	14.44	23.65
Reibungszahl	[mym]	0.058	0.048
Sollsicherheit	[SBmin]	2.000	
Sicherheitsfaktor für Fressen (Blitz-Temperatur)	[SB]	6.810	31.068
Integraltemperatur-Kriterium			
Massentemperatur (°C)	[theM-C]	99.65	82.38
theM-C = theoil + XS*0.70*theflaint	[theflaint]	23.39	2.83
Fress-Integraltemperatur (°C)	[theSint]	546.29	546.29
Blitzfaktor (°K*N <sup>^-0.75</sup> *s <sup>^0.5</sup> *m <sup>^-0.5</sup> *mm)	[XM]	50.058	50.058
Überdeckungsfaktor	[Xeps]	0.282	0.332
Dynamische Viskosität (mPa*s)	[etaOil]	27.47	27.47
Gemittelte Reibungszahl	[mym]	0.050	0.040
Geometriefaktor	[XBE]	0.319	0.043
Eingriffsfaktor	[XQ]	1.000	1.000
Kopfrücknahmefaktor	[XCa]	1.092	1.202
Integral-Flankentemperatur (°C)	[theint]	134.73	86.62
Sollsicherheit	[SSmin]	1.800	
Sicherheitsfaktor für Fressen (Int.-T.)	[SSint]	4.05	6.31
Sicherh. f. übertragenes Moment (Int.-T.)	[SSL]	8.52	70.43

**6. PRÜFMASSE FÜR DIE ZAHNDICKE**

----- RAD 1 ----- RAD 2 ----- RAD 3 ---

**Angaben für die Vorbearbeitung**

Zahndickenabmass (Fertigbearbeitung) (mm)	[As.e/i]	-0.060 / -0.100	-0.060 / -0.100	-0.110 / -0.170
Schleifzugabe (pro Flanke) (mm)	[q]	0.130	0.130	0.130
Aufmass für Vorbearbeitung (mm)	[ΔAs_pre.e/i]	0.277 / 0.277	0.277 / 0.277	0.277 / 0.277
Zahndickenabmass im Normalschnitt (mm)	[As_pre.e/i]	0.217 / 0.177	0.217 / 0.177	0.167 / 0.107
Messzähnezahl	[k]	3.000	4.000	-11.000
Effektive Zahnweite (mm)	[Wk.e/i]	27.831 / 27.794	38.447 / 38.410	-114.291 / -114.347
Eff. Messkörperdurchmesser (mm)	[DMeff]	6.500	6.500	6.000
Eff. diametrales Zweikugelmass (mm)	[MdK.e/i]	88.916 / 88.837	123.698 / 123.613	-297.139 / -297.296

**Angaben für die Fertiqbearbeitung**

Zahndickentoleranz	DIN 3967 d25	DIN 3967 d25	DIN 3967 d25	
Zahndickenabmass im Normalschnitt (mm)	[As.e/i]	-0.060/ -0.100	-0.060/ -0.100	-0.110/ -0.170
Messzähnezahl	[k]	3.000	4.000	-11.000
(Bei Innenverzahnungen: k = Messlückenzahl)				
Zahnweite spielfrei (mm)	[Wk]	27.628	38.244	-114.448
Effektive Zahnweite (mm)	[Wk.e/i]	27.571/27.534	38.187/38.150	-114.551/ -114.607
Messkreisdurchmesser (mm)	[dMWk.m]	77.425	111.953	-305.174
Theor. Messkörperdurchmesser (mm)	[DM]	6.473	6.164	5.884
Eff. Messkörperdurchmesser (mm)	[DMeff]	6.500	6.500	6.000
Radiales Einkugelmass spielfrei (mm)	[MrK]	44.243	61.616	-148.786
Eff. radiales Einkugelmass (mm)	[MrK.e/i]	44.183/44.143	61.550/61.507	-148.928/ -149.005
Messkreisdurchmesser (mm)	[dMMr.m]	79.000	113.915	-306.180

Diametrales Zweikugelmass spielfrei (mm)	[MdK]	88.487	123.231	-297.572
Eff. diametrales Zweikugelmass (mm)	[MdK.e/i]	88.366/88.286	123.101/123.013	-297.856/-298
.010				
Eff. diametrales Rollenmass (mm)	[MdR.e/i]	88.366/88.286	123.101/123.013	-297.856/-298
.010				
Effektives Dreirollenmass (mm)	[Md3R.e/i]	0.000/0.000	0.000/0.000	0.000/0.000
Zahndicke (Sehne) im Teilkreis (mm)	[sn]	6.255	6.039	3.645
(mm)	[sn.e/i]	6.195/6.155	5.979/5.939	3.535/3.475
Höhe über der Sehne ab da.m (mm)	[ha]	4.567	4.219	0.941
Zahndicke (Bogen) (mm)	[sn]	6.262	6.042	3.645
(mm)	[sn.e/i]	6.202/6.162	5.982/5.942	3.535/3.475
Spielfreier Achsabstand (mm)	[aControl.e/i]	96.043/95.944	-96.397/-96.517	
Spielfreier Achsabstand, Abmasse (mm)	[jta]	-0.147/-0.246	-0.207/-0.327	
dNf.i mit aControl (mm)	[dNf0.i]	73.862	107.563	-312.745
Reserve (dNf0.i-dFf.e)/2 (mm)	[cF0.i]	0.468	0.281	0.595
Kopfspiel	[c0.i(aControl)]	0.711	0.492	0.738
Achsabstandsabmass (mm)	[Aa.e/i]	0.007/-0.007	0.007/-0.007	
Verdrehflankenspiel aus Aa (mm)	[jtw_Aa.e/i]	0.006/-0.006	0.006/-0.006	
Radialspiel (mm)	[jrw]	0.254/0.140	0.334/0.199	
Verdrehflankenspiel (Stirnschnitt) (mm)	[jtw]	0.210/0.116	0.281/0.167	
Normalflankenspiel (mm)	[jnw]	0.197/0.109	0.264/0.157	
Gesamter Verdrehwinkel (°)	[j.tSys]		0.1425/0.0879	
(j.tSys: Verdrehwinkel des Planetenträgers bei festgehaltener Antriebswelle)				

## 7. VERZÄHNUNGS-TOLERANZEN

		----- RAD 1 -----	RAD 2 -----	RAD 3 ---
Nach	DIN 3961:1978			
Verzahnungsqualität	[Q-DIN3961]	5	5	5
Profil-Formabweichung (µm)	[ff]	6.00	6.00	6.00
Profil-Winkelabweichung (µm)	[fHa]	4.50	4.50	4.50
Profil-Gesamtabweichung (µm)	[Ff]	7.00	7.00	7.00
Flankenlinien-Formabweichung (µm)	[fbf]	7.00	7.00	7.00
Flankenlinien-Winkelabweichung (µm)	[fHb]	7.00	7.00	7.00
Flankenlinien-Gesamtabweichung (µm)	[Fb]	10.00	10.00	10.00
Eingriffsteilungsabweichung (µm)	[fpe]	5.50	5.50	6.00
Teilungs-Einzelabweichung (µm)	[fp]	5.50	5.50	6.00
Teilungssprung (µm)	[fu]	7.00	7.00	8.00
Teilungs-Gesamtabweichung (µm)	[Fp]	19.00	19.00	26.00
Teilungsspannen-Abweichung über z/8 (µm)	[Fpz/8]	12.00	12.00	16.00
Rundlaufabweichung (µm)	[Fr]	14.00	14.00	18.00
Zahndicken-Schwankung (µm)	[Rs]	8.00	8.00	10.00
Einflanken-Wälzabweichung (µm)	[Fi']	21.00	21.00	27.00
Einflanken-Wälzsprung (µm)	[fi']	9.00	9.00	10.00
Zweiflanken-Wälzabweichung (µm)	[Fi'']	16.00	16.00	21.00
Zweiflanken-Wälzsprung (µm)	[fi'']	7.00	7.00	9.00
Achslagetoleranzen (Empfehlung nach ISO TR 10064:1992, Qualität 5)				
Maximalwert für Achsschrägung (µm)	[fSigbet]		6.76	6.76
Maximalwert für Achsneigung (µm)	[fSigdel]		13.52	13.52

## 8. ERGÄNZENDE DATEN

PGS11/13

Gewicht - berechnet mit da (kg)	[Mass]	2.101	2.778	20.803
Gesamtgewicht (kg)	[Mass]		31.239	
Trägheitsmoment (System bezogen auf Rad 1): Berechnung ohne Berücksichtigung der exakten Zahnform				
Räder einzeln ((da+df)/2...di) (kg*m <sup>2</sup> )	[TraeghMom]	0.00149	0.00511	0.59345
System ((da+df)/2...di) (kg*m <sup>2</sup> )	[TraeghMom]	0.00982		
Mittlere Reibungszahl (nach Niemann)	[mum]	0.035	0.027	
Verschleissgleiten nach Niemann	[zetw]	0.849	0.379	
Wälzleistung (kW)		717.524	717.524	
Zahnverlustleistung aus Zahnbelastung (kW)		1.227	0.292	
Gesamte Verlustleistung (kW)		4.558		
Gesamtwirkungsgrad		0.995		

**9. ZAHNFORM-BESTIMMUNG**

Profil- und Flankenlinienkorrekturen für Rad 1

**Symmetrisch (beide Flanken)**

- Kopfrücknahme, linear	Caa = 8.000µm	LCa = 0.698*mn	dCa = 83.362mm
- Fussrücknahme, linear	Caf = 8.000µm	LCf = 1.659*mn	dCf = 75.264mm

Profil- und Flankenlinienkorrekturen für Rad 2

**Symmetrisch (beide Flanken)**

- Kopfrücknahme, linear	Caa = 8.000µm	LCa = 1.006*mn	dCa = 117.040mm
- Fussrücknahme, linear	Caf = 8.000µm	LCf = 1.602*mn	dCf = 109.582mm

Profil- und Flankenlinienkorrekturen für Rad 3

**Symmetrisch (beide Flanken)**

- Kopfrücknahme, linear	Caa = 7.000µm	LCa = 1.034*mn	dCa = -301.518mm
- Fussrücknahme, linear	Caf = 7.000µm	LCf = 1.489*mn	dCf = 309.555mm

Daten zur Zahnformberechnung:  
Daten nicht vorhanden.

**10. LEBENSDAUER, SCHÄDIGUNG**

Sollsicherheit Zahnfuss	[SFmin]	1.60
Sollsicherheit Zahnflanke	[SHmin]	1.30

Lebensdauer (berechnet mit Sollsicherheiten):

Lebensdauer System (h) [Hatt] > 1000000

Lebensdauer Zahnfuss (h)	[HFatt]	1e+006	1e+006	1e+006
Lebensdauer Zahnflanke (h)	[HHatt]	1e+006	1e+006	1e+006

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

Schädigung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer ( 20000.0 h)

F1%	F2%	F3%	H1%	H2%	H3%
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**BEMERKUNGEN:**

- Angaben mit [e/i] bedeuten: Maximal- [e] und Minimalwert [i] bei

Berücksichtigung aller Toleranzen

Angaben mit [.m] bedeuten: Mittelwert in der Toleranz

- Beim Flankenspiel werden die Achsabstandtoleranzen und die Zahndickenabmasse berücksichtigt. Angegeben wird das maximale und das minimale Spiel entsprechend den grössten, beziehungsweise kleinsten Abmassen.

Die Berechnung erfolgt für den Wälzkreis.

- Details zur Rechenmethode:  
 cg nach Methode B  
 KV nach Methode B  
 KHb, KFb nach Methode C  
 KHa, KFa nach Methode B

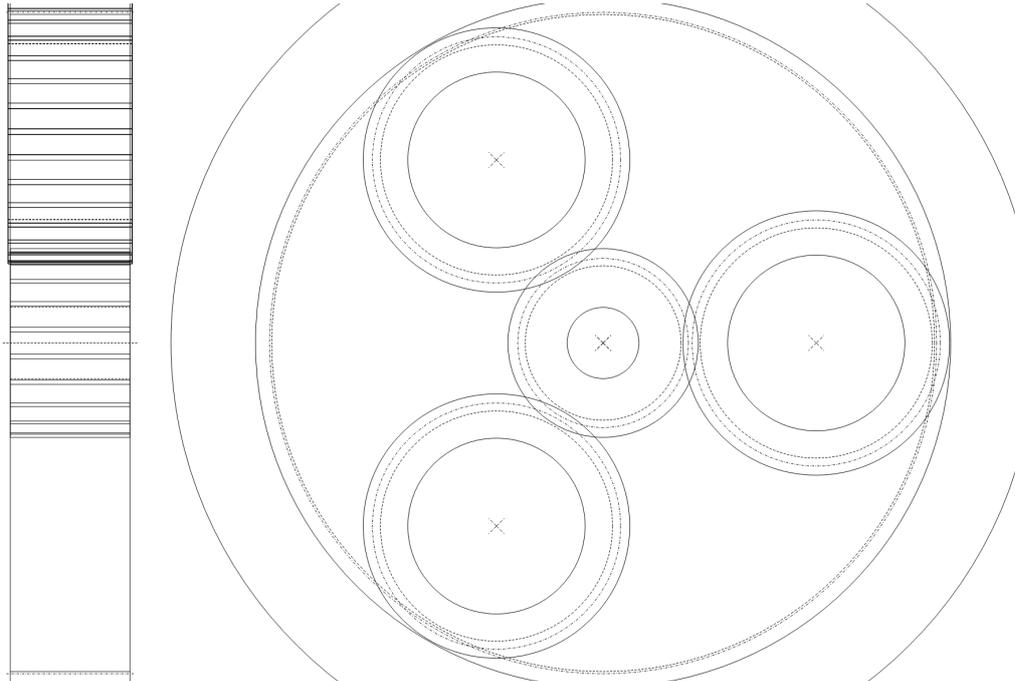


Abbildung: Zusammenstellung

Ende Protokoll

Zeilen: 710

## **B.2 Stirnradrufe Z1Z2**

**BERECHNUNG EINES SCHRÄGVERZAHNTEN STIRNRAD-PAARES**

Zeichnungs- oder Artikelnummer:

Rad 1: Z1(Z1Z2)

Rad 2: Z2(Z1Z2)

Rechenmethode DIN 3990:1987 Methode B

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Leistung (kW)	[P]		886.849
Drehzahl (1/min)	[n]	2906.9	8520.1
Drehmoment (Nm)	[T]	2913.4	994.0
Anwendungsfaktor	[KA]		1.25
Geforderte Lebensdauer (h)	[H]		20000.00
Rad treibend (+) / getrieben (-)		-	+
Arbeitsflanke Rad 1: Rechte Flanke			

**1. ZAHNGEOMETRIE UND WERKSTOFF**

(Geometrieberechnung nach DIN 3960:1987)

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Achsabstand (mm)	[a]		231.451
Achsabstandstoleranz	ISO 286:2010 Abmass js7		
Normalmodul (mm)	[mn]		4.0000
Eingriffswinkel im Normalschnitt (°)	[alfn]		20.0000
Schrägungswinkel am Teilkreis (°)	[beta]		12.0000
Zähnezahl	[z]	85	29
Zahnbreite (mm)	[b]	45.00	45.00
Schrägungsrichtung		links	rechts
Verzahnungsqualität	[Q-DIN 3961:1978]	5	5
Innendurchmesser (mm)	[di]	60.00	78.00
Innendurchmesser der Bandage (mm)	[dbi]	0.00	0.00

Werkstoff

Rad 1: 18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet  
 ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernfestigkeit >=25HRC Jominy J=12mm<HRC28

Rad 2: 18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet  
 ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernfestigkeit >=25HRC Jominy J=12mm<HRC28

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Oberflächen-Härte		HRC 61	HRC 61
Dauerfestigk. Zahnfußspannung (N/mm²)	[sigFlim]	430.00	430.00
Dauerfestig. Hertzsche Pressung (N/mm²)	[sigHlim]	1500.00	1500.00
Bruchfestigkeit (N/mm²)	[Rm]	1200.00	1200.00
Streckgrenze (N/mm²)	[Rp]	850.00	850.00
Elastizitätsmodul (N/mm²)	[E]	206000	206000
Poissonzahl	[ny]	0.300	0.300
Mittenrauhwert Ra, Flanke (µm)	[RAH]	0.30	0.30
Mittenrauhwert Ra, Fuss (µm)	[RAF]	3.00	3.00
Gemittelte Rauhtiefe Rz, Flanke (µm)	[RZH]	2.68	2.68
Gemittelte Rauhtiefe Rz, Fuss (µm)	[RZF]	20.00	20.00

**Angaben für die Vorbearbeitung**

Bezugsprofil des Werkzeugs von Rad 1 :

Fräserbezeichnung DIN 3972 Profil III x 4

Schleifzugabe (mm)	[q]	0.140
Kopfhöhenfaktor	[haP0*]	1.349
Fusshöhenfaktor	[hfP0*]	1.200

StirnradstufeZ1Z21/10

Kopfradiusfaktor	[rhoaP0*]	0.200 (rhoaP0max*=0.420)
Fussradiusfaktor	[rhofP0*]	0.001
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP0*]	0.000
Protuberanzwinkel (°)	[alfprP0]	0.000
Fussformhöhenfaktor	[hFfP0*]	0.000
Kantenbrechflankenwinkel (°)	[alfKP0]	0.000
Zahndickenfaktor Bezugslinie	[sP0*]	1.571

nicht überschneidend

Kopfhöhenfaktor Bezugsprofil Zahnrad	[haP*]	1.000
--------------------------------------	--------	-------

Bezugsprofil des Werkzeugs von Rad 2 :

Fräserbezeichnung DIN 3972 Profil III x 4

Schleifzugabe (mm)	[q]	0.140
Kopfhöhenfaktor	[haP0*]	1.349
Fusshöhenfaktor	[hfP0*]	1.200
Kopfradiusfaktor	[rhoaP0*]	0.200 (rhoaP0max*=0.420)
Fussradiusfaktor	[rhofP0*]	0.001
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP0*]	0.000
Protuberanzwinkel (°)	[alfprP0]	0.000
Fussformhöhenfaktor	[hFfP0*]	0.000
Kantenbrechflankenwinkel (°)	[alfKP0]	0.000
Zahndickenfaktor Bezugslinie	[sP0*]	1.571

nicht überschneidend

Kopfhöhenfaktor Bezugsprofil Zahnrad	[haP*]	1.000
--------------------------------------	--------	-------

**Angaben für die Fertigbearbeitung**

Fusshöhe Bezugsprofil	[hfP*]	1.247	1.247
Fussradius Bezugsprofil	[rofP*]	0.200	0.200
Kopfhöhe Bezugsprofil	[haP*]	1.000	1.000
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000	0.000
Protuberanzwinkel (°)	[alfprP]	0.000	0.000
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000	0.000
Kantenbrechflankenwinkel (°)	[alfKP]	0.000	0.000

Daten für Schleifen / Honen:

Eintauchtiefe	[hgrind*]	1.181	1.181
Radius am Werkzeugkopf	[rgrind*]	0.100	0.100

Art der Profilkorrektur: für gleichmässigen Eingriff

Kopfrücknahme (µm)	[Ca]	12.0	12.0
--------------------	------	------	------

Schmierungsart

Öl-Einspritzschmierung

Ölsorte

Öl: Klübersynth GEM 4-32 N\_NEW

Schmierstoff-Basis

Synthetisches Öl auf Polyalfaolefine-Basis

Kinem. Nennvisko. Öl bei 40 Grad (mm²/s)	[nu40]	32.00
Kinem. Nennvisko. Öl bei 100 Grad (mm²/s)	[nu100]	6.00
FZG-Test A/8.3/90 ( ISO 14635-1:2006)	[FZGtestA]	12
Spez. Dichte bei 15 Grad (kg/dm³)	[roOil]	0.840
Öltemperatur (°C)	[TS]	80.000

----- RAD 1 ----- RAD 2 --

Gesamtübersetzung	[itot]	-2.931
Zähnezahlverhältnis	[u]	2.931
Stirnmodul (mm)	[mt]	4.089
Eingriffswinkel am Teilkreis (°)	[alfit]	20.410
Betriebseingriffswinkel (°)	[alfwt]	19.288
	[alfwt.e/i]	19.304 / 19.271
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)	[alfwn]	18.902

StirnradstufeZ1Z22/10

Schrägungswinkel am Wälzkreis (°)	[betaw]	11.918		
Grundschrägungswinkel (°)	[betab]	11.267		
Nullachsabstand (mm)	[ad]	233.094		
Profilverschiebungsfaktorsumme	[Summexi]	-0.4000		
Profilverschiebungsfaktor				
Angaben für die Vorbearbeitung	[x]	-0.2167	0.0213	
Angaben für die Fertigbearbeitung	[x]	-0.3190	-0.0810	
Zahndicke (Bogen) (in Modul) (Modul)	[sn*]	1.3386	1.5118	
Kopfhöhenänderung (mm)	[k*mn]	-0.043	-0.043	
Teilkreisdurchmesser (mm)	[d]	347.596	118.592	
Grundkreisdurchmesser (mm)	[db]	325.773	111.146	
Kopfkreisdurchmesser (mm)	[da]	352.958	125.858	
(mm)	[da.e/i]	352.958 / 352.948	125.858 / 125.848	
Kopfkreisabmasse (mm)	[Ada.e/i]	0.000 / -0.010	0.000 / -0.010	
Kopfformkreisdurchmesser (mm)	[dFa]	352.958	125.858	
(mm)	[dFa.e/i]	352.958 / 352.948	125.858 / 125.848	
Kopfnutkreisdurchmesser (mm)	[dNa]	352.958	125.858	
Kopfnutkreisdurchmesser (mm)	[dNa.e/i]	352.958 / 352.948	125.858 / 125.848	
Wälzkreisdurchmesser (mm)	[dw]	345.146	117.756	
(mm)	[dw.e/i]	345.180 / 345.112	117.767 / 117.744	
Fusskreisdurchmesser (mm)	[df]	335.069	107.968	
Erzeugungsprofilverschiebungsfaktor				
Angaben für die Vorbearbeitung	[xE.e/i]	-0.2613 / -0.2819	-0.0027 / -0.0164	
Angaben für die Fertigbearbeitung	[xE.e/i]	-0.3636 / -0.3842	-0.1050 / -0.1188	
Erzeugter Fusskreis mit xE (mm)	[df.e/i]	334.712 / 334.547	107.776 / 107.666	
(berechnet mit Vorbearbeitungs-Werkzeug)				
Kopfspiel theoretisch (mm)	[c]	0.988	0.988	
Kopfspiel effektiv (mm)	[c.e/i]	1.167 / 1.061	1.277 / 1.143	
Fussnutkreisdurchmesser (mm)	[dNf]	339.024	112.449	
(mm)	[dNf.e/i]	339.068 / 338.985	112.474 / 112.428	
Fussformkreisdurchmesser (mm)	[dFf]	337.533	112.014	
(mm)	[dFf.e/i]	337.267 / 337.145	111.947 / 111.910	
(berechnet mit Fertigbearbeitungs-Werkzeug)				
Reserve (dNf-dFf)/2 (mm)	[cF.e/i]	0.962 / 0.859	0.282 / 0.241	
Addendum (mm)	[ha=mn*(haP*+x)]	2.681	3.633	
(mm)	[ha.e/i]	2.681 / 2.676	3.633 / 3.628	
Dedendum (mm)	[hf=mn*(hfP*-x)]	6.263	5.312	
(mm)	[hf.e/i]	6.442 / 6.524	5.408 / 5.463	
Wälzwinkel zu dFa (°)	[xsi_dFa.e/i]	23.890 / 23.885	30.439 / 30.428	
Wälzwinkel zu dNa (°)	[xsi_dNa.e/i]	23.890 / 23.885	30.439 / 30.428	
Wälzwinkel zu dNf (°)	[xsi_dNf.e/i]	16.535 / 16.482	8.884 / 8.727	
Wälzwinkel zu dFf (°)	[xsi_dFf.e/i]	15.353 / 15.270	6.889 / 6.727	
Zahnhöhe (mm)	[H]	8.945	8.945	
Ersatz-Zähnezahl	[zn]	90.348	30.824	
Normal-Zahndicke am Kopfkreis (mm)	[san]	3.348	3.080	
(mm)	[san.e/i]	3.220 / 3.155	3.011 / 2.964	
Normal-Zahndicke am Kopfformkreis (mm)	[sFan]	3.348	3.080	
(mm)	[sFan.e/i]	3.220 / 3.155	3.011 / 2.964	
Normal-Lückenweite am Fusskreis (mm)	[efn]	3.225	0.000	
(mm)	[efn.e/i]	3.264 / 3.282	0.000 / 0.000	
Max. Gleitgeschwindigkeit am Kopf (m/s)	[vga]	13.060	12.057	
Spezifisches Gleiten am Kopf	[zetaaa]	0.632	0.458	
Spezifisches Gleiten am Fuss	[zetaaf]	-0.844	-1.715	
Mittleres spezifisches Gleiten	[zetam]	0.548		
Gleitfaktor am Kopf	[Kga]	0.249	0.230	
Gleitfaktor am Fuss	[Kgf]	-0.230	-0.249	
Teilkreisteilung (mm)	[pt]	12.847		
Grundkreisteilung (mm)	[pbt]	12.041		

StirnradstufeZ1Z23/10

Stirneingriffsteilung (mm)	[pet]		12.041		
Steigungshöhe (mm)	[pz]	5137.477		1752.786	
Axiale Teilung (mm)	[px]		60.441		
Länge der Eingriffsstrecke (mm)	[ga, e/i]	20.990	( 21.059 /	20.896)	
Länge T1-A, T2-A (mm)	[T1A, T2A]	67.917(	67.917/	67.904)	8.534( 8.464/ 8.617)
Länge T1-B (mm)	[T1B, T2B]	58.968(	58.898/	59.048)	17.483( 17.483/ 17.473)
Länge T1-C (mm)	[T1C, T2C]	57.003(	56.951/	57.055)	19.448( 19.430/ 19.466)
Länge T1-D (mm)	[T1D, T2D]	55.877(	55.877/	55.864)	20.575( 20.505/ 20.657)
Länge T1-E (mm)	[T1E, T2E]	46.927(	46.858/	47.008)	29.524( 29.524/ 29.513)
Länge T1-T2 (mm)	[T1T2]		76.451 (	76.382 /	76.521)
Durchmesser Einzeleingriffspunkt B (mm)	[d-B]	346.464(	344.408/	344.400)	116.517( 118.471/ 118.576)
Durchmesser Einzeleingriffspunkt D (mm)	[d-D]	344.408(	346.417/	346.519)	118.519( 116.517/ 116.510)
Kopfüberdeckung	[eps]	0.906(	0.911/	0.901)	0.837( 0.838/ 0.834)
Minimale Berührlinienlänge (mm)	[Lmin]		75.945		
Profilüberdeckung	[eps_a]		1.743		
Profilüberdeckung mit Abmassen	[eps_a.e/m/i]	1.749 /	1.742 /	1.736	
Sprungüberdeckung	[eps_b]		0.745		
Gesamtüberdeckung	[eps_g]		2.488		
Gesamtüberdeckung mit Abmassen	[eps_g.e/m/i]	2.494 /	2.487 /	2.480	

## 2. ALLGEMEINE EINFLUSSFAKTOREN

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Nennumfangskraft im Teilkreis (N)	[Ft]		16763.0
Axialkraft (N)	[Fa]		3563.1
Radialkraft (N)	[Fr]		6237.5
Normalkraft (N)	[Fnorm]		18237.3
Nennumfangskraft pro mm (N/mm)	[w]		372.51
Nur zur Information: Kräfte im Wälzkreis:			
Nennumfangskraft (N)	[Ftw]		16882.0
Axialkraft (N)	[Faw]		3563.1
Radialkraft (N)	[Frw]		5907.9
Umfangsgeschwindigkeit Teilkreis (m/s)	[v]		52.91
Umfangsgeschwindigkeit Wälzkreis (m/s)	[v(dw)]		52.53
Einlaufbetrag (µm)	[yp]		0.5
Einlaufbetrag (µm)	[yf]		0.5
Korrekturfaktor	[CM]		0.800
Radkörperfaktor	[CR, bs/b, sr/mn]	0.869	(0.250, 3.746)
Bezugsprofilfaktor	[CBS]		0.977
Materialfaktor	[E/Est]		1.000
Einzelfedersteifigkeit (N/mm/µm)	[c]		11.520
Eingriffsfedersteifigkeit (N/mm/µm)	[cg]		17.942
Reduzierte Masse (kg/mm)	[mRed]		0.03415
Resonanzdrehzahl (min-1)	[nE1]		2575
Bezugsdrehzahl (-)	[N]		1.129
Bereich der Hauptresonanz!			
Einlaufbetrag (µm)	[ya]		0.5
Lagerdistanz l der Ritzelwelle (mm)	[l]		90.000
Distanz s der Ritzelwelle (mm)	[s]		9.000
Aussendurchmesser der Ritzelwelle (mm)	[dsh]		45.000
Belastung nach Bild 6.8, DIN 3990-1:1987 [-]		4	
(0:6.8a, 1:6.8b, 2:6.8c, 3:6.8d, 4:6.8e)			
Faktor K' nach Bild 6.8, DIN 3990-1:1987 [K']		-1.00	
Ohne Stützwirkung			
Flankenlinienabweichung wirksame (µm)	[Fby]		2.98
von Verformung der Wellen (µm)	[fsh*B1]		5.10

StirnradstufeZ1Z24/10

(fsh (µm) = 5.10, B1=1.00, fHb5 (µm) = 7.00)

Zahn ohne Flankenlinien-Korrektur

Lage des Tragbildes : günstig

von Fertigungstoleranzen (µm)

(B2= 1.00)

Flankenlinienabweichung, theoretisch (µm)

Einlaufbetrag (µm)

Dynamikfaktor

Breitenfaktoren

- Flanke

- Zahnfuss

- Fressen

Stirnfaktoren

- Flanke

- Zahnfuss

- Fressen

Schrägungsfaktor Fressen

Lastwechselzahl (in Mio.)

[fma*B2]	7.00		
[Fbx]	3.50		
[yb]	0.53		
[KV]	1.392		
[KHb]	1.050		
[KFb]	1.040		
[Kbb]	1.050		
[KHa]	1.000		
[KFa]	1.000		
[KBa]	1.000		
[Kbg]	1.221		
[NL]	3488.241	10224.154	

### 3. ZAHNFUSS-TRAGFÄHIGKEIT

Rechnung der Zahnformfaktoren nach Methode: B

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Berechnet mit Profilverschiebung	[x]	-0.26	-0.00
Zahnformfaktor	[YF]	1.21	1.30
Spannungskorrekturfaktor	[YS]	2.34	2.16
Schleifkerbe tg / rog	[tg/rog]	0.044	0.041
Zusätzlicher Faktor für Schleifkerbe	[Yg']	1.11	1.10
Kraftangriffswinkel (°)	[alfFen]	18.43	16.63
Biegehebelarm (mm)	[hF]	4.04	3.68
Zahnfussdicke (mm)	[sFn]	9.01	8.33
Zahnfussradius (mm)	[roF]	1.64	1.84
(hF* = 1.010/0.920 sFn* = 2.254/2.083 roF* = 0.410/0.461 dsFn = 336.201/109.173 alfsFn = 30.00/30.00)			
Überdeckungsfaktor	[Yeps]		1.000
Schrägenfaktor	[Ybet]		0.926
Massgebende Zahnbreite (mm)	[beff]	45.00	45.00
Zahnfuss-Nennspannung (N/mm²)	[sigF0]	269.01	265.84
Zahnfussspannung (N/mm²)	[sigF]	486.79	481.06
Zulässige Zahnfussspannung von Prüf-Zahnrad			
Stützziffer	[YdreIT]	1.002	0.998
Oberflächenfaktor	[YRrelT]	0.957	0.957
Grössenfaktor (Zahnfuss)	[YX]	1.000	1.000
Zeitfestigkeitsfaktor	[YNT]	1.000	1.000
	[YdreIT*YRrelT*YX*YNT]	0.959	0.955
Wechselbiegungsfaktor (Mittelspannungseinflussfaktor)	[YM]	1.000	1.000
Spannungskorrekturfaktor	[Yst]		2.00
Yst*sigFlim (N/mm²)	[sigFE]	860.00	860.00
Zulässige Zahnfussspannung (N/mm²)	[sigFP=sigFG/SFmin]	515.41	513.05
Zahnfuss-Grenzfestigkeit (N/mm²)	[sigFG]	824.66	820.88
Sollsicherheit	[SFmin]	1.60	1.60
Sicherheitsfaktor für Zahnfussspannung	[SF=sigFG/sigF]	1.69	1.71
Übertragbare Leistung (kW)	[kWRating]	938.99	945.83

Stirnradstufe Z1Z25/10

**4. FLANKENSICHERHEIT**

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Zonenfaktor	[ZH]		2.526
Elastizitätsfaktor ( $\sqrt{N/mm}$ )	[ZE]		189.812
Überdeckungsfaktor	[Zeps]		0.787
Schrägenfaktor	[Zbet]		0.989
Massgebende Zahnbreite (mm)	[beff]		45.00
Nominelle Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[sigH0]		765.94
Flankenpressung am Wälzkreis (N/mm <sup>2</sup> )	[sigHw]		1035.30
Einzeleingriffs-Faktor	[ZB,ZD]	1.00	1.01
Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[sigHB, sigHD]	1035.30	1045.08
Schmierstoff-Faktor (bei NL)	[ZL]	0.922	0.922
Geschwindigkeits-Faktor (bei NL)	[ZV]	1.048	1.048
Rauhigkeitsfaktor (bei NL)	[ZR]	1.032	1.032
Werkstoffpaarungs-Faktor (bei NL)	[ZW]	1.000	1.000
Zeitfestigkeitsfaktor	[ZNT]	1.000	1.000
	[ZL*ZV*ZR*ZNT]	0.998	0.998
Kleine Anzahl Grübchen zulässig:	nein		
Größenfaktor (Flanke)	[ZX]	1.000	1.000
Zulässige Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[sigHP=sigHG/SHmin]	1151.19	1151.19
Grübchen-Grenzfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[sigHG]	1496.55	1496.55
Sollsicherheit	[SHmin]	1.30	1.30
Sicherheit für Flankenpressung Wälzkreis	[SHw]	1.45	1.45
Sicherheit für Pressung Einzeleingriff	[SHBD=sigHG/sigHBD]	1.45	1.43
(Sicherheit bezüglich übertragbares Drehmoment)	[(SHBD)*2]	2.09	2.05
Übertragbare Leistung (kW)	[kWRating]	1096.52	1076.09

**4b. MICROPITTING (Graufleckigkeit) NACH ISO/TR 15144-1:2014**

Berechnung der zulässigen spezifischen Filmdicke  
 Schmierstoff Kraftstufe nach FVA Infoblatt 54/7 10 (Öl: Klübersynth GEM 4-32 N\_NEW)  
 Referenzdaten FZG-C Test:

Drehmoment (Nm)	[T1Ref]	265.1
Linienlast in Kontaktpunkt A (N/mm)	[FbbRef,A]	236.3
Öltemperatur (°C)	[theOilRef]	90.0
Massentemperatur (°C)	[theMRef]	123.6
Kontakttemperatur (°C)	[theBRef,A]	229.6
Schmierespalttdicke (µm)	[hRef,A]	0.022
Spezifische Filmdicke im Test (µm)	[lamGFT]	0.043
Materialfaktor	[WW]	1.00
Zulässige spezifische Filmdicke (µm)	[lamGFP]	0.061
Zwischenresultate nach ISO/TR 15144:2014		
Reibungszahl	[mym]	0.030
Schmierstofffaktor	[XL]	0.800
Rauhigkeitsfaktor	[XR]	0.830
Massentemperatur (°C)	[theM]	91.8
Kopfrücknahmefaktor	[XCa (A)]	1.801
Verlustfaktor	[HV]	0.115
Ersatz-E-Modul (N/mm <sup>2</sup> )	[Er]	226374
Druck-Viskositäts-Koeffizient (m2/N)	[alf38]	0.01224
Dynamische Viskosität (Ns/m2)	[etatM]	5.6
Mittenrauhwert (µm)	[Ra]	0.3

StirnradstufeZ1Z26/10

Berechnung der Geschwindigkeiten, Lastverteilung und Flankenkrümmung nach Methode B gemäss ISO/TR 15144-1:2014

Ca als optimal angenommen in der Rechnung (0=nein, 1=ja)		1	1
Berechnung in Punkt (0:A, 1:AB, 2:B, 3:C, 4:D, 5:DE, 6:E, -1:No Point)			5
Durchmesser (mm)	[dy]	349.611	114.151
Ersatzkrümmungsradius (mm)	[pred]		11.007
Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pH]		814.408
Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pdyn]	1100.818	
Minimale spezifische Filmdicke (µm)	[lamGFY]		0.689 (hY=0.207 µm)
Sicherheit gegen Mikropitting	[Slam(B)]		11.359
(Zwischenresultate siehe Datei: Micropitting_12.tmp)			

**5. FRESSTRAGFÄHIGKEIT**

Rechenmethode nach DIN 3990:1987

Schmierungsfaktor (für Schmierungsart)	[XS]		1.200
Relativer Gefügefaktor (Fressen)	[XWrelT]		1.000
Therm. Kontaktkoeffizient (N/mm/s <sup>0.5</sup> /K)	[BM]	13.780	13.780
Massgebende Kopfrücknahme (µm)	[Ca]	12.00	12.00
Optimale Kopfrücknahme (µm)	[Ceff]		25.95
Ca als optimal angenommen in der Rechnung (0=nein, 1=ja)		1	1
Massgebende Zahnbreite (mm)	[beff]		45.000
Massgebende Umfangskraft/Zahnbreite (N/mm)	[wBt]		831.271
Winkelfaktor	[Xalfbet]		0.963
(ε1:0.906, ε2:0.837)			
<b>Blitztemperatur-Kriterium</b>			
Massentemperatur (°C)	[theM-B]		151.12
theM-B = theoil + XS*0.47*theflamax	[theflamax]		126.10
Fresstemperatur (°C)	[theS]		502.46
Koordinate Gamma (Ort der höchsten Temp.)	[Gamma]		-0.312
[Gamma.A]=0.191 [Gamma.E]=-0.177			
Höchste Kontakttemp. (°C)	[theB]		277.22
Blitzfaktor (°K*N <sup>-0.75</sup> *s <sup>0.5</sup> *m <sup>-0.5</sup> *mm)	[XM]		50.058
Geometriefaktor	[XB]		0.184
Kraftaufteilungsfaktor	[XGam]		0.541
Dynamische Viskosität (mPa*s)	[etaM]		2.14 ( 151.1 °C)
Reibungszahl	[mym]		0.091
Sollsicherheit	[SBmin]		2.000
Sicherheitsfaktor für Fressen (Blitz-Temperatur)	[SB]		2.142
<b>Integraltemperatur-Kriterium</b>			
Massentemperatur (°C)	[theM-C]		113.88
theM-C = theoil + XS*0.70*theflaint	[theflaint]		40.34
Fress-Integraltemperatur (°C)	[theSint]		502.46
Blitzfaktor (°K*N <sup>-0.75</sup> *s <sup>0.5</sup> *m <sup>-0.5</sup> *mm)	[XM]		50.058
Überdeckungsfaktor	[Xeps]		0.256
Dynamische Viskosität (mPa*s)	[etaOil]		7.38 ( 80.0 °C)
Gemittelte Reibungszahl	[mym]		0.061
Geometriefaktor	[XBE]		0.237
Eingriffsfaktor	[XQ]		1.000
Kopfrücknahmefaktor	[XCa]		1.272
Integral-Flankentemperatur (°C)	[theint]		174.39
Sollsicherheit	[SSmin]		1.800
Sicherheitsfaktor für Fressen (Int.-T.)	[SSint]		2.881
Sicherh. f. übertragenes Moment (Int.-T.)	[SSL]		4.476

**6. PRÜFMASSE FÜR DIE ZAHNDICKE**

----- RAD 1 ----- RAD 2 --

**Angaben für die Vorbearbeitung**

Zahndickenabmass (Fertigbearbeitung) (mm)	[As.e/i]	-0.130 / -0.190	-0.070 / -0.110
Schleifzugabe (pro Flanke) (mm)	[q]	0.140	0.140
Aufmass für Vorbearbeitung (mm)	[ΔAs_pre.e/i]	0.298 / 0.298	0.298 / 0.298
Zahndickenabmass im Normalschnitt (mm)	[As_pre.e/i]	0.168 / 0.108	0.228 / 0.188
Messzähnezahl	[k]	10.000	4.000
Effektive Zahnweite (mm)	[Wk.e/i]	116.538 / 116.481	43.053 / 43.015
(mm)	[ΔWk.e/i]	0.158 / 0.101	0.214 / 0.177
Eff. Messkörperdurchmesser (mm)	[DMeff]	7.000	7.000
Eff. diametrales Zweikugelmass (mm)	[MdK.e/i]	355.637 / 355.476	128.352 / 128.257

**Angaben für die Fertigbearbeitung**

Zahndickentoleranz		DIN 3967 cd25	DIN 3967 cd25
Zahndickenabmass im Normalschnitt (mm)	[As.e/i]	-0.130 / -0.190	-0.070 / -0.110
Messzähnezahl	[k]	10.000	4.000
Zahnweite spielfrei (mm)	[Wk]	116.380	42.839
Effektive Zahnweite (mm)	[Wk.e/i]	116.258 / 116.201	42.773 / 42.735
(mm)	[ΔWk.e/i]	-0.122 / -0.179	-0.066 / -0.103
Messkreisdurchmesser (mm)	[dMWk.m]	345.141	118.792
Theor. Messkörperdurchmesser (mm)	[DM]	6.660	6.746
Eff. Messkörperdurchmesser (mm)	[DMeff]	7.000	7.000
Radiales Einkugelmass spielfrei (mm)	[MrK]	177.622	63.992
Eff. radiales Einkugelmass (mm)	[MrK.e/i]	177.445 / 177.363	63.907 / 63.858
Messkreisdurchmesser (mm)	[dMMr.m]	345.463	118.248
Diametrales Zweikugelmass spielfrei (mm)	[MdK]	355.184	127.806
Eff. diametrales Zweikugelmass (mm)	[MdK.e/i]	354.830 / 354.666	127.636 / 127.538
Diametrales Rollenmass spielfrei (mm)	[MdR]	355.243	127.984
Eff. diametrales Rollenmass (mm)	[MdR.e/i]	354.890 / 354.725	127.813 / 127.715
Zahndickensehne spielfrei (mm)	[sn]	5.354	6.045
Effektive Zahndickensehne (mm)	[sn.e/i]	5.224 / 5.164	5.975 / 5.935
Höhe über der Sehne ab da.m (mm)	[ha]	2.698	3.704
Zahndicke (Bogen) (mm)	[sn]	5.354	6.047
(mm)	[sn.e/i]	5.224 / 5.164	5.977 / 5.937
Spielfreier Achsabstand (mm)	[aControl.e/i]	231.159	/231.012
Spielfreier Achsabstand, Abmasse (mm)	[jta]	-0.292 / -0.438	
dNf.i mit aControl (mm)	[dNf0.i]	338.293	112.074
Reserve (dNf0.i-dFf.e)/2 (mm)	[cF0.i]	0.513	0.064
Kopfspiel	[c0.i(aControl)]	0.645	0.728
Achsabstandsabmass (mm)	[Aa.e/i]	0.023 / -0.023	
Verdrehflankenspiel aus Aa (mm)	[jtw_Aa.e/i]	0.016 / -0.016	
Radialspiel (mm)	[jrw]	0.461 / 0.269	
Verdrehflankenspiel (Stirnschnitt) (mm)	[jtw]	0.321 / 0.187	
Verdrehwinkel bei festgehaltenem Rad 1 (°)		0.3120 / 0.1819	
Normalflankenspiel (mm)	[jnw]	0.295 / 0.172	

**7. VERZÄHNUNGS-TOLERANZEN**

----- RAD 1 ----- RAD 2 --

Nach	DIN 3961:1978		
Verzahnungsqualität	[Q-DIN3961]	5	5

StirnradstufeZ1Z28/10

Profil-Formabweichung (µm)	[ff]	7.00	7.00
Profil-Winkelabweichung (µm)	[fHa]	5.50	5.50
Profil-Gesamtabweichung (µm)	[Ff]	9.00	9.00
Flankenlinien-Formabweichung (µm)	[fbf]	7.00	7.00
Flankenlinien-Winkelabweichung (µm)	[fHb]	7.00	7.00
Flankenlinien-Gesamtabweichung (µm)	[Fb]	10.00	10.00
Eingriffsteilungsabweichung (µm)	[fpe]	7.00	6.00
Teilungs-Einzelabweichung (µm)	[fp]	7.00	6.00
Teilungssprung (µm)	[fu]	9.00	8.00
Teilungs-Gesamtabweichung (µm)	[Fp]	28.00	21.00
Teilungsspannen-Abweichung über z/8 (µm)	[Fpz/8]	18.00	13.00
Rundlaufabweichung (µm)	[Fr]	20.00	16.00
Zahndicken-Schwankung (µm)	[Rs]	12.00	9.00
Einflanken-Wälzabweichung (µm)	[Fi']	30.00	24.00
Einflanken-Wälzsprung (µm)	[fi']	11.00	11.00
Zweiflanken-Wälzabweichung (µm)	[Fi'']	23.00	18.00
Zweiflanken-Wälzsprung (µm)	[fi'']	10.00	8.00

Achslagetoleranzen (Empfehlung nach ISO TR 10064:1992, Qualität 5)

Maximalwert für Achsschränkung (µm)	[fSigbet]	11.00 (Fb=11.00)
Maximalwert für Achsneigung (µm)	[fSigdel]	22.00

**8. ERGÄNZENDE DATEN**

Gewicht - berechnet mit da (kg)	[Mass]	33.479	2.700
Gesamtgewicht (kg)	[Mass]		36.179
Trägheitsmoment (System bezogen auf Rad 1):			
Berechnung ohne Berücksichtigung der exakten Zahnform			
Räder einzeln ((da+df)/2...di) (kg*m²)	[TraeghMom]	0.48278	0.00515
System ((da+df)/2...di) (kg*m²)	[TraeghMom]		0.52706
Verdrehsteifigkeit (MNm/rad)	[cr]	21.4	2.5
Mittlere Reibungszahl (nach Niemann)	[mum]		0.028
Verschleissgleiten nach Niemann	[zetw]		0.956
Zahnverlustleistung aus Zahnbelastung (kW)	[PVZ]		2.850
(Verzahnungswirkungsgrad (%))	[etaz]		99.679
Ölbedarf bei Einspritzschmierung (l/min)	[Voil]		8.742

(mit Ölkühler, bei angenommener Temperaturdifferenz des Öls (°C): 10)

**9. ZAHNFORM-BESTIMMUNG**

Profil- und Flankenlinienkorrekturen für Rad 1

**Symmetrisch (beide Flanken)**

- Kopfrücknahme, linear	Caa = 12.000µm	LCa = 1.118*mn	dCa = 349.621mm
- Fussrücknahme, linear	Caf = 12.000µm	LCf = 1.965*mn	dCf = 341.674mm

Profil- und Flankenlinienkorrekturen für Rad 2

**Symmetrisch (beide Flanken)**

- Kopfrücknahme, linear	Caa = 12.000µm	LCa = 1.118*mn	dCa = 121.926mm
- Fussrücknahme, linear	Caf = 12.000µm	LCf = 1.600*mn	dCf = 114.184mm

Daten zur Zahnformberechnung:

Daten nicht vorhanden.

**10. LEBENSDAUER, SCHÄDIGUNG**

StirnradstufeZ1Z29/10

Sollsicherheit Zahnfuss	[SFmin]	1.60
Sollsicherheit Zahnflanke	[SHmin]	1.30

Lebensdauer (berechnet mit Sollsicherheiten):

Lebensdauer System (h)	[Hatt]	> 1000000
------------------------	--------	-----------

Lebensdauer Zahnfuss (h)	[HFatt]	1e+006	1e+006
--------------------------	---------	--------	--------

Lebensdauer Zahnflanke (h)	[HHatt]	1e+006	1e+006
----------------------------	---------	--------	--------

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

Schädigung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer [H] ( 20000.0 h)

F1%	F2%	H1%	H2%
0.00	0.00	0.00	0.00

**BEMERKUNGEN:**

- Angaben mit [.e/i] bedeuten: Maximal- [e] und Minimalwert [i] bei Berücksichtigung aller Toleranzen  
 Angaben mit [.m] bedeuten: Mittelwert in der Toleranz
- Beim Flankenspiel werden die Achsabstandstoleranzen und die Zahndickenabmasse berücksichtigt. Angegeben wird das maximale und das minimale Spiel entsprechend den grössten, beziehungsweise kleinsten Abmassen.  
 Die Berechnung erfolgt für den Wälzkreis.
- Details zur Rechenmethode:  
 cg nach Methode B  
 KV nach Methode B  
 KHb, KFb nach Methode C  
 KHa, KFa nach Methode B

Ende Protokoll

Zeilen: 565

## **B.3 Stirnradrufe Z3Z4**

**BERECHNUNG EINES SCHRÄGVERZAHNTEN STIRNRAD-PAARES**

Zeichnungs- oder Artikelnummer:

Rad 1: Z3(Z3Z4)

Rad 2: Z4(Z3Z4)

Rechenmethode DIN 3990:1987 Methode B

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Leistung (kW)	[P]		898.343
Drehzahl (1/min)	[n]	2906.9	1695.7
Drehmoment (Nm)	[T]	2951.1	5059.1
Anwendungsfaktor	[KA]		1.25
Geforderte Lebensdauer (h)	[H]		20000.00
Rad treibend (+) / getrieben (-)		+	-
Arbeitsflanke Rad 1: Linke Flanke			

**1. ZAHNGEOMETRIE UND WERKSTOFF**

(Geometrieberechnung nach DIN 3960:1987)

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Achsabstand (mm)	[a]		231.451
Achsabstandstoleranz	ISO 286:2010 Abmass js7		
Normalmodul (mm)	[mn]		8.0000
Eingriffswinkel im Normalschnitt (°)	[alfn]		20.0000
Schrägungswinkel am Teilkreis (°)	[beta]		12.0000
Zähnezahl	[z]	21	36
Zahnbreite (mm)	[b]	55.00	55.00
Schrägungsrichtung		links	rechts
Verzahnungsqualität	[Q-DIN 3961:1978]	5	5
Innendurchmesser (mm)	[dij]	72.00	62.00
Innendurchmesser der Bandage (mm)	[dbij]	0.00	0.00

Werkstoff

Rad 1: 18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet  
 ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernfestigkeit >=25HRC Jominy J=12mm<HRC28

Rad 2: 18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet  
 ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernfestigkeit >=25HRC Jominy J=12mm<HRC28

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Oberflächen-Härte		HRC 61	HRC 61
Dauerfestigk. Zahnfußspannung (N/mm²)	[sigFlim]	430.00	430.00
Dauerfestig. Hertzsche Pressung (N/mm²)	[sigHlim]	1500.00	1500.00
Bruchfestigkeit (N/mm²)	[Rm]	1200.00	1200.00
Streckgrenze (N/mm²)	[Rp]	850.00	850.00
Elastizitätsmodul (N/mm²)	[E]	206000	206000
Poissonzahl	[ny]	0.300	0.300
Mittenrauhwert Ra, Flanke (µm)	[RAH]	0.20	0.20
Mittenrauhwert Ra, Fuss (µm)	[RAF]	3.00	3.00
Gemittelte Rauhtiefe Rz, Flanke (µm)	[RZH]	1.92	1.92
Gemittelte Rauhtiefe Rz, Fuss (µm)	[RZF]	20.00	20.00

**Angaben für die Vorbearbeitung**

Bezugsprofil des Werkzeugs von Rad 1 :  
 Fräserbezeichnung DIN 3972 Profil III x 8

Schleifzugabe (mm)	[q]	0.170
Kopfhöhenfaktor	[haP0*]	1.313
Fusshöhenfaktor	[hfP0*]	1.200

Z3Z41/10

Kopfradiusfaktor	[rhoaP0*]	0.200 (rhoaP0max*=0.439)
Fussradiusfaktor	[rhofP0*]	0.001
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP0*]	0.000
Protuberanzwinkel (°)	[alfprP0]	0.000
Fussformhöhenfaktor	[hFfP0*]	0.000
Kantenbrechflankenwinkel (°)	[alfKP0]	0.000
Zahndickenfaktor Bezugslinie	[sP0*]	1.571

nicht überschneidend

Kopfhöhenfaktor Bezugsprofil Zahnrad	[haP*]	1.000
--------------------------------------	--------	-------

Bezugsprofil des Werkzeugs von Rad 2 :

Fräserbezeichnung DIN 3972 Profil III x 8

Schleifzugabe (mm)	[q]	0.170
Kopfhöhenfaktor	[haP0*]	1.313
Fusshöhenfaktor	[hfP0*]	1.200
Kopfradiusfaktor	[rhoaP0*]	0.200 (rhoaP0max*=0.439)
Fussradiusfaktor	[rhofP0*]	0.001
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP0*]	0.000
Protuberanzwinkel (°)	[alfprP0]	0.000
Fussformhöhenfaktor	[hFfP0*]	0.000
Kantenbrechflankenwinkel (°)	[alfKP0]	0.000
Zahndickenfaktor Bezugslinie	[sP0*]	1.571

nicht überschneidend

Kopfhöhenfaktor Bezugsprofil Zahnrad	[haP*]	1.000
--------------------------------------	--------	-------

**Angaben für die Fertigbearbeitung**

Fusshöhe Bezugsprofil	[hfP*]	1.250	1.250
Fussradius Bezugsprofil	[rofP*]	0.200	0.200
Kopfhöhe Bezugsprofil	[haP*]	1.000	1.000
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000	0.000
Protuberanzwinkel (°)	[alfprP]	0.000	0.000
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000	0.000
Kantenbrechflankenwinkel (°)	[alfKP]	0.000	0.000

Daten für Schleifen / Honen:

Eintauchtiefe	[hgrind*]	1.185	1.185
Radius am Werkzeugkopf	[rgrind*]	0.100	0.100

Art der Profilkorrektur: für gleichmässigen Eingriff

Kopfrücknahme (µm)	[Ca]	27.0	27.0
--------------------	------	------	------

Schmierungsart

Öl-Einspritzschmierung

Ölsorte

Öl: Klübersynth GEM 4-150 N\_NEW

Schmierstoff-Basis

Synthetisches Öl auf Polyalfaolefine-Basis

Kinem. Nennvisko. Öl bei 40 Grad (mm²/s)	[nu40]	150.00
Kinem. Nennvisko. Öl bei 100 Grad (mm²/s)	[nu100]	20.00
FZG-Test A/8.3/90 ( ISO 14635-1:2006)	[FZGtestA]	14
Spez. Dichte bei 15 Grad (kg/dm³)	[roOil]	0.850
Öltemperatur (°C)	[TS]	80.000

----- RAD 1 ----- RAD 2 --

Gesamtübersetzung	[itot]	-1.714
Zähnezahlverhältnis	[u]	1.714
Stirnmodul (mm)	[mt]	8.179
Eingriffswinkel am Teilkreis (°)	[alfi]	20.410
Betriebseingriffswinkel (°)	[alfwt]	19.288
	[alfwt.e/i]	19.304 / 19.271
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)	[alfwn]	18.902

Schrägungswinkel am Wälzkreis (°)	[betaw]	11.918		
Grundschrägungswinkel (°)	[betab]	11.267		
Nullachsabstand (mm)	[ad]	233.094		
Profilverschiebungsfaktorsumme	[Summexi]	-0.2000		
Profilverschiebungsfaktor				
Angaben für die Vorbearbeitung	[x]	0.3001	-0.3759	
Angaben für die Fertigbearbeitung	[x]	0.2380	-0.4380	
Zahndicke (Bogen) (in Modul) (Modul)	[sn*]	1.7440	1.2520	
Kopfhöhenänderung (mm)	[k*mn]	-0.043	-0.043	
Teilkreisdurchmesser (mm)	[d]	171.753	294.434	
Grundkreisdurchmesser (mm)	[db]	160.970	275.949	
Kopfkreisdurchmesser (mm)	[da]	191.475	303.340	
(mm)	[da.e/i]	191.475 / 191.465	303.340 / 303.330	
Kopfkreisabmasse (mm)	[Ada.e/i]	0.000 / -0.010	0.000 / -0.010	
Kopfformkreisdurchmesser (mm)	[dFa]	191.475	303.340	
(mm)	[dFa.e/i]	191.475 / 191.465	303.340 / 303.330	
Kopfnutkreisdurchmesser (mm)	[dNa]	191.475	303.340	
Kopfnutkreisdurchmesser (mm)	[dNa.e/i]	191.475 / 191.465	303.340 / 303.330	
Wälzkreisdurchmesser (mm)	[dw]	170.543	292.359	
(mm)	[dw.e/i]	170.560 / 170.526	292.388 / 292.330	
Fusskreisdurchmesser (mm)	[df]	155.555	267.420	
Erzeugungsprofilverschiebungsfaktor				
Angaben für die Vorbearbeitung	[xE.e/i]	0.2838 / 0.2752	-0.3982 / -0.4085	
Angaben für die Fertigbearbeitung	[xE.e/i]	0.2217 / 0.2131	-0.4603 / -0.4706	
Erzeugter Fusskreis mit xE (mm)	[df.e/i]	155.294 / 155.157	267.063 / 266.898	
(berechnet mit Vorbearbeitungs-Werkzeug)				
Kopfspiel theoretisch (mm)	[c]	2.003	2.003	
Kopfspiel effektiv (mm)	[c.e/i]	2.292 / 2.159	2.230 / 2.111	
Fussnutkreisdurchmesser (mm)	[dNf]	163.209	280.303	
(mm)	[dNf.e/i]	163.236 / 163.186	280.331 / 280.279	
Fussformkreisdurchmesser (mm)	[dFf]	162.146	277.714	
(mm)	[dFf.e/i]	162.058 / 162.012	277.601 / 277.550	
(berechnet mit Fertigbearbeitungs-Werkzeug)				
Reserve (dNf-dFf)/2 (mm)	[cF.e/i]	0.612 / 0.564	1.391 / 1.339	
Addendum (mm)	[ha=mn*(haP*+x)]	9.861	4.453	
(mm)	[ha.e/i]	9.861 / 9.856	4.453 / 4.448	
Dedendum (mm)	[hf=mn*(hfP*-x)]	8.099	13.507	
(mm)	[hf.e/i]	8.229 / 8.298	13.685 / 13.768	
Wälzwinkel zu dFa (°)	[xsi_dFa.e/i]	36.907 / 36.900	26.154 / 26.149	
Wälzwinkel zu dNa (°)	[xsi_dNa.e/i]	36.907 / 36.900	26.154 / 26.149	
Wälzwinkel zu dNf (°)	[xsi_dNf.e/i]	9.646 / 9.538	10.251 / 10.189	
Wälzwinkel zu dFf (°)	[xsi_dFf.e/i]	6.670 / 6.530	6.277 / 6.179	
Zahnhöhe (mm)	[H]	17.960	17.960	
Ersatz-Zähnezahl	[zn]	22.321	38.265	
Normal-Zahndicke am Kopfkreis (mm)	[san]	5.036	6.638	
(mm)	[san.e/i]	4.936 / 4.875	6.508 / 6.442	
Normal-Zahndicke am Kopfformkreis (mm)	[sFan]	5.036	6.638	
(mm)	[sFan.e/i]	4.936 / 4.875	6.508 / 6.442	
Normal-Lückenweite am Fusskreis (mm)	[efn]	0.000	0.000	
(mm)	[efn.e/i]	0.000 / 0.000	0.000 / 0.000	
Max. Gleitgeschwindigkeit am Kopf (m/s)	[vga]	11.412	7.084	
Spezifisches Gleiten am Kopf	[zetaaa]	0.723	0.633	
Spezifisches Gleiten am Fuss	[zetaaf]	-1.728	-2.612	
Mittleres spezifisches Gleiten	[zetam]	0.689		
Gleitfaktor am Kopf	[Kga]	0.440	0.273	
Gleitfaktor am Fuss	[Kgf]	-0.273	-0.440	
Teilkreisteilung (mm)	[pt]	25.694		
Grundkreisteilung (mm)	[pbt]	24.081		

Stirneingriffsteilung (mm)	[pet]		24.081		
Steigungshöhe (mm)	[pz]	2538.518		4351.745	
Axiale Teilung (mm)	[px]		120.882		
Länge der Eingriffsstrecke (mm)	[ga, e/i]	38.376 (	38.445 /	38.285)	
Länge T1-A, T2-A (mm)	[T1A, T2A]	13.469(	13.399/	13.550)	62.983( 62.983/ 62.971)
Länge T1-B (mm)	[T1B, T2B]	27.763(	27.763/	27.754)	48.688( 48.619/ 48.767)
Länge T1-C (mm)	[T1C, T2C]	28.166(	28.141/	28.192)	48.285( 48.241/ 48.329)
Länge T1-D (mm)	[T1D, T2D]	37.550(	37.480/	37.631)	38.902( 38.902/ 38.890)
Länge T1-E (mm)	[T1E, T2E]	51.844(	51.844/	51.835)	24.607( 24.537/ 24.686)
Länge T1-T2 (mm)	[T1T2]		76.451 (	76.382 /	76.521)
Durchmesser Einzeleingriffspunkt B (mm)	[d-B]	170.278(	170.278/	170.272)	292.626( 292.580/ 292.679)
Durchmesser Einzeleingriffspunkt D (mm)	[d-D]	177.627(	177.568/	177.696)	286.708( 286.708/ 286.701)
Kopfüberdeckung	[eps]	0.983(	0.984/	0.982)	0.610( 0.612/ 0.608)
Minimale Berührlinienlänge (mm)	[Lmin]		62.070		
Profilüberdeckung	[eps_a]		1.594		
Profilüberdeckung mit Abmassen	[eps_a.e/m/i]	1.596 /	1.593 /	1.590	
Sprungüberdeckung	[eps_b]		0.455		
Gesamtüberdeckung	[eps_g]		2.049		
Gesamtüberdeckung mit Abmassen	[eps_g.e/m/i]	2.051 /	2.048 /	2.045	

**2. ALLGEMEINE EINFLUSSFAKTOREN**

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Nennumfangskraft im Teilkreis (N)	[Ft]		34364.8
Axialkraft (N)	[Fa]		7304.5
Radialkraft (N)	[Fr]		12787.2
Normalkraft (N)	[Fnorm]		37387.2
Nennumfangskraft pro mm (N/mm)	[w]		624.81
Nur zur Information: Kräfte im Wälzkreis:			
Nennumfangskraft (N)	[Ftw]		34608.7
Axialkraft (N)	[Faw]		7304.5
Radialkraft (N)	[Frw]		12111.5
Umfangsgeschwindigkeit Teilkreis (m/s)	[v]		26.14
Umfangsgeschwindigkeit Wälzkreis (m/s)	[v(dw)]		25.96
Einlaufbetrag (µm)	[yp]		0.6
Einlaufbetrag (µm)	[yf]		0.8
Korrekturfaktor	[CM]		0.800
Radkörperfaktor	[CR, bs/b, sr/mn]	0.902	(0.250, 5.222)
Bezugsprofilfaktor	[CBS]		0.975
Materialfaktor	[E/Est]		1.000
Einzelfedersteifigkeit (N/mm/µm)	[c]		11.024
Eingriffsfedersteifigkeit (N/mm/µm)	[cg]		15.932
Reduzierte Masse (kg/mm)	[mRed]		0.07506
Resonanzdrehzahl (min-1)	[nE1]		6625
Bezugsdrehzahl (-)	[N]		0.439
Unterkritischer Bereich			
Einlaufbetrag (µm)	[ya]		0.6
Lagerdistanz l der Ritzelwelle (mm)	[l]		110.000
Distanz s der Ritzelwelle (mm)	[s]		11.000
Aussendurchmesser der Ritzelwelle (mm)	[dsh]		55.000
Belastung nach Bild 6.8, DIN 3990-1:1987 [-]		4	
(0:6.8a, 1:6.8b, 2:6.8c, 3:6.8d, 4:6.8e)			
Faktor K' nach Bild 6.8, DIN 3990-1:1987 [K']		-1.00	
Ohne Stützwirkung			
Flankenlinienabweichung wirksame (µm)	[Fby]		3.61
von Verformung der Wellen (µm)	[fsh*B1]		3.50

(fsh (µm) = 7.01, B1=0.50, fHb5 (µm) = 7.00)  
 Flankenlinie: breitenballig [Cbeta = 0.5\*(fma+fsh)]  
 Lage des Tragbildes : günstig

von Fertigungstoleranzen (µm)	[fma*B2]		3.50
(B2= 0.50)			
Flankenlinienabweichung, theoretisch (µm)	[Fbx]		4.24
Einlaufbetrag (µm)	[yb]		0.64
Dynamikfaktor	[KV]		1.087
Breitenfaktoren			
- Flanke	[KHb]		1.050
- Zahnfuss	[KFb]		1.034
- Fressen	[KBb]		1.050
Stirnfaktoren			
- Flanke	[KHa]		1.000
- Zahnfuss	[KFa]		1.000
- Fressen	[KBa]		1.000
Schrägungsfaktor Fressen	[Kbg]		1.076
Lastwechselzahl (in Mio.)	[NL]	3488.241	2034.807

**3. ZAHNFUSS-TRAGFÄHIGKEIT**

Rechnung der Zahnformfaktoren nach Methode: B

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Berechnet mit Profilverschiebung	[x]	0.28	-0.40
Zahnformfaktor	[YF]	1.28	1.85
Spannungskorrekturfaktor	[YS]	2.37	1.75
Schleifkerbe tg / rog	[tg/rog]	0.019	0.011
Zusätzlicher Faktor für Schleifkerbe	[Yg']	1.07	1.05
Kraftangriffswinkel (°)	[alfFen]	20.17	16.68
Biegehebelarm (mm)	[hF]	7.67	9.36
Zahnfussdicke (mm)	[sFn]	16.97	15.75
Zahnfussradius (mm)	[roF]	2.97	4.61
(hF* = 0.959/ 1.171 sFn* = 2.121/ 1.969 roF* = 0.371/ 0.576 dsFn = 157.531/270.341 alfsFn = 30.00/ 30.00)			
Überdeckungsfaktor	[Yeps]		1.000
Schrägenfaktor	[Ybet]		0.955
Massgebende Zahnbreite (mm)	[beff]	55.00	55.00
Zahnfuss-Nennspannung (N/mm²)	[sigF0]	241.08	252.69
Zahnfussspannung (N/mm²)	[sigF]	338.77	355.08
Zulässige Zahnfussspannung von Prüf-Zahnrad			
Stützziffer	[YdreIT]	1.003	0.992
Oberflächenfaktor	[YRrelT]	0.957	0.957
Grössenfaktor (Zahnfuss)	[YX]	0.970	0.970
Zeitfestigkeitsfaktor	[YNT]	1.000	1.000
	[YdreIT*YRrelT*YX*YNT]	0.931	0.921
Wechselbiegungsfaktor (Mittelspannungseinflussfaktor)	[YM]	1.000	1.000
Spannungskorrekturfaktor	[Yst]		2.00
Yst*sigFlim (N/mm²)	[sigFE]	860.00	860.00
Zulässige Zahnfussspannung (N/mm²)	[sigFP=sigFG/SFmin]	500.45	494.82
Zahnfuss-Grenzfestigkeit (N/mm²)	[sigFG]	800.72	791.71
Sollsicherheit	[SFmin]	1.60	1.60
Sicherheitsfaktor für Zahnfussspannung	[SF=sigFG/sigF]	2.36	2.23
Übertragbare Leistung (kW)	[kWRating]	1327.08	1251.86

**4. FLANKENSICHERHEIT**

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Zonenfaktor	[ZH]		2.526
Elastizitätsfaktor ( $\sqrt{N/mm}$ )	[ZE]		189.812
Überdeckungsfaktor	[Zeps]		0.850
Schrägenfaktor	[Zbet]		0.989
Massgebende Zahnbreite (mm)	[beff]		55.00
Nominelle Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[sigH0]		967.50
Flankenpressung am Wälzkreis (N/mm <sup>2</sup> )	[sigHw]		1155.46
Einzeleingriffs-Faktor	[ZB,ZD]	1.00	1.00
Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[sigHB, sigHD]	1157.38	1155.46
Schmierstoff-Faktor (bei NL)	[ZL]	0.992	0.992
Geschwindigkeits-Faktor (bei NL)	[ZV]	1.028	1.028
Rauhigkeitsfaktor (bei NL)	[ZR]	1.060	1.060
Werkstoffpaarungs-Faktor (bei NL)	[ZW]	1.000	1.000
Zeitfestigkeitsfaktor	[ZNT]	1.000	1.000
	[ZL*ZV*ZR*ZNT]	1.081	1.081
Kleine Anzahl Grübchen zulässig:	nein		
Größenfaktor (Flanke)	[ZX]	1.000	1.000
Zulässige Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[sigHP=sigHG/SHmin]	1247.72	1247.72
Grübchen-Grenzfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[sigHG]	1622.03	1622.03
Sollsicherheit	[SHmin]	1.30	1.30
Sicherheit für Flankenpressung Wälzkreis	[SHw]	1.40	1.40
Sicherheit für Pressung Einzeleingriff	[SHBD=sigHG/sigHBD]	1.40	1.40
(Sicherheit bezüglich übertragbares Drehmoment)	[(SHBD)*2]	1.96	1.97
Übertragbare Leistung (kW)	[kWRating]	1044.05	1047.53

**4b. MICROPITTING (Graufleckigkeit) NACH ISO/TR 15144-1:2014**

Berechnung der zulässigen spezifischen Filmdicke  
 Schmierstoff Kraftstufe nach FVA Infoblatt 54/7 10 (Öl: Klübersynth GEM 4-150 N\_NEW)  
 Referenzdaten FZG-C Test:

Drehmoment (Nm)	[T1Ref]	265.1
Linienlast in Kontaktpunkt A (N/mm)	[FbbRef,A]	236.3
Öltemperatur (°C)	[theOilRef]	90.0
Massentemperatur (°C)	[theMRef]	122.1
Kontakttemperatur (°C)	[theBRef,A]	221.6
Schmierespaltstärke (µm)	[hRef,A]	0.049
Spezifische Filmdicke im Test (µm)	[lamGFT]	0.098
Materialfaktor	[WW]	1.00
Zulässige spezifische Filmdicke (µm)	[lamGFP]	0.137
Zwischenresultate nach ISO/TR 15144:2014		
Reibungszahl	[mym]	0.028
Schmierstofffaktor	[XL]	0.800
Rauhigkeitsfaktor	[XR]	0.713
Massentemperatur (°C)	[theM]	92.5
Kopfrücknahmefaktor	[XCa (A)]	1.922
Verlustfaktor	[HV]	0.180
Ersatz-E-Modul (N/mm <sup>2</sup> )	[Er]	226374
Druck-Viskositäts-Koeffizient (m <sup>2</sup> /N)	[alf38]	0.01326
Dynamische Viskosität (Ns/m <sup>2</sup> )	[etatM]	19.2
Mittenrauhwert (µm)	[Ra]	0.2

Z3Z46/10

Berechnung der Geschwindigkeiten, Lastverteilung und Flankenkrümmung nach Methode B gemäss ISO/TR 15144-1:2014

Ca als optimal angenommen in der Rechnung (0=nein, 1=ja)	1	1
Berechnung in Punkt (0:A, 1:AB, 2:B, 3:C, 4:D, 5:DE, 6:E, -1:No Point)		4
Durchmesser (mm)	[dy]	177.627      286.708
Ersatzkrümmungsradius (mm)	[pred]	19.482
Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pH]	1121.201
Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pdyn]	1339.021
Minimale spezifische Filmdicke (µm)	[lamGFY]	1.837      (hY=0.367 µm)
Sicherheit gegen Mikropitting	[Slam(B)]	13.370
(Zwischenresultate siehe Datei:      Micropitting_12.tmp)		

**5. FRESSTRAGFÄHIGKEIT**

Rechenmethode nach      DIN 3990:1987

Schmierungsfaktor (für Schmierungsart)	[XS]	1.200
Relativer Gefügefaktor (Fressen)	[XWrelT]	1.000
Therm. Kontaktkoeffizient (N/mm/s <sup>0.5</sup> /K)	[BM]	13.780      13.780
Massgebende Kopfrücknahme (µm)	[Ca]	27.00      27.00
Optimale Kopfrücknahme (µm)	[Ceff]	49.02
Ca als optimal angenommen in der Rechnung (0=nein, 1=ja)	1	1
Massgebende Zahnbreite (mm)	[beff]	55.000
Massgebende Umfangskraft/Zahnbreite (N/mm)	[wBt]	958.662
Winkelfaktor	[Xalfbet]	0.963
(ε1:0.983, ε2:0.610)		
Blitztemperatur-Kriterium		
Massentemperatur (°C)	[theM-B]	159.69
theM-B = theoil + XS*0.47*theflamax	[theflamax]	141.30
Fresstemperatur (°C)	[theS]	546.29
Koordinate Gamma (Ort der höchsten Temp.)	[Gamma]	0.438
[Gamma.A]=-0.522 [Gamma.E]=0.841		
Höchste Kontakttemp. (°C)	[theB]	300.99
Blitzfaktor (°K*N <sup>-0.75</sup> *s <sup>0.5</sup> *m <sup>-0.5</sup> *mm)	[XM]	50.058
Geometriefaktor	[XB]	0.243
Kraftaufteilungsfaktor	[XGam]	0.793
Dynamische Viskosität (mPa*s)	[etaM]	5.27 ( 159.7 °C)
Reibungszahl	[mym]	0.067
Sollsicherheit	[SBmin]	2.000
Sicherheitsfaktor für Fressen (Blitz-Temperatur)	[SB]	2.110
Integraltemperatur-Kriterium		
Massentemperatur (°C)	[theM-C]	108.33
theM-C = theoil + XS*0.70*theflaint	[theflaint]	33.73
Fress-Integraltemperatur (°C)	[theSint]	546.29
Blitzfaktor (°K*N <sup>-0.75</sup> *s <sup>0.5</sup> *m <sup>-0.5</sup> *mm)	[XM]	50.058
Überdeckungsfaktor	[Xeps]	0.238
Dynamische Viskosität (mPa*s)	[etaOil]	27.47 ( 80.0 °C)
Gemittelte Reibungszahl	[mym]	0.046
Geometriefaktor	[XBE]	0.480
Eingriffsfaktor	[XQ]	1.000
Kopfrücknahmefaktor	[XCa]	1.710
Integral-Flankentemperatur (°C)	[theint]	158.93
Sollsicherheit	[SSmin]	1.800
Sicherheitsfaktor für Fressen (Int.-T.)	[SSint]	3.437
Sicherh. f. übertragenes Moment (Int.-T.)	[SSL]	5.908

**6. PRÜFMASSE FÜR DIE ZAHNDICKE**

----- RAD 1 ----- RAD 2 --

**Angaben für die Vorbearbeitung**

Zahndickenabmass (Fertigbearbeitung) (mm)	[As.e/i]	-0.095 / -0.145	-0.130 / -0.190
Schleifzugabe (pro Flanke) (mm)	[q]	0.170	0.170
Aufmass für Vorbearbeitung (mm)	[ΔAs_pre.e/i]	0.362 / 0.362	0.362 / 0.362
Zahndickenabmass im Normalschnitt (mm)	[As_pre.e/i]	0.267 / 0.217	0.232 / 0.172
Messzähnezahl	[k]	3.000	4.000
Effektive Zahnweite (mm)	[Wk.e/i]	63.102 / 63.055	84.777 / 84.720
(mm)	[ΔWk.e/i]	0.251 / 0.204	0.218 / 0.161
Eff. Messkörperdurchmesser (mm)	[DMeff]	15.000	14.000
Eff. diametrales Zweikugelmass (mm)	[MdK.e/i]	197.787 / 197.687	308.471 / 308.306

**Angaben für die Fertigbearbeitung**

Zahndickentoleranz		DIN 3967 cd25	DIN 3967 cd25
Zahndickenabmass im Normalschnitt (mm)	[As.e/i]	-0.095 / -0.145	-0.130 / -0.190
Messzähnezahl	[k]	3.000	4.000
Zahnweite spielfrei (mm)	[Wk]	62.851	84.559
Effektive Zahnweite (mm)	[Wk.e/i]	62.762 / 62.715	84.437 / 84.380
(mm)	[ΔWk.e/i]	-0.089 / -0.136	-0.122 / -0.179
Messkreisdurchmesser (mm)	[dMWk.m]	172.329	288.099
Theor. Messkörperdurchmesser (mm)	[DM]	14.513	13.180
Eff. Messkörperdurchmesser (mm)	[DMeff]	15.000	14.000
Radiales Einkugelmass spielfrei (mm)	[MrK]	98.881	153.915
Eff. radiales Einkugelmass (mm)	[MrK.e/i]	98.785 / 98.734	153.732 / 153.648
Messkreisdurchmesser (mm)	[dMMr.m]	176.063	289.007
Diametrales Zweikugelmass spielfrei (mm)	[MdK]	197.251	307.829
Eff. diametrales Zweikugelmass (mm)	[MdK.e/i]	197.059 / 196.958	307.465 / 307.296
Diametrales Rollenmass spielfrei (mm)	[MdR]	197.762	307.829
Eff. diametrales Rollenmass (mm)	[MdR.e/i]	197.569 / 197.468	307.465 / 307.296
Zahndickensehne spielfrei (mm)	[sn]	13.938	10.014
Effektive Zahndickensehne (mm)	[sn.e/i]	13.843 / 13.793	9.884 / 9.824
Höhe über der Sehne ab da.m (mm)	[ha]	10.130	4.532
Zahndicke (Bogen) (mm)	[sn]	13.952	10.016
(mm)	[sn.e/i]	13.857 / 13.807	9.886 / 9.826
Spielfreier Achsabstand (mm)	[aControl.e/i]	231.123	/230.961
Spielfreier Achsabstand, Abmasse (mm)	[jta]	-0.328 / -0.490	
dNf.i mit aControl (mm)	[dNf0.i]	162.741	279.793
Reserve (dNf0.i-dFf.e)/2 (mm)	[cF0.i]	0.342	1.096
Kopfspiel	[c0.i(aControl)]	1.692	1.644
Achsabstandsabmass (mm)	[Aa.e/i]	0.023 / -0.023	
Verdrehflankenspiel aus Aa (mm)	[jtw_Aa.e/i]	0.016 / -0.016	
Radialspiel (mm)	[jrw]	0.513 / 0.305	
Verdrehflankenspiel (Stirnschnitt) (mm)	[jtw]	0.356 / 0.212	
Verdrehwinkel bei festgehaltenem Rad 1 (°)		0.1396 / 0.0832	
Normalflankenspiel (mm)	[jnw]	0.327 / 0.195	

**7. VERZÄHNUNGS-TOLERANZEN**

----- RAD 1 ----- RAD 2 --

Nach	DIN 3961:1978		
Verzahnungsqualität	[Q-DIN3961]	5	5

Profil-Formabweichung (µm)	[ff]	10.00	10.00
Profil-Winkelabweichung (µm)	[fHa]	7.00	7.00
Profil-Gesamtabweichung (µm)	[Ff]	12.00	12.00
Flankenlinien-Formabweichung (µm)	[fbf]	7.00	7.00
Flankenlinien-Winkelabweichung (µm)	[fHb]	7.00	7.00
Flankenlinien-Gesamtabweichung (µm)	[Fb]	10.00	10.00
Eingriffsteilungsabweichung (µm)	[fpe]	8.00	8.00
Teilungs-Einzelabweichung (µm)	[fp]	8.00	8.00
Teilungssprung (µm)	[fu]	9.00	10.00
Teilungs-Gesamtabweichung (µm)	[Fp]	26.00	30.00
Teilungsspannen-Abweichung über z/8 (µm)	[Fpz/8]	17.00	19.00
Rundlaufabweichung (µm)	[Fr]	20.00	23.00
Zahndicken-Schwankung (µm)	[Rs]	12.00	13.00
Einflanken-Wälzabweichung (µm)	[Fi']	30.00	34.00
Einflanken-Wälzsprung (µm)	[fi']	13.00	14.00
Zweiflanken-Wälzabweichung (µm)	[Fi'']	22.00	25.00
Zweiflanken-Wälzsprung (µm)	[fi'']	10.00	11.00

Achslagetoleranzen (Empfehlung nach ISO TR 10064:1992, Qualität 5)

Maximalwert für Achsschränkung (µm)	[fSigbet]	11.00 (Fb=11.00)
Maximalwert für Achsneigung (µm)	[fSigdel]	22.00

**8. ERGÄNZENDE DATEN**

Gewicht - berechnet mit da (kg)	[Mass]	10.647	29.822
Gesamtgewicht (kg)	[Mass]	40.469	
Trägheitsmoment (System bezogen auf Rad 1):			
Berechnung ohne Berücksichtigung der exakten Zahnform			
Räder einzeln ((da+df)/2...di) (kg*m²)	[TraeghMom]	0.03704	0.27893
System ((da+df)/2...di) (kg*m²)	[TraeghMom]	0.13195	
Verdrehsteifigkeit (MNm/rad)	[cr]	5.7	16.7
Mittlere Reibungszahl (nach Niemann)	[mum]	0.026	
Verschleissgleiten nach Niemann	[zetw]	1.098	
Zahnverlustleistung aus Zahnbelastung (kW)	[PVZ]	4.213	
(Verzahnungswirkungsgrad (%))	[etaz]	99.531	
Ölbedarf bei Einspritzschmierung (l/min)	[Voil]	12.925	

(mit Ölkühler, bei angenommener Temperaturdifferenz des Öls (°C): 10)

**9. ZAHNFORM-BESTIMMUNG**

Profil- und Flankenlinienkorrekturen für Rad 1

**Symmetrisch (beide Flanken)**

- Kopfrücknahme, linear	Caa = 27.000µm	LCa = 0.937*mn	dCa = 183.813mm
- Fussrücknahme, linear	Caf = 27.000µm	LCf = 1.556*mn	dCf = 166.778mm

Profil- und Flankenlinienkorrekturen für Rad 2

**Symmetrisch (beide Flanken)**

- Kopfrücknahme, linear	Caa = 27.000µm	LCa = 0.937*mn	dCa = 297.446mm
- Fussrücknahme, linear	Caf = 27.000µm	LCf = 1.932*mn	dCf = 282.644mm

Daten zur Zahnformberechnung:

Daten nicht vorhanden.

**10. LEBENSDAUER, SCHÄDIGUNG**

Sollsicherheit Zahnfuss	[SFmin]	1.60
Sollsicherheit Zahnflanke	[SHmin]	1.30

Lebensdauer (berechnet mit Sollsicherheiten):

Lebensdauer System (h)	[Hatt]	> 1000000
------------------------	--------	-----------

Lebensdauer Zahnfuss (h)	[HFatt]	1e+006	1e+006
--------------------------	---------	--------	--------

Lebensdauer Zahnflanke (h)	[HHatt]	1e+006	1e+006
----------------------------	---------	--------	--------

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

Schädigung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer [H] ( 20000.0 h)

F1%	F2%	H1%	H2%
0.00	0.00	0.00	0.00

**BEMERKUNGEN:**

- Angaben mit [.e/i] bedeuten: Maximal- [e] und Minimalwert [i] bei Berücksichtigung aller Toleranzen  
 Angaben mit [.m] bedeuten: Mittelwert in der Toleranz
- Beim Flankenspiel werden die Achsabstandstoleranzen und die Zahndickenabmasse berücksichtigt. Angegeben wird das maximale und das minimale Spiel entsprechend den grössten, beziehungsweise kleinsten Abmassen.  
 Die Berechnung erfolgt für den Wälzkreis.
- Details zur Rechenmethode:
  - cg nach Methode B
  - KV nach Methode B
  - KHb, KFb nach Methode C
  - KHa, KFa nach Methode B

Ende Protokoll

Zeilen: 565

## **B.4 Stirnradrufe Z5Z6**

**BERECHNUNG EINES SCHRÄGVERZAHNTEN STIRNRAD-PAARES**

Zeichnungs- oder Artikelnummer:

Rad 1: Z6(Z5Z6)

Rad 2: Z5(Z5Z6)

Rechenmethode DIN 3990:1987 Methode B

----- RAD 1 ----- RAD 2 --

Leistung (kW)	[P]	21.229	
Drehzahl (1/min)	[n]	391.6	50.1
Drehmoment (Nm)	[T]	517.8	4044.9
Anwendungsfaktor	[KA]		1.25
Geforderte Lebensdauer (h)	[H]	20000.00	
Rad treibend (+) / getrieben (-)		+	-
Arbeitsflanke Rad 1: Rechte Flanke			

**1. ZAHNGEOMETRIE UND WERKSTOFF**

(Geometrieberechnung nach DIN 3960:1987)

----- RAD 1 ----- RAD 2 --

Achsabstand (mm)	[a]	221.278	
Achsabstandstoleranz	ISO 286:2010 Abmass js7		
Normalmodul (mm)	[mn]	3.0000	
Eingriffswinkel im Normalschnitt (°)	[alfn]	20.0000	
Schrägungswinkel am Teilkreis (°)	[beta]	15.0000	
Zähnezahl	[z]	16	125
Zahnbreite (mm)	[b]	60.00	60.00
Schrägungsrichtung		rechts	links
Verzahnungsqualität	[Q-DIN 3961:1978]	4	4
Innendurchmesser (mm)	[di]	30.00	62.00
Innendurchmesser der Bandage (mm)	[dbi]	0.00	0.00

Werkstoff

Rad 1: (Eigene Eingabe)	18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernfestigkeit >=25HRC Jominy J=12mm<HRC28
Rad 2: (Eigene Eingabe)	18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernfestigkeit >=25HRC Jominy J=12mm<HRC28

----- RAD 1 ----- RAD 2 --

Oberflächen-Härte		HRC 61	HRC 61
Dauerfestigk. Zahnfußspannung (N/mm²)	[sigFlim]	525.00	525.00
Dauerfestig. Hertzsche Pressung (N/mm²)	[sigHlim]	1650.00	1650.00
Bruchfestigkeit (N/mm²)	[Rm]	1200.00	1200.00
Streckgrenze (N/mm²)	[Rp]	850.00	850.00
Elastizitätsmodul (N/mm²)	[E]	206000	206000
Poissonzahl	[ny]	0.300	0.300
Mittenrauhwert Ra, Flanke (µm)	[RAH]	0.15	0.15
Mittenrauhwert Ra, Fuss (µm)	[RAF]	3.00	3.00
Gemittelte Rauhtiefe Rz, Flanke (µm)	[RZH]	1.50	1.50
Gemittelte Rauhtiefe Rz, Fuss (µm)	[RZF]	20.00	20.00

**Angaben für die Vorbearbeitung**

Bezugsprofil des Werkzeugs von Rad 1 :

Fräserbezeichnung DIN 3972 Profil III x 3

Schleifzugabe (mm)	[q]	0.120
Kopfhöhenfaktor	[haP0*]	1.370
Fusshöhenfaktor	[hfP0*]	1.200

Z5Z6/10

Kopfradiusfaktor	[rhoaP0*]	0.200 (rhoaP0max*=0.409)
Fussradiusfaktor	[rhofP0*]	0.001
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP0*]	0.000
Protuberanzwinkel (°)	[alfprP0]	0.000
Fussformhöhenfaktor	[hFfP0*]	0.000
Kantenbrechflankenwinkel (°)	[alfKP0]	0.000
Zahndickenfaktor Bezugslinie	[sP0*]	1.571

nicht überschneidend

Kopfhöhenfaktor Bezugsprofil Zahnrad	[haP*]	1.000
--------------------------------------	--------	-------

Bezugsprofil des Werkzeugs von Rad 2 :

Fräserbezeichnung DIN 3972 Profil III x 3

Schleifzugabe (mm)	[q]	0.120
Kopfhöhenfaktor	[haP0*]	1.370
Fusshöhenfaktor	[hfP0*]	1.200
Kopfradiusfaktor	[rhoaP0*]	0.200 (rhoaP0max*=0.409)
Fussradiusfaktor	[rhofP0*]	0.001
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP0*]	0.000
Protuberanzwinkel (°)	[alfprP0]	0.000
Fussformhöhenfaktor	[hFfP0*]	0.000
Kantenbrechflankenwinkel (°)	[alfKP0]	0.000
Zahndickenfaktor Bezugslinie	[sP0*]	1.571

nicht überschneidend

Kopfhöhenfaktor Bezugsprofil Zahnrad	[haP*]	1.000
--------------------------------------	--------	-------

**Angaben für die Fertigbearbeitung**

Fusshöhe Bezugsprofil	[hfP*]	1.253	1.253
Fussradius Bezugsprofil	[rofP*]	0.200	0.200
Kopfhöhe Bezugsprofil	[haP*]	1.000	1.000
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000	0.000
Protuberanzwinkel (°)	[alfprP]	0.000	0.000
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000	0.000
Kantenbrechflankenwinkel (°)	[alfKP]	0.000	0.000

Daten für Schleifen / Honen:

Eintauchtiefe	[hgrind*]	1.187	1.187
Radius am Werkzeugkopf	[rgrind*]	0.100	0.100

Art der Profilkorrektur: für gleichmässigen Eingriff

Kopfrücknahme (µm)	[Ca]	10.0	10.0
--------------------	------	------	------

Schmierungsart

Öl-Einspritzschmierung

Ölsorte

Öl: Klübersynth GEM 4-150 N\_NEW

Schmierstoff-Basis

Synthetisches Öl auf Polyalfaolefine-Basis

Kinem. Nennvisko. Öl bei 40 Grad (mm²/s)	[nu40]	150.00
Kinem. Nennvisko. Öl bei 100 Grad (mm²/s)	[nu100]	20.00
FZG-Test A/8.3/90 ( ISO 14635-1:2006)	[FZGtestA]	14
Spez. Dichte bei 15 Grad (kg/dm³)	[roOil]	0.850
Öltemperatur (°C)	[TS]	80.000

----- RAD 1 ----- RAD 2 --

Gesamtübersetzung	[itot]	-7.813
Zähnezahlverhältnis	[u]	7.813
Stirnmodul (mm)	[mt]	3.106
Eingriffswinkel am Teilkreis (°)	[alfi]	20.647
Betriebseingriffswinkel (°)	[alfwt]	22.184
	[alfwt.e/i]	22.199 / 22.170
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)	[alfwn]	21.484

Schrägungswinkel am Wälzkreis (°)	[betaw]	15.151		
Grundschrägungswinkel (°)	[betab]	14.076		
Nullachsabstand (mm)	[ad]	218.961		
Profilverschiebungsfaktorsumme	[Summexi]	0.8000		
Profilverschiebungsfaktor				
Angaben für die Vorbearbeitung	[x]	0.7670	0.2670	
Angaben für die Fertigbearbeitung	[x]	0.6500	0.1500	
Zahndicke (Bogen) (in Modul) (Modul)	[sn*]	2.0440	1.6800	
Kopfhöhenänderung (mm)	[k*mn]	-0.083	-0.083	
Teilkreisdurchmesser (mm)	[d]	49.693	388.229	
Grundkreisdurchmesser (mm)	[db]	46.502	363.293	
Kopfkreisdurchmesser (mm)	[da]	59.427	394.963	
(mm)	[da.e/i]	59.427 / 59.417	394.963 / 394.953	
Kopfkreisabmasse (mm)	[Ada.e/i]	0.000 / -0.010	0.000 / -0.010	
Kopfformkreisdurchmesser (mm)	[dFa]	59.427	394.963	
(mm)	[dFa.e/i]	59.427 / 59.417	394.963 / 394.953	
Kopfnutkreisdurchmesser (mm)	[dNa]	59.427	394.963	
Kopfnutkreisdurchmesser (mm)	[dNa.e/i]	59.427 / 59.417	394.963 / 394.953	
Wälzkreisdurchmesser (mm)	[dw]	50.219	392.336	
(mm)	[dw.e/i]	50.224 / 50.214	392.377 / 392.295	
Fusskreisdurchmesser (mm)	[df]	46.074	381.609	
Erzeugungsprofilverschiebungsfaktor				
Angaben für die Vorbearbeitung	[xE.e/i]	0.7422 / 0.7285	0.2074 / 0.1799	
Angaben für die Fertigbearbeitung	[xE.e/i]	0.6253 / 0.6115	0.0905 / 0.0630	
Erzeugter Fusskreis mit xE (mm)	[df.e/i]	45.926 / 45.843	381.252 / 381.087	
(berechnet mit Vorbearbeitungs-Werkzeug)				
Kopfspiel theoretisch (mm)	[c]	0.759	0.759	
Kopfspiel effektiv (mm)	[c.e/i]	1.048 / 0.915	0.903 / 0.810	
Fussnutkreisdurchmesser (mm)	[dNf]	48.060	385.886	
(mm)	[dNf.e/i]	48.097 / 48.029	385.932 / 385.845	
Fussformkreisdurchmesser (mm)	[dFf]	47.461	382.712	
(mm)	[dFf.e/i]	47.379 / 47.335	382.394 / 382.249	
(berechnet mit Fertigbearbeitungs-Werkzeug)				
Reserve (dNf-dFf)/2 (mm)	[cF.e/i]	0.381 / 0.325	1.842 / 1.725	
Addendum (mm)	[ha=mn*(haP*+x)]	4.867	3.367	
(mm)	[ha.e/i]	4.867 / 4.862	3.367 / 3.362	
Dedendum (mm)	[hf=mn*(hfP*-x)]	1.810	3.310	
(mm)	[hf.e/i]	1.884 / 1.925	3.488 / 3.571	
Wälzwinkel zu dFa (°)	[xsi_dFa.e/i]	45.592 / 45.572	24.440 / 24.436	
Wälzwinkel zu dNa (°)	[xsi_dNa.e/i]	45.592 / 45.572	24.440 / 24.436	
Wälzwinkel zu dNf (°)	[xsi_dNf.e/i]	15.139 / 14.807	20.540 / 20.499	
Wälzwinkel zu dFf (°)	[xsi_dFf.e/i]	11.183 / 10.895	18.822 / 18.749	
Zahnhöhe (mm)	[H]	6.677	6.677	
Ersatz-Zähnezahl	[zn]	17.606	137.546	
Normal-Zahndicke am Kopfkreis (mm)	[san]	1.166	2.487	
(mm)	[san.e/i]	1.110 / 1.067	2.359 / 2.294	
Normal-Zahndicke am Kopfformkreis (mm)	[sFan]	1.166	2.487	
(mm)	[sFan.e/i]	1.110 / 1.067	2.359 / 2.294	
Normal-Lückenweite am Fusskreis (mm)	[efn]	0.000	2.095	
(mm)	[efn.e/i]	0.000 / 0.000	2.111 / 2.118	
Max. Gleitgeschwindigkeit am Kopf (m/s)	[vga]	0.417	0.158	
Spezifisches Gleiten am Kopf	[zetaaa]	0.550	0.388	
Spezifisches Gleiten am Fuss	[zetaaf]	-0.634	-1.222	
Mittleres spezifisches Gleiten	[zetam]	0.506		
Gleitfaktor am Kopf	[Kga]	0.405	0.153	
Gleitfaktor am Fuss	[Kgf]	-0.153	-0.405	
Teilkreisteilung (mm)	[pt]	9.757		
Grundkreisteilung (mm)	[pbt]	9.131		

Stirneingriffsteilung (mm)	[pet]		9.131	
Steigungshöhe (mm)	[pz]	582.633		4551.818
Axiale Teilung (mm)	[px]		36.415	
Länge der Eingriffsstrecke (mm)	[ga, e/i]	12.432 (	12.493 /	12.350)
Länge T1-A, T2-A (mm)	[T1A, T2A]	6.070(	6.009/	6.143) 77.482(
Länge T1-B (mm)	[T1B, T2B]	9.371(	9.371/	9.363) 74.180(
Länge T1-C (mm)	[T1C, T2C]	9.481(	9.474/	9.488) 74.070(
Länge T1-D (mm)	[T1D, T2D]	15.200(	15.139/	15.274) 68.351(
Länge T1-E (mm)	[T1E, T2E]	18.501(	18.501/	18.493) 65.050(
Länge T1-T2 (mm)	[T1T2]		83.551 (	83.490 /
Durchmesser Einzeleingriffspunkt B (mm)	[d-B]	50.136(	50.136/	50.130) 392.419(
Durchmesser Einzeleingriffspunkt D (mm)	[d-D]	55.557(	55.491/	55.638) 388.161(
Kopfüberdeckung	[eps]	0.988(	0.989/	0.986) 0.374(
Minimale Berührlinienlänge (mm)	[Lmin]		75.777	
Profilüberdeckung	[eps_a]		1.362	
Profilüberdeckung mit Abmassen	[eps_a.e/m/i]	1.368 /	1.360 /	1.353
Sprungüberdeckung	[eps_b]		1.648	
Gesamtüberdeckung	[eps_g]		3.009	
Gesamtüberdeckung mit Abmassen	[eps_g.e/m/i]	3.016 /	3.008 /	3.000

## 2. ALLGEMEINE EINFLUSSFAKTOREN

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Nennumfangskraft im Teilkreis (N)	[Ft]		20837.8
Axialkraft (N)	[Fa]		5583.5
Radialkraft (N)	[Fr]		7851.9
Normalkraft (N)	[Fnorm]		22957.4
Nennumfangskraft pro mm (N/mm)	[w]		347.30
Nur zur Information: Kräfte im Wälzkreis:			
Nennumfangskraft (N)	[Ftw]		20619.7
Axialkraft (N)	[Faw]		5583.5
Radialkraft (N)	[Frw]		8408.1
Umfangsgeschwindigkeit Teilkreis (m/s)	[v]		1.02
Umfangsgeschwindigkeit Wälzkreis (m/s)	[v(dw)]		1.03
Einlaufbetrag (µm)	[yp]		0.3
Einlaufbetrag (µm)	[yf]		0.3
Korrekturfaktor	[CM]		0.800
Radkörperfaktor	[CR, bs/b, sr/mn]	0.838	(0.250, 2.679)
Bezugsprofilfaktor	[CBS]		0.973
Materialfaktor	[E/Est]		1.000
Einzelfedersteifigkeit (N/mm/µm)	[c]		12.300
Eingriffsfedersteifigkeit (N/mm/µm)	[cg]		15.635
Reduzierte Masse (kg/mm)	[mRed]		0.00968
Resonanzdrehzahl (min-1)	[nE1]		23989
Bezugsdrehzahl (-)	[N]		0.016
Unterkritischer Bereich			
Einlaufbetrag (µm)	[ya]		0.3
Lagerdistanz l der Ritzelwelle (mm)	[l]		120.000
Distanz s der Ritzelwelle (mm)	[s]		12.000
Aussendurchmesser der Ritzelwelle (mm)	[dsh]		45.200
Belastung nach Bild 6.8, DIN 3990-1:1987 [-]		0	
(0:6.8a, 1:6.8b, 2:6.8c, 3:6.8d, 4:6.8e)			
Faktor K' nach Bild 6.8, DIN 3990-1:1987 [K']		0.80	
Ohne Stützwirkung			
Flankenlinienabweichung wirksame (µm)	[Fby]		5.95
von Verformung der Wellen (µm)	[fsh*B1]		0.00

(fsh (µm) = 24.52, B1=0.00, fHb5 (µm) = 7.00)

Mit voller Flankenlinien-Korrektur

Lage des Tragbildes : günstig

von Fertigungstoleranzen (µm)

(B2= 0.50)

Flankenlinienabweichung, theoretisch (µm)

Einlaufbetrag (µm)

Dynamikfaktor

Breitenfaktoren

- Flanke

- Zahnfuss

- Fressen

Stirnfaktoren

- Flanke

- Zahnfuss

- Fressen

Schrägungsfaktor Fressen

Lastwechselzahl (in Mio.)

[fma*B2]	2.75		
[Fbx]	7.00		
[yb]	1.05		
[KV]	1.002		
[KHb]	1.107		
[KFb]	1.094		
[KCb]	1.107		
[KHa]	1.000		
[KFa]	1.000		
[KBa]	1.000		
[Kbg]	1.283		
[NL]	469.860	60.142	

### 3. ZAHNFUSS-TRAGFÄHIGKEIT

Rechnung der Zahnformfaktoren nach Methode: B

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Berechnet mit Herstellprofilverschiebung	[xE.e]	0.74	0.21
Zahnformfaktor	[YF]	1.21	1.49
Spannungskorrekturfaktor	[YS]	2.76	2.47
Schleifkerbe tg / rog	[tg/rog]	0.140	0.177
Zusätzlicher Faktor für Schleifkerbe	[Yg']	1.21	1.24
Kraftangriffswinkel (°)	[alfFen]	27.41	20.91
Biegehebelarm (mm)	[hF]	3.41	4.40
Zahnfussdicke (mm)	[sFn]	6.93	7.26
Zahnfussradius (mm)	[roF]	0.78	0.85
(hF* = 1.136/ 1.466 sFn* = 2.312/ 2.421 roF* = 0.262/ 0.283 dsFn = 46.489/381.938 alfsFn = 30.00/ 30.00)			
Überdeckungsfaktor	[Yeps]		1.000
Schrägenfaktor	[Ybet]		0.875
Massgebende Zahnbreite (mm)	[beff]	60.00	60.00
Zahnfuss-Nennspannung (N/mm²)	[sigF0]	407.78	463.81
Zahnfussspannung (N/mm²)	[sigF]	558.75	635.51
Zulässige Zahnfussspannung von Prüf-Zahnrad			
Stützziffer	[YdreIT]	1.016	1.015
Oberflächenfaktor	[YRrelT]	0.957	0.957
Grössenfaktor (Zahnfuss)	[YX]	1.000	1.000
Zeitfestigkeitsfaktor	[YNT]	1.000	1.000
	[YdreIT*YRrelT*YX*YNT]	0.972	0.971
Wechselbiegungsfaktor (Mittelspannungseinflussfaktor)	[YM]	1.000	1.000
Spannungskorrekturfaktor	[Yst]		2.00
Yst*sigFlim (N/mm²)	[sigFE]	1050.00	1050.00
Zulässige Zahnfussspannung (N/mm²)	[sigFP=sigFG/SFmin]	728.95	728.17
Zahnfuss-Grenzfestigkeit (N/mm²)	[sigFG]	1020.53	1019.44
Sollsicherheit	[SFmin]	1.40	1.40
Sicherheitsfaktor für Zahnfussspannung	[SF=sigFG/sigF]	1.83	1.60
Übertragbare Leistung (kW)	[kWRating]	27.70	24.32

Z5Z65/10

**4. FLANKENSICHERHEIT**

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Zonenfaktor	[ZH]		2.331
Elastizitätsfaktor ( $\sqrt{N/mm}$ )	[ZE]		189.812
Überdeckungsfaktor	[Zeps]		0.857
Schrägenfaktor	[Zbet]		0.983
Massgebende Zahnbreite (mm)	[beff]		60.00
Nominelle Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[sigH0]		1046.29
Flankenpressung am Wälzkreis (N/mm <sup>2</sup> )	[sigHw]		1231.83
Einzeleingriffs-Faktor	[ZB,ZD]	1.00	1.00
Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[sigHB, sigHD]	1231.83	1231.83
Schmierstoff-Faktor (bei NL)	[ZL]	0.992	0.992
Geschwindigkeits-Faktor (bei NL)	[ZV]	0.955	0.955
Rauhigkeitsfaktor (bei NL)	[ZR]	1.080	1.080
Werkstoffpaarungs-Faktor (bei NL)	[ZW]	1.000	1.000
Zeitfestigkeitsfaktor	[ZNT]	1.000	1.000
	[ZL*ZV*ZR*ZNT]	1.023	1.023
Kleine Anzahl Grübchen zulässig:	nein		
Größenfaktor (Flanke)	[ZX]	1.000	1.000
Zulässige Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[sigHP=sigHG/SHmin]	1687.29	1687.29
Grübchen-Grenzfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[sigHG]	1687.29	1687.29
Sollsicherheit	[SHmin]	1.00	1.00
Sicherheit für Flankenpressung Wälzkreis	[SHw]	1.37	1.37
Sicherheit für Pressung Einzeleingriff	[SHBD=sigHG/sigHBD]	1.37	1.37
(Sicherheit bezüglich übertragbares Drehmoment)	[(SHBD)*2]	1.88	1.88
Übertragbare Leistung (kW)	[kWRating]	39.83	39.83

**4b. MICROPITTING (Graufleckigkeit) NACH ISO/TR 15144-1:2014**

Berechnung der zulässigen spezifischen Filmdicke  
 Schmierstoff Kraftstufe nach FVA Infoblatt 54/7 10 (Öl: Klübersynth GEM 4-150 N\_NEW)  
 Referenzdaten FZG-C Test:

Drehmoment (Nm)	[T1Ref]	265.1
Linienlast in Kontaktpunkt A (N/mm)	[FbbRef,A]	236.3
Öltemperatur (°C)	[theOilRef]	90.0
Massentemperatur (°C)	[theMRef]	122.1
Kontakttemperatur (°C)	[theBRef,A]	221.6
Schmierpaltdicke (µm)	[hRef,A]	0.049
Spezifische Filmdicke im Test (µm)	[lamGFT]	0.098
Materialfaktor	[WW]	1.00
Zulässige spezifische Filmdicke (µm)	[lamGFP]	0.137
Zwischenresultate nach ISO/TR 15144:2014		
Reibungszahl	[mym]	0.061
Schmierstofffaktor	[XL]	0.800
Rauhigkeitsfaktor	[XR]	0.798
Massentemperatur (°C)	[theM]	81.4
Kopfrücknahmefaktor	[XCa (A)]	1.930
Verlustfaktor	[HV]	0.172
Ersatz-E-Modul (N/mm <sup>2</sup> )	[Er]	226374
Druck-Viskositäts-Koeffizient (m2/N)	[alf38]	0.01326
Dynamische Viskosität (Ns/m2)	[etatM]	26.3
Mittenrauhwert (µm)	[Ra]	0.1

Z5Z66/10

Berechnung der Geschwindigkeiten, Lastverteilung und Flankenkrümmung nach Methode B gemäss ISO/TR 15144-1:2014

Ca als optimal angenommen in der Rechnung (0=nein, 1=ja)	1	1	
Berechnung in Punkt (0:A, 1:AB, 2:B, 3:C, 4:D, 5:DE, 6:E, -1:No Point)		1	
Durchmesser (mm)	[dy]	48.998	393.679
Ersatzkrümmungsradius (mm)	[pred]		7.224
Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pH]	1271.281	
Flankenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pdyn]	1496.722	
Minimale spezifische Filmdicke (µm)	[lamGFY]	0.304	(hY=0.046 µm)
Sicherheit gegen Mikropitting	[Slam(B)]	2.215	
(Zwischenresultate siehe Datei: Micropitting_12.tmp)			

**5. FRESSTRAGFÄHIGKEIT**

Rechenmethode nach DIN 3990:1987

Schmierungsfaktor (für Schmierungsart)	[XS]	1.200	
Relativer Gefügefaktor (Fressen)	[XWrelT]	1.000	
Therm. Kontaktkoeffizient (N/mm/s <sup>0.5</sup> /K)	[BM]	13.780	13.780
Massgebende Kopfrücknahme (µm)	[Ca]	10.00	10.00
Optimale Kopfrücknahme (µm)	[Ceff]	27.77	
Ca als optimal angenommen in der Rechnung (0=nein, 1=ja)		1	1
Massgebende Zahnbreite (mm)	[beff]	60.000	
Massgebende Umfangskraft/Zahnbreite (N/mm)	[wBt]	617.864	
Winkelfaktor	[Xalfbet]	1.003	
(ε1:0.988, ε2:0.374)			
Blitztemperatur-Kriterium			
Massentemperatur (°C)	[theM-B]	103.23	
theM-B = theoil + XS*0.47*theflamax	[theflamax]	41.18	
Fresstemperatur (°C)	[theS]	546.29	
Koordinate Gamma (Ort der höchsten Temp.)	[Gamma]	0.603	
[Gamma.A]=-0.360 [Gamma.E]=0.951			
Höchste Kontakttemp. (°C)	[theB]	144.41	
Blitzfaktor (°K*N <sup>-0.75</sup> *s <sup>0.5</sup> *m <sup>-0.5</sup> *mm)	[XM]	50.058	
Geometriefaktor	[XB]	0.251	
Kraftaufteilungsfaktor	[XGam]	1.000	
Dynamische Viskosität (mPa*s)	[etaM]	14.93 ( 103.2 °C)	
Reibungszahl	[mym]	0.101	
Sollsicherheit	[SBmin]	2.000	
Sicherheitsfaktor für Fressen (Blitz-Temperatur)	[SB]	7.238	
Integraltemperatur-Kriterium			
Massentemperatur (°C)	[theM-C]	90.36	
theM-C = theoil + XS*0.70*theflaint	[theflaint]	12.33	
Fress-Integraltemperatur (°C)	[theSint]	546.29	
Blitzfaktor (°K*N <sup>-0.75</sup> *s <sup>0.5</sup> *m <sup>-0.5</sup> *mm)	[XM]	50.058	
Überdeckungsfaktor	[Xeps]	0.290	
Dynamische Viskosität (mPa*s)	[etaOil]	27.47 ( 80.0 °C)	
Gemittelte Reibungszahl	[mym]	0.101	
Geometriefaktor	[XBE]	0.364	
Eingriffsfaktor	[XQ]	1.000	
Kopfrücknahmefaktor	[XCa]	1.410	
Integral-Flankentemperatur (°C)	[theint]	108.85	
Sollsicherheit	[SSmin]	1.800	
Sicherheitsfaktor für Fressen (Int.-T.)	[SSint]	5.019	
Sicherh. f. übertragenes Moment (Int.-T.)	[SSL]	16.162	

**6. PRÜFMASSE FÜR DIE ZAHNDICKE**

----- RAD 1 ----- RAD 2 --

**Angaben für die Vorbearbeitung**

Zahndickenabmass (Fertigbearbeitung) (mm)	[As.e/i]	-0.054 / -0.084	-0.130 / -0.190
Schleifzugabe (pro Flanke) (mm)	[q]	0.120	0.120
Aufmass für Vorbearbeitung (mm)	[ΔAs_pre.e/i]	0.255 / 0.255	0.255 / 0.255
Zahndickenabmass im Normalschnitt (mm)	[As_pre.e/i]	0.201 / 0.171	0.125 / 0.065
Messzähnezahl	[k]	3.000	16.000
Effektive Zahnweite (mm)	[Wk.e/i]	24.406 / 24.378	143.498 / 143.441
(mm)	[ΔWk.e/i]	0.189 / 0.161	0.118 / 0.061
Eff. Messkörperdurchmesser (mm)	[DMeff]	6.500	5.250
Eff. diametrales Zweikugelmass (mm)	[MdK.e/i]	63.815 / 63.765	396.985 / 396.829

**Angaben für die Fertigbearbeitung**

Zahndickentoleranz		DIN 3967 cd25	DIN 3967 cd25
Zahndickenabmass im Normalschnitt (mm)	[As.e/i]	-0.054 / -0.084	-0.130 / -0.190
Messzähnezahl	[k]	3.000	16.000
Zahnweite spielfrei (mm)	[Wk]	24.217	143.380
Effektive Zahnweite (mm)	[Wk.e/i]	24.166 / 24.138	143.258 / 143.201
(mm)	[ΔWk.e/i]	-0.051 / -0.079	-0.122 / -0.179
Messkreisdurchmesser (mm)	[dMWk.m]	52.069	388.951
Theor. Messkörperdurchmesser (mm)	[DM]	6.509	5.060
Eff. Messkörperdurchmesser (mm)	[DMeff]	6.500	5.250
Radiales Einkugelmass spielfrei (mm)	[MrK]	31.740	198.345
Eff. radiales Einkugelmass (mm)	[MrK.e/i]	31.694 / 31.669	198.176 / 198.097
Messkreisdurchmesser (mm)	[dMMr.m]	53.484	389.168
Diametrales Zweikugelmass spielfrei (mm)	[MdK]	63.479	396.659
Eff. diametrales Zweikugelmass (mm)	[MdK.e/i]	63.389 / 63.338	396.320 / 396.163
Diametrales Rollenmass spielfrei (mm)	[MdR]	63.479	396.690
Eff. diametrales Rollenmass (mm)	[MdR.e/i]	63.389 / 63.338	396.351 / 396.194
Zahndickensehne spielfrei (mm)	[sn]	6.118	5.040
Effektive Zahndickensehne (mm)	[sn.e/i]	6.064 / 6.034	4.910 / 4.850
Höhe über der Sehne ab da.m (mm)	[ha]	5.041	3.380
Zahndicke (Bogen) (mm)	[sn]	6.132	5.040
(mm)	[sn.e/i]	6.078 / 6.048	4.910 / 4.850
Spielfreier Achsabstand (mm)	[aControl.e/i]	221.041	/220.924
Spielfreier Achsabstand, Abmasse (mm)	[jta]	-0.237 / -0.353	
dNf.i mit aControl (mm)	[dNf0.i]	47.620	385.256
Reserve (dNf0.i-dFf.e)/2 (mm)	[cF0.i]	0.120	1.431
Kopfspiel	[c0.i(aControl)]	0.585	0.480
Achsabstandsabmass (mm)	[Aa.e/i]	0.023 / -0.023	
Verdrehflankenspiel aus Aa (mm)	[jtw_Aa.e/i]	0.019 / -0.019	
Radialspiel (mm)	[jrw]	0.376 / 0.214	
Verdrehflankenspiel (Stirnschnitt) (mm)	[jtw]	0.305 / 0.174	
Verdrehwinkel bei festgehaltenem Rad 1 (°)		0.0892 / 0.0507	
Normalflankenspiel (mm)	[jnw]	0.277 / 0.158	

**7. VERZÄHNUNGS-TOLERANZEN**

----- RAD 1 ----- RAD 2 --

Nach	DIN 3961:1978		
Verzahnungsqualität	[Q-DIN3961]	4	4

Profil-Formabweichung (µm)	[ff]	4.00	4.00
Profil-Winkelabweichung (µm)	[fHa]	3.00	3.00
Profil-Gesamtabweichung (µm)	[Ff]	5.00	5.00
Flankenlinien-Formabweichung (µm)	[fbf]	6.00	6.00
Flankenlinien-Winkelabweichung (µm)	[fHb]	5.50	5.50
Flankenlinien-Gesamtabweichung (µm)	[Fb]	8.00	8.00
Eingriffsteilungsabweichung (µm)	[fpe]	3.50	4.50
Teilungs-Einzelabweichung (µm)	[fp]	3.50	4.50
Teilungssprung (µm)	[fu]	4.50	6.00
Teilungs-Gesamtabweichung (µm)	[Fp]	11.00	19.00
Teilungsspannen-Abweichung über z/8 (µm)	[Fpz/8]	7.00	12.00
Rundlaufabweichung (µm)	[Fr]	8.00	13.00
Zahndicken-Schwankung (µm)	[Rs]	4.50	7.00
Einflanken-Wälzabweichung (µm)	[Fi']	13.00	19.00
Einflanken-Wälzsprung (µm)	[fi']	6.00	7.00
Zweiflanken-Wälzabweichung (µm)	[Fi'']	10.00	15.00
Zweiflanken-Wälzsprung (µm)	[fi'']	4.00	6.00
Nach DIN 58405:1972 (Feinwerktechnik):			
Wälzsprung (µm)	[fi'']	0.00	0.00
Wälzfehler (µm)	[Fi'']	0.00	0.00
Achsparellitätsfehler (µm)	[fp]	0.00	0.00
Flankenrichtungsfehler (µm)	[fbeta]	0.00	0.00
Rundlaufabweichung (µm)	[Trk, Fr]	0.00	0.00

Achslagetoleranzen (Empfehlung nach ISO TR 10064:1992, Qualität 4)

Maximalwert für Achsschränkung (µm)	[fSigbet]	7.50 (Fb= 7.50)
Maximalwert für Achsneigung (µm)	[fSigdel]	15.00

### 8. ERGÄNZENDE DATEN

Maximal möglicher Achsabstand (eps_a=1.0)	[aMAX]	222.545	
Gewicht - berechnet mit da (kg)	[Mass]	0.971	56.141
Gesamtgewicht (kg)	[Mass]	57.112	
Trägheitsmoment (System bezogen auf Rad 1):			
Berechnung ohne Berücksichtigung der exakten Zahnform			
Räder einzeln ((da+df)/2...di) (kg*m <sup>2</sup> )	[TraeghMom]	0.0003171	1.045
System ((da+df)/2...di) (kg*m <sup>2</sup> )	[TraeghMom]	0.01744	
Verdrehsteifigkeit (MNm/rad)	[cr]	0.5	31.0
Mittlere Reibungszahl (nach Niemann)	[mum]	0.063	
Verschleissgleiten nach Niemann	[zetw]	0.688	
Zahnverlustleistung aus Zahnbelastung (kW)	[PVZ]	0.232	
(Verzahnungswirkungsgrad (%))	[etaz]	98.907	
Ölbedarf bei Einspritzschmierung (l/min)	[Voil]	0.712	
(mit Ölkühler, bei angenommener Temperaturdifferenz des Öls (°C): 10)			

### 9. ZAHNFORM-BESTIMMUNG

Profil- und Flankenlinienkorrekturen für Rad 1

#### Symmetrisch (beide Flanken)

- Kopfrücknahme, linear	Caa = 10.000µm	LCa = 0.518*mn	dCa = 57.555mm
- Fussrücknahme, linear	Caf = 10.000µm	LCf = 1.015*mn	dCf = 48.912mm

Profil- und Flankenlinienkorrekturen für Rad 2

#### Symmetrisch (beide Flanken)

- Kopfrücknahme, linear	Caa = 10.000µm	LCa = 0.518*mn	dCa = 393.761mm
- Fussrücknahme, linear	Caf = 10.000µm	LCf = 1.831*mn	dCf = 385.964mm

Daten zur Zahnformberechnung:  
 Daten nicht vorhanden.

**10. LEBENSDAUER, SCHÄDIGUNG**

Sollsicherheit Zahnfuss	[SFmin]	1.40
Sollsicherheit Zahnflanke	[SHmin]	1.00

Lebensdauer (berechnet mit Sollsicherheiten):  
 Lebensdauer System (h) [Hatt] > 1000000

Lebensdauer Zahnfuss (h)	[HFatt]	1e+006	1e+006
Lebensdauer Zahnflanke (h)	[HHatt]	1e+006	1e+006

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

Schädigung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer [H] ( 20000.0 h)

F1%	F2%	H1%	H2%
0.00	0.00	0.00	0.00

**BEMERKUNGEN:**

- Angaben mit [.e/i] bedeuten: Maximal- [e] und Minimalwert [i] bei Berücksichtigung aller Toleranzen  
 Angaben mit [.m] bedeuten: Mittelwert in der Toleranz
- Beim Flankenspiel werden die Achsabstandstoleranzen und die Zahndickenabmasse berücksichtigt. Angegeben wird das maximale und das minimale Spiel entsprechend den grössten, beziehungsweise kleinsten Abmassen.  
 Die Berechnung erfolgt für den Wälzkreis.
- Details zur Rechenmethode:  
 cg nach Methode B  
 KV nach Methode B  
 KHb, KFb nach Methode C  
 KHa, KFa nach Methode B

Ende Protokoll

Zeilen: 573

## B.5 Wellen und Lager Planetengetriebe, WelleZ4, WelleZ5

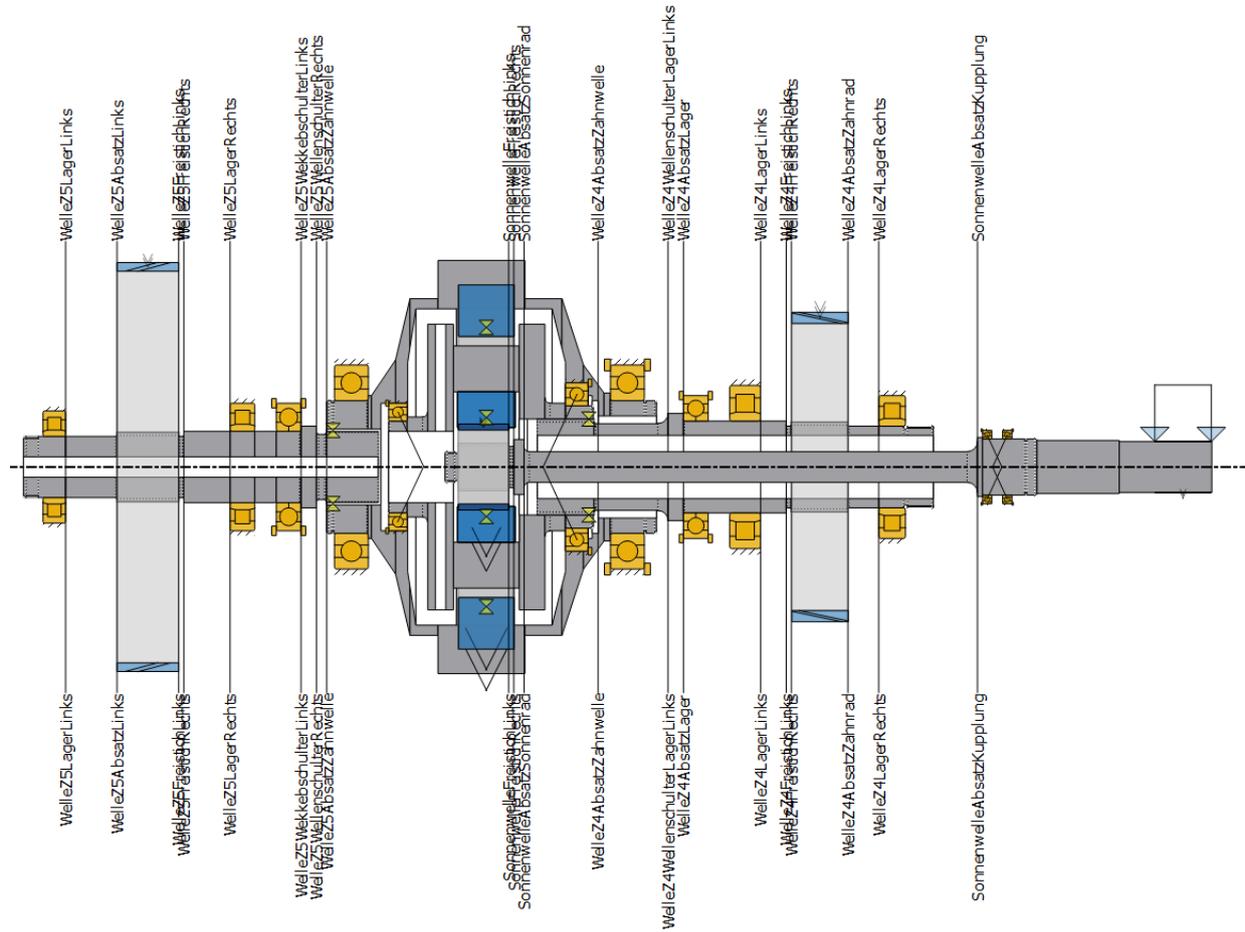


Abbildung B.1: Planetengetriebe, WelleZ4 und WelleZ5

**Berechnung von Wellen, Achsen und Trägern**

**Eingabedaten**

Koordinatensystem Welle: siehe Bild W-002

Bezeichnung	CarrierShaft
Zeichnung	
Startposition (mm)	85.250
Länge (mm)	199.000
Drehzahl (1/min)	1695.67
Drehrichtung: im Uhrzeigersinn	
Werkstoff	C45 (1)
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)	80.000
Gewicht der Welle (kg)	38.479
(Hinweis: Gewicht gilt für die Welle ohne Berücksichtigung der Zahnräder)	
Gewicht der Welle, inklusive zusatzmassen (kg)	38.479
Massenträgheitsmoment (kg*m <sup>2</sup> )	0.374
Schwungmoment GD2 (Nm <sup>2</sup> )	14.689
Bezeichnung	RingShaft
Zeichnung	
Startposition (mm)	25.000
Länge (mm)	320.758
Drehzahl (1/min)	50.12
Drehrichtung: gegen den Uhrzeigersinn	
Werkstoff	34 CrMo 4
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)	80.000
Gewicht der Welle (kg)	61.887
(Hinweis: Gewicht gilt für die Welle ohne Berücksichtigung der Zahnräder)	
Gewicht der Welle, inklusive zusatzmassen (kg)	62.627
Massenträgheitsmoment (kg*m <sup>2</sup> )	1.505
Schwungmoment GD2 (Nm <sup>2</sup> )	59.065
Bezeichnung	SonnenwelleFreilauf
Zeichnung	
Startposition (mm)	140.000
Länge (mm)	746.000
Drehzahl (1/min)	8520.13
Drehrichtung: im Uhrzeigersinn	
Werkstoff	30 CrNiMo 8 (1)
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)	80.000

WPGSWZ4WZ51/69

Gewicht der Welle (kg)	7.199
(Hinweis: Gewicht gilt für die Welle ohne Berücksichtigung der Zahnräder)	
Gewicht der Welle, inklusive zusatzmassen (kg)	16.596
Massenträgheitsmoment (kg*mm <sup>2</sup> )	3077.629
Schwungmoment GD2 (Nm <sup>2</sup> )	0.121

Bezeichnung	WelleZ4
Zeichnung	
Startposition (mm)	230.000
Länge (mm)	385.000
Drehzahl (1/min)	1695.67
Drehrichtung: im Uhrzeigersinn	

Werkstoff	30 CrNiMo 8 (1)
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)	80.000
Gewicht der Welle (kg)	9.168
(Hinweis: Gewicht gilt für die Welle ohne Berücksichtigung der Zahnräder)	
Gewicht der Welle, inklusive zusatzmassen (kg)	35.462
Massenträgheitsmoment (kg*m <sup>2</sup> )	0.320
Schwungmoment GD2 (Nm <sup>2</sup> )	12.554

Bezeichnung	WelleZ5
Zeichnung	
Startposition (mm)	-270.000
Länge (mm)	345.000
Drehzahl (1/min)	50.12
Drehrichtung: gegen den Uhrzeigersinn	

Werkstoff	34 CrMo 4
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)	80.000
Gewicht der Welle (kg)	8.724
(Hinweis: Gewicht gilt für die Welle ohne Berücksichtigung der Zahnräder)	
Gewicht der Welle, inklusive zusatzmassen (kg)	63.814
Massenträgheitsmoment (kg*m <sup>2</sup> )	1.097
Schwungmoment GD2 (Nm <sup>2</sup> )	43.058

Gewicht in Richtung ( 0.000, 0.000, -1.000)

Zahnräder als Massen und Steifigkeit berücksichtigt

Schubverformungen werden berücksichtigt

Schubkorrekturfaktor 1.100

Ein nichtlineares Wellenmodell wird verwendet

Wälzlagersteifigkeiten werden aus innerer Lagergeometrie bestimmt

Toleranzlage: Mittelwert

Gehäusewerkstoff C45 (1)

Wärmeausdehnungskoeffizient (10<sup>-6</sup>/K) 11.500

Gehäusetemperatur (°C) 40.000

Thermische Gehäusereferenzpunkt (mm) 0.000

Referenztemperatur (°C) 20.000

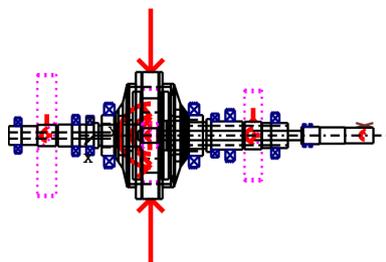
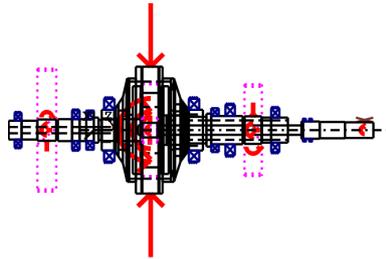


Abbildung: Lasteinleitungen

**Wellendefinition (CarrierShaft)**

**Aussenkontur**

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			0.000mm ...	18.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	90.0000		
Länge (mm)	[l]	18.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Fase links (Fase links)  
l=1.00 (mm), alpha=45.00 (°)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			18.000mm ...	38.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	98.0000		
Länge (mm)	[l]	20.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Radius rechts (Radius rechts)  
r=5.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			38.000mm ...	63.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	280.0000		
Länge (mm)	[l]	25.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	4.8000		

Querbohrung (Querbohrung)  
d=10.00

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			63.000mm ...	127.000mm
----------------------------	--	--	--------------	-----------

WPGSWZ4WZ53/69

Durchmesser (mm)	[d]	237.3802
Länge (mm)	[l]	64.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Zylinder (Zylinder) 127.000mm ... 152.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	280.0000
Länge (mm)	[l]	25.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Zylinder (Zylinder) 152.000mm ... 172.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	125.0000
Länge (mm)	[l]	20.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius links (Radius links)  
 r=5.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Zylinder (Zylinder) 172.000mm ... 199.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	120.0000
Länge (mm)	[l]	27.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

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

Radius links (Radius links)  
 r=0.50 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

**Innenkontur**

Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung) 0.000mm ... 63.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	70.0000
Länge (mm)	[l]	63.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung) 63.000mm ... 127.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	147.3802
Länge (mm)	[l]	64.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung) 127.000mm ... 135.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	94.0000
Länge (mm)	[l]	8.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung) 135.000mm ... 196.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	94.0000
Länge (mm)	[l]	61.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

**Kräfte**

Art des Kraftelements  
 Bezeichnung im Modell  
 Position auf Welle (mm) [ylocal]

**Kupplung/Motor**  
 PlanetCarrierCoupling(PlanetCarrierConstraint)  
 95.0000

WPGSWZ4WZ54/69

Position im globalen System (mm)	[yglobal]	180.2500
Wirkdurchmesser (mm)		192.3802
Radialkraftfaktor (-)		0.0000
Richtung der Radialkraft (°)		0.0000
Axialkraftfaktor (-)		0.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		56.0000
Leistung (kW)		0.0000
Drehmoment (Nm)		-0.0000
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 Jp (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Massenträgheitsmoment Jxx (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Massenträgheitsmoment Jzz (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Exzentrizität (mm)		0.0000
Art des Kraftelements		<b>Kupplung/Motor</b>
Bezeichnung im Modell		PlanetCarrierCoupling(PlanetRingConstraint)
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	95.0000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	180.2500
Wirkdurchmesser (mm)		192.3802
Radialkraftfaktor (-)		0.0000
Richtung der Radialkraft (°)		0.0000
Axialkraftfaktor (-)		0.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		56.0000
Leistung (kW)		449.1354 treibend (Abtrieb)
Drehmoment (Nm)		-2529.3367
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 Jp (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Massenträgheitsmoment Jxx (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Massenträgheitsmoment Jzz (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Exzentrizität (mm)		0.0000
Art des Kraftelements		<b>Kupplung/Motor</b>
Bezeichnung im Modell		PlanetCarrierCoupling(SunPlanetConstraint)
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	95.0000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	180.2500
Wirkdurchmesser (mm)		192.3802
Radialkraftfaktor (-)		0.0000
Richtung der Radialkraft (°)		0.0000
Axialkraftfaktor (-)		0.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		56.0000
Leistung (kW)		440.2238 treibend (Abtrieb)
Drehmoment (Nm)		-2479.1504
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 Jp (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000

WPGSWZ4WZ55/69

Massenträgheitsmoment Jxx (kg*m <sup>2</sup> )	0.0000
Massenträgheitsmoment Jzz (kg*m <sup>2</sup> )	0.0000
Exzentrizität (mm)	0.0000

**Wellendefinition (RingShaft)**

**Aussenkontur**

Zylinder (Zylinder) 0.000mm ... 40.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	130.0000
Länge (mm)	[l]	40.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Fase links (Fase links)

l=2.00 (mm), alpha=45.00 (°)

Rechtecknut (Rechtecknut)

b=2.00 (mm), t=2.00 (mm), r=0.20 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Radius rechts (Radius rechts)

r=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Zylinder (Zylinder) 40.000mm ... 43.575mm

Durchmesser (mm)	[d]	140.0000
Länge (mm)	[l]	3.5750
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Konus (Konus) 43.575mm ... 67.000mm

Durchmesser links (mm)	[d <sub>l</sub> ]	140.0000
Durchmesser rechts (mm)	[d <sub>r</sub> ]	210.0000
Länge (mm)	[l]	23.4250
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Konus (Konus) 67.000mm ... 81.000mm

Durchmesser links (mm)	[d <sub>l</sub> ]	210.0000
Durchmesser rechts (mm)	[d <sub>r</sub> ]	330.0000
Länge (mm)	[l]	14.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Zylinder (Zylinder) 81.000mm ... 108.258mm

Durchmesser (mm)	[d]	330.0000
Länge (mm)	[l]	27.2580
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius links (Radius links)

r=10.00 (mm), Rz=2.8, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Zylinder (Zylinder) 108.258mm ... 192.758mm

Durchmesser (mm)	[d]	405.0000
Länge (mm)	[l]	84.5000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	2.8000

WPGSWZ4WZ56/69

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			192.758mm ...	228.758mm
Durchmesser (mm)	[d]	330.0000		
Länge (mm)	[l]	36.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	2.8000		

<u>Konus (Konus)</u>			228.758mm ...	249.758mm
Durchmesser links (mm)	[d <sub>l</sub> ]	330.0000		
Durchmesser rechts (mm)	[d <sub>r</sub> ]	200.0000		
Länge (mm)	[l]	21.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

<u>Konus (Konus)</u>			249.758mm ...	269.758mm
Durchmesser links (mm)	[d <sub>l</sub> ]	200.0000		
Durchmesser rechts (mm)	[d <sub>r</sub> ]	145.0000		
Länge (mm)	[l]	20.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Radius links (Radius links)  
 r=10.00 (mm), Rz=2.8, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			269.758mm ...	275.758mm
Durchmesser (mm)	[d]	145.0000		
Länge (mm)	[l]	6.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			275.758mm ...	320.758mm
Durchmesser (mm)	[d]	130.0000		
Länge (mm)	[l]	45.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

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

Rechtecknut (Rechtecknut)  
 b=2.00 (mm), t=2.00 (mm), r=0.20 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Radius links (Radius links)  
 r=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

**Innenkontur**

<u>Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung)</u>			0.000mm ...	52.750mm
Durchmesser (mm)	[d]	74.4000		
Länge (mm)	[l]	52.7500		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

<u>Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung)</u>			52.750mm ...	78.750mm
Durchmesser (mm)	[d]	125.0000		
Länge (mm)	[l]	26.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

<u>Konische Bohrung (Konische Bohrung)</u>			78.750mm ...	86.750mm
Durchmesser links (mm)	[d <sub>l</sub> ]	205.0000		
Durchmesser rechts (mm)	[d <sub>r</sub> ]	310.0000		

WPGSWZ4WZ57/69

Länge (mm)	[l]	8.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		
<u>Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung)</u>			86.750mm ...	126.250mm
Durchmesser (mm)	[d]	310.0000		
Länge (mm)	[l]	39.5000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		
<u>Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung)</u>			126.250mm ...	180.250mm
Durchmesser (mm)	[d]	310.0000		
Länge (mm)	[l]	54.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		
<u>Konische Bohrung (Konische Bohrung)</u>			180.250mm ...	219.250mm
Durchmesser links (mm)	[d <sub>l</sub> ]	310.0000		
Durchmesser rechts (mm)	[d <sub>r</sub> ]	310.0000		
Länge (mm)	[l]	39.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		
<u>Konische Bohrung (Konische Bohrung)</u>			219.250mm ...	232.250mm
Durchmesser links (mm)	[d <sub>l</sub> ]	310.0000		
Durchmesser rechts (mm)	[d <sub>r</sub> ]	205.0000		
Länge (mm)	[l]	13.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		
<u>Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung)</u>			232.250mm ...	254.250mm
Durchmesser (mm)	[d]	165.0000		
Länge (mm)	[l]	22.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		
<u>Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung)</u>			254.250mm ...	258.250mm
Durchmesser (mm)	[d]	140.0000		
Länge (mm)	[l]	4.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		
<u>Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung)</u>			258.250mm ...	264.250mm
Durchmesser (mm)	[d]	130.0000		
Länge (mm)	[l]	6.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		
<u>Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung)</u>			264.250mm ...	320.758mm
Durchmesser (mm)	[d]	100.0000		
Länge (mm)	[l]	56.5080		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

**Kräfte**

Art des Kraftelements		Stirnrad
Bezeichnung im Modell		RingGear(PlanetRingConstraint)
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	155.2500
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	180.2500
Wälzkreisdurchmesser (mm)		-306.3834
Geradverzahnung		
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)		22.6043
Position des Eingriffs (°)		0.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		54.0000
Leistung (kW)		7.0057 treibend (Abtrieb)
Drehmoment (Nm)		1334.8242
Axialkraft (N)		-0.0000

WPGSWZ4WZ58/69

Querkraft X (N)	3627.8097
Querkraft Z (N)	-8713.4252
Biegemoment X (Nm)	0.0000
Biegemoment Z (Nm)	-0.0000

Art des Kraftelements	<b>Stirnrad</b>
Bezeichnung im Modell	RingGear(PlanetRingConstraint)2
Position auf Welle (mm) [ylocal]	155.2500
Position im globalen System (mm) [yglobal]	180.2500
Wälzkreisdurchmesser (mm)	-306.3834
Geradverzahnung	
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)	22.6043
Position des Eingriffs (°)	120.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)	54.0000
Leistung (kW)	7.0057 treibend (Abtrieb)
Drehmoment (Nm)	1334.8242
Axialkraft (N)	-0.0000
Querkraft X (N)	5732.1427
Querkraft Z (N)	7498.4880
Biegemoment X (Nm)	0.0000
Biegemoment Z (Nm)	0.0000

Art des Kraftelements	<b>Stirnrad</b>
Bezeichnung im Modell	RingGear(PlanetRingConstraint)3
Position auf Welle (mm) [ylocal]	155.2500
Position im globalen System (mm) [yglobal]	180.2500
Wälzkreisdurchmesser (mm)	-306.3834
Geradverzahnung	
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)	22.6043
Position des Eingriffs (°)	240.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)	54.0000
Leistung (kW)	7.0057 treibend (Abtrieb)
Drehmoment (Nm)	1334.8242
Axialkraft (N)	-0.0000
Querkraft X (N)	-9359.9524
Querkraft Z (N)	1214.9373
Biegemoment X (Nm)	-0.0000
Biegemoment Z (Nm)	0.0000

**Lager**

Bezeichnung im Modell	RingFestlagerRechts6026
Lager Typ	SKF *6026-2RS1
Lager Bauform	Rillenkugellager (einreihig)
Lager Position (mm) [ylocal]	292.500
Lager Position (mm) [yglobal]	317.500
Befestigung Aussenring	Festlager
Innendurchmesser (mm) [d]	130.000
Aussendurchmesser (mm) [D]	200.000
Breite (mm) [b]	33.000
Eckradius (mm) [r]	2.000
Anzahl Wälzkörper [Z]	12
Teilkreis Wälzkörper (mm) [D <sub>pw</sub> ]	165.033
Durchmesser Wälzkörper (mm) [D <sub>w</sub> ]	23.062
Durchmesser äussere Laufbahn (mm) [d <sub>o</sub> ]	188.072
Durchmesser innere Laufbahn (mm) [d <sub>i</sub> ]	141.994
Krümmungsradius äussere Laufbahn (mm) [r <sub>o</sub> ]	12.223
Krümmungsradius innere Laufbahn (mm) [r <sub>i</sub> ]	11.992
Pd = 0.033 (mm)	

WPGSWZ4WZ59/69

Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (\*)

Lagerspiel	DIN 620:1988 C0 (33.00 µm)	
Toleranzlage	Mittelwert	
Toleranz	DIN 620:1988 PN	
Toleranz der Welle	j5, 129.998 mm (min = 129.989 mm , max = 130.007 mm)	
Toleranz der Nabe	J6, 200.007 mm (min = 199.993 mm , max = 200.022 mm)	
RzI = 8.00 µm	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Innenring)	
RzO = 8.00 µm	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Aussenring)	
Änderung Lagerspiel durch: n = 0 (1/min)		
Press-Sitz	-3.03 µm	
Temperatur	-83.69 µm	
Gesamte Lagerspieländerung	-78.95 µm, ni = 50.12 (1/min), no = 0 (1/min)	
Betriebslagerspiel	33.00 µm + (-78.95 µm) = -45.95 µm	
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ]	100.000
Dynamische Tragzahl	[C]	112.000
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ]	3.350
Werte für die approximierte Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	113.733
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	98.322

Bezeichnung im Modell		RingLoslagerLinks6026
Lager Typ		SKF *6026-2RS1
Lager Bauform		Rillenkugellager (einreihig)
Lager Position (mm)	[Ylokal]	24.000
Lager Position (mm)	[Yglobal]	49.000
Befestigung Aussenring		Loslager
Innendurchmesser (mm)	[d]	130.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	200.000
Breite (mm)	[b]	33.000
Eckradius (mm)	[r]	2.000
Anzahl Wälzkörper	[Z]	12
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	165.033
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	23.062
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	159.856
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	170.210
Krümmungsradius äussere Laufbahn (mm)	[r <sub>o</sub> ]	12.223
Krümmungsradius innere Laufbahn (mm)	[r <sub>i</sub> ]	11.992
Pd = 0.061 (mm)		

Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (\*)

Lagerspiel	DIN 620:1988 C3 (61.00 µm)	
Toleranzlage	Mittelwert	
Toleranz	DIN 620:1988 PN	
Toleranz der Welle	66000.00 µm (196.000 mm)	
Toleranz der Nabe	J6, 200.007 mm (min = 199.993 mm , max = 200.022 mm)	
RzI = 8.00 µm	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Innenring)	
RzO = 8.00 µm	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Aussenring)	
Änderung Lagerspiel durch: n = 0 (1/min)		
Press-Sitz	-56393.75 µm	
Temperatur	-56545.13 µm	
Gesamte Lagerspieländerung	-56539.71 µm, ni = 50.12 (1/min), no = 0 (1/min)	
Betriebslagerspiel	61.00 µm + (-56539.71 µm) = -56478.71 µm	
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ]	100.000
Dynamische Tragzahl	[C]	112.000
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ]	3.350
Werte für die approximierte Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	113.733
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	98.322

**Wellendefinition (SonnenwelleFreilauf)**

**Aussenkontur**

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			0.000mm ...	13.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	30.0000		
Länge (mm)	[l]	13.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Gewinde (Gewinde) 0.000mm ... 9.000mm  
 t=1.50 (mm), l=9.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Umlaufnut (Umlaufnut)  
 t=2.00 (mm), r=1.50 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

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

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			13.000mm ...	62.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	46.6000		
Länge (mm)	[l]	49.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Zahnwelle/Kerbverzahnung (Zahnwelle/Kerbverzahnung) -11.500mm ... 37.500mm  
 da=46.60 (mm), df=42.40 (mm), z=22, mn=2.00 (mm), l=49.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			62.000mm ...	67.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	40.0000		
Länge (mm)	[l]	5.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Radius links (Radius links)  
 r=1.50 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Radius rechts (Radius rechts)  
 r=1.50 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			67.000mm ...	77.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	54.0000		
Länge (mm)	[l]	10.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	32.0000		

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			77.000mm ...	518.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	30.0000		
Länge (mm)	[l]	441.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Radius rechts (Radius rechts)  
 r=10.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Radius links (Radius links)  
 r=5.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Zylinder (Zylinder)			518.000mm ...	523.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	58.0000		
Länge (mm)	[l]	5.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Zylinder (Zylinder)			523.000mm ...	576.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	55.0000		
Länge (mm)	[l]	53.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Rechtecknut (Rechtecknut)  
 b=2.00 (mm), t=2.00 (mm), r=0.20 (mm), Rz=2.8, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

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

Zylinder (Zylinder)			576.000mm ...	656.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	52.0000		
Länge (mm)	[l]	80.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Zylinder (Zylinder)			656.000mm ...	746.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	50.0000		
Länge (mm)	[l]	90.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

**Kräfte**

Art des Kraftelements		Zentrische Last
Bezeichnung im Modell		CentralLoad2
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	718.0000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	858.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		55.0000
Leistung (kW)		0.0000
Drehmoment (Nm)		-0.0000
Axialkraft (N)		0.0000
Querkraft X (N)		0.0000
Querkraft Z (N)		0.0000
Biegemoment X (Nm)		0.0000
Biegemoment Z (Nm)		0.0000

Art des Kraftelements		Kupplung/Motor
Bezeichnung im Modell		CouplingMesswelle(Freilauf)
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	718.0000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	858.0000
Wirkdurchmesser (mm)		50.0000
Radialkraftfaktor (-)		0.0000
Richtung der Radialkraft (°)		0.0000
Axialkraftfaktor (-)		0.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		55.0000
Leistung (kW)		895.8075 treibend (Abtrieb)
Drehmoment (Nm)		-1004.0144
Axialkraft (N)		0.0000
Querkraft X (N)		0.0000

WPGSWZ4WZ512/69

Querkraft Z (N)		0.0000
Biegemoment X (Nm)		0.0000
Biegemoment Z (Nm)		0.0000
Masse (kg)		8.2000
Massenträgheitsmoment Jp (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Massenträgheitsmoment Jxx (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Massenträgheitsmoment Jzz (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Exzentrizität (mm)		0.0000
Art des Kraftelements		<b>Stirnrad</b>
Bezeichnung im Modell		SunGear(SunPlanetConstraint)
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	37.5000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	177.5000
Wälzkreisdurchmesser (mm)		78.3771
Geradverzahnung		
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)		22.6043
Position des Eingriffs (°)		0.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		49.0000
Leistung (kW)		298.6025 getrieben (Antrieb)
Drehmoment (Nm)		334.6715
Axialkraft (N)		-0.0000
Querkraft X (N)		-3555.6163
Querkraft Z (N)		-8540.0281
Biegemoment X (Nm)		0.0000
Biegemoment Z (Nm)		-0.0000
Art des Kraftelements		<b>Stirnrad</b>
Bezeichnung im Modell		SunGear(SunPlanetConstraint)2
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	37.5000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	177.5000
Wälzkreisdurchmesser (mm)		78.3771
Geradverzahnung		
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)		22.6043
Position des Eingriffs (°)		120.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		49.0000
Leistung (kW)		298.6025 getrieben (Antrieb)
Drehmoment (Nm)		334.6715
Axialkraft (N)		-0.0000
Querkraft X (N)		9173.6894
Querkraft Z (N)		1190.7600
Biegemoment X (Nm)		0.0000
Biegemoment Z (Nm)		0.0000
Art des Kraftelements		<b>Stirnrad</b>
Bezeichnung im Modell		SunGear(SunPlanetConstraint)349
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	37.5000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	177.5000
Wälzkreisdurchmesser (mm)		78.3771
Geradverzahnung		
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)		22.6043
Position des Eingriffs (°)		240.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		49.0000
Leistung (kW)		298.6025 getrieben (Antrieb)
Drehmoment (Nm)		334.6715
Axialkraft (N)		-0.0000
Querkraft X (N)		-5618.0731
Querkraft Z (N)		7349.2681
Biegemoment X (Nm)		-0.0000
Biegemoment Z (Nm)		0.0000

WPGSWZ4WZ513/69

**Lager**

Bezeichnung im Modell		LagerSonnenwelle
Lager Typ		IBC 71811.E.UX
Lager Bauform		Schrägkugellager (einreihig)
Lager Position (mm)	[Ylokal]	527.500
Lager Position (mm)	[Yglobal]	667.500
Befestigung Aussenring		Festlager links angestellt
Innendurchmesser (mm)	[d]	55.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	72.000
Breite (mm)	[b]	9.000
Eckradius (mm)	[r]	0.100
Anzahl Wälzkörper	[Z]	30
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[Dpw]	63.500
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[Dw]	5.086
Abstand a (mm)	[a]	19.000
Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (*)		
Lagerspiel	0.00 µm	
Der Druckwinkel des Lagers wird in der Berechnung berücksichtigt		
Position (Druckmittelpunkt)	(mm)	542.0000
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ]	13.000
Dynamische Tragzahl	[C]	9.900
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ]	481.000
Werte für die approximierte Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	11.281
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	11.358

Bezeichnung im Modell		LagerSonnenwelle2
Lager Typ		IBC 71811.E.UX
Lager Bauform		Schrägkugellager (einreihig)
Lager Position (mm)	[Ylokal]	547.000
Lager Position (mm)	[Yglobal]	687.000
Befestigung Aussenring		Festlager rechts angestellt
Innendurchmesser (mm)	[d]	55.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	72.000
Breite (mm)	[b]	9.000
Eckradius (mm)	[r]	0.100
Anzahl Wälzkörper	[Z]	30
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[Dpw]	63.500
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[Dw]	5.086
Abstand a (mm)	[a]	19.000
Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (*)		
Lagerspiel	0.00 µm	
Der Druckwinkel des Lagers wird in der Berechnung berücksichtigt		
Position (Druckmittelpunkt)	(mm)	532.5000
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ]	13.000
Dynamische Tragzahl	[C]	9.900
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ]	481.000
Werte für die approximierte Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	11.281
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	11.358

**Wellendefinition (WelleZ4)**

**Aussenkontur**

WPGSWZ4WZ514/69

Zylinder (Zylinder) 0.000mm ... 55.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	94.0000
Länge (mm)	[l]	55.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Zahnwelle/Kerbverzahnung (Zahnwelle/Kerbverzahnung) -27.500mm ... 27.500mm  
 da=94.40 (mm), df=88.10 (mm), z=30, mn=3.00 (mm), l=55.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Zylinder (Zylinder) 55.000mm ... 127.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	85.0000
Länge (mm)	[l]	72.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius rechts (Radius rechts)  
 r=10.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Radius links (Radius links)  
 r=1.50 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Zylinder (Zylinder) 127.000mm ... 142.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	105.0000
Länge (mm)	[l]	15.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Zylinder (Zylinder) 142.000mm ... 242.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	90.0000
Länge (mm)	[l]	100.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius links (Radius links)  
 r=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Zylinder (Zylinder) 242.000mm ... 247.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	80.0000
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=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Zylinder (Zylinder) 247.000mm ... 302.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	88.0000
Länge (mm)	[l]	55.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Keilwelle (Keilwelle) 219.500mm ... 274.500mm  
 da=88.00 (mm), df=82.00 (mm), z=10, Form=A, l=55.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Zylinder (Zylinder) 302.000mm ... 332.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	80.0000
------------------	-----	---------

Länge (mm) [l] 30.0000  
 Rauigkeit (µm) [Rz] 8.0000

Radius links (Radius links)  
 r=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Zylinder (Zylinder3) 332.000mm ... 385.000mm  
 Durchmesser (mm) [d] 80.0000  
 Länge (mm) [l] 53.0000  
 Rauigkeit (µm) [Rz] 8.0000

Radius links (Radius links)  
 r=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Umlaufnut (Umlaufnut)  
 t=3.00 (mm), r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Gewinde (Gewinde) 360.000mm ... 385.000mm  
 t=2.00 (mm), l=25.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Fase rechts (Fase rechts)  
 l=1.00 (mm), alpha=45.00 (°)

**Innenkontur**

Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung) 0.000mm ... 385.000mm  
 Durchmesser (mm) [d] 62.0000  
 Länge (mm) [l] 385.0000  
 Rauigkeit (µm) [Rz] 8.0000

**Kräfte**

Art des Kraftelements		<b>Stirnrad</b>
Bezeichnung im Modell		Z4(Z3Z4)
Position auf Welle (mm)	[y local]	275.0000
Position im globalen System (mm)	[y global]	505.0000
Wälzkreisdurchmesser (mm)		292.3590
Schrägungswinkel (°)		11.9179 rechts
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)		18.9018
Position des Eingriffs (°)		0.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		55.0000
Leistung (kW)		889.3591 getrieben (Antrieb)
Drehmoment (Nm)		5008.4871
Axialkraft (N)		-7231.4098
Querkraft X (N)		-11990.3845
Querkraft Z (N)		-34262.5824
Biegemoment X (Nm)		0.0000
Biegemoment Z (Nm)		-1057.0839

**Lager**

Bezeichnung im Modell		WelleZ4AxiallagerQJ1018
Lager Typ		NSK QJ1018
Lager Bauform		Vierpunktelager
Lager Position (mm)	[y lokal]	154.000
Lager Position (mm)	[y global]	384.000
Befestigung Aussenring		Axiallager

WPGSWZ4WZ516/69

Innendurchmesser (mm)	[d]	90.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	140.000
Breite (mm)	[b]	24.000
Eckradius (mm)	[r]	0.000
Anzahl Wälzkörper	[Z]	16
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	115.000
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	19.031
Druckwinkel (°)	[α <sub>0</sub> ]	35.000
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	134.205
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	95.864
Krümmungsradius äussere Laufbahn (mm)	[r <sub>o</sub> ]	10.086
Krümmungsradius innere Laufbahn (mm)	[r <sub>i</sub> ]	9.896

Pa = 0.123 (mm)

Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (\*)

Lagerspiel	DIN 620:1988 C0 (122.50 µm)	
Toleranzlage	Mittelwert	
Toleranz	DIN 620:1988 PN	
Toleranz der Welle	k5, 90.011 mm (min = 90.003 mm , max = 90.018 mm)	
Toleranz der Nabe	J6, 140.005 mm (min = 139.993 mm , max = 140.018 mm)	
RzI = 8.00 µm	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Innenring)	
RzO = 8.00 µm	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Aussenring)	
Änderung Lagerspiel durch: n = 0 (1/min)		
Press-Sitz	-11.94 µm	
Temperatur	-70.30 µm	
Gesamte Lagerspieländerung	-65.01 µm, ni = 1695.67 (1/min), no = 0 (1/min)	
Betriebslagerspiel	122.50 µm + (-65.01 µm) = 57.49 µm	
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ]	208.000
Dynamische Tragzahl	[C]	94.000
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ]	0.000

Werte für die approximierte Geometrie:

Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	84.427
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	73.524

Bezeichnung im Modell	WelleZ4RadiallagerLinksNU218ECP	
Lager Typ	SKF *NU 218 ECP	
Lager Bauform	Zylinderrollenlager (einreihig)	
Lager Position (mm)	[y <sub>lokal</sub> ]	202.000
Lager Position (mm)	[y <sub>global</sub> ]	432.000
Befestigung Aussenring	Loslager	
Innendurchmesser (mm)	[d]	90.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	160.000
Breite (mm)	[b]	30.000
Eckradius (mm)	[r]	2.000
Anzahl Wälzkörper	[Z]	9
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	120.900
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	23.332
Länge Wälzkörper (mm)	[L <sub>we</sub> ]	29.500
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	144.232
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	97.568

Pd = 0.068 (mm)

Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (\*)

Lagerspiel	DIN 620:1988 C0 (67.50 µm)
Toleranzlage	Mittelwert
Toleranz	DIN 620:1988 PN
Toleranz der Welle	k5, 90.011 mm (min = 90.003 mm , max = 90.018 mm)
Toleranz der Nabe	K6, 159.992 mm (min = 159.979 mm , max = 160.004 mm)
RzI = 8.00 µm	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Innenring)
RzO = 8.00 µm	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Aussenring)

WPGSWZ4WZ517/69

Änderung Lagerspiel durch: n = 0 (1/min)		
Press-Sitz		-11.44 µm
Temperatur		-72.27 µm
Gesamte Lagerspieländerung		-67.21 µm, ni = 1695.67 (1/min), no = 0 (1/min)
Betriebslagerspiel		67.50 µm + (-67.21 µm) = 0.29 µm
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ]	220.000
Dynamische Tragzahl	[C]	208.000
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ]	27.000
Werte für die approximierte Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	207.880
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	219.961

Bezeichnung im Modell		WelleZ4RadiallagerRechtsNU216ECP
Lager Typ		SKF *NU 216 ECP
Lager Bauform		Zylinderrollenlager (einreihig)
Lager Position (mm)	[Y <sub>lokal</sub> ]	345.000
Lager Position (mm)	[Y <sub>global</sub> ]	575.000
Befestigung Aussenring		Loslager
Innendurchmesser (mm)	[d]	80.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	140.000
Breite (mm)	[b]	26.000
Eckradius (mm)	[r]	2.000
Anzahl Wälzkörper	[Z]	9
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	106.392
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	20.279
Länge Wälzkörper (mm)	[L <sub>we</sub> ]	25.540
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	126.671
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	86.113
Pd = 0.058 (mm)		

Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (*)		
Lagerspiel	DIN 620:1988 C0 (57.50 µm)	
Toleranzlage	Mittelwert	
Toleranz	DIN 620:1988 PN	
Toleranz der Welle	k5, 80.008 mm (min = 80.002 mm , max = 80.015 mm)	
Toleranz der Nabe	K6, 139.992 mm (min = 139.979 mm , max = 140.004 mm)	
RzI = 8.00 µm (Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Innenring)		
RzO = 8.00 µm (Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Aussenring)		
Änderung Lagerspiel durch: n = 0 (1/min)		
Press-Sitz		-7.37 µm
Temperatur		-61.26 µm
Gesamte Lagerspieländerung		-56.45 µm, ni = 1695.67 (1/min), no = 0 (1/min)
Betriebslagerspiel		57.50 µm + (-56.45 µm) = 1.05 µm
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ]	166.000
Dynamische Tragzahl	[C]	160.000
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ]	21.200
Werte für die approximierte Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	159.889
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	166.002

**Wellendefinition (WelleZ5)**

**Aussenkontur**

<u>Zylinder (Zylinder)</u>		<u>0.000mm ... 41.000mm</u>
Durchmesser (mm)	[d]	60.0000
Länge (mm)	[l]	41.0000
Rauigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

WPGSWZ4WZ518/69

Fase links (Fase links)

l=2.00 (mm), alpha=45.00 (°)

Gewinde (Gewinde)

2.500mm ... 14.500mm

t=2.00 (mm), l=12.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Konus (Konus)

41.000mm ... 91.000mm

Durchmesser links (mm)	[d <sub>l</sub> ]	60.0000
Durchmesser rechts (mm)	[d <sub>r</sub> ]	60.0000
Länge (mm)	[l]	50.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius rechts (Radius rechts)

r=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Zylinder (Zylinder)

91.000mm ... 151.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	68.0000
Länge (mm)	[l]	60.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Keilwelle (Keilwelle)

61.000mm ... 121.000mm

da=68.00 (mm), df=62.00 (mm), z=8, Form=A, l=60.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Zylinder (Zylinder)

151.000mm ... 156.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	60.0000
Länge (mm)	[l]	5.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius rechts (Radius rechts)

r=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Radius links (Radius links)

r=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Zylinder (Zylinder80)

156.000mm ... 201.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	70.0000
Länge (mm)	[l]	45.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius rechts (Radius rechts)

r=1.50 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Zylinder (Zylinder)

201.000mm ... 225.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	70.0000
Länge (mm)	[l]	24.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Zylinder (Zylinder)

225.000mm ... 246.000mm

Durchmesser (mm)	[d]	70.0000
Länge (mm)	[l]	21.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Zylinder (Zylinder)			246.000mm ...	270.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	70.0000		
Länge (mm)	[l]	24.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Radius rechts (Radius rechts)  
 r=1.50 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Zylinder (Zylinder)			270.000mm ...	285.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	80.0000		
Länge (mm)	[l]	15.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Zylinder (Zylinder)			285.000mm ...	295.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	64.0000		
Länge (mm)	[l]	10.0000		
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)

Zylinder (Zylinder)			295.000mm ...	345.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	69.0000		
Länge (mm)	[l]	50.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Zahnwelle/Kerbverzahnung (Zahnwelle/Kerbverzahnung) 270.000mm ... 320.000mm  
 da=74.40 (mm), df=68.10 (mm), z=24, mn=3.00 (mm), l=50.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

**Innenkontur**

Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung)			0.000mm ...	345.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	20.0000		
Länge (mm)	[l]	345.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

**Kräfte**

Art des Kraftelements		Stirnrad
Bezeichnung im Modell		Z5(Z5Z6)
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	121.0000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	-149.0000
Wälzkreisdurchmesser (mm)		392.3360
Schrägungswinkel (°)		15.1514 links
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)		21.4844
Position des Eingriffs (°)		180.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		60.0000
Leistung (kW)		21.0170 getrieben (Antrieb)
Drehmoment (Nm)		-4004.4727
Axialkraft (N)		-5527.6469
Querkraft X (N)		8324.0392

WPGSWZ4WZ520/69

Querkraft Z (N)	-20413.4856
Biegemoment X (Nm)	0.0000
Biegemoment Z (Nm)	1084.3474

**Lager**

Bezeichnung im Modell		WelleZ5AxiallagerQJ214N2MA
Lager Typ		SKF *QJ 214 N2MA
Lager Bauform		Vierpunktlager
Lager Position (mm)	[Ylokal]	258.000
Lager Position (mm)	[Yglobal]	-12.000
Befestigung Aussenring		Axiallager
Innendurchmesser (mm)	[d]	70.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	125.000
Breite (mm)	[b]	24.000
Eckradius (mm)	[r]	1.500
Anzahl Wälzkörper	[Z]	14
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	97.500
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	18.612
Druckwinkel (°)	[α <sub>0</sub> ]	35.000
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	116.291
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	78.776
Krümmungsradius äussere Laufbahn (mm)	[r <sub>o</sub> ]	9.864
Krümmungsradius innere Laufbahn (mm)	[r <sub>i</sub> ]	9.678
Pa =		0.113 (mm)

Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (\*)

Lagerspiel	DIN 620:1988 C0 (112.50 µm)	
Toleranzlage	Mittelwert	
Toleranz	DIN 620:1988 PN	
Toleranz der Welle	0.00 µm (70.000 mm)	
Toleranz der Nabe	0.00 µm (125.000 mm)	
RzI = 8.00 µm	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Innenring)	
RzO = 8.00 µm	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Aussenring)	
Änderung Lagerspiel durch: n = 0 (1/min)		
Press-Sitz	-0.96 µm	
Temperatur	-51.40 µm	
Gesamte Lagerspieländerung	-45.82 µm, ni = 50.12 (1/min), no = 0 (1/min)	
Betriebslagerspiel	112.50 µm + (-45.82 µm) = 66.68 µm	
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ]	122.000
Dynamische Tragzahl	[C]	120.000
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ]	4.800
Werte für die approximierter Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	75.416
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	59.625

Bezeichnung im Modell		WelleZ5RadiallagerLinksNU212ECP
Lager Typ		SKF *NU 212 ECP
Lager Bauform		Zylinderrollenlager (einreihig)
Lager Position (mm)	[Ylokal]	30.000
Lager Position (mm)	[Yglobal]	-240.000
Befestigung Aussenring		Loslager
Innendurchmesser (mm)	[d]	60.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	110.000
Breite (mm)	[b]	22.000
Eckradius (mm)	[r]	1.500
Anzahl Wälzkörper	[Z]	8
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	82.212
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	17.869

WPGSWZ4WZ521/69

Länge Wälzkörper (mm)	[L <sub>we</sub> ]	20.715
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	100.085
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	64.339
Pd = 0.055 (mm)		
Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (*)		
Lagerspiel	DIN 620:1988 C0 (55.00 µm)	
Toleranzlage	Mittelwert	
Toleranz	DIN 620:1988 PN	
Toleranz der Welle	k5, 60.008 mm (min = 60.002 mm , max = 60.015 mm)	
Toleranz der Nabe	J6, 110.005 mm (min = 109.994 mm , max = 110.016 mm)	
RzI = 8.00 µm (Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Innenring)		
RzO = 8.00 µm (Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Aussenring)		
Änderung Lagerspiel durch: n = 0 (1/min)		
Press-Sitz	-8.80 µm	
Temperatur	-52.50 µm	
Gesamte Lagerspieländerung	-46.63 µm, ni = 50.12 (1/min), no = 0 (1/min)	
Betriebslagerspiel	55.00 µm + (-46.63 µm) = 8.37 µm	
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ]	102.000
Dynamische Tragzahl	[C]	108.000
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ]	13.400
Werte für die approximierte Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	107.941
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	101.973

Bezeichnung im Modell		WelleZ5RadiallagerRechtsNU214ECP
Lager Typ		SKF *NU 214 ECP
Lager Bauform		Zylinderrollenlager (einreihig)
Lager Position (mm)	[Y <sub>lokal</sub> ]	213.000
Lager Position (mm)	[Y <sub>global</sub> ]	-57.000
Befestigung Aussenring		Loslager
Innendurchmesser (mm)	[d]	70.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	125.000
Breite (mm)	[b]	24.000
Eckradius (mm)	[r]	1.500
Anzahl Wälzkörper	[Z]	9
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	94.302
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	19.191
Länge Wälzkörper (mm)	[L <sub>we</sub> ]	22.628
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	113.496
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	75.108
Pd = 0.058 (mm)		
Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (*)		
Lagerspiel	DIN 620:1988 C0 (57.50 µm)	
Toleranzlage	Mittelwert	
Toleranz	DIN 620:1988 PN	
Toleranz der Welle	k5, 70.008 mm (min = 70.002 mm , max = 70.015 mm)	
Toleranz der Nabe	J6, 125.006 mm (min = 124.993 mm , max = 125.018 mm)	
RzI = 8.00 µm (Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Innenring)		
RzO = 8.00 µm (Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Aussenring)		
Änderung Lagerspiel durch: n = 0 (1/min)		
Press-Sitz	-8.84 µm	
Temperatur	-58.12 µm	
Gesamte Lagerspieländerung	-52.22 µm, ni = 50.12 (1/min), no = 0 (1/min)	
Betriebslagerspiel	57.50 µm + (-52.22 µm) = 5.28 µm	
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ]	137.000
Dynamische Tragzahl	[C]	137.000
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ]	18.000
Werte für die approximierte Geometrie:		

WPGSWZ4WZ522/69

Dynamische Tragzahl (kN)	[Ctheo]	136.905
Statische Tragzahl (kN)	[C0theo]	136.970

**VERBINDUNGEN**

(BiegelinieCarrierRing) 180.250mm

Freiheitsgrade  
 X: festY: freiZ: fest  
 Rx: festRy: freiRz: fest

(BiegelinieSonneCarrier) 180.250mm

Freiheitsgrade  
 X: festY: freiZ: fest  
 Rx: festRy: freiRz: fest

IBC 71918.E.UX (CarrierRingLagerLinks71918) 94.250mm

Welle 'CarrierShaft' <-> Welle 'RingShaft'  
 Festlager links angestellt  
 d = 90.000 (mm), D = 125.000 (mm), b = 18.000 (mm), r = 0.600 (mm)  
 C = 40.000 (kN), C0 = 44.000 (kN), Cu = 1630.000 (kN)  
 Ctheo = 39.265 (kN), C0theo = 42.837 (kN)  
 Berechnung mit innerer Geometrie aus der Datenbank (\*)  
 Z =27, Dpw = 107.500 (mm), Dw = 10.319 (mm)  
 Pa = 0.005 (mm)  
 Lagerspiel 0.00 µm  
 Toleranzlage Mittelwert  
 Toleranz DIN 620:1988 P2  
 Toleranz der Welle j5, 89.999 mm (min = 89.991 mm , max = 90.006 mm)  
 Toleranz der Nabe J6, 125.006 mm (min = 124.993 mm , max = 125.018 mm)  
 RzI = 8.00 µm (Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Innenring)  
 RzO = 8.00 µm (Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Aussenring)  
 Änderung Lagerspiel durch: n = 0 (1/min)  
 Press-Sitz 0.00 µm  
 Temperatur -0.76 µm  
 Gesamte Lagerspieländerung -0.46 µm, ni = 1695.67 (1/min), no = 50.12 (1/min)  
 Der Druckwinkel des Lagers wird in der Berechnung berücksichtigt  
 Position (Druckmittelpunkt) (mm) 119.2500

Vorspannkraft (N)	[Fv]	800.000
Lagerversatz (y-Richtung) (mm)	[dy]	0.004

IBC 71924.E.UX (CarrierRingLagerRechts71924) 268.250mm

Welle 'CarrierShaft' <-> Welle 'RingShaft'  
 Festlager rechts angestellt  
 d = 120.000 (mm), D = 165.000 (mm), b = 22.000 (mm), r = 0.600 (mm)  
 C = 69.000 (kN), C0 = 79.000 (kN), Cu = 2926.000 (kN)  
 Ctheo = 67.699 (kN), C0theo = 76.280 (kN)  
 Berechnung mit innerer Geometrie aus der Datenbank (\*)  
 Z =25, Dpw = 142.500 (mm), Dw = 14.288 (mm)  
 Pa = 0.005 (mm)  
 Lagerspiel 0.00 µm  
 Toleranzlage Mittelwert  
 Toleranz DIN 620:1988 P2  
 Toleranz der Welle j5, 119.999 mm (min = 119.991 mm , max = 120.006 mm)  
 Toleranz der Nabe J6, 165.005 mm (min = 164.993 mm , max = 165.018 mm)  
 RzI = 8.00 µm (Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Innenring)  
 RzO = 8.00 µm (Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Aussenring)  
 Änderung Lagerspiel durch: n = 0 (1/min)

WPGSWZ4WZ523/69

Press-Sitz 0.00  $\mu\text{m}$   
 Temperatur -0.78  $\mu\text{m}$   
 Gesamte Lagerspieländerung -0.59  $\mu\text{m}$ ,  $n_i = 1695.67$  (1/min),  $n_o = 50.12$  (1/min)  
 Der Druckwinkel des Lagers wird in der Berechnung berücksichtigt  
 Position (Druckmittelpunkt) (mm) 235.2500

Vorspannkraft (N)  $[F_V]$  -800.000  
 Lagerversatz (y-Richtung) (mm)  $[d_y]$  -0.003

(VerbindungZ4Carrier) 280.000mm

Freiheitsgrade  
 X: festY: freiZ: fest  
 Rx: festRy: festRz: fest

(VerbindungZ5Ring) 31.000mm

Freiheitsgrade  
 X: festY: freiZ: fest  
 Rx: festRy: festRz: fest

-----  
 Welle 'RingShaft': Stirnrad 'RingGear(PlanetRingConstraint)' (y= 154.2500 (mm)) wird als fester Bestandteil der Welle berücksichtigt.  
 EI (y= 128.2500 (mm)): 178668857.1193 (Nm<sup>2</sup>), EI (y= 180.2500 (mm)): 178668857.1193 (Nm<sup>2</sup>), m (yS= 128.2500 (mm)): 0.0000 (kg)  
 Jp: 0.0000 (kg\*m<sup>2</sup>), Jxx: 0.0000 (kg\*m<sup>2</sup>), Jzz: 0.0000 (kg\*m<sup>2</sup>)

-----  
 Welle 'RingShaft': Stirnrad 'RingGear(PlanetRingConstraint)' (y= 181.2500 (mm)) wird als fester Bestandteil der Welle berücksichtigt.  
 EI (y= 180.2500 (mm)): 178668857.1193 (Nm<sup>2</sup>), EI (y= 182.2500 (mm)): 178668857.1193 (Nm<sup>2</sup>), m (yS= 180.2500 (mm)): 0.0000 (kg)  
 Jp: 0.0000 (kg\*m<sup>2</sup>), Jxx: 0.0000 (kg\*m<sup>2</sup>), Jzz: 0.0000 (kg\*m<sup>2</sup>)

-----  
 Welle 'RingShaft': Stirnrad 'RingGear(PlanetRingConstraint)2' (y= 154.2500 (mm)) wird als fester Bestandteil der Welle berücksichtigt.  
 EI (y= 128.2500 (mm)): 178668857.1193 (Nm<sup>2</sup>), EI (y= 180.2500 (mm)): 178668857.1193 (Nm<sup>2</sup>), m (yS= 128.2500 (mm)): 0.0000 (kg)  
 Jp: 0.0000 (kg\*m<sup>2</sup>), Jxx: 0.0000 (kg\*m<sup>2</sup>), Jzz: 0.0000 (kg\*m<sup>2</sup>)

-----  
 Welle 'RingShaft': Stirnrad 'RingGear(PlanetRingConstraint)2' (y= 181.2500 (mm)) wird als fester Bestandteil der Welle berücksichtigt.  
 EI (y= 180.2500 (mm)): 178668857.1193 (Nm<sup>2</sup>), EI (y= 182.2500 (mm)): 178668857.1193 (Nm<sup>2</sup>), m (yS= 180.2500 (mm)): 0.0000 (kg)  
 Jp: 0.0000 (kg\*m<sup>2</sup>), Jxx: 0.0000 (kg\*m<sup>2</sup>), Jzz: 0.0000 (kg\*m<sup>2</sup>)

-----  
 Welle 'RingShaft': Stirnrad 'RingGear(PlanetRingConstraint)3' (y= 154.2500 (mm)) wird als fester Bestandteil der Welle berücksichtigt.  
 EI (y= 128.2500 (mm)): 178668857.1193 (Nm<sup>2</sup>), EI (y= 180.2500 (mm)): 178668857.1193 (Nm<sup>2</sup>), m (yS= 128.2500 (mm)): 0.0000 (kg)  
 Jp: 0.0000 (kg\*m<sup>2</sup>), Jxx: 0.0000 (kg\*m<sup>2</sup>), Jzz: 0.0000 (kg\*m<sup>2</sup>)

Welle 'RingShaft': Stirnrad 'RingGear(PlanetRingConstraint)3' (y= 181.2500 (mm)) wird als fester Bestandteil der Welle berücksichtigt.

EI (y= 180.2500 (mm)): 178668857.1193 (Nm<sup>2</sup>), EI (y= 182.2500 (mm)): 178668857.1193 (Nm<sup>2</sup>), m (yS= 180.2500 (mm)): 0.0000 (kg)

Jp: 0.0000 (kg\*m<sup>2</sup>), Jxx: 0.0000 (kg\*m<sup>2</sup>), Jzz: 0.0000 (kg\*m<sup>2</sup>)

Welle 'SonnenwelleFreilauf': Stirnrad 'SunGear(SunPlanetConstraint)' (y= 37.5000 (mm)) wird als fester Bestandteil der Welle berücksichtigt.

EI (y= 13.0000 (mm)): 47684.8901 (Nm<sup>2</sup>), EI (y= 62.0000 (mm)): 47684.8901 (Nm<sup>2</sup>), m (yS= 37.5000 (mm)): 1.1967 (kg)

Jp: 0.0012 (kg\*m<sup>2</sup>), Jxx: 0.0009 (kg\*m<sup>2</sup>), Jzz: 0.0009 (kg\*m<sup>2</sup>)

Welle 'SonnenwelleFreilauf': Stirnrad 'SunGear(SunPlanetConstraint)2' (y= 37.5000 (mm)) wird als fester Bestandteil der Welle berücksichtigt.

EI (y= 13.0000 (mm)): 47684.8901 (Nm<sup>2</sup>), EI (y= 62.0000 (mm)): 47684.8901 (Nm<sup>2</sup>), m (yS= 37.5000 (mm)): 1.1967 (kg)

Jp: 0.0012 (kg\*m<sup>2</sup>), Jxx: 0.0009 (kg\*m<sup>2</sup>), Jzz: 0.0009 (kg\*m<sup>2</sup>)

Welle 'SonnenwelleFreilauf': Stirnrad 'SunGear(SunPlanetConstraint)349' (y= 37.5000 (mm)) wird als fester Bestandteil der Welle berücksichtigt.

EI (y= 13.0000 (mm)): 47684.8901 (Nm<sup>2</sup>), EI (y= 62.0000 (mm)): 47684.8901 (Nm<sup>2</sup>), m (yS= 37.5000 (mm)): 1.1967 (kg)

Jp: 0.0012 (kg\*m<sup>2</sup>), Jxx: 0.0009 (kg\*m<sup>2</sup>), Jzz: 0.0009 (kg\*m<sup>2</sup>)

Welle 'WelleZ4': Stirnrad 'Z4(Z3Z4)' (y= 274.7500 (mm)) wird als fester Bestandteil der Welle berücksichtigt.

EI (y= 247.5000 (mm)): 456993.6996 (Nm<sup>2</sup>), EI (y= 302.0000 (mm)): 456993.6996 (Nm<sup>2</sup>), m (yS= 274.7500 (mm)): 26.0517 (kg)

Jp: 0.3036 (kg\*m<sup>2</sup>), Jxx: 0.1582 (kg\*m<sup>2</sup>), Jzz: 0.1582 (kg\*m<sup>2</sup>)

Welle 'WelleZ4': Stirnrad 'Z4(Z3Z4)' (y= 302.2500 (mm)) wird als fester Bestandteil der Welle berücksichtigt.

EI (y= 302.0000 (mm)): 264769.2458 (Nm<sup>2</sup>), EI (y= 302.5000 (mm)): 264769.2458 (Nm<sup>2</sup>), m (yS= 302.2500 (mm)): 0.2431 (kg)

Jp: 0.0028 (kg\*m<sup>2</sup>), Jxx: 0.0014 (kg\*m<sup>2</sup>), Jzz: 0.0014 (kg\*m<sup>2</sup>)

Welle 'WelleZ5': Stirnrad 'Z5(Z5Z6)' (y= 121.0000 (mm)) wird als fester Bestandteil der Welle berücksichtigt.

EI (y= 91.0000 (mm)): 214590.5828 (Nm<sup>2</sup>), EI (y= 151.0000 (mm)): 214590.5828 (Nm<sup>2</sup>), m (yS= 121.0000 (mm)): 55.0900 (kg)

Jp: 1.0918 (kg\*m<sup>2</sup>), Jxx: 0.5624 (kg\*m<sup>2</sup>), Jzz: 0.5624 (kg\*m<sup>2</sup>)

## Resultate

### Welle

Maximale Durchbiegung 0.038 (SonnenwelleFreilauf pos= 886.000)

### Massenschwerpunkt

CarrierShaft (mm)	96.562
RingShaft (mm)	151.161
SonnenwelleFreilauf (mm)	437.876

WPGSWZ4WZ525/69

WelleZ4 (mm)	174.936
WelleZ5 (mm)	184.055
Summe der axialen Belastung	
CarrierShaft (N)	0.000
RingShaft (N)	0.000
SonnenwelleFreilauf (N)	0.000
WelleZ4 (N)	-7231.410
WelleZ5 (N)	-5527.647
Verdrehung unter Drehmoment	
CarrierShaft (°)	0.012
RingShaft (°)	0.006
SonnenwelleFreilauf (°)	-4.255
WelleZ4 (°)	0.159
WelleZ5 (°)	0.189

**Lager**

Ausfallwahrscheinlichkeit	[n]	1.00	%
Axialspiel	[uA]	10.00	µm
Schmierstoff	Öl: Klübersynth GEM 4-150 N_NEW		
Schmierstoff mit Additivierung, dessen Wirksamkeit in Wälzlagern geprüft wurde.			
Ölschmierung mit Filterung, ISO4406 -/13/10			
Schmierstoff - Betriebstemperatur	[TB]	80.00	°C
Grenzwert für Faktor aISO	[aISOmax]	50.00	
Ölstand	[hoil]	0.00	mm
Öl-Einspritzschmierung			

Wälzlagersteifigkeiten aus innerer Geometrie

**Welle 'RingShaft' Wälzlager 'RingFestlagerRechts6026'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	292.50	mm
Äquivalente Belastung	[P]	3.06	kN
Äquivalente Belastung	[P0]	3.06	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a1]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[aISO]	3.000	
Lebensdauer	[Lnh]	250000.00	h
Lebensdauer	[Lnmh]	> 1000000	h
Verunreinigungsbeiwert	[ec]	0.50	
Betriebsviskosität	[v]	34.11	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v1]	135.98	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[k]	0.25	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[hmin]	0.047	µm
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	[-]	0.000	
Statischer Sicherheitsfaktor	[S0]	32.71	
Referenzlebensdauer	[Lnrh]	197447.55	h
Referenzlebensdauer	[Lnrmh]	55008.19	h
Lagerreaktionskraft	[Fx]	2.171	kN
Lagerreaktionskraft	[Fy]	-0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[Fz]	2.152	kN
Lagerreaktionskraft	[Fr]	3.057	kN (44.75°)
Lagerreaktionsmoment	[Mx]	0.60	Nm
Lagerreaktionsmoment	[My]	-0.00	Nm

WPGSWZ4WZ526/69

Lagerreaktionsmoment	[Mz]	-0.67	Nm
Lagerreaktionsmoment	[Mr]	0.90	Nm (-48.33°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.060	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.155	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	1.293	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	1.508	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	7.915	W
Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.			
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff $\mu_{bl}=0.15$ gerechnet.			
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-3.367	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	73.231	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-3.338	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.005	µm (-135.25°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.011	mrاد (-0.04')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	0.097	mrاد (0.33')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	0.012	mrاد (0.04')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.016	mrاد (0.06')

**Welle 'RingShaft' Wälzlager 'RingLoslagerLinks6026'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	24.00	mm
Äquivalente Belastung	[P]	11.08	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	11.08	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>ISO</sub> ]	3.000	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	85917.99	h
Lebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	257753.97	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>c</sub> ]	0.50	
Betriebsviskosität	[v]	34.11	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	135.98	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[k]	0.25	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	0.022	µm
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	[-]	0.000	
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	9.03	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	0.00	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	0.00	h
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	3.070	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	10.644	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	11.078	kN (73.91°)
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	98.23	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	-0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	-676.48	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	683.58	Nm (-81.74°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.120	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.736	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	1.293	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	2.150	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	11.283	W
Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.			
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff $\mu_{bl}=0.15$ gerechnet.			
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-0.136	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	-112.066	µm

WPGSWZ4WZ527/69

Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-0.470	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.000	µm (-106.09°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.001	mrاد (0')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	0.036	mrاد (0.12')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	0.007	mrاد (0.02')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.007	mrاد (0.02')

**Welle 'SonnenwelleFreilauf' Wälzlager 'LagerSonnenwelle'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	527.50	mm
Äquivalente Belastung	[P]	0.33	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	0.25	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>ISO</sub> ]	50.000	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	12669.23	h
Lebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	633461.61	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.86	
Betriebsviskosität	[v]	34.11	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	6.12	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[κ]	5.58	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	0.532	µm
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	[-]	0.068	
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	52.11	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	18761.29	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	938064.63	h
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	-0.010	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	0.267	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	0.249	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	0.249	kN (92.41°)
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	4.05	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	0.18	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	4.05	Nm (2.51°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.125	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.054	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	0.179	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	159.291	W

Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.

Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff µ<sub>bl</sub>=0.15 gerechnet.

Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-0.124	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	149.175	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	1.074	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.001	µm (96.58°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.164	mrاد (-0.56')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	-70.884	mrاد (-243.68')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	-0.012	mrاد (-0.04')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.164	mrاد (0.56')

**Welle 'SonnenwelleFreilauf' Wälzlager 'LagerSonnenwelle2'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	547.00	mm
Äquivalente Belastung	[P]	0.26	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	0.15	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>ISO</sub> ]	50.000	

WPGSWZ4WZ528/69

Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	26430.89	h
Lebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	> 1000000	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.86	
Betriebsviskosität	[v]	34.11	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	6.12	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[κ]	5.58	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	0.549	µm
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	[-]	0.068	
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	87.73	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	39938.19	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	> 1000000	h
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	0.013	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	-0.267	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	-0.071	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	0.072	kN (-79.53°)
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	1.33	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	-0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	0.22	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	1.35	Nm (9.3°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.121	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.050	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	0.171	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	152.578	W
Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.			
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff µbl=0.15 gerechnet.			
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	0.112	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	162.619	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-2.179	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.002	µm (-87.07°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.168	mrاد (-0.58')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	-71.159	mrاد (-244.63')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	-0.012	mrاد (-0.04')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.168	mrاد (0.58')

**Welle 'WelleZ4' Wälzlager 'WelleZ4AxiallagerQJ1018'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	154.00	mm
Äquivalente Belastung	[P]	7.23	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	7.23	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>1SO</sub> ]	50.000	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	5397.11	h
Lebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	269855.58	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.88	
Betriebsviskosität	[v]	34.11	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	10.19	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[κ]	3.35	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	0.363	µm
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	[-]	0.159	
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	28.76	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	4854.39	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	242719.59	h
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	7.231	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	0.000	kN

WPGSWZ4WZ529/69

Lagerreaktionskraft	[Fr]	0.000	kN
Lagerreaktionsmoment	[Mx]	67.84	Nm
Lagerreaktionsmoment	[My]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[Mz]	-12.96	Nm
Lagerreaktionsmoment	[Mr]	69.07	Nm (-10.81°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.666	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.218	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	0.884	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	156.898	W
Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.			
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff $\mu_{bl}=0.15$ gerechnet.			
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-8.965	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	47.761	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-14.371	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.017	µm (-121.96°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.107	mrاد (-0.37°)
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	1.733	mrاد (5.96°)
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	0.020	mrاد (0.07°)
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.109	mrاد (0.37°)

**Welle 'WelleZ4' Wälzlager 'WelleZ4RadiallagerLinksNU218ECP'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	202.00	mm
Äquivalente Belastung	[P]	14.25	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	14.25	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>ISO</sub> ]	50.000	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	18656.80	h
Lebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	932839.77	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.89	
Betriebsviskosität	[v]	34.11	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	9.77	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[k]	3.49	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	0.457	µm
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	15.43	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	65318.00	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	> 1000000	h
Lagerreaktionskraft	[Fx]	6.206	kN
Lagerreaktionskraft	[Fy]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[Fz]	12.832	kN
Lagerreaktionskraft	[Fr]	14.254	kN (64.19°)
Lagerreaktionsmoment	[Mx]	3.98	Nm
Lagerreaktionsmoment	[My]	-0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[Mz]	-0.70	Nm
Lagerreaktionsmoment	[Mr]	4.04	Nm (-9.95°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	1.421	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.054	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	1.475	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	261.831	W

Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.

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

Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-10.111	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	80.376	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-20.516	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.023	µm (-116.24°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.114	mrاد (-0.39')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	2.341	mrاد (8.05')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	-0.010	mrاد (-0.03')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.114	mrاد (0.39')

**Welle 'WelleZ4' Wälzlager 'WelleZ4RadiallagerRechtsNU216ECP'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	345.00	mm
Äquivalente Belastung	[P]	17.84	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	17.84	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>ISO</sub> ]	28.890	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	3681.47	h
Lebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	106356.10	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.88	
Betriebsviskosität	[v]	34.11	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	10.42	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[k]	3.27	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	0.378	µm
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	9.30	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	13144.47	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	213923.13	h
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	1.677	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	17.763	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	17.842	kN (84.61°)
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	1.04	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	1.50	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	1.82	Nm (55.2°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	1.142	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.059	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	1.201	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	213.249	W

Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.

Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff µbl=0.15 gerechnet.

Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-2.570	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	178.517	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-28.494	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.029	µm (-95.15°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.010	mrاد (-0.03')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	2.980	mrاد (10.25')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	-0.082	mrاد (-0.28')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.082	mrاد (0.28')

**Welle 'WelleZ5' Wälzlager 'WelleZ5AxiallagerQJ214N2MA'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	258.00	mm
Äquivalente Belastung	[P]	5.91	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	3.21	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	

Lebensdauerbeiwert	[a <sub>ISO</sub> ]	3.000	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	250000.00	h
Lebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	> 1000000	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.31	
Betriebsviskosität	[v]	34.11	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	176.89	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[κ]	0.19	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	0.029	µm
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	[-]	0.185	
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	38.05	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	819209.75	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	190854.87	h
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	5.528	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	-41.49	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	-14.33	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	43.89	Nm (-160.95°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.058	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.490	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	0.548	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	2.875	W
Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.			
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff µbl=0.15 gerechnet.			
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	0.752	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	-50.282	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-4.743	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.005	µm (-80.99°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	0.106	mrاد (0.36°)
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	-0.895	mrاد (-3.08°)
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	0.036	mrاد (0.13°)
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.112	mrاد (0.38°)

**Welle 'WelleZ5' Wälzlager 'WelleZ5RadiallagerLinksNU212ECP'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	30.00	mm
Äquivalente Belastung	[P]	13.26	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	13.26	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>ISO</sub> ]	0.861	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	90478.55	h
Lebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	77871.71	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.27	
Betriebsviskosität	[v]	34.11	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	189.45	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[κ]	0.18	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	0.025	µm
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	7.69	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	315098.72	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	40459.09	h
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	-8.695	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	10.006	kN

WPGSWZ4WZ532/69

Lagerreaktionskraft	[Fr]	13.256	kN (130.99°)
Lagerreaktionsmoment	[Mx]	-0.83	Nm
Lagerreaktionsmoment	[My]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[Mz]	-1.37	Nm
Lagerreaktionsmoment	[Mr]	1.60	Nm (-121.04°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.080	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.239	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	0.319	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	1.675	W
Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.			
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff $\mu_{bl}=0.15$ gerechnet.			
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	20.707	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	-208.433	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-24.805	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.032	$\mu\text{m}$ (-50.15°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.059	mrاد (-0.2')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	-3.299	mrاد (-11.34')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	0.028	mrاد (0.1')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.065	mrاد (0.22')

**Welle 'WelleZ5' Wälzlager 'WelleZ5RadiallagerRechtsNU214ECP'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	213.00	mm
Äquivalente Belastung	[P]	3.31	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	3.31	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>ISO</sub> ]	3.000	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	250000.00	h
Lebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	> 1000000	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.31	
Betriebsviskosität	[v]	34.11	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	176.89	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[k]	0.19	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	0.034	$\mu\text{m}$
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	41.34	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	> 1000000	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	> 1000000	h
Lagerreaktionskraft	[Fx]	-0.766	kN
Lagerreaktionskraft	[Fy]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[Fz]	3.224	kN
Lagerreaktionskraft	[Fr]	3.314	kN (103.37°)
Lagerreaktionsmoment	[Mx]	-1.82	Nm
Lagerreaktionsmoment	[My]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[Mz]	-0.56	Nm
Lagerreaktionsmoment	[Mr]	1.90	Nm (-162.84°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.073	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.069	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	0.141	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	0.743	W

Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.

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

Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	3.130	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	-81.673	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-12.254	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.013	µm (-75.67°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	0.157	mrاد (0.54')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	-1.867	mrاد (-6.42')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	0.080	mrاد (0.27')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.176	mrاد (0.6')

**Lager 'BiegelinieCarrierRing'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	180.25	mm
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	3.928	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	4.228	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	5.771	kN (47.11°)
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	903.50	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	-592.42	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	1080.40	Nm (-33.25°)
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	0.000	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	-0.102	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-0.000	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.000	µm
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.000	mrاد (0')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	-0.095	mrاد (-0.33')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	-0.000	mrاد (0')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.000	mrاد (0')

**Lager 'BiegelinieSonneCarrier'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	180.25	mm
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	-0.003	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	-0.016	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	0.016	kN (-99.47°)
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	-8.36	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	1.13	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	8.43	Nm (172.31°)
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-0.000	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	-165.436	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-0.000	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.000	µm
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	0.000	mrاد (0')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	-0.028	mrاد (-0.09')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	0.000	mrاد (0')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.000	mrاد (0')

**Wälzlager 'CarrierRingLagerLinks71918'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	94.25	mm
Äquivalente Belastung	[P]	0.78	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	0.39	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>1SO</sub> ]	50.000	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	250000.00	h
Lebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	> 1000000	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.88	

WPGSWZ4WZ534/69

Betriebsviskosität	[v]	34.11	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	10.39	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[k]	3.28	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	0.321	µm
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	[-]	0.076	
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	113.54	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	381518.65	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	> 1000000	h
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	0.026	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	0.870	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	0.036	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	0.044	kN (54.75°)
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	0.93	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	-0.65	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	1.13	Nm (-35.22°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.226	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.032	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	0.258	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	47.129	W
Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.			
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff µbl=0.15 gerechnet.			
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-0.073	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	-0.043	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-0.096	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.000	µm (-127.05°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.001	mrad (0')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	-0.090	mrad (-0.31')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	0.001	mrad (0')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.001	mrad (0')

**Wälzlager 'CarrierRingLagerRechts71924'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	268.25	mm
Äquivalente Belastung	[P]	0.83	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	0.46	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>ISO</sub> ]	50.000	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	250000.00	h
Lebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	> 1000000	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.89	
Betriebsviskosität	[v]	34.11	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	9.02	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[k]	3.78	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	0.451	µm
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	[-]	0.079	
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	171.84	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	> 1000000	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	> 1000000	h
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	0.151	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	-0.870	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	0.113	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	0.189	kN (36.67°)
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	-3.69	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	0.00	Nm

WPGSWZ4WZ535/69

Lagerreaktionsmoment	[Mz]	5.04	Nm
Lagerreaktionsmoment	[Mr]	6.24	Nm (126.2°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.490	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.096	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	0.586	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	107.114	W

Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.

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

Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-0.707	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	-0.153	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-0.827	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.001	µm (-130.54°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.014	mrاد (-0.05')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	0.046	mrاد (0.16')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	0.007	mrاد (0.02')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.016	mrاد (0.05')

**Lager 'VerbindungZ4Carrier'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	280.00	mm
Lagerreaktionskraft	[Fx]	4.107	kN
Lagerreaktionskraft	[Fy]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[Fz]	4.015	kN
Lagerreaktionskraft	[Fr]	5.744	kN (44.35°)
Lagerreaktionsmoment	[Mx]	514.83	Nm
Lagerreaktionsmoment	[My]	-5008.49	Nm
Lagerreaktionsmoment	[Mz]	-190.57	Nm
Lagerreaktionsmoment	[Mr]	548.97	Nm (-20.31°)
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	0.000	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	-71.202	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	0.000	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.000	µm
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.000	mrاد (0')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	0.000	mrاد (0')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	0.000	mrاد (0')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.000	mrاد (0')

**Lager 'VerbindungZ5Ring'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	31.00	mm
Lagerreaktionskraft	[Fx]	1.137	kN
Lagerreaktionskraft	[Fy]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[Fz]	7.809	kN
Lagerreaktionskraft	[Fr]	7.892	kN (81.72°)
Lagerreaktionsmoment	[Mx]	-742.30	Nm
Lagerreaktionsmoment	[My]	4004.47	Nm
Lagerreaktionsmoment	[Mz]	-142.72	Nm
Lagerreaktionsmoment	[Mr]	755.90	Nm (-169.12°)
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-0.000	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	103.874	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-0.000	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.000	µm
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	0.000	mrاد (0')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	0.000	mrاد (0')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	0.000	mrاد (0')

Lagerneigung [r] 0.000 mrad (0')

(\*) Hinweis zu Wälzlagern mit approximierter Lagergeometrie:

Die innere Geometrie von diesen Lagern ist nicht in der Datenbank eingetragen.

Die Geometrie wird nach ISO281 aus C und C0 (Angaben im Katalog des Herstellers) rückwärts gerechnet.

Die Geometrie kann deshalb von der wirklichen Geometrie abweichen.

Dies kann in gewissen Fällen deutliche Unterschiede bei der Wälzlagersteifigkeit bewirken.

Ausnutzung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer [H] ( 20000.000)

B1: RingFestlagerRechts6026

B2: RingLoslagerLinks6026

B3: LagerSonnenwelle

B4: LagerSonnenwelle2

B5: WelleZ4AxiallagerQJ1018

B6: WelleZ4RadiallagerLinksNU218ECP

B7: WelleZ4RadiallagerRechtsNU216ECP

B8: WelleZ5AxiallagerQJ214N2MA

B9: WelleZ5RadiallagerLinksNU212ECP

B10: WelleZ5RadiallagerRechtsNU214ECP

B11: CarrierRingLagerLinks71918 (Verbindendes Wälzlager)

B12: CarrierRingLagerRechts71924 (Verbindendes Wälzlager)

Verschiebung [mm]

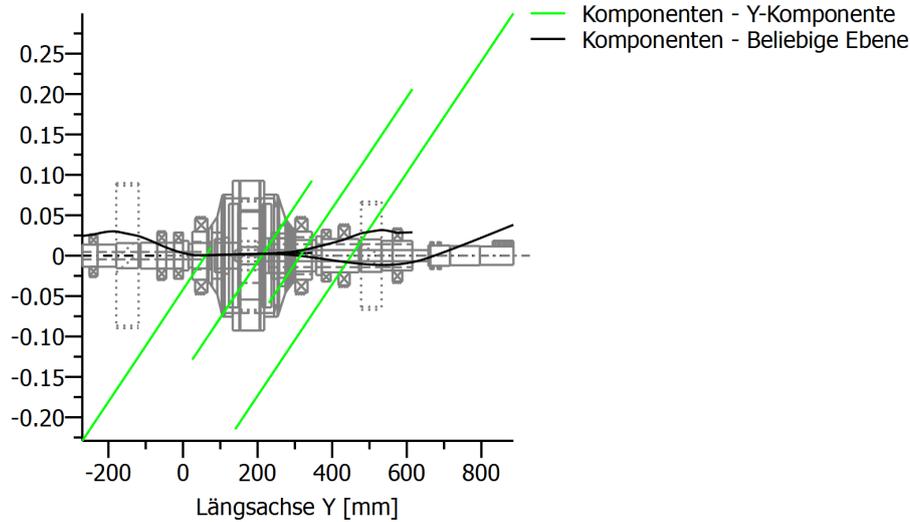
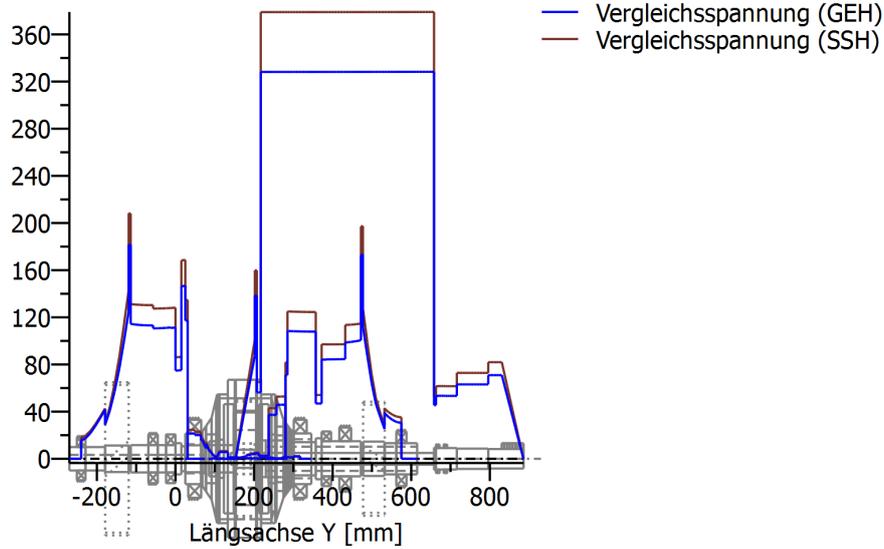


Abbildung: Verformung (Biegelinien etc.) (Beliebige Ebene 273.7514543 120)

Spannung [N/mm<sup>2</sup>]



GEH(von Mises):  $\sigma_V = ((\sigma_B + \sigma_{Z,D})^2 + 3 \cdot (\tau_{T,S})^2)^{1/2}$  SSH(Tresca):  $\sigma_V = ((\sigma_B - \sigma_{Z,D})^2 + 4 \cdot (\tau_{T,S})^2)^{1/2}$   
 Abbildung: Vergleichsspannung

**Eigenfrequenzen/Kritische Drehzahlen**

1. Eigenfrequenz:	0.00 Hz, Kritische Drehzahl:	0.02 1/min	Starrkörpertranslation Z 'CarrierShaft'
2. Eigenfrequenz:	64.85 Hz, Kritische Drehzahl:	3891.01 1/min	Axial 'RingShaft'
3. Eigenfrequenz:	82.37 Hz, Kritische Drehzahl:	4942.18 1/min	Biegung XY 'SonnenwelleFreilauf'
4. Eigenfrequenz:	137.81 Hz, Kritische Drehzahl:	8268.39 1/min	Biegung YZ 'SonnenwelleFreilauf'

Normierte Verschiebung

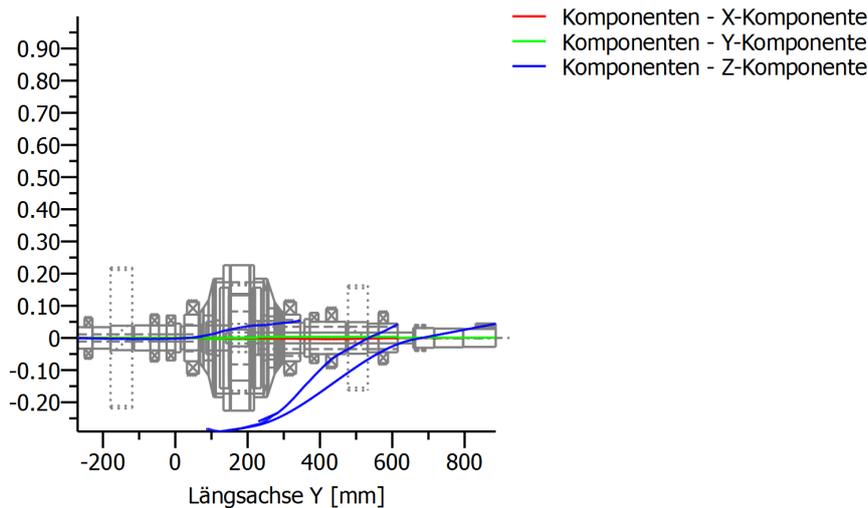


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 1. (0 Hz))

WPGSWZ4WZ538/69

Normierte Verschiebung

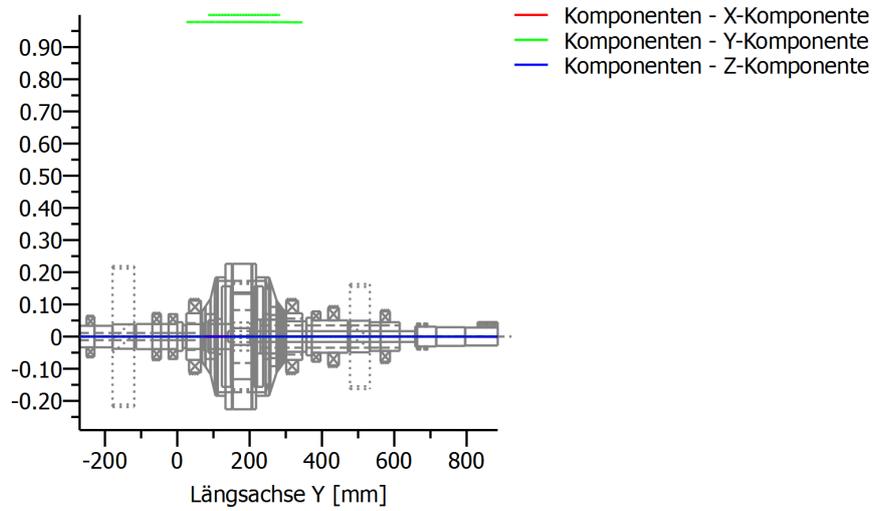


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 2. (64.85 Hz))

Normierte Verschiebung

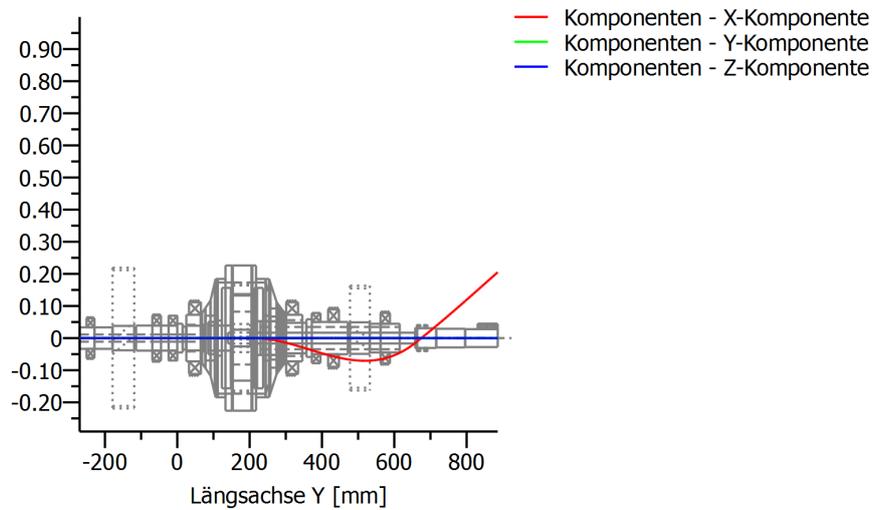


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 3. (82.37 Hz))

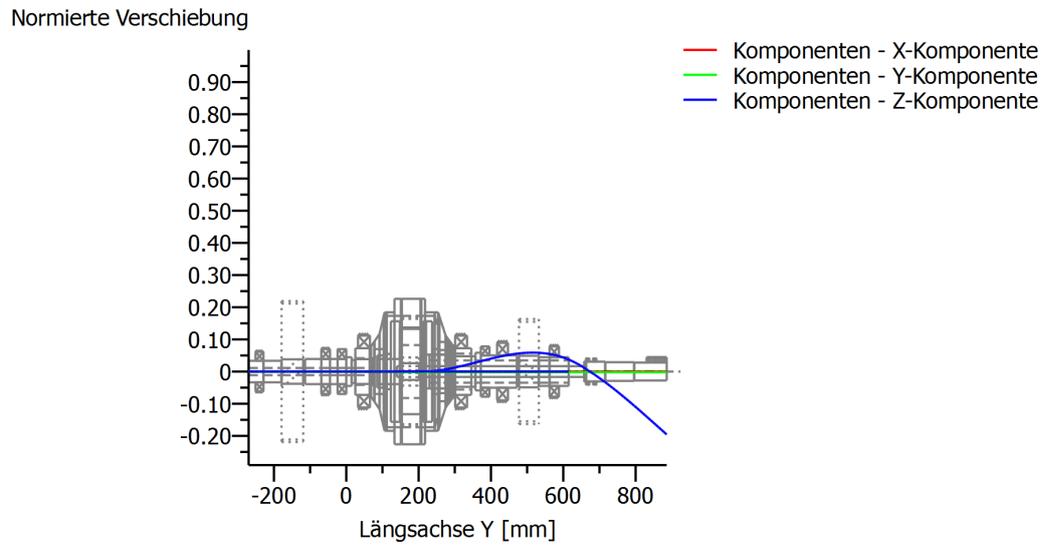


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 4. (137.81 Hz))

**Festigkeitsberechnung nach DIN 743:2012**

**Zusammenfassung**

**SonnenwelleFreilauf**

Werkstoff	30 CrNiMo 8 (1)
Werkstoffart	Vergütungsstahl
Werkstoff-Behandlung	legiert, vergütet
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)	
SonnenwelleFreistichRechts	67.00	Wellenabsatz
SonnenwelleFreistichLinks	62.00	Wellenabsatz
SonnenwelleAbsatzSonnenrad	77.00	Wellenabsatz
SonnenwelleAbsatzKupplung	518.00	Wellenabsatz

Resultate:

Querschnitt	Kfb	Kf $\sigma$	K2d	SD	SS
SonnenwelleFreistichRechts	2.17	0.86	0.89	3.77	4.31
SonnenwelleFreistichLinks	2.04	0.86	0.89	3.97	4.31
SonnenwelleAbsatzSonnenrad	1.49	0.86	0.91	1.95	1.82
SonnenwelleAbsatzKupplung	1.28	0.86	0.91	2.07	1.82

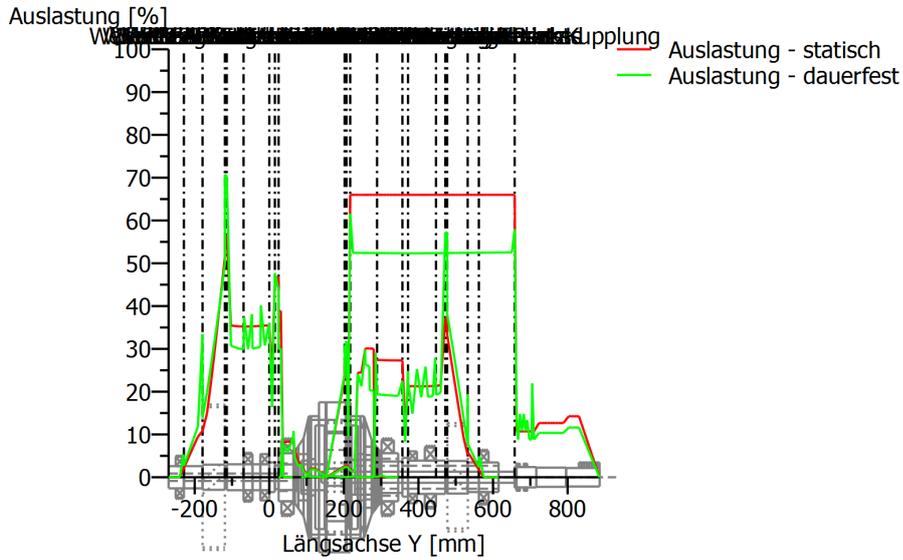
Sollsicherheiten: 1.20 1.20

Abkürzungen:

- Kfb: Kerbfaktor Biegung
- Kf $\sigma$ : Oberflächenfaktor
- K2d: Grössenfaktor Biegung
- SD: Sicherheit Dauerfestigkeit
- SS: Sicherheit Streckgrenze

**Ausnutzung (%A) [Smin/S]**

Querschnitt	Statisch	Dauerfest
SonnenwelleFreistichRechts	27.839	31.814
SonnenwelleFreistichLinks	27.839	30.237
SonnenwelleAbsatzSonnenrad	65.990	61.609
SonnenwelleAbsatzKupplung	65.997	57.967
Maximale Ausnutzung (%)	[A]	65.997



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

**Berechnungs-Details**

**Allgemeine Angaben**

Bezeichnung	SonnenwelleFreilauf		
Zeichnung			
Länge (mm)	[l]		746.00
Drehzahl (1/min)	[n]		8520.13
Werkstoff	30 CrNiMo 8 (1)		
Werkstoffart	Vergütungsstahl		
Werkstoff-Behandlung	legiert, vergütet		
Oberflächen-Behandlung	Keine		

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Lastfaktor statische Berechnung	1.700	1.700	1.700	1.700
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> )	[ $\sigma_B$ ]	1250.00
$\sigma_S$ nach DIN 743 (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_S$ ]	1050.00
[ $\sigma_{zdW}$ ] (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )		500.00
[ $\sigma_{bW}$ ] (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )		625.00
[ $\tau_{tW}$ ] (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )		375.00
Dicke Rohmaterial (mm)	[dWerkst]	60.00
Werkstoffdaten nach DIN743/3 mit K1(d) berechnet		
Werkstoff-Festigkeitswerte aus Dicke Rohmaterial bestimmt		
Geometrischer Grössenfaktor K1d mit Rohdurchmesser berechnet		
[ $\sigma_{Beff}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )		1063.44

WPGSWZ4WZ542/69

[σSeff] (N/mm <sup>2</sup> )	845.07
[σbF] (N/mm <sup>2</sup> )	1014.09
[τtF] (N/mm <sup>2</sup> )	585.48
[σBRand] (N/mm <sup>2</sup> )	900.00
[σzdW] (N/mm <sup>2</sup> )	425.38
[σbW] (N/mm <sup>2</sup> )	531.72
[τtW] (N/mm <sup>2</sup> )	319.03

Dauerfestigkeit für Einstufenbeanspruchung

Berechnung für Beanspruchungsfall 2 (σ.av/σ.mv = konst)

**Querschnitt 'SonnenwelleFreistichRechts' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	67.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]	40.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	0.000
Kerbwirkung	Wellenabsatz	
[D, r, t] (mm)	54.000 1.500 0.000	
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]	8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	502.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	7.4	502.0	35.0
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	12.6	1706.8	59.6
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	1256.6	6283.2	12566.4	1256.6

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	39.948	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	1.184	39.948	0.037
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	2.012	135.825	0.063

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.851
	[K1(sS)]	0.805

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	2.514	2.253	1.644
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	1.677	1.677	0.767
Stützziffer	[n]	1.039	1.039	1.027
Kerbwirkungszahl	[β]	2.419	2.168	1.602
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.888	0.888
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.856	0.856	0.917
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.587	2.609	1.893

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	69.193
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]	39.948

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	164.411	203.824	168.488
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.084	0.106	0.086
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.013	18.761	155.141

WPGSWZ4WZ543/69

Sicherheit gegen Ermüdung	[S]	3.772
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]	1.200
Resultat (%)	[S/Smin]	314.3

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.200	1.200
Erhöhungsfaktor	[yF]	1.100	1.100	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	929.578	1115.494	585.482
Sicherheit Fließgrenze	[S]		4.310	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		359.2	

**Querschnitt 'SonnenwelleFreistichLinks' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	62.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]	40.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	0.000
Kerbwirkung	Wellenabsatz	
[D, r, t] (mm)	46.600 1.500 0.000	
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]	8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	502.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	7.6	502.0	34.6
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	12.9	1706.8	58.8
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	1256.6	6283.2	12566.4	1256.6

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	39.948	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	1.211	39.948	0.037
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	2.059	135.825	0.062

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.851
	[K1(sS)]	0.805

	Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	2.307	2.118
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	1.727	1.727
Stützziffer	[n]	1.040	1.040
Kerbwirkungszahl	[β]	2.219	2.036
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.888
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.856	0.856
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.387	2.461

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	69.193
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]	39.948

WPGSWZ4WZ544/69

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	178.202	216.070	178.788
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.091	0.113	0.092
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.013	19.192	163.759
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		3.969	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		330.7	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.200	1.200
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.100	1.100	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	929.578	1115.494	585.482
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		4.310	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		359.2	

**Querschnitt 'SonnenwelleAbsatzSonnenrad' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		77.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]		30.000
Innendurchmesser (mm)	[di]		0.000
Kerbwirkung Wellenabsatz			
[D, r, t] (mm)	54.000	5.000	0.000
Mittlere Rauheit (µm)		[Rz]	8.000

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		0.0	0.0	502.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		0.0	7.1	502.0	36.8
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		0.0	12.0	1706.8	62.6
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		706.9	2650.7	5301.4	706.9

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	94.693	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	2.671	94.693	0.069
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	4.540	321.955	0.118

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.851
	[K1(sS)]	0.805

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	1.655	1.520	1.280
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	0.460	0.460	0.230
Stützziffer	[n]	1.021	1.021	1.015
Kerbwirkungszahl	[β]	1.621	1.489	1.261
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.907	0.907
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.856	0.856	0.917
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.790	1.809	1.480

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

WPGSWZ4WZ545/69

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		164.012	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		94.693	
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	237.666	293.891	215.495
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.126	0.160	0.113
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.005	17.060	193.661
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		1.948	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		162.3	
Vorhandene Sicherheitszahl				
für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:				
Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.200	1.200
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.050	1.050	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	887.324	1064.789	585.482
Sicherheit Fließgrenze	[S]		1.818	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		151.5	

**Querschnitt 'SonnenwelleAbsatzKupplung' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		518.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]		30.000
Innendurchmesser (mm)	[di]		0.000
Kerbwirkung	Wellenabsatz		
[D, r, t] (mm)		58.000	10.000 0.000
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]		8.000

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	502.0	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	14.5	502.0	60.7
Maximalwert	[Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	24.6	1706.8	103.2
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		706.9	2650.7	5301.4	706.9

Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
[σzdm, σbm, τm, τqm]	(N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	94.693	0.000
[σzda, σba, τa, τqa]	(N/mm <sup>2</sup> )	0.000	5.457	94.693	0.115
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax]	(N/mm <sup>2</sup> )	0.000	9.277	321.955	0.195

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.851
	[K1(sS)]	0.805

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	1.380	1.299	1.162
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	0.230	0.230	0.115
Stützziffer	[n]	1.015	1.015	1.010
Kerbwirkungszahl	[β]	1.360	1.280	1.151
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.907	0.907
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.856	0.856	0.917
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000

WPGSWZ4WZ546/69

Gesamteinflussfaktor	[K]	1.529	1.579	1.358
----------------------	-----	-------	-------	-------

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	164.012
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[rmV]	94.693

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	278.269	336.776	234.865
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.151	0.188	0.124
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.005	32.655	208.929
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		2.070	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		172.5	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.200	1.200
Erhöhungsfaktor	[yF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	845.071	1014.085	585.482
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		1.818	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		151.5	

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 DIN743. Die Faktoren werden aus der FKM-Richtlinie übernommen, ausser die Faktoren für den 'festen Presssitz' nach DIN sind kleiner, dann werden diese verwendet.

**WelleZ4**

Werkstoff	30 CrNiMo 8 (1)
Werkstoffart	Vergütungsstahl
Werkstoff-Behandlung	legiert, vergütet
Oberflächen-Behandlung	Keine

Berechnung der Dauerfestigkeit und der statischen Festigkeit

Berechnung für Beanspruchungsfall 2 (σav/σmv = konst)

Querschnitt	Lage (Y-Koor) (mm)	
WelleZ4WellenschulterLagerLinks	127.00	Wellenabsatz
WelleZ4LagerRechts	332.00	Glatte Welle
WelleZ4FreistichRechts	247.00	Wellenabsatz
WelleZ4FreistichLinks	242.00	Wellenabsatz
WelleZ4AbsatzZahnrad	302.00	Wellenabsatz
WelleZ4AbsatzLager	142.00	Wellenabsatz
WelleZ4AbsatzZahnwelle	59.00	Glatte Welle
WelleZ4LagerLinks	217.10	Glatte Welle

Resultate:

Querschnitt	Kfb	Kfσ	K2d	SD	SS
WelleZ4WellenschulterLagerLinks	1.56	0.86	0.84	5.34	4.40
WelleZ4LagerRechts	1.00	0.86	0.84	50.16	67.13

WPGSWZ4WZ547/69

WelleZ4FreistichRechts	2.62	0.86	0.84	2.09	3.21
WelleZ4FreistichLinks	2.72	0.86	0.84	2.10	3.22
WelleZ4AbsatzZahnrad	2.62	0.86	0.84	6.20	22.34
WelleZ4AbsatzLager	2.95	0.86	0.83	4.83	5.64
WelleZ4AbsatzZahnwelle	1.00	0.86	0.84	6.19	4.38
WelleZ4LagerLinks	1.00	0.86	0.83	6.24	5.62

Sollsicherheiten: 1.20 1.20

Abkürzungen:

Kfb: Kerbfaktor Biegung

Kfσ: Oberflächenfaktor

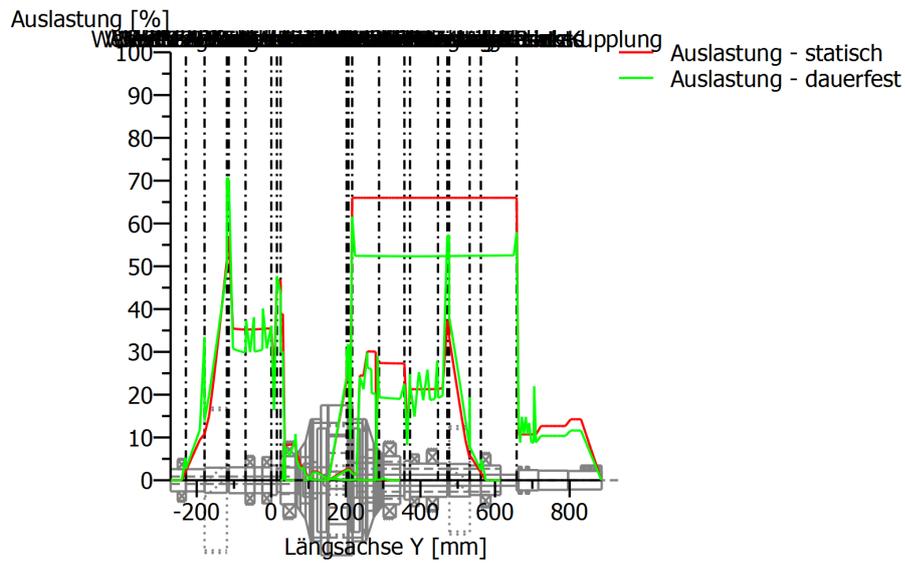
K2d: Grössenfaktor Biegung

SD: Sicherheit Dauerfestigkeit

SS: Sicherheit Streckgrenze

**Ausnutzung (%A) [Smin/S]**

Querschnitt	Statisch	Dauerfest
WelleZ4WellenschulterLagerLinks	27.287	22.483
WelleZ4LagerRechts	1.788	2.392
WelleZ4FreistichRechts	37.394	57.328
WelleZ4FreistichLinks	37.271	57.038
WelleZ4AbsatzZahnrad	5.371	19.351
WelleZ4AbsatzLager	21.266	24.850
WelleZ4AbsatzZahnwelle	27.406	19.373
WelleZ4LagerLinks	21.364	19.232
Maximale Ausnutzung (%)	[A]	57.328



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

**Berechnungs-Details**

**Allgemeine Angaben**

Bezeichnung	WelleZ4		
Zeichnung			
Länge (mm)	[l]		385.00
Drehzahl (1/min)	[n]		1695.67
Werkstoff	30 CrNiMo 8 (1)		
Werkstoffart	Vergütungsstahl		
Werkstoff-Behandlung	legiert, vergütet		
Oberflächen-Behandlung	Keine		

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Lastfaktor statische Berechnung	1.700	1.700	1.700	1.700
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> )	[ $\sigma_B$ ]	1250.00
$\sigma_S$ nach DIN 743 (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_S$ ]	1050.00
[ $\sigma_{zdW}$ ] (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )		500.00
[ $\sigma_{bw}$ ] (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )		625.00
[ $\tau_{tW}$ ] (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )		375.00
Dicke Rohmaterial (mm)	[dWerkst]	110.00
Werkstoffdaten nach DIN743/3 mit K1(d) berechnet		
Werkstoff-Festigkeitswerte aus Dicke Rohmaterial bestimmt		
Geometrischer Grössenfaktor K1d mit Rohdurchmesser berechnet		
[ $\sigma_{Beff}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )		977.89

WPGSWZ4WZ549/69

[σSeff] (N/mm <sup>2</sup> )	751.09
[σbF] (N/mm <sup>2</sup> )	826.20
[τtF] (N/mm <sup>2</sup> )	433.64
[σBRand] (N/mm <sup>2</sup> )	900.00

[σzdW] (N/mm <sup>2</sup> )	391.15
[σbW] (N/mm <sup>2</sup> )	488.94
[τtW] (N/mm <sup>2</sup> )	293.37

Dauerfestigkeit für Einstufenbeanspruchung

Berechnung für Beanspruchungsfall 2 (σ.av/σ.mv = konst)

<b>Querschnitt 'WelleZ4WellenschulterLagerLinks'</b>		<b>Wellenabsatz</b>			
Kommentar					
Position (Y-Koordinate) (mm)		[y]			127.00
Aussendurchmesser (mm)		[da]			85.000
Innendurchmesser (mm)		[di]			62.000
Kerbwirkung	Wellenabsatz				
[D, r, t] (mm)	105.000	10.000	0.000		
Mittlere Rauheit (µm)		[Rz]			8.000
		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		0.0	0.0	2504.2	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		0.0	243.0	2504.2	5721.8
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		0.0	413.1	8514.4	9727.1
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		2655.4	43225.0	86449.9	2655.4
Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )					
[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	0.000	28.968	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	5.622	28.968	4.241
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	9.557	98.490	7.209
Technologischer Grösseneinfluss					
	[K1(sB)]	0.782			
	[K1(sS)]	0.715			
		Zug/Druck	Biegung	Torsion	
Formzahl	[a]	1.730	1.591	1.301	
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	0.268	0.268	0.115	
Stützziffer	[n]	1.021	1.021	1.014	
Kerbwirkungszahl	[β]	1.694	1.558	1.283	
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.838	0.838	
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.863	0.863	0.921	
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000	
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.852	2.018	1.617	
Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:					
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		50.173		
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		28.968		
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	211.152	242.343	181.446	
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.121	0.141	0.102	
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.016	87.406	164.613	

WPGSWZ4WZ550/69

Sicherheit gegen Ermüdung	[S]	5.337
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]	1.200
Resultat (%)	[S/Smin]	444.8

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.050	1.050	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	788.648	867.513	433.644
Sicherheit Fließgrenze	[S]		4.398	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		366.5	

**Querschnitt 'WelleZ4LagerRechts' Glatte Welle**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	332.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]	80.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	62.000
Kerbwirkung	Glatte Welle	
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]	8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	0.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	232.6	0.0	17834.0
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	395.5	0.0	30317.9
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	2007.5	32132.2	64264.4	2007.5

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	7.240	0.000	17.580
[σzdmax, obmax, tmax, tqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	12.308	0.000	29.886

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.782
	[K1(sS)]	0.715

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.842	0.842
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.863	0.863	0.921
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.159	1.346	1.273

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]	337.589	363.158	230.422
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.209	0.228	0.134
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	337.589	363.158	230.422
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		50.161	

WPGSWZ4WZ551/69

Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]	1.200
Resultat (%)	[S/Smin]	4180.1

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[yF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	751.094	826.203	433.644
Sicherheit Fließgrenze	[S]		67.129	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		5594.1	

**Querschnitt 'WelleZ4FreistichRechts'**

**Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	247.00	
Aussendurchmesser (mm)	[da]	80.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]	62.000	
Kerbwirkung Wellenabsatz			
[D, r, t] (mm)	88.000	1.000	0.000
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]	8.000	

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-3615.7	0.0	2504.2	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	3615.7	1174.9	2504.2	19698.7
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-12293.4	1997.3	8514.4	33487.7
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	2007.5	32132.2	64264.4	2007.5

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-1.801	0.000	38.968	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	1.801	36.564	38.968	19.418
[σzdm, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	-6.124	62.159	132.491	33.011

Technologischer Grösseneinfluss

[K1(sB)]	0.782
[K1(sS)]	0.715

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Formzahl	[a]	3.012	2.796	1.843
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	2.530	2.530	1.150
Stützziffer	[n]	1.066	1.066	1.044
Kerbwirkungszahl	[β]	2.827	2.624	1.765
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.842	0.842
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.863	0.863	0.921
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.986	3.275	2.182

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	67.470
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]	38.954

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	131.009	149.313	134.437
---	-------	---------	---------	---------

WPGSWZ4WZ552/69

Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ $\psi\sigma_K$ ]	0.072	0.083	0.074
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{ADK}$ ]	22.458	129.554	125.199
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		2.093	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[S <sub>min</sub> ]		1.200	
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]		174.4	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[ $\gamma_F$ ]	1.150	1.100	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{FK}$ ]	863.758	908.823	433.644
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		3.209	
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]		1.200	
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]		267.4	

**Querschnitt 'WelleZ4FreistichLinks' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		242.00	
Aussendurchmesser (mm)	[da]		80.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]		62.000	
Kerbwirkung Wellenabsatz				
[D, r, t] (mm)	90.000	1.000	0.000	
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]		8.000	

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [ $F_{zdm}, M_{bm}, T_m, F_{qm}$ ]	-3615.7	0.0	2504.2	0.0
Ausschlag (Amplitude) [ $F_{zda}, M_{ba}, T_a, F_{qa}$ ]	3615.7	1081.2	2504.2	19699.3
Maximalwert [ $F_{zdm\max}, M_{b\max}, T_{\max}, F_{qm\max}$ ]	-12293.4	1838.1	8514.4	33488.8
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, W <sub>b</sub> , W <sub>t</sub> , A]	2007.5	32132.2	64264.4	2007.5

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

[ $\sigma_{zdm}, \sigma_{bm}, \tau_m, \tau_{qm}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	-1.801	0.000	38.968	0.000
[ $\sigma_{zda}, \sigma_{ba}, \tau_a, \tau_{qa}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	1.801	33.649	38.968	19.419
[ $\sigma_{zdm\max}, \sigma_{b\max}, \tau_{\max}, \tau_{qm\max}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	-6.124	57.203	132.491	33.012

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.782
	[K1(sS)]	0.715

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Formzahl	[a]	3.152	2.897	1.907
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	2.510	2.510	1.150
Stützziffer	[n]	1.065	1.065	1.044
Kerbwirkungszahl	[ $\beta$ ]	2.959	2.720	1.827
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.842	0.842
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.863	0.863	0.921
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	3.117	3.389	2.255

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_mV$ ]	67.470
---	-----------------	--------

WPGSWZ4WZ553/69

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\tau_mV$ ]		38.954	
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{WK}$ ]	125.472	144.275	130.099
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ $\psi\sigma K$ ]	0.069	0.080	0.071
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{ADK}$ ]	22.458	124.408	121.447
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		2.104	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		175.3	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[ $\gamma F$ ]	1.150	1.100	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{FK}$ ]	863.758	908.823	433.644
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		3.220	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		268.3	

**Querschnitt 'WelleZ4AbsatzZahnrad'**

**Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		302.00	
Aussendurchmesser (mm)	[da]		80.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]		62.000	
Kerbwirkung	Wellenabsatz			
[D, r, t] (mm)		88.000	1.000	0.000
Mittlere Rauheit ( $\mu m$ )	[Rz]		8.000	

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-32.9	0.0	22.8	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	32.9	768.4	22.8	17506.9
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-111.8	1306.4	77.4	29761.7
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	2007.5	32132.2	64264.4	2007.5

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

[ $\sigma_{zdm}, \sigma_{bm}, \tau_m, \tau_{qm}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.016	0.000	0.354	0.000
[ $\sigma_{zda}, \sigma_{ba}, \tau_a, \tau_{qa}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	0.016	23.915	0.354	17.258
[ $\sigma_{zdm}, \sigma_{bm}, \tau_m, \tau_{qm}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.056	40.656	1.204	29.338

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.782
	[K1(sS)]	0.715

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Formzahl	[a]	3.012	2.796	1.843
Bezogenes Spannungsgefälle	[G]	2.530	2.530	1.150
Stützziffer	[n]	1.066	1.066	1.044
Kerbwirkungszahl	[ $\beta$ ]	2.827	2.624	1.765
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.842	0.842
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.863	0.863	0.921
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.986	3.275	2.182

WPGSWZ4WZ554/69

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		0.613
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		0.354

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	131.009	149.313	134.437
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.072	0.083	0.074
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	22.458	148.997	125.199
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		6.201	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		516.8	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.150	1.100	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	863.758	908.823	433.644
Sicherheit Fließgrenze	[S]		22.343	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		1861.9	

**Querschnitt 'WelleZ4AbsatzLager' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		142.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]		90.000
Innendurchmesser (mm)	[di]		62.000
Kerbwirkung Wellenabsatz			
[D, r, t] (mm)		105.000	1.000 0.000
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]		8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	2504.2	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	238.9	2504.2	5717.3
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	406.1	8514.4	9719.4
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	3342.7	55450.9	110901.9	3342.7

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	22.581	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	4.308	22.581	3.346
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	7.324	76.774	5.688

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.782
	[K1(sS)]	0.715

	Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	3.470	3.143 2.048
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	2.478	2.478 1.150
Stützziffer	[n]	1.065	1.065 1.044
Kerbwirkungszahl	[β]	3.258	2.951 1.962
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.834 0.834

WPGSWZ4WZ555/69

Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.863	0.863	0.921
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	3.417	3.697	2.437

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		39.111	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		22.581	

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	114.471	132.248	120.363
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.062	0.073	0.066
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.022	79.744	112.955
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		4.829	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		402.4	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.150	1.150	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	863.758	950.133	433.644
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		5.643	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		470.2	

**Querschnitt 'WelleZ4AbsatzZahnwelle'**

**Glatte Welle**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		59.00	
Aussendurchmesser (mm)	[da]		85.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]		62.000	
Kerbwirkung	Glatte Welle			
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]		8.000	

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	2504.2	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	503.3	2504.2	5731.5
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	855.6	8514.4	9743.5
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> ) [A, Wb, Wt, A]	2655.4	43225.0	86449.9	2655.4

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	28.968	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	11.644	28.968	4.248
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	19.794	98.490	7.222

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.782		
	[K1(sS)]	0.715		

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.838	0.838
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.863	0.863	0.921

WPGSWZ4WZ556/69

Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.159	1.352	1.279

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		50.173	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		28.968	

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	337.589	361.617	229.389
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.209	0.227	0.133
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.015	155.623	202.484
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		6.194	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		516.2	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	751.094	826.203	433.644
Sicherheit Fließgrenze	[S]		4.379	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		364.9	

**Querschnitt 'WelleZ4LagerLinks' Glatte Welle**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		217.10	
Aussendurchmesser (mm)	[da]		90.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]		62.000	
Kerbwirkung	Glatte Welle			
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]		8.000	

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-3615.7	0.0	2504.2	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fzda, Mba, Ta, Fqa]	3615.7	636.7	2504.2	19704.8
Maximalwert	[Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-12293.4	1082.5	8514.4	33498.1
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		3342.7	55450.9	110901.9	3342.7

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )		-1.082	0.000	22.581	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )		1.082	11.483	22.581	11.532
[σzdmax, obmax, tmax, tqmax] (N/mm <sup>2</sup> )		-3.678	19.521	76.774	19.604

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.782		
	[K1(sS)]	0.715		

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.834	0.834
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.863	0.863	0.921
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000

WPGSWZ4WZ557/69

Gesamteinflussfaktor	[K]	1.159	1.358	1.284
----------------------	-----	-------	-------	-------

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		39.096	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[rmV]		22.572	

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	337.589	360.163	228.413
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.209	0.226	0.132
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	20.221	187.572	201.746
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		6.240	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		520.0	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[yF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	751.094	826.203	433.644
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		5.617	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		468.1	

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 DIN743. Die Faktoren werden aus der FKM-Richtlinie übernommen, ausser die Faktoren für den 'festen Presssitz' nach DIN sind kleiner, dann werden diese verwendet.

**WelleZ5**

Werkstoff	34 CrMo 4
Werkstoffart	Vergütungsstahl
Werkstoff-Behandlung	legiert, vergütet
Oberflächen-Behandlung	Keine

Berechnung der Dauerfestigkeit und der statischen Festigkeit

Berechnung für Beanspruchungsfall 2 (σav/σmv = konst)

Querschnitt	Lage (Y-Koor) (mm)	
WelleZ5WellenschulterRechts	285.00	Wellenabsatz
WelleZ5WekkebschulterLinks	270.00	Wellenabsatz
WelleZ5LagerLinks	41.00	Glatte Welle
WelleZ5AbsatzLinks	91.00	Wellenabsatz
WelleZ5FreistichRechts	156.00	Wellenabsatz
WelleZ5FreistichLinks	151.00	Wellenabsatz
WelleZ5LagerRechts	201.00	Glatte Welle
WelleZ5AbsatzZahnwelle	295.00	Wellenabsatz

Resultate:

Querschnitt	Kfb	Kfσ	K2d	SD	SS
WelleZ5WellenschulterRechts	2.17	0.88	0.86	2.51	2.58
WelleZ5WekkebschulterLinks	2.28	0.88	0.85	3.33	3.39

WPGSWZ4WZ558/69

WelleZ5LagerLinks	1.00	0.88	0.86	44.48	55.53
WelleZ5AbsatzLinks	2.40	0.88	0.86	3.59	11.10
WelleZ5FreistichRechts	2.47	0.88	0.86	1.71	2.12
WelleZ5FreistichLinks	2.40	0.88	0.86	1.70	2.11
WelleZ5LagerRechts	1.00	0.88	0.85	4.02	3.41
WelleZ5AbsatzZahnwelle	1.86	0.88	0.86	2.74	2.57

Sollsicherheiten: 1.20 1.20

Abkürzungen:

Kfb: Kerbfaktor Biegung

Kfσ: Oberflächenfaktor

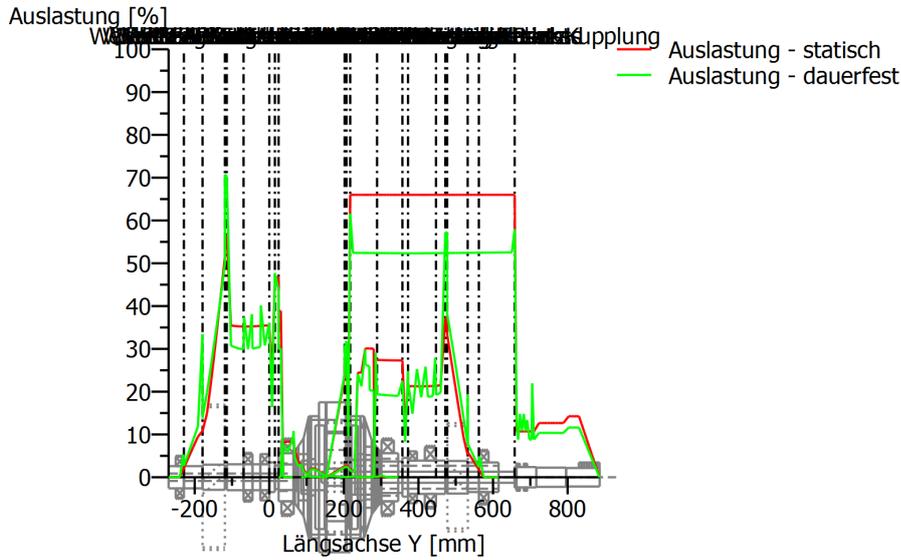
K2d: Grössenfaktor Biegung

SD: Sicherheit Dauerfestigkeit

SS: Sicherheit Streckgrenze

**Ausnutzung (%A) [Smin/S]**

Querschnitt	Statisch	Dauerfest
WelleZ5WellenschulterRechts	46.578	47.727
WelleZ5WekkebschulterLinks	35.372	36.008
WelleZ5LagerLinks	2.161	2.698
WelleZ5AbsatzLinks	10.810	33.460
WelleZ5FreistichRechts	56.700	70.333
WelleZ5FreistichLinks	56.809	70.712
WelleZ5LagerRechts	35.216	29.874
WelleZ5AbsatzZahnwelle	46.769	43.736
Maximale Ausnutzung (%)	[A]	70.712



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

**Berechnungs-Details**

**Allgemeine Angaben**

Bezeichnung	WelleZ5		
Zeichnung			
Länge (mm)	[l]		345.00
Drehzahl (1/min)	[n]		50.12
Werkstoff	34 CrMo 4		
Werkstoffart	Vergütungsstahl		
Werkstoff-Behandlung	legiert, vergütet		
Oberflächen-Behandlung	Keine		

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Lastfaktor statische Berechnung	1.700	1.700	1.700	1.700
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> )	[ $\sigma_B$ ]	1000.00
$\sigma_S$ nach DIN 743 (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_S$ ]	800.00
[ $\sigma_{zdW}$ ] (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )		400.00
[ $\sigma_{bW}$ ] (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )		500.00
[ $\tau_{tW}$ ] (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )		300.00
Dicke Rohmaterial (mm)	[dWerkst]	85.00
Werkstoffdaten nach DIN743/3 mit K1(d) berechnet		
Werkstoff-Festigkeitswerte aus Dicke Rohmaterial bestimmt		
Geometrischer Grössenfaktor K1d mit Rohdurchmesser berechnet		
[ $\sigma_{Beff}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )		811.42

WPGSWZ4WZ560/69

[σSeff] (N/mm <sup>2</sup> )	602.72
[σbF] (N/mm <sup>2</sup> )	662.99
[τtF] (N/mm <sup>2</sup> )	347.98
[σBRand] (N/mm <sup>2</sup> )	800.00
[σzdW] (N/mm <sup>2</sup> )	324.57
[σbW] (N/mm <sup>2</sup> )	405.71
[τtW] (N/mm <sup>2</sup> )	243.43

Dauerfestigkeit für Einstufenbeanspruchung

Berechnung für Beanspruchungsfall 2 (σ.av/σ.mv = konst)

**Querschnitt 'WelleZ5WellenschulterRechts' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	285.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]	64.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	20.000
Kerbwirkung	Wellenabsatz	
[D, r, t] (mm)	80.000 2.000 0.000	
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]	8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mb, Tm, Fqm]	-0.0	0.0	2002.2	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	638.4	2002.2	7876.6
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-0.0	1085.3	6807.6	13390.2
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	2902.8	25490.5	50981.0	2902.8

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.000	39.274	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	25.046	39.274	4.648
[σzdm, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	42.578	133.532	7.901

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.811
	[K1(sS)]	0.753

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	2.577	2.328	1.668
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	1.265	1.265	0.575
Stützziffer	[n]	1.075	1.075	1.051
Kerbwirkungszahl	[β]	2.398	2.166	1.588
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.857	0.857
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.879	0.879	0.931
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.535	2.665	1.928

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	68.025
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]	39.274

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	128.028	152.215	126.272
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.086	0.104	0.084
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.010	118.815	116.447

WPGSWZ4WZ561/69

Sicherheit gegen Ermüdung	[S]	2.514
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]	1.200
Resultat (%)	[S/Smin]	209.5

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[yF]	1.100	1.100	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	662.991	729.290	347.980
Sicherheit Fließgrenze	[S]		2.576	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		214.7	

**Querschnitt 'WelleZ5WekbeschulterLinks' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	270.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]	70.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	20.000
Kerbwirkung	Wellenabsatz	
[D, r, t] (mm)	80.000 1.500 0.000	
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]	8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-0.0	0.0	2002.2	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	531.6	2002.2	7871.2
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-0.0	903.8	6807.6	13381.1
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	3534.3	33449.5	66899.1	3534.3

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.000	29.929	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	15.893	29.929	3.754
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	27.019	101.759	6.382

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.811
	[K1(sS)]	0.753

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	
Formzahl	[a]	2.692	2.473	1.710
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	1.698	1.698	0.767
Stützziffer	[n]	1.087	1.087	1.058
Kerbwirkungszahl	[β]	2.477	2.275	1.616
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.851	0.851
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.879	0.879	0.931
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.615	2.811	1.973

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	51.839
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]	29.929

WPGSWZ4WZ562/69

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	124.126	144.307	123.348
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.083	0.098	0.082
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.013	109.461	113.973
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		3.333	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		277.7	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[YF]	1.100	1.100	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	662.991	729.290	347.980
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		3.393	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		282.7	

**Querschnitt 'WelleZ5LagerLinks' Glatte Welle**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		41.00	
Aussendurchmesser (mm)	[da]		60.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]		20.000	
Kerbwirkung Glatte Welle				
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]		8.000	

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		0.0	0.0	0.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		0.0	147.1	0.0	13249.6
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		0.0	250.0	0.0	22524.3
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		2513.3	20944.0	41887.9	2513.3

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	7.023	0.000	9.138
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	11.939	0.000	15.534

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.811		
	[K1(sS)]	0.753		

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.861	0.861
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.879	0.879	0.931
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.137	1.299	1.236

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]	285.348	312.408	196.967

WPGSWZ4WZ563/69

Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ $\psi\sigma_K$ ]	0.213	0.238	0.138
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{ADK}$ ]	285.348	312.408	196.967
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		44.484	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[S <sub>min</sub> ]		1.200	
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]		3707.0	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[ $\gamma_F$ ]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{FK}$ ]	602.719	662.991	347.980
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		55.532	
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]		1.200	
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]		4627.7	

**Querschnitt 'WelleZ5AbsatzLinks' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			91.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]			60.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			20.000
Kerbwirkung Wellenabsatz				
[D, r, t] (mm)	68.000	1.000	0.000	
Mittlere Rauheit (µm)		[Rz]		8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [ $F_{zdm}, M_{bm}, T_m, F_{qm}$ ]	0.0	0.0	0.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [ $F_{zda}, M_{ba}, T_a, F_{qa}$ ]	0.0	809.4	0.0	13242.3
Maximalwert [ $F_{zdm}, M_{bmax}, T_{max}, F_{qmax}$ ]	0.0	1376.0	0.0	22512.0
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, W <sub>b</sub> , W <sub>t</sub> , A]	2513.3	20944.0	41887.9	2513.3

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

[ $\sigma_{zdm}, \sigma_{bm}, \tau_m, \tau_{qm}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	0.000	0.000
[ $\sigma_{zda}, \sigma_{ba}, \tau_a, \tau_{qa}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	38.645	0.000	9.133
[ $\sigma_{zdm}, \sigma_{bmax}, \tau_{max}, \tau_{qmax}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	65.697	0.000	15.526

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.811
	[K1(sS)]	0.753

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	
Formzahl	[a]	2.891	2.657	1.795
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	2.530	2.530	1.150
Stützziffer	[n]	1.106	1.106	1.071
Kerbwirkungszahl	[ $\beta$ ]	2.614	2.403	1.676
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.861	0.861
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.879	0.879	0.931
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.752	2.927	2.020

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_mV$ ]	0.000
---	-----------------	-------

WPGSWZ4WZ564/69

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\tau_mV$ ]		0.000	
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{WK}$ ]	117.950	138.597	120.490
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ $\psi\sigma K$ ]	0.078	0.093	0.080
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{ADK}$ ]	117.950	138.597	120.490
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		3.586	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		298.9	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[ $\gamma F$ ]	1.100	1.100	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{FK}$ ]	662.991	729.290	347.980
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		11.101	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		925.1	

**Querschnitt 'WelleZ5FreistichRechts'**

**Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		156.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]		60.000
Innendurchmesser (mm)	[di]		20.000
Kerbwirkung	Wellenabsatz		
[D, r, t] (mm)	70.000	1.000	0.000
Mittlere Rauheit ( $\mu m$ )		[Rz]	8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	2763.8	0.0	2002.2	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fzda, Mba, Ta, Fqa]	2763.8	595.0	2002.2	10988.3
Maximalwert	[Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	9397.0	1011.5	6807.6	18680.1
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )	[A, Wb, Wt, A]	2513.3	20944.0	41887.9	2513.3

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

[ $\sigma_{zdm}, \sigma_{bm}, \tau_m, \tau_{qm}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	1.100	0.000	47.800	0.000
[ $\sigma_{zda}, \sigma_{ba}, \tau_a, \tau_{qa}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	1.100	28.408	47.800	7.578
[ $\sigma_{zdmax}, \sigma_{bmax}, \tau_{max}, \tau_{qmax}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	3.739	48.294	162.520	12.883

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.811
	[K1(sS)]	0.753

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Formzahl	[a]	3.006	2.736	1.848
Bezogenes Spannungsgefälle	[G]	2.510	2.510	1.150
Stützziffer	[n]	1.106	1.106	1.071
Kerbwirkungszahl	[ $\beta$ ]	2.719	2.475	1.725
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.861	0.861
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.879	0.879	0.931
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.856	3.011	2.078

WPGSWZ4WZ565/69

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		82.799	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		47.804	
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	113.633	134.730	117.170
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.075	0.091	0.078
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	9.085	106.600	108.709
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		1.706	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		142.2	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.150	1.100	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	693.126	729.290	347.980
Sicherheit Fließgrenze	[S]		2.116	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		176.4	

**Querschnitt 'WelleZ5FreistichLinks' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		151.00	
Aussendurchmesser (mm)	[da]		60.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]		20.000	
Kerbwirkung Wellenabsatz				
[D, r, t] (mm)		68.000	1.000	0.000
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]			8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	2763.8	0.0	2002.2	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	2763.8	644.8	2002.2	10987.3
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	9397.0	1096.2	6807.6	18678.5
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	2513.3	20944.0	41887.9	2513.3

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	1.100	0.000	47.800	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	1.100	30.787	47.800	7.578
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	3.739	52.338	162.520	12.882

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.811
	[K1(sS)]	0.753

	Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	2.891	2.657
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	2.530	2.530
Stützziffer	[n]	1.106	1.106
Kerbwirkungszahl	[β]	2.614	2.403
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.861

WPGSWZ4WZ566/69

Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.879	0.879	0.931
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.752	2.927	2.020

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		82.799	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		47.804	

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	117.950	138.597	120.490
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.078	0.093	0.080
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	8.690	110.777	111.543
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		1.697	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		141.4	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.100	1.100	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	662.991	729.290	347.980
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		2.112	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		176.0	

**Querschnitt 'WelleZ5LagerRechts' Glatte Welle**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		201.00	
Aussendurchmesser (mm)	[da]		70.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]		20.000	
Kerbwirkung	Glatte Welle			
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]		8.000	

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	2763.8	0.0	2002.2	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	2763.8	264.0	2002.2	11000.5
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	9397.0	448.8	6807.6	18700.8
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> ) [A, Wb, Wt, A]	3534.3	33449.5	66899.1	3534.3

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	0.782	0.000	29.929	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.782	7.892	29.929	5.246
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	2.659	13.416	101.759	8.919

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.811		
	[K1(sS)]	0.753		

	Zug/Druck	Biegung	Torsion
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.851
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.879	0.879

WPGSWZ4WZ567/69

Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.137	1.313	1.250

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		51.845	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		29.933	

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	285.348	309.066	194.753
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.213	0.235	0.136
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	8.956	87.587	171.379
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		4.017	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		334.7	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	602.719	662.991	347.980
Sicherheit Fließgrenze	[S]		3.408	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		284.0	

**Querschnitt 'WelleZ5AbsatzZahnwelle'**

**Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		295.00	
Aussendurchmesser (mm)	[da]		64.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]		20.000	
Kerbwirkung	Wellenabsatz			
[D, r, t] (mm)		69.000	2.000	0.000
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]			8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-0.0	0.0	2002.2	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	711.7	2002.2	7878.8
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-0.0	1209.8	6807.6	13394.0
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> ) [A, Wb, Wt, A]	2902.8	25490.5	50981.0	2902.8

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.000	39.274	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	27.919	39.274	4.649
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	47.462	133.532	7.904

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.811		
	[K1(sS)]	0.753		

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Formzahl	[a]	2.160	2.000	1.464
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	1.328	1.328	0.575
Stützziffer	[n]	1.077	1.077	1.051

WPGSWZ4WZ568/69

Kerbwirkungszahl	[B]	2.006	1.857	1.393
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.857	0.857
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.879	0.879	0.931
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.144	2.305	1.701

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		68.025	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		39.274	

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	151.409	176.008	143.145
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.103	0.122	0.097
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.010	135.766	130.518
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		2.744	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		228.6	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.100	1.050	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	662.991	696.140	347.980
Sicherheit Fließgrenze	[S]		2.566	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		213.8	

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 DIN743. 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: 3685



### B.6 Planetenbolzen und -lager

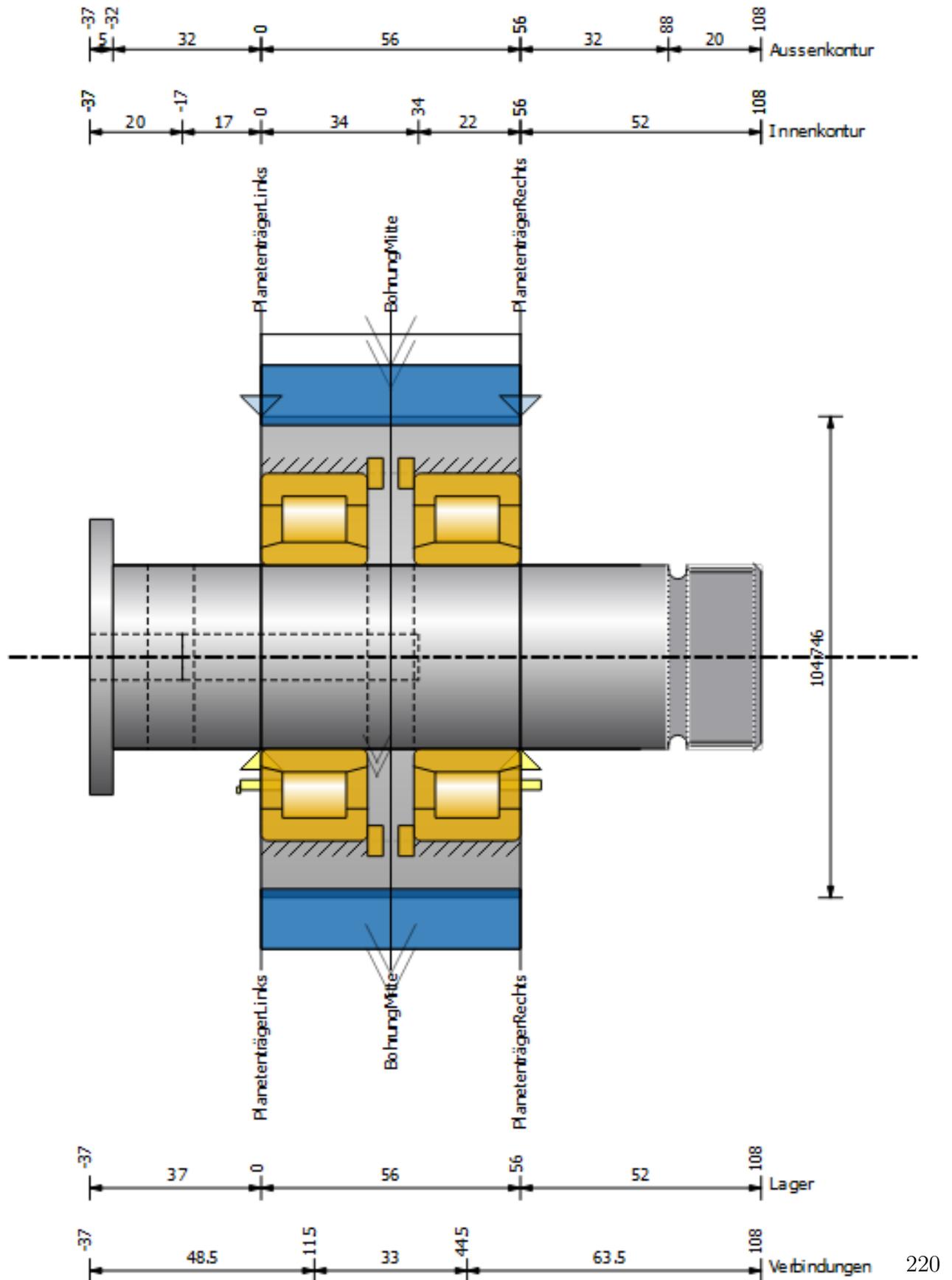


Abbildung B.2: Planetenbolzen

**Planetenbolzen und Planetenlager**

**Eingabedaten**

Koordinatensystem Welle: siehe Bild W-002

Bezeichnung	PlanetGearShaft
Zeichnung	
Startposition (mm)	0.000
Länge (mm)	56.000
Drehzahl (1/min)	2996.14
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)	80.000
Gewicht der Welle (kg)	1.574
(Hinweis: Gewicht gilt für die Welle ohne Berücksichtigung der Zahnräder)	
Gewicht der Welle, inklusive Zusatzmassen (kg)	1.916
Massenträgheitsmoment (kg*mm <sup>2</sup> )	4397.252
Schwungmoment GD2 (Nm <sup>2</sup> )	0.173
Bezeichnung	PlanetPinShaft
Zeichnung	
Startposition (mm)	-37.000
Länge (mm)	145.000
Drehzahl (1/min)	1695.67
Drehrichtung: im Uhrzeigersinn	
Werkstoff	34 CrMo 4
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)	80.000
Gewicht der Welle (kg)	1.445
(Hinweis: Gewicht gilt für die Welle ohne Berücksichtigung der Zahnräder)	
Gewicht der Welle, inklusive Zusatzmassen (kg)	1.445
Massenträgheitsmoment (kg*mm <sup>2</sup> )	324.772
Schwungmoment GD2 (Nm <sup>2</sup> )	0.013
Lage im Raum (°)	-0.000
Zahnräder mit Steifigkeit nach ISO	
Schubverformungen werden berücksichtigt	
Schubkorrekturfaktor	1.100
Ein nichtlineares Wellenmodell wird verwendet	
Wälzlagersteifigkeiten werden aus innerer Lagergeometrie bestimmt	
Toleranzlage: Mittelwert	
Gehäusewerkstoff	C45 (1)
Wärmeausdehnungskoeffizient (10 <sup>-6</sup> /K)	11.500
Gehäusetemperatur (°C)	40.000
Thermische Gehäuse Referenzpunkt (mm)	0.000
Referenztemperatur (°C)	20.000

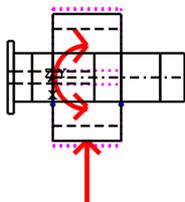
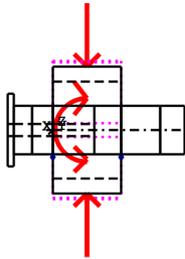


Abbildung: Lasteinleitungen

**Wellendefinition (PlanetGearShaft)**

**Aussenkontur**

Zylinder (Zylinder)			0.000mm ... 56.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	104.7460	
Länge (mm)	[l]	56.0000	
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000	

**Innenkontur**

Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung)			0.000mm ... 56.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	80.0000	
Länge (mm)	[l]	56.0000	
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000	

**Kräfte**

Art des Kräftelements		Zentrische Last
Bezeichnung im Modell		CentralLoad1
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	28.0000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	28.0000
Länge der Kräfteinleitung (mm)		56.0000
Leistung (kW)		0.0000
Drehmoment (Nm)		0.0000
Axialkraft (N)		0.0000
Querkraft X (N)		11470.6839
Querkraft Z (N)		0.0000
Biegemoment X (Nm)		0.0000
Biegemoment Z (Nm)		0.0000

Art des Kraftelements		<b>Stirnrad</b>
Bezeichnung im Modell		PlanetGear(PlanetRingConstraint)
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	28.0000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	28.0000
Wälzkreisdurchmesser (mm)		114.0031
Geradverzahnung		
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)		22.6043
Position des Eingriffs (°)		0.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		56.0000
Leistung (kW)		154.2771 getrieben (Antrieb)
Drehmoment (Nm)		-491.7120
Axialkraft (N)		0.0000
Querkraft X (N)		-3591.5316
Querkraft Z (N)		8626.2910
Biegemoment X (Nm)		-0.0000
Biegemoment Z (Nm)		0.0000

Art des Kraftelements		<b>Stirnrad</b>
Bezeichnung im Modell		PlanetGear(SunPlanetConstraint)
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	28.0000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	28.0000
Wälzkreisdurchmesser (mm)		114.0031
Geradverzahnung		
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)		22.6043
Position des Eingriffs (°)		180.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		56.0000
Leistung (kW)		154.2771 treibend (Abtrieb)
Drehmoment (Nm)		491.7120
Axialkraft (N)		-0.0000
Querkraft X (N)		3591.5316
Querkraft Z (N)		8626.2910
Biegemoment X (Nm)		0.0000
Biegemoment Z (Nm)		0.0000

**Wellendefinition (PlanetPinShaft)**

**Aussenkontur**

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			<u>0.000mm ... 5.000mm</u>
Durchmesser (mm)	[d]	60.0000	
Länge (mm)	[l]	5.0000	
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000	

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			<u>5.000mm ... 37.000mm</u>
Durchmesser (mm)	[d]	40.0000	
Länge (mm)	[l]	32.0000	
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000	

Querbohrung (Querbohrung)  
d=10.00

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			<u>37.000mm ... 93.000mm</u>
Durchmesser (mm)	[d]	40.0000	
Länge (mm)	[l]	56.0000	
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000	

Querbohrung (Querbohrung)  
d=10.00

Zylinder (Zylinder)			93.000mm ...	125.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	40.0000		
Länge (mm)	[l]	32.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Zylinder (Zylinder)			125.000mm ...	145.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	40.0000		
Länge (mm)	[l]	20.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Gewinde (Gewinde) 129.000mm ... 144.000mm  
t=1.50 (mm), l=15.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Fase rechts (Fase rechts)  
l=1.50 (mm), alpha=45.00 (°)

Umlaufnut (Umlaufnut)  
t=3.00 (mm), r=2.00 (mm), Rz=2.8, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

**Innenkontur**

Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung)			0.000mm ...	20.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	10.0000		
Länge (mm)	[l]	20.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung)			20.000mm ...	71.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	10.0000		
Länge (mm)	[l]	51.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

**Kräfte**

Art des Kräftelements		Kupplung/Motor
Bezeichnung im Modell		Coupling9(PlanetCarrierConstraint)
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	62.0000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	25.0000
Wirkdurchmesser (mm)		40.0000
Radialkraftfaktor (-)		0.0000
Richtung der Radialkraft (°)		0.0000
Axialkraftfaktor (-)		0.0000
Länge der Kräfteinleitung (mm)		114.0000
Leistung (kW)		0.0000
Drehmoment (Nm)		-0.0000
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 Jp (kg*m²)		0.0000
Massenträgheitsmoment Jxx (kg*m²)		0.0000
Massenträgheitsmoment Jzz (kg*m²)		0.0000

Exzentrizität (mm) 0.0000

**Lager**

Bezeichnung im Modell Support1  
 Lager Typ Einspannung  
 Lager Position (mm) [Ylokal] 37.000  
 Lager Position (mm) [Yglobal] 0.000  
 Freiheitsgrade  
 X: festY: festZ: fest  
 Rx: festRy: festRz: fest

Bezeichnung im Modell Support2  
 Lager Typ Loslager  
 Lager Position (mm) [Ylokal] 93.000  
 Lager Position (mm) [Yglobal] 56.000  
 Freiheitsgrade  
 X: festY: freiZ: fest  
 Rx: freiRy: freiRz: frei

**VERBINDUNGEN**

INA RN308-E-MPBX (PlanetenlagerLinksRN308) 11.500mm

Festlager rechts angestellt  
 d = 40.000 (mm), D = 80.000 (mm), b = 23.000 (mm), r = 1.500 (mm)  
 C = 95.000 (kN), C0 = 78.000 (kN), Cu = 10.200 (kN)  
 Ctheo = 94.985 (kN), C0theo = 78.011 (kN)  
 Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (\*)  
 Z =6, Dpw = 58.032 (mm), Dw = 19.565 (mm)  
 Lwe = 22.785 (mm)  
 Durchmesser äussere Laufbahn (mm) [d<sub>o</sub>] 77.597  
 Durchmesser innere Laufbahn (mm) [d<sub>i</sub>] 38.467  
 Lagerspiel 0.00 µm

INA RN308-E-MPBX (PlanetenlagerRechtsRN308) 44.500mm

Festlager links angestellt  
 d = 40.000 (mm), D = 80.000 (mm), b = 23.000 (mm), r = 1.500 (mm)  
 C = 95.000 (kN), C0 = 78.000 (kN), Cu = 10.200 (kN)  
 Ctheo = 94.985 (kN), C0theo = 78.011 (kN)  
 Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (\*)  
 Z =6, Dpw = 58.032 (mm), Dw = 19.565 (mm)  
 Lwe = 22.785 (mm)  
 Durchmesser äussere Laufbahn (mm) [d<sub>o</sub>] 77.597  
 Durchmesser innere Laufbahn (mm) [d<sub>i</sub>] 38.467  
 Lagerspiel 0.00 µm

-----

Welle 'PlanetGearShaft': Stirnrad 'PlanetGear(PlanetRingConstraint)' (y= 28.0000 (mm)) wird als fester Bestandteil der Welle berücksichtigt.  
 EI (y= 0.0000 (mm)): 803082.3948 (Nm<sup>2</sup>), EI (y= 56.0000 (mm)): 803082.3948 (Nm<sup>2</sup>), m (yS= 28.0000 (mm)): 0.3413 (kg)  
 Jp: 0.0010 (kg\*m<sup>2</sup>), Jxx: 0.0006 (kg\*m<sup>2</sup>), Jzz: 0.0006 (kg\*m<sup>2</sup>)

-----

Welle 'PlanetGearShaft': Stirnrad 'PlanetGear(SunPlanetConstraint)' (y= 28.0000 (mm)) wird als fester Bestandteil der Welle berücksichtigt.

EI (y= 0.0000 (mm)): 803082.3948 (Nm<sup>2</sup>), EI (y= 56.0000 (mm)): 803082.3948 (Nm<sup>2</sup>), m (yS= 28.0000 (mm)): 0.3413 (kg)  
 Jp: 0.0010 (kg\*m<sup>2</sup>), Jxx: 0.0006 (kg\*m<sup>2</sup>), Jzz: 0.0006 (kg\*m<sup>2</sup>)

**Resultate**

**Welle**

Maximale Durchbiegung 0.029 (PlanetGearShaft pos= 28.000)

Massenschwerpunkt  
 PlanetGearShaft (mm) 28.000  
 PlanetPinShaft (mm) 70.638

Summe der axialen Belastung  
 PlanetGearShaft (N) 0.000  
 PlanetPinShaft (N) 0.000

Verdrehung unter Drehmoment  
 PlanetGearShaft (°) 0.000  
 PlanetPinShaft (°) 0.000

**Lager**

Ausfallwahrscheinlichkeit [n] 1.00 %  
 Axialspiel [uA] 10.00 µm  
 Schmierstoff Öl: Klübersynth GEM 4-150 N\_NEW  
 Schmierstoff mit Additivierung,  
 dessen Wirksamkeit in Wälzlagern  
 geprüft wurde.  
 Ölschmierung mit Filterung, ISO4406 -/13/10  
 Schmierstoff - Betriebstemperatur [TB] 80.00 °C  
 Grenzwert für Faktor aISO [aISOmax] 50.00  
 Ölstand [hoil] 0.00 mm  
 Öl-Einspritzschmierung

Wälzlagersteifigkeiten aus innerer Geometrie

**Welle 'PlanetPinShaft' Lager 'Support1'**

Position (Y-Koordinate) [y] 37.00 mm  
 Lagerreaktionskraft [Fx] -6.810 kN  
 Lagerreaktionskraft [Fy] 0.000 kN  
 Lagerreaktionskraft [Fz] -10.228 kN  
 Lagerreaktionskraft [Fr] 12.288 kN (-123.66°)  
 Lagerreaktionsmoment [Mx] -90.54 Nm  
 Lagerreaktionsmoment [My] 0.00 Nm  
 Lagerreaktionsmoment [Mz] 60.20 Nm  
 Lagerreaktionsmoment [Mr] 108.73 Nm (146.38°)  
 Lagerverschiebung [ux] -0.000 µm  
 Lagerverschiebung [uy] -0.000 µm  
 Lagerverschiebung [uz] 0.000 µm  
 Lagerverschiebung [ur] 0.000 µm  
 Lagerneigung [rx] 0.000 mrad (0')  
 Lagerneigung [ry] -0.000 mrad (0')

Planetenbolzen und Planetenlager6/17

Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	-0.000	mrad (0')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.000	mrad (0')

**Welle 'PlanetPinShaft' Lager 'Support2'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	93.00	mm
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	-4.660	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	-6.992	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	8.402	kN (-123.69°)
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	-0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	0.00	Nm (96.91°)
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	0.000	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	1.#QO	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-0.000	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	1.#QO	µm (-29.3°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.072	mrad (-0.25')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	0.000	mrad (0')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	0.048	mrad (0.16')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.086	mrad (0.3')

**Wälzlager 'PlanetenlagerLinksRN308'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	11.50	mm
Äquivalente Belastung	[P]	10.38	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	10.38	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>1SO</sub> ]	19.456	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	1424.79	h
Lebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	27721.13	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.86	
Betriebsviskosität	[v]	34.11	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	8.48	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[κ]	4.02	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	0.445	µm
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	7.52	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	4768.90	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	54013.12	h
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	5.751	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	8.639	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	10.378	kN (56.35°)
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	-0.23	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	-0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	0.15	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	0.27	Nm (145.57°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.363	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.019	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	0.382	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	187.750	W
Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.			
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff µ <sub>bl</sub> =0.15 gerechnet.			
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-14.949	µm

Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	0.289	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-22.981	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.027	µm (-123.04°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	0.013	mrاد (0.04')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	0.000	mrاد (0')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	-0.008	mrاد (-0.03')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.015	mrاد (0.05')

**Wälzlager 'PlanetenlagerRechtsRN308'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	44.50	mm
Äquivalente Belastung	[P]	10.32	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	10.32	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>1SO</sub> ]	19.752	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	1450.13	h
Lebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	28642.88	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.86	
Betriebsviskosität	[ν]	34.11	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[ν <sub>1</sub> ]	8.48	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[κ]	4.02	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	0.445	µm
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	7.56	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	4853.15	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	55505.74	h
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	5.720	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	-0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	8.594	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	10.324	kN (56.35°)
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	0.97	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	-0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	-0.67	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	1.18	Nm (-34.43°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.363	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.019	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	0.381	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	187.409	W

Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.

Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff µ<sub>bl</sub>=0.15 gerechnet.

Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-14.890	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	0.289	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-22.893	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.027	µm (-123.04°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.055	mrاد (-0.19')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	0.000	mrاد (0')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	0.037	mrاد (0.13')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.066	mrاد (0.23')

(\*) Hinweis zu Wälzlager mit approximierter Lagergeometrie:

Die innere Geometrie von diesen Lagern ist nicht in der Datenbank eingetragen.

Die Geometrie wird nach ISO281 aus C und C0 (Angaben im Katalog des Herstellers) rückwärts gerechnet.

Die Geometrie kann deshalb von der wirklichen Geometrie abweichen.

Dies kann in gewissen Fällen deutliche Unterschiede bei der Wälzlagersteifigkeit bewirken.

Ausnutzung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer [H] ( 20000.000)

B1	B2
0.91	0.90

B1: PlanetenlagerLinksRN308 (Verbindendes Wälzlager)

B2: PlanetenlagerRechtsRN308 (Verbindendes Wälzlager)

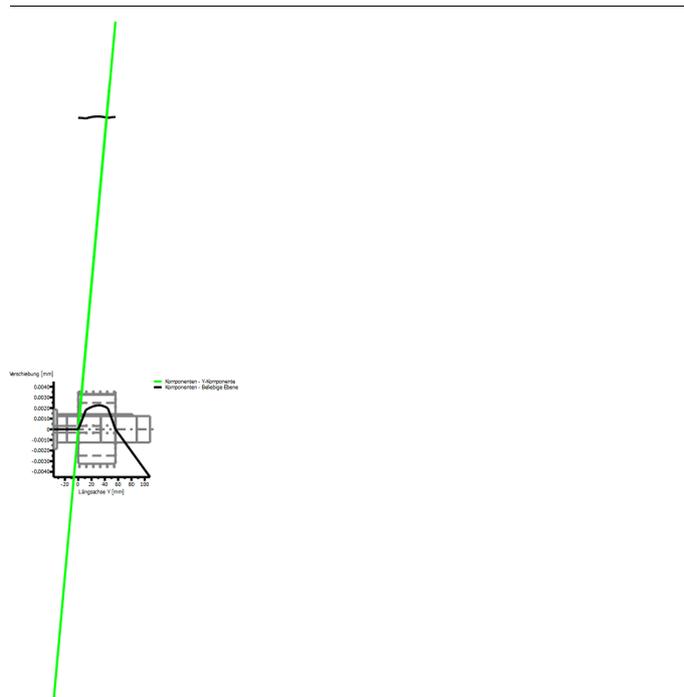
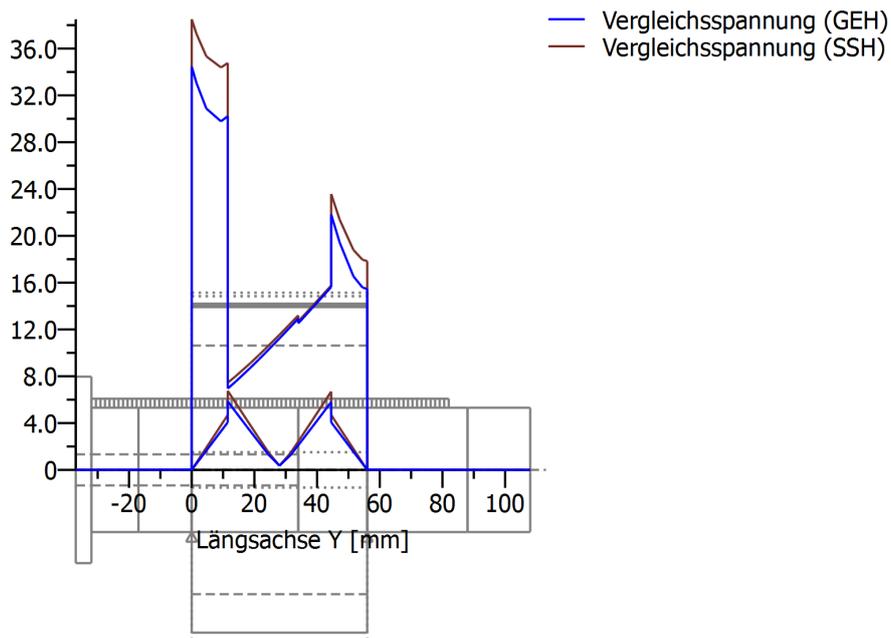


Abbildung: Verformung (Biegelinien etc.) (Beliebige Ebene 56.91631231 120)

Spannung [N/mm<sup>2</sup>]



GEH(von Mises):  $\text{sigV} = ((\text{sigB} + \text{sigZ},D)^2 + 3 * (\text{tauT} + \text{tauS})^2)^{1/2}$  SSH(Tresca):  $\text{sigV} = ((\text{sigB} - \text{sigZ},D)^2 + 4 * (\text{tauT} + \text{tauS})^2)^{1/2}$

Abbildung: Vergleichsspannung

**Eigenfrequenzen/Kritische Drehzahlen**

1. Eigenfrequenz:	0.00 Hz, Kritische Drehzahl:	0.00 1/min	Starrkörpertranslation Y 'PlanetGearShaft'
2. Eigenfrequenz:	1752.27 Hz, Kritische Drehzahl:	105135.99 1/min	Biegung XY 'PlanetPinShaft'
3. Eigenfrequenz:	1796.20 Hz, Kritische Drehzahl:	107771.71 1/min	Biegung YZ 'PlanetPinShaft', Axial 'PlanetPinShaft'
4. Eigenfrequenz:	3294.06 Hz, Kritische Drehzahl:	197643.55 1/min	Biegung YZ 'PlanetPinShaft', Biegung XY 'PlanetPinShaft'

Normierte Verschiebung

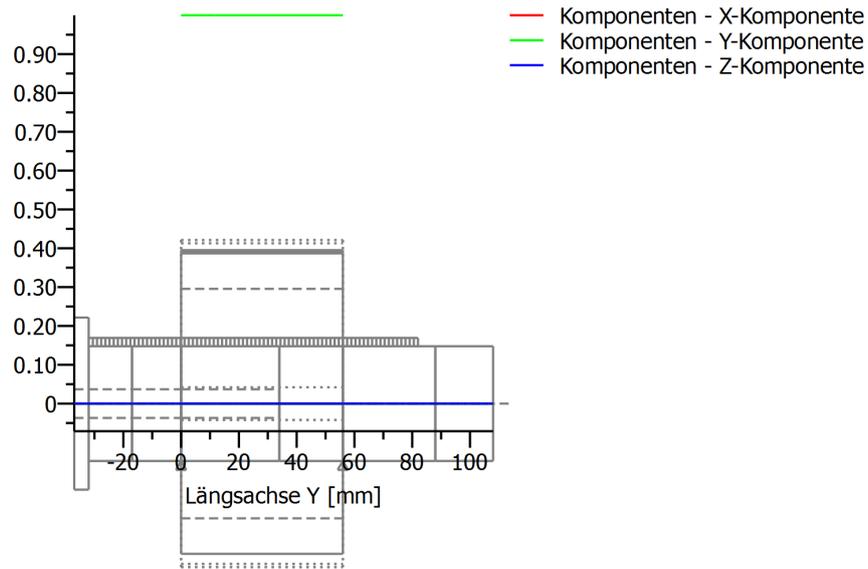


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 1. (0 Hz))

Normierte Verschiebung

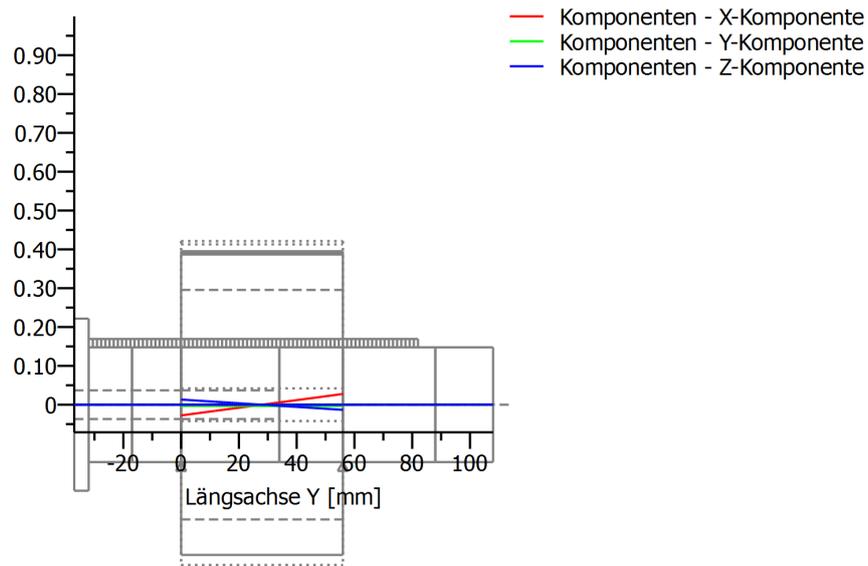


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 2. (1752.27 Hz))

Normierte Verschiebung

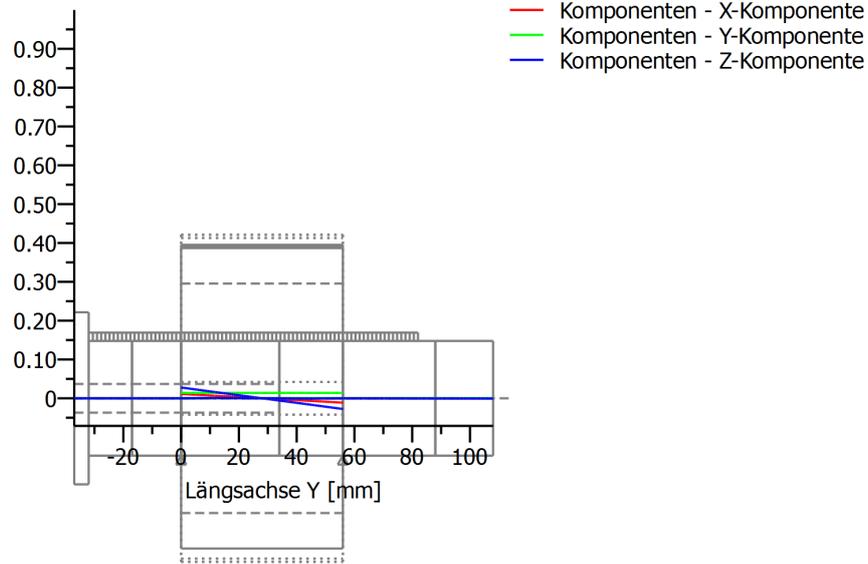


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 3. (1796.2 Hz))

Normierte Verschiebung

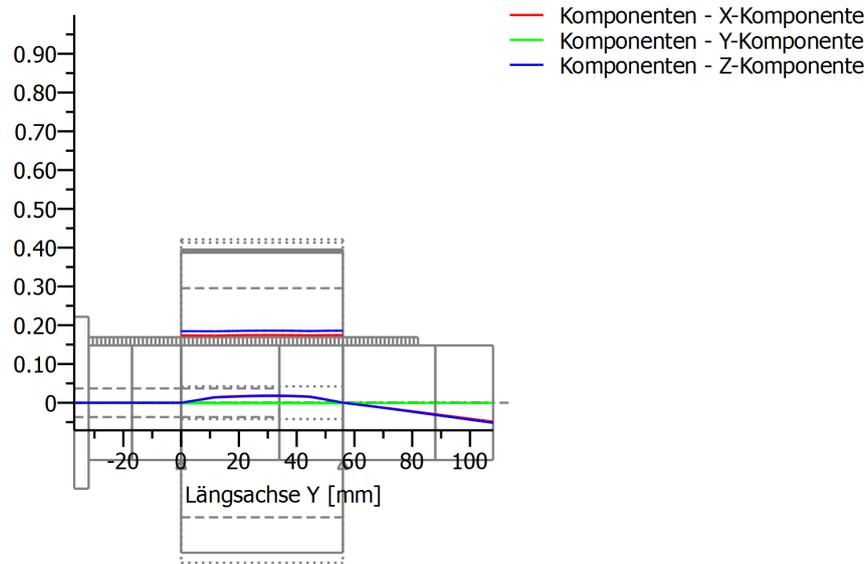


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 4. (3294.06 Hz))

**Festigkeitsberechnung nach DIN 743:2012**

**Zusammenfassung**

**PlanetPinShaft**

Werkstoff	34 CrMo 4
Werkstoffart	Vergütungsstahl
Werkstoff-Behandlung	legiert, vergütet
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)	
PlanetenträgerRechts	93.00	Glatte Welle
PlanetenträgerLinks	37.00	Glatte Welle
BohrungMitte	65.00	Querbohrung

Resultate:

Querschnitt	Kfb	Kfσ	K2d	SD	SS
PlanetenträgerRechts	1.00	0.88	0.89	9999.99	9999.99
PlanetenträgerLinks	1.00	0.88	0.89	9999.99	9999.99
BohrungMitte	1.87	0.88	0.89	10.63	23.30

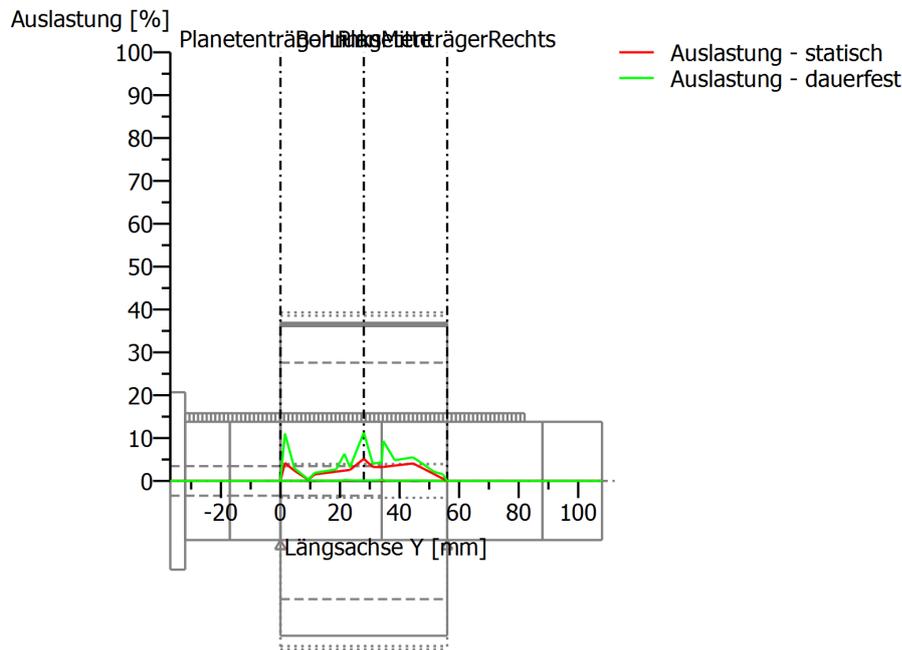
Sollsicherheiten: 1.20 1.20

Abkürzungen:

- Kfb: Kerbfaktor Biegung
- Kfσ: Oberflächenfaktor
- K2d: Grössenfaktor Biegung
- SD: Sicherheit Dauerfestigkeit
- SS: Sicherheit Streckgrenze

**Ausnutzung (%A) [Smin/S]**

Querschnitt	Statisch	Dauerfest
PlanetenträgerRechts	0.010	0.010
PlanetenträgerLinks	0.010	0.010
BohrungMitte	5.149	11.284
Maximale Ausnutzung (%)	[A]	11.284



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

**Berechnungs-Details**

**Allgemeine Angaben**

Bezeichnung	PlanetPinShaft		
Zeichnung			
Länge (mm)	[l]		145.00
Drehzahl (1/min)	[n]		1695.67
Werkstoff	34 CrMo 4		
Werkstoffart	Vergütungsstahl		
Werkstoff-Behandlung	legiert, vergütet		
Oberflächen-Behandlung	Keine		

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Lastfaktor statische Berechnung	1.700	1.700	1.700	1.700
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> )	[ $\sigma_B$ ]	1000.00
$\sigma_S$ nach DIN 743 (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_S$ ]	800.00
[ $\sigma_{zdW}$ ] (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )		400.00
[ $\sigma_{bW}$ ] (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )		500.00
[ $\tau_{tW}$ ] (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )		300.00
Dicke Rohmaterial (mm)	[dWerkst]	65.00
Werkstoffdaten nach DIN743/3 mit K1(d) berechnet		
Werkstoff-Festigkeitswerte aus Dicke Rohmaterial bestimmt		
Geometrischer Grössenfaktor K1d mit Rohdurchmesser berechnet		
[ $\sigma_{Beff}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )		841.71

[σSeff] (N/mm <sup>2</sup> )	634.41
[σbF] (N/mm <sup>2</sup> )	761.29
[τtF] (N/mm <sup>2</sup> )	439.53
[σBRand] (N/mm <sup>2</sup> )	800.00

[σzdW] (N/mm <sup>2</sup> )	336.69
[σbW] (N/mm <sup>2</sup> )	420.86
[τtW] (N/mm <sup>2</sup> )	252.51

Dauerfestigkeit für Einstufenbeanspruchung

Berechnung für Beanspruchungsfall 2 (σ.av/σ.mv = konst)

**Querschnitt 'PlanetenträgerRechts' Glatte Welle**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	93.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]	40.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	0.000
Kerbwirkung	Glatte Welle	
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]	8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	0.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	0.1	0.0	8406.7
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	0.2	0.0	14291.3
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	1256.6	6283.2	12566.4	1256.6

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	0.021	0.000	8.920
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.035	0.000	15.164

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.842
	[K1(sS)]	0.793

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.888	0.888
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.876	0.876	0.929
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.142	1.267	1.203

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]	294.936	332.070	209.974
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.212	0.246	0.143
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	294.936	332.070	209.974
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		9999.990	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		1000000.0	

Planetenbolzen und Planetenlager14/17

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.200	1.200
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	634.408	761.290	439.531
Sicherheit Fließgrenze	[S]		9999.990	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		1000000.0	

**Querschnitt 'PlanetenträgerLinks' Glatte Welle**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	37.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]	40.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	10.000
Kerbwirkung	Glatte Welle	
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]	8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	0.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	0.1	0.0	4.0
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	0.1	0.0	6.7
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	1178.1	6258.6	12517.3	1178.1

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	0.013	0.000	0.006
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.022	0.000	0.009

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.842
	[K1(sS)]	0.793

	Zug/Druck	Biegung	Torsion
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.888
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.876	0.876
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.142	1.267

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]	294.936	332.070	209.974
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.212	0.246	0.143
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	294.936	332.070	209.974
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		9999.990	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		1000000.0	

Vorhandene Sicherheitszahl

Planetenbolzen und Planetenlager15/17

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[yF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	634.408	697.849	366.276
Sicherheit Fließgrenze	[S]		9999.990	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		1000000.0	

**Querschnitt 'BohrungMitte'**

**Querbohrung**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	65.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]	40.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	10.000
Kerbwirkung	Querbohrung	
[d] (mm)	10.000	
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]	8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	0.0	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	64.0	0.0	1914.8
Maximalwert	[Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	108.8	0.0	3255.2
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		878.1	3633.6	9892.3	878.1

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

[σzdm, obm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	0.000	0.000
[σzda, oba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	17.616	0.000	3.592
[σzdmax, obmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	29.946	0.000	6.106

Technologischer Grösseneinfluss

[K1(sB)]	0.842
[K1(sS)]	0.793

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Formzahl	[a]	2.750	1.950	1.461
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	0.460	0.510	0.280
Stützziffer	[n]	1.041	1.043	1.032
Kerbwirkungszahl	[β]	2.642	1.870	1.415
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.888	0.888
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.876	0.876	0.929
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.784	2.247	1.670

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]	120.943	187.336	151.175
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.077	0.125	0.099
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	120.943	187.336	151.175
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		10.635	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	

Planetenbolzen und Planetenlager16/17

Resultat (%)	[S/Smin]	886.2		
Vorhandene Sicherheitszahl				
für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:				
Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	634.408	697.849	366.276
Sicherheit Fließgrenze	[S]	23.303		
Sollsicherheit	[Smin]	1.200		
Resultat (%)	[S/Smin]	1941.9		

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 DIN743. 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: 762

## B.7 Welle und Lager WelleZ1

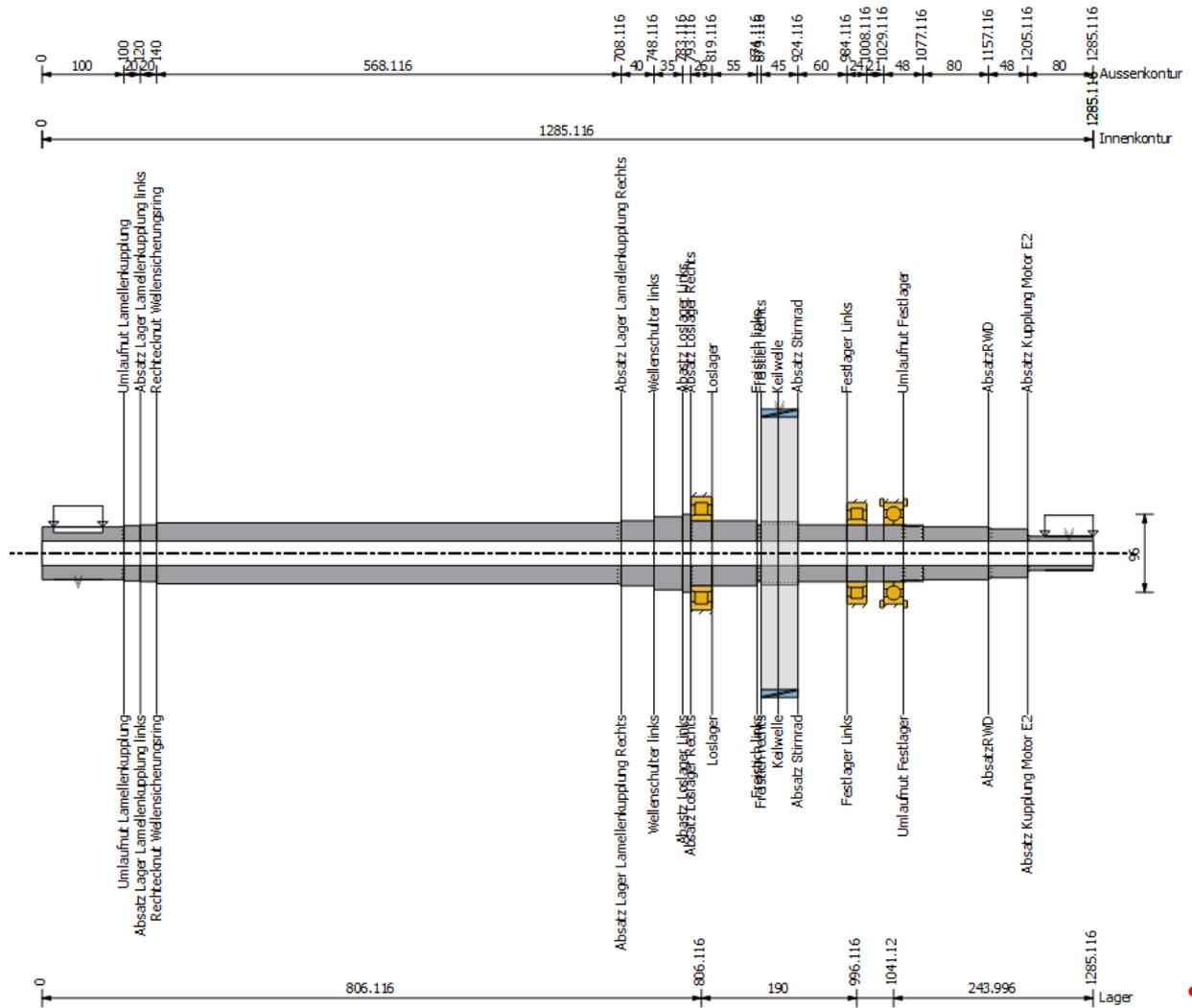


Abbildung B.3: WelleZ1

**Berechnung von Wellen, Achsen und Trägern**

**Eingabedaten**

Koordinatensystem Welle: siehe Bild W-002

Bezeichnung	WelleZ1
Zeichnung	
Startposition (mm)	0.000
Länge (mm)	1285.116
Drehzahl (1/min)	2906.87
Drehrichtung: gegen den Uhrzeigersinn	
Werkstoff	C45 (1)
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)	80.000
Gewicht der Welle (kg)	33.835
(Hinweis: Gewicht gilt für die Welle ohne Berücksichtigung der Zahnräder)	
Gewicht der Welle, inklusive zusatzmassen (kg)	75.118
Massenträgheitsmoment (kg*m <sup>2</sup> )	0.517
Schwungmoment GD2 (Nm <sup>2</sup> )	20.283
Gewicht in Richtung	( 0.000, 0.000, -1.000)
Zahnräder als Massen und Steifigkeit berücksichtigt	
Schubverformungen werden berücksichtigt	
Schubkorrekturfaktor	1.100
Ein nichtlineares Wellenmodell wird verwendet	
Wälzlagersteifigkeiten werden aus innerer Lagergeometrie bestimmt	
Toleranzlage: Mittelwert	
Gehäusewerkstoff	C45 (1)
Wärmeausdehnungskoeffizient (10 <sup>-6</sup> /K)	11.500
Gehäusetemperatur (°C)	40.000
Thermische Gehäusereferenzpunkt (mm)	0.000
Referenztemperatur (°C)	20.000

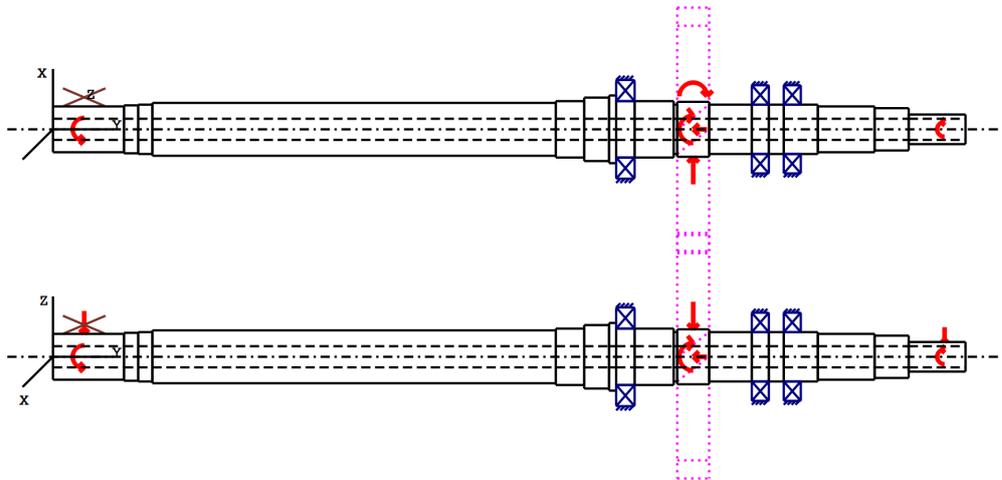


Abbildung: Lasteinleitungen

**Wellendefinition (WelleZ1)**

**Aussenkontur**

<u>Zylinder (Cylinder)</u> 0.000mm ... 100.000mm		
Durchmesser (mm)	[d]	65.0000
Länge (mm)	[l]	100.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

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

<u>Passfedernut (Passfedernut)</u> 14.000mm ... 74.000mm		
l=60.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)		

<u>Zylinder (Zylinder)</u> 100.000mm ... 120.000mm		
Durchmesser (mm)	[d]	68.0000
Länge (mm)	[l]	20.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

<u>Zylinder (Zylinder)</u> 120.000mm ... 140.000mm		
Durchmesser (mm)	[d]	70.0000
Länge (mm)	[l]	20.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius rechts (Radius rechts)  
 r=0.50 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Zylinder (Zylinder)</u> 140.000mm ... 708.116mm		
--	--	--

WZ1 2/37

Durchmesser (mm)	[d]	75.0000
Länge (mm)	[l]	568.1160
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius rechts (Radius rechts)  
 r=5.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			708.116mm ... 748.116mm
Durchmesser (mm)	[d]	80.0000	
Länge (mm)	[l]	40.0000	
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000	

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			748.116mm ... 783.116mm
Durchmesser (mm)	[d]	90.0000	
Länge (mm)	[l]	35.0000	
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000	

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			783.116mm ... 793.116mm
Durchmesser (mm)	[d]	96.0000	
Länge (mm)	[l]	10.0000	
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000	

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			793.116mm ... 819.116mm
Durchmesser (mm)	[d]	80.0000	
Länge (mm)	[l]	26.0000	
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000	

Radius links (Radius links)  
 r=1.50 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Konus (Konus)</u>			819.116mm ... 874.116mm
Durchmesser links (mm)	[d <sub>l</sub> ]	80.0000	
Durchmesser rechts (mm)	[d <sub>r</sub> ]	80.0000	
Länge (mm)	[l]	55.0000	
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000	

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			874.116mm ... 879.116mm
Durchmesser (mm)	[d]	70.0000	
Länge (mm)	[l]	5.0000	
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000	

Radius rechts (Radius rechts)  
 r=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Radius links (Radius links)  
 r=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			879.116mm ... 924.116mm
Durchmesser (mm)	[d]	78.0000	
Länge (mm)	[l]	45.0000	
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000	

Keilwelle (Keilwelle) 856.616mm ... 901.616mm  
 da=78.00 (mm), df=72.00 (mm), z=10, Form=A, l=45.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Zylinder (Zylinder) 924.116mm ... 984.116mm

Durchmesser (mm) [d] 70.0000  
 Länge (mm) [l] 60.0000  
 Rauigkeit (µm) [Rz] 8.0000

Radius links (Radius links)  
 r=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Zylinder (Zylinder) 984.116mm ... 1008.116mm

Durchmesser (mm) [d] 70.0000  
 Länge (mm) [l] 24.0000  
 Rauigkeit (µm) [Rz] 8.0000

Zylinder (Zylinder) 1008.116mm ... 1029.116mm

Durchmesser (mm) [d] 70.0000  
 Länge (mm) [l] 21.0000  
 Rauigkeit (µm) [Rz] 8.0000

Zylinder (Zylinder) 1029.116mm ... 1077.116mm

Durchmesser (mm) [d] 70.0000  
 Länge (mm) [l] 48.0000  
 Rauigkeit (µm) [Rz] 8.0000

Gewinde (Gewinde) 1055.116mm ... 1077.116mm  
 t=2.00 (mm), l=22.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Umlaufnut (Umlaufnut)  
 t=3.00 (mm), r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

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

Radius links (Radius links)  
 r=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Zylinder (Zylinder) 1077.116mm ... 1157.116mm

Durchmesser (mm) [d] 65.0000  
 Länge (mm) [l] 80.0000  
 Rauigkeit (µm) [Rz] 8.0000

Radius links (Radius links)  
 r=0.50 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Zylinder (Zylinder) 1157.116mm ... 1205.116mm

Durchmesser (mm) [d] 60.0000  
 Länge (mm) [l] 48.0000  
 Rauigkeit (µm) [Rz] 8.0000

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

Zylinder (Zylinder)		1205.116mm ... 1285.116mm
Durchmesser (mm)	[d]	42.0000
Länge (mm)	[l]	80.0000
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

Radius links (Radius links)

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

**Innenkontur**

Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung)		0.000mm ... 1285.116mm
Durchmesser (mm)	[d]	30.0000
Länge (mm)	[l]	1285.1160
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000

**Kräfte**

Art des Kraftelements		Zentrische Last
Bezeichnung im Modell		CentralLoad4
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	1255.6000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	1255.6000
Länge der Krafteinleitung (mm)		59.0000
Leistung (kW)		0.0000
Drehmoment (Nm)		0.0000
Axialkraft (N)		0.0000
Querkraft X (N)		0.0000
Querkraft Z (N)		-60.0000
Biegemoment X (Nm)		0.0000
Biegemoment Z (Nm)		0.0000

Art des Kraftelements		Zentrische Last
Bezeichnung im Modell		CentralLoad6
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	44.0000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	44.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		60.0000
Leistung (kW)		0.0000
Drehmoment (Nm)		0.0000
Axialkraft (N)		0.0000
Querkraft X (N)		0.0000
Querkraft Z (N)		-60.0000
Biegemoment X (Nm)		0.0000
Biegemoment Z (Nm)		0.0000

Art des Kraftelements		Kupplung/Motor
Bezeichnung im Modell		MotorE2(MotorE2)
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	1255.6200
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	1255.6200
Wirkdurchmesser (mm)		42.0000
Radialkraftfaktor (-)		0.0000
Richtung der Radialkraft (°)		0.0000
Axialkraftfaktor (-)		0.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		59.0000
Leistung (kW)		11.4931 getrieben (Antrieb)
Drehmoment (Nm)		-37.7559
Axialkraft (N)		0.0000
Querkraft X (N)		0.0000

WZ1 5/37

Querkraft Z (N)		0.0000
Biegemoment X (Nm)		0.0000
Biegemoment Z (Nm)		0.0000
Masse (kg)		0.0000
Massenträgheitsmoment Jp (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Massenträgheitsmoment Jxx (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Massenträgheitsmoment Jzz (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Exzentrizität (mm)		0.0000
Art des Kraftelements		<b>Stirrad</b>
Bezeichnung im Modell		Z1(Z1Z2)
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	901.6160
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	901.6160
Wälzkreisdurchmesser (mm)		345.1460
Schrägungswinkel (°)		11.9179 links
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)		18.9018
Position des Eingriffs (°)		180.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		45.0000
Leistung (kW)		886.8494 getrieben (Antrieb)
Drehmoment (Nm)		-2913.3729
Axialkraft (N)		-3563.0840
Querkraft X (N)		5907.9409
Querkraft Z (N)		-16881.9725
Biegemoment X (Nm)		0.0000
Biegemoment Z (Nm)		614.8922

Art des Kraftelements		<b>Kupplung/Motor</b>
Bezeichnung im Modell		Z1Lamellenkupplung(LamellenkupplungZ1Z3)
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	44.0000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	44.0000
Wirkdurchmesser (mm)		65.0000
Radialkraftfaktor (-)		0.0000
Richtung der Radialkraft (°)		0.0000
Axialkraftfaktor (-)		0.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		60.0000
Leistung (kW)		898.3425 treibend (Abtrieb)
Drehmoment (Nm)		2951.1287
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)		10.0000
Massenträgheitsmoment Jp (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Massenträgheitsmoment Jxx (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Massenträgheitsmoment Jzz (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Exzentrizität (mm)		0.0000

**Lager**

Bezeichnung im Modell		WelleZ1AxiallagerNSKQJ214
Lager Typ		NSK QJ214
Lager Bauform		Vierpunktelager
Lager Position (mm)	[ylocal]	1041.120
Lager Position (mm)	[yglobal]	1041.120
Befestigung Aussenring		Festlager
Innendurchmesser (mm)	[d]	70.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	125.000
Breite (mm)	[b]	24.000

Eckradius (mm)	[r]	0.000
Anzahl Wälzkörper	[Z]	11
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	97.500
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	23.277
Druckwinkel (°)	[α <sub>0</sub> ]	35.000
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	121.006
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	74.078
Krümmungsradius äussere Laufbahn (mm)	[r <sub>o</sub> ]	12.337
Krümmungsradius innere Laufbahn (mm)	[r <sub>i</sub> ]	12.104

Pa = 0.113 (mm)

Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (\*)

Lagerspiel	DIN 620:1988 C0 (112.50 µm)
Toleranzlage	Mittelwert
Toleranz	DIN 620:1988 PN
Toleranz der Welle	0.00 µm (70.000 mm)
Toleranz der Nabe	0.00 µm (125.000 mm)
RzI = 8.00 µm	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Innenring)
RzO = 8.00 µm	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Aussenring)
Änderung Lagerspiel durch: n = 0 (1/min)	
Press-Sitz	-1.01 µm
Temperatur	-51.79 µm
Gesamte Lagerspieländerung	-46.00 µm, ni = 2906.87 (1/min), no = 0 (1/min)
Betriebslagerspiel	112.50 µm + (-46.00 µm) = 66.50 µm
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ] 197.000
Dynamische Tragzahl	[C] 106.000
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ] 0.000
Werte für die approximierte Geometrie:	
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ] 96.776
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ] 68.782

Bezeichnung im Modell	WelleZ1RadiallagerLinksNU216ECP	
Lager Typ	SKF *NU 216 ECP	
Lager Bauform	Zylinderrollenlager (einreihig)	
Lager Position (mm)	[l <sub>lokal</sub> ]	806.116
Lager Position (mm)	[l <sub>global</sub> ]	806.116
Befestigung Aussenring	Loslager	
Innendurchmesser (mm)	[d]	80.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	140.000
Breite (mm)	[b]	26.000
Eckradius (mm)	[r]	2.000
Anzahl Wälzkörper	[Z]	9
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	106.392
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	20.279
Länge Wälzkörper (mm)	[L <sub>we</sub> ]	25.540
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	126.671
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	86.113

Pd = 0.058 (mm)

Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (\*)

Lagerspiel	DIN 620:1988 C0 (57.50 µm)
Toleranzlage	Mittelwert
Toleranz	DIN 620:1988 PN
Toleranz der Welle	k5, 80.008 mm (min = 80.002 mm , max = 80.015 mm)
Toleranz der Nabe	K6, 139.992 mm (min = 139.979 mm , max = 140.004 mm)
RzI = 8.00 µm	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Innenring)
RzO = 8.00 µm	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Aussenring)
Änderung Lagerspiel durch: n = 0 (1/min)	
Press-Sitz	-8.72 µm
Temperatur	-63.48 µm

Gesamte Lagerspieländerung	-57.82 µm, ni = 2906.87 (1/min), no = 0 (1/min)	
Betriebslagerspiel	57.50 µm + (-57.82 µm) = -0.32 µm	
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ]	166.000
Dynamische Tragzahl	[C]	160.000
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ]	21.200
Werte für die approximierete Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	159.889
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	166.002

Bezeichnung im Modell		WelleZ1RadiallagerRechtsNU214ECP
Lager Typ		SKF *NU 214 ECP
Lager Bauform		Zylinderrollenlager (einreihig)
Lager Position (mm)	[Ylokal]	996.116
Lager Position (mm)	[Yglobal]	996.116
Befestigung Aussenring		Loslager
Innendurchmesser (mm)	[d]	70.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	125.000
Breite (mm)	[b]	24.000
Eckradius (mm)	[r]	1.500
Anzahl Wälzkörper	[Z]	9
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	94.302
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	19.191
Länge Wälzkörper (mm)	[L <sub>we</sub> ]	22.628
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	113.496
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	75.108

Pd = 0.058 (mm)

Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (\*)

Lagerspiel	DIN 620:1988 C0 (57.50 µm)	
Toleranzlage	Mittelwert	
Toleranz	DIN 620:1988 PN	
Toleranz der Welle	k5, 70.008 mm (min = 70.002 mm , max = 70.015 mm)	
Toleranz der Nabe	K6, 124.992 mm (min = 124.979 mm , max = 125.004 mm)	
Rz1 = 8.00 µm	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Innenring)	
RzO = 8.00 µm	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Aussenring)	
Änderung Lagerspiel durch: n = 0 (1/min)		
Press-Sitz	-8.68 µm	
Temperatur	-57.86 µm	
Gesamte Lagerspieländerung	-52.18 µm, ni = 2906.87 (1/min), no = 0 (1/min)	
Betriebslagerspiel	57.50 µm + (-52.18 µm) = 5.32 µm	
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ]	137.000
Dynamische Tragzahl	[C]	137.000
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ]	18.000
Werte für die approximierete Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	136.905
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	136.970

-----

Welle 'WelleZ1': Stirnrad 'Z1(Z1Z2)' (y= 901.6160 (mm)) wird als fester Bestandteil der Welle berücksichtigt.  
 EI (y= 879.1160 (mm)): 366105.5753 (Nm²), EI (y= 924.1160 (mm)): 366105.5753 (Nm²), m (yS= 901.6160 (mm)): 31.2826 (kg)  
 Jp: 0.4896 (kg\*m²), Jxx: 0.2501 (kg\*m²), Jzz: 0.2501 (kg\*m²)

**Resultate**

**Welle**

Maximale Durchbiegung (mm)	0.103
Position des Maximums (mm)	0.000
Massenschwerpunkt (mm)	607.071
Summe der axialen Belastung (N)	-3563.084
Verdrehung unter Drehmoment (°)	-0.607

**Lager**

Ausfallwahrscheinlichkeit	[n]	1.00	%
Axialspiel	[uA]	10.00	µm
Schmierstoff	Öl: Klübersynth GEM 4-32 N		
Schmierstoff mit Additivierung, dessen Wirksamkeit in Wälzlagern geprüft wurde.			
Ölschmierung mit Filterung, ISO4406 -/13/10			
Schmierstoff - Betriebstemperatur	[TB]	80.00	°C
Grenzwert für Faktor aISO	[aISOmax]	50.00	
Ölstand	[hoil]	0.00	mm
Öl-Einspritzschmierung			

Wälzlagersteifigkeiten aus innerer Geometrie

**Welle 'WelleZ1' Wälzlager 'WelleZ1AxiallagerNSKQJ214'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	1041.12	mm
Äquivalente Belastung	[P]	3.56	kN
Äquivalente Belastung	[P0]	3.56	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a1]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[aISO]	50.000	
Lebensdauer	[Lnh]	37740.09	h
Lebensdauer	[Lnmh]	> 1000000	h
Verunreinigungsbeiwert	[eC]	0.88	
Betriebsviskosität	[v]	9.29	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v1]	8.45	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[k]	1.10	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[hmin]	0.196	µm
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	[-]	0.225	
Statischer Sicherheitsfaktor	[S0]	55.29	
Referenzlebensdauer	[Lnrh]	23283.70	h
Referenzlebensdauer	[Lnrmh]	> 1000000	h
Lagerreaktionskraft	[Fx]	0.595	kN
Lagerreaktionskraft	[Fy]	3.563	kN
Lagerreaktionskraft	[Fz]	1.790	kN
Lagerreaktionskraft	[Fr]	1.886	kN (71.62°)
Lagerreaktionsmoment	[Mx]	55.94	Nm
Lagerreaktionsmoment	[My]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[Mz]	-19.40	Nm
Lagerreaktionsmoment	[Mr]	59.21	Nm (-19.13°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[Mrr]	0.256	Nm
Gleitreibungsmoment	[Msl]	0.151	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[Mseal]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[Mdrag]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[Mloss]	0.408	Nm

WZ1 9/37

Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	124.047	W
Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.			
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff $\mu_{bl}=0.15$ gerechnet.			
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-0.567	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	197.114	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-10.397	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.010	µm (-93.12°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	0.127	mrاد (0.44')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	-10.434	mrاد (-35.87')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	0.047	mrاد (0.16')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.135	mrاد (0.47')

**Welle 'WelleZ1' Wälzlager 'WelleZ1RadiallagerLinksNU216ECP'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	806.12	mm
Äquivalente Belastung	[P]	12.18	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	12.18	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>ISO</sub> ]	18.318	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	7666.42	h
Lebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	140430.89	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.88	
Betriebsviskosität	[v]	9.29	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	7.96	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[κ]	1.17	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	0.225	µm
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	13.63	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	28099.88	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	253743.16	h
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	-5.924	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	10.643	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	12.180	kN (119.1°)
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	-0.83	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	-1.15	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	1.42	Nm (-126.01°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.678	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.043	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	0.721	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	219.429	W

Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.

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

Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	10.314	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	34.314	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	-18.577	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.021	µm (-60.96°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.035	mrاد (-0.12')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	-9.685	mrاد (-33.29')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	0.025	mrاد (0.09')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.043	mrاد (0.15')

**Welle 'WelleZ1' Wälzlager 'WelleZ1RadiallagerRechtsNU214ECP'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	996.12	mm
-------------------------	-----	--------	----

WZ1 10/37

Äquivalente Belastung	[P]	5.34	kN
Äquivalente Belastung	[P0]	5.34	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a1]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[aISO]	50.000	
Lebensdauer	[Lnh]	71486.65	h
Lebensdauer	[Lnmh]	> 1000000	h
Verunreinigungsbeiwert	[ec]	0.88	
Betriebsviskosität	[v]	9.29	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v1]	8.45	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[κ]	1.10	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[hmin]	0.215	µm
Statischer Sicherheitsfaktor	[S0]	25.67	
Referenzlebensdauer	[Lnrh]	225680.65	h
Referenzlebensdauer	[Lnrmh]	> 1000000	h
Lagerreaktionskraft	[Fx]	-0.579	kN
Lagerreaktionskraft	[Fy]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[Fz]	5.306	kN
Lagerreaktionskraft	[Fr]	5.338	kN (96.23°)
Lagerreaktionsmoment	[Mx]	-1.95	Nm
Lagerreaktionsmoment	[My]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[Mz]	-0.41	Nm
Lagerreaktionsmoment	[Mr]	1.99	Nm (-168.15°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[Mrr]	0.398	Nm
Gleitreibungsmoment	[Msl]	0.018	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[Mseal]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[Mdrag]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[Mloss]	0.416	Nm
Verlustleistung	[Ploss]	126.490	W
Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.			
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff µbl=0.15 gerechnet.			
Lagerverschiebung	[ux]	1.558	µm
Lagerverschiebung	[uy]	165.814	µm
Lagerverschiebung	[uz]	-16.161	µm
Lagerverschiebung	[ur]	0.016	µm (-84.49°)
Lagerneigung	[rx]	0.112	mrاد (0.38')
Lagerneigung	[ry]	-10.425	mrاد (-35.84')
Lagerneigung	[rz]	0.053	mrاد (0.18')
Lagerneigung	[rr]	0.124	mrاد (0.43')

(\*) Hinweis zu Wälzlagern mit approximierter Lagergeometrie:

Die innere Geometrie von diesen Lagern ist nicht in der Datenbank eingetragen.

Die Geometrie wird nach ISO281 aus C und C0 (Angaben im Katalog des Herstellers) rückwärts gerechnet.

Die Geometrie kann deshalb von der wirklichen Geometrie abweichen.

Dies kann in gewissen Fällen deutliche Unterschiede bei der Wälzlagersteifigkeit bewirken.

Ausnutzung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer [H] ( 20000.000)

B1	B2	B3
0.27	0.56	0.31

B1: WelleZ1AxiallagerNSKQJ214

B2: WelleZ1RadiallagerLinksNU216ECP

B3: WelleZ1RadiallagerRechtsNU214ECP

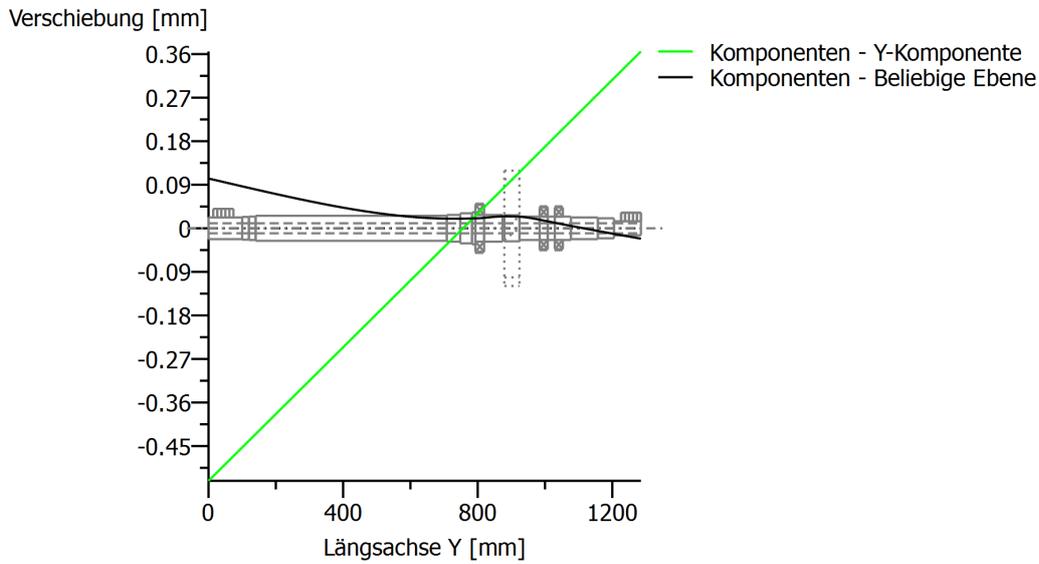
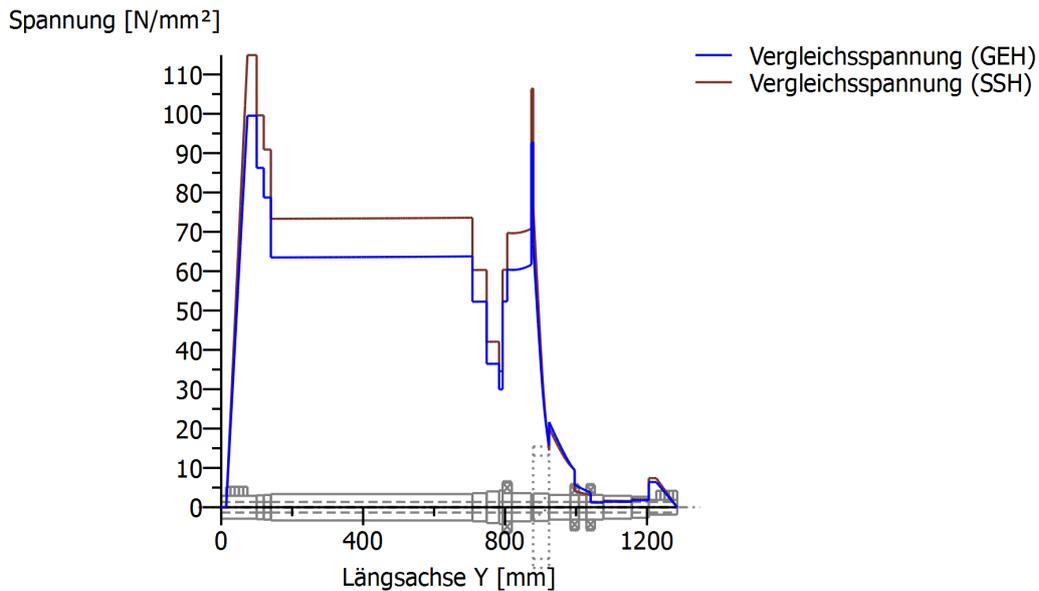


Abbildung: Verformung (Biegelinien etc.) (Beliebige Ebene 287.2278112 120)



GEH(von Mises):  $\sigma_V = \sqrt{(\sigma_B + \sigma_{Z,D})^2 + 3 \cdot (\tau_T + \tau_S)^2}$  / 2 SSH(Tresca):  $\sigma_V = \sqrt{(\sigma_B - \sigma_{Z,D})^2 + 4 \cdot (\tau_T + \tau_S)^2}$  / 2  
 Abbildung: Vergleichsspannung

**Eigenfrequenzen/Kritische Drehzahlen**

1. Eigenfrequenz:	0.00 Hz, Kritische Drehzahl:	0.00 1/min	Starrkörperrotation Y 'WelleZ1'
2. Eigenfrequenz:	53.42 Hz, Kritische Drehzahl:	3205.49 1/min	Biegung YZ 'WelleZ1'
3. Eigenfrequenz:	283.91 Hz, Kritische Drehzahl:	17034.53 1/min	Axial 'WelleZ1'
4. Eigenfrequenz:	377.05 Hz, Kritische Drehzahl:	22623.23 1/min	Biegung XY 'WelleZ1'
5. Eigenfrequenz:	391.48 Hz, Kritische Drehzahl:	23488.99 1/min	Biegung YZ 'WelleZ1'

6. Eigenfrequenz: 647.16 Hz, Kritische Drehzahl: 38829.49 1/min Biegung YZ 'WelleZ1'  
 7. Eigenfrequenz: 682.69 Hz, Kritische Drehzahl: 40961.20 1/min Biegung XY 'WelleZ1'

Normierte Verschiebung

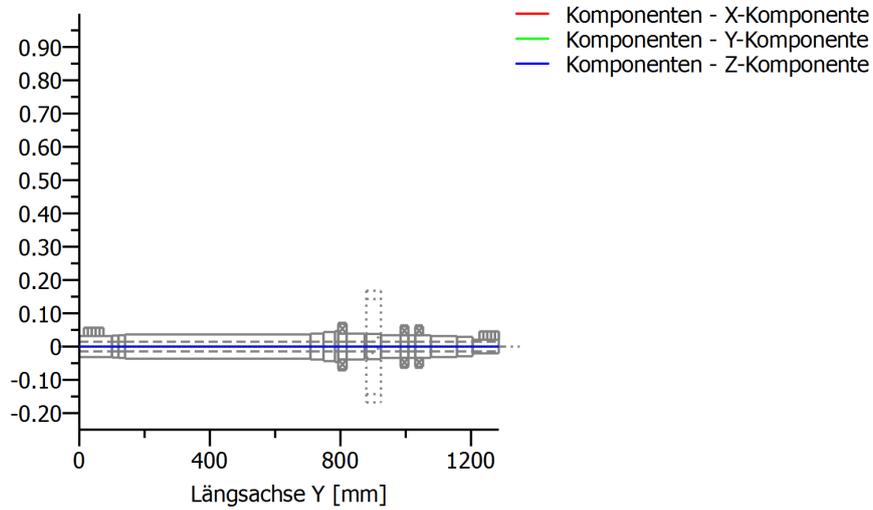


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 1. (0 Hz))

Normierte Verschiebung

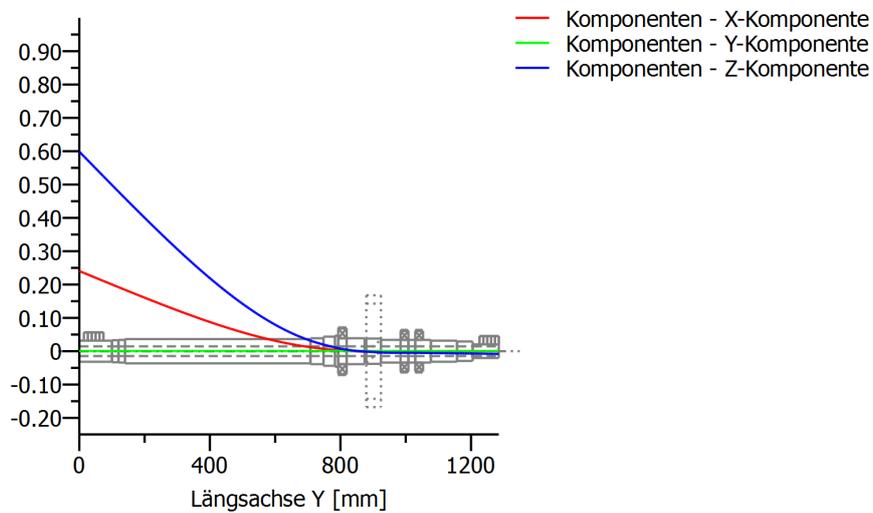


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 2. (53.42 Hz))

Normierte Verschiebung

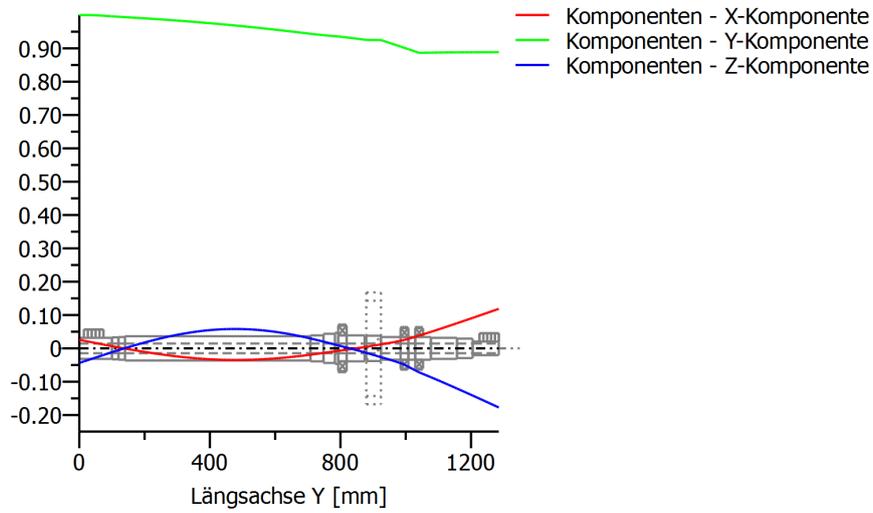


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 3. (283.91 Hz))

Normierte Verschiebung

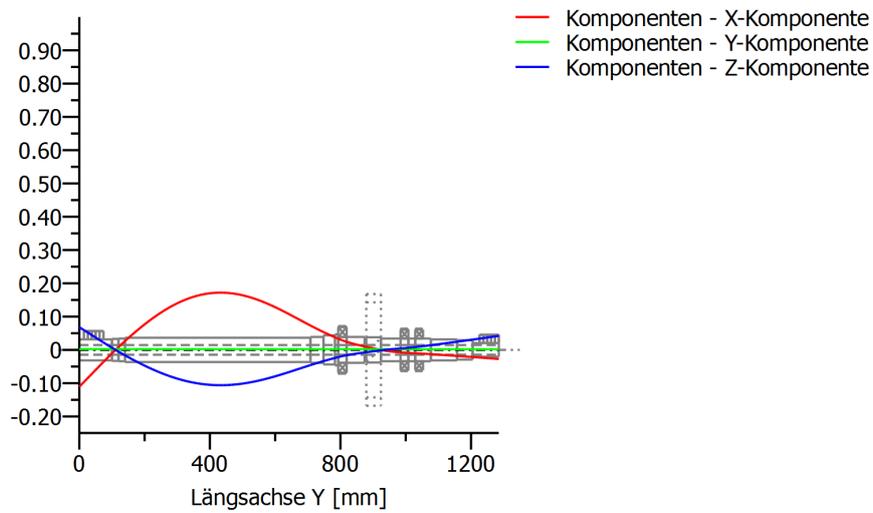


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 4. (377.05 Hz))

Normierte Verschiebung

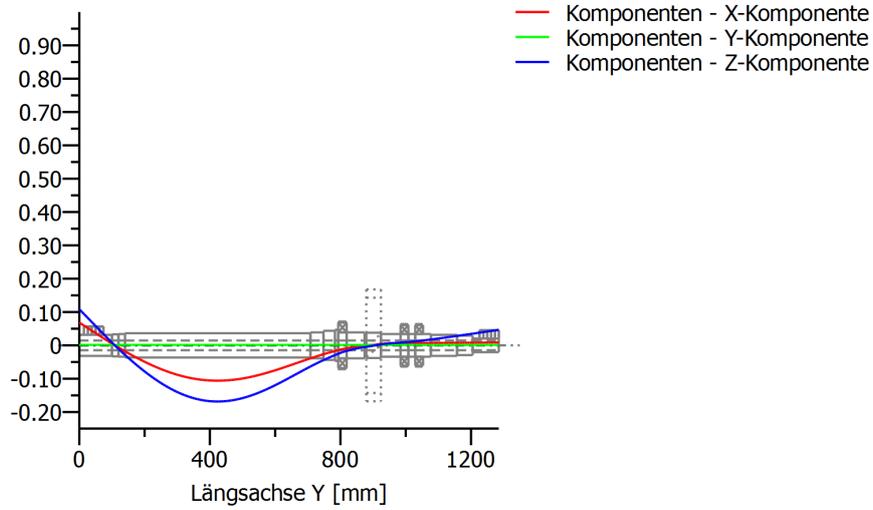


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 5. (391.48 Hz))

Normierte Verschiebung

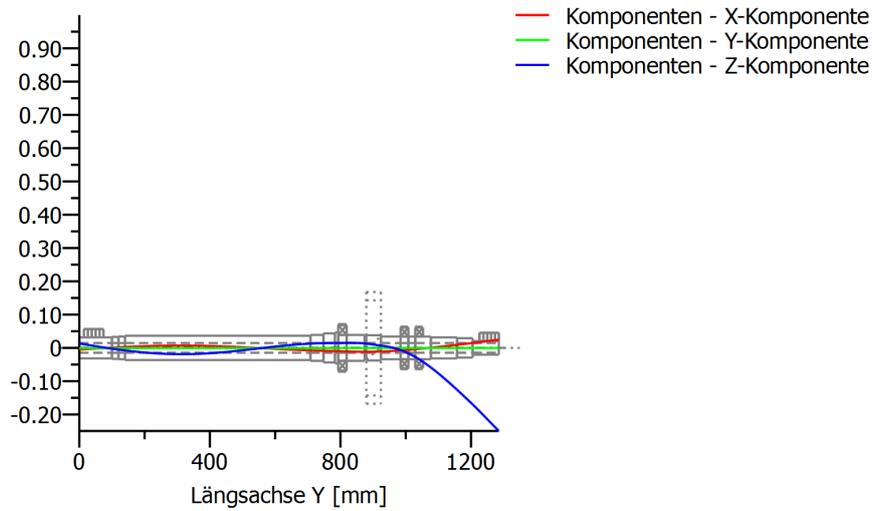


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 6. (647.16 Hz))

Normierte Verschiebung

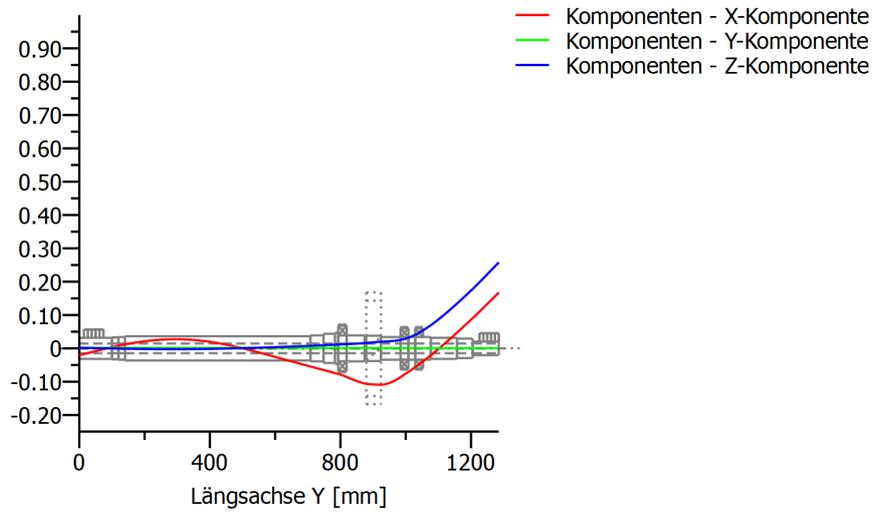


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 7. (682.69 Hz))

**Festigkeitsberechnung nach DIN 743:2012**

**Zusammenfassung**

**WelleZ1**

Werkstoff	C45 (1)
Werkstoffart	Vergütungsstahl
Werkstoff-Behandlung	unlegiert, vergütet
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)	
Umlaufnut Lamellenkupplung	100.00	Wellenabsatz
Wellenschulter links	748.12	Wellenabsatz
Abastz Loslager Links	783.12	Wellenabsatz
Absatz Loslager Rechts	793.12	Wellenabsatz
Keilwelle	900.00	Keilwelle
Absatz Stirnrad	924.12	Wellenabsatz
Umlaufnut Festlager	1053.00	Press-Sitz
Festlager Links	984.12	Glatte Welle
Freistich links	874.12	Wellenabsatz
Freistich rechts	879.12	Wellenabsatz
Absatz Kupplung Motor E2	1205.12	Wellenabsatz
Absatz Lager Lamellenkupplung Rechts	708.12	Wellenabsatz
Rechtecknut Wellensicherungsring	140.00	Wellenabsatz
Absatz Lager Lamellenkupplung links	120.00	Wellenabsatz
AbsatzRWD	1157.12	Wellenabsatz
Loslager	819.12	Glatte Welle

Resultate:

Querschnitt	Kfb	Kfσ	K2d	SD	SS
Umlaufnut Lamellenkupplung	1.51	0.91	0.86	3.23	2.12
Wellenschulter links	4.13	0.91	0.84	3.20	4.05
Abastz Loslager Links	3.75	0.91	0.83	4.99	5.80
Absatz Loslager Rechts	2.26	0.91	0.84	4.88	4.04
Keilwelle	1.06	1.00	0.84	4.98	4.86
Absatz Stirnrad	2.21	0.91	0.85	5.19	12.54
Umlaufnut Festlager	1.98	1.00	0.85	183.18	192.98
Festlager Links	1.00	0.91	0.85	30.00	30.56
Freistich links	2.29	0.91	0.85	2.68	2.62
Freistich rechts	2.21	0.91	0.85	2.67	2.61
Absatz Kupplung Motor E2	1.82	0.91	0.88	47.66	34.48
Absatz Lager Lamellenkupplung Rechts	1.37	0.91	0.85	5.05	3.31
Rechtecknut Wellensicherungsring	2.39	0.91	0.85	3.29	2.68
Absatz Lager Lamellenkupplung links	2.63	0.91	0.85	2.89	2.44
AbsatzRWD	1.43	0.91	0.86	182.95	126.00
Loslager	1.00	0.91	0.84	6.18	4.05

Sollsicherheiten: 1.20 1.20

Abkürzungen:

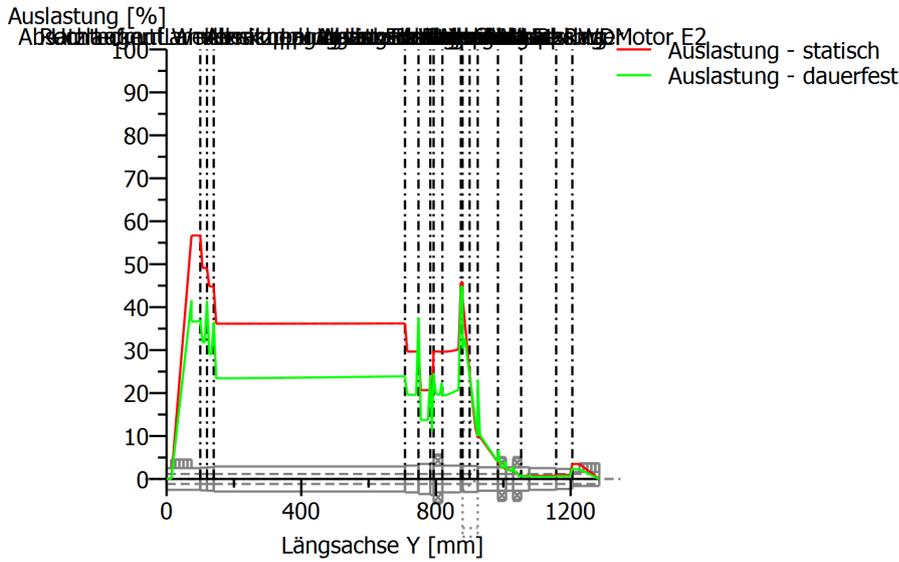
Kfb: Kerbfaktor Biegung

WZ1 17/37

Kf: Oberflächenfaktor  
 K2d: Grössenfaktor Biegung  
 SD: Sicherheit Dauerfestigkeit  
 SS: Sicherheit Streckgrenze

**Ausnutzung (%A) [Smin/S]**

Querschnitt	Statisch	Dauerfest
Umlaufnut Lamellenkupplung	56.678	37.126
Wellenschulter links	29.655	37.557
Abastz Loslager Links	20.676	24.025
Absatz Loslager Rechts	29.669	24.608
Keilwelle	24.695	24.095
Absatz Stirnrad	9.567	23.111
Umlaufnut Festlager	0.622	0.655
Festlager Links	3.927	4.000
Freistich links	45.772	44.742
Freistich rechts	45.950	44.879
Absatz Kupplung Motor E2	3.480	2.518
Absatz Lager Lamellenkupplung Rechts	36.206	23.767
Rechtecknut Wellensicherungsring	44.834	36.504
Absatz Lager Lamellenkupplung links	49.117	41.458
AbsatzRWD	0.952	0.656
Loslager	29.628	19.411
Maximale Ausnutzung (%)	[A]	56.678



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

**Berechnungs-Details**

**Allgemeine Angaben**

Bezeichnung	WelleZ1		
Zeichnung			
Länge (mm)	[l]		1285.12
Drehzahl (1/min)	[n]		2906.87
Werkstoff	C45 (1)		
Werkstoffart	Vergütungsstahl		
Werkstoff-Behandlung	unlegiert, vergütet		
Oberflächen-Behandlung	Keine		

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Lastfaktor statische Berechnung	1.700	1.700	1.700	1.700
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> )	[ $\sigma_B$ ]	700.00
$\sigma_S$ nach DIN 743 (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_S$ ]	490.00
[ $\sigma_{zdW}$ ] (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )		280.00
[ $\sigma_{bW}$ ] (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )		350.00
[ $\tau_{tW}$ ] (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )		210.00
Dicke Rohmaterial (mm)	[dWerkst]	100.00
Werkstoffdaten nach DIN743/3 mit K1(d) berechnet		
Werkstoff-Festigkeitswerte aus Dicke Rohmaterial bestimmt		
Geometrischer Grössenfaktor K1d mit Rohdurchmesser berechnet		
[ $\sigma_{Beff}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )		555.15

WZ1 19/37

[σSeff] (N/mm <sup>2</sup> )	357.41
[σbF] (N/mm <sup>2</sup> )	393.15
[τtF] (N/mm <sup>2</sup> )	206.35
[σBRand] (N/mm <sup>2</sup> )	628.00

[σzdW] (N/mm <sup>2</sup> )	222.06
[σbW] (N/mm <sup>2</sup> )	277.57
[τtW] (N/mm <sup>2</sup> )	166.54

Dauerfestigkeit für Einstufenbeanspruchung

Berechnung für Beanspruchungsfall 2 (σ.av/σ.mv = konst)

**Querschnitt 'Umlaufnut Lamellenkupplung' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	100.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]	65.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	30.000
Kerbwirkung	Wellenabsatz	
[D, r, t] (mm)	68.000 2.000 0.000	
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]	8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-0.0	0.0	1475.6	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	9.9	1475.6	178.1
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-0.0	16.8	5016.9	302.8
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	2611.4	25737.8	51475.7	2611.4

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.000	28.665	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.385	28.665	0.126
[σzdm <sub>max</sub> , σbm <sub>max</sub> , τm <sub>max</sub> , τqm <sub>max</sub> ] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.654	97.462	0.213

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.793
	[K1(sS)]	0.729

	Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	1.967	1.771
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	1.360	1.360
Stützziffer	[n]	1.172	1.172
Kerbwirkungszahl	[β]	1.679	1.511
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.856
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.775	1.863

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	49.650
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]	28.665

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	125.082	149.018	112.002
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.127	0.155	0.112
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.008	3.174	100.704

WZ1 20/37

Sicherheit gegen Ermüdung	[S]	3.232
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]	1.200
Resultat (%)	[S/Smin]	269.4

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[yF]	1.050	1.050	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	375.277	412.804	206.349
Sicherheit Fließgrenze	[S]		2.117	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		176.4	

**Querschnitt 'Wellenschulter links' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	748.12
Aussendurchmesser (mm)	[da]	80.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	30.000
Kerbwirkung	Wellenabsatz	
[D, r, t] (mm)	90.000 0.100 0.000	
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]	8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-0.0	0.0	1475.6	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	183.9	1475.6	362.6
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-0.0	312.7	5016.9	616.5
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	4319.7	49271.5	98542.9	4319.7

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.000	14.974	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	3.733	14.974	0.149
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	6.346	50.911	0.253

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.793
	[K1(sS)]	0.729

	Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	7.869	7.089
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	23.759	23.759
Stützziffer	[n]	1.718	1.718
Kerbwirkungszahl	[β]	4.581	4.127
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.842
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	4.678	4.998

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	25.935
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]	14.974

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	47.472	55.536	52.531
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.045	0.053	0.050
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.016	40.662	50.045
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		3.195	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		266.3	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.150	1.150	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	411.017	452.119	206.349
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		4.047	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		337.2	

**Querschnitt 'Abatz Loslager Links' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		783.12	
Aussendurchmesser (mm)	[da]		90.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]		30.000	
Kerbwirkung Wellenabsatz				
[D, r, t] (mm)	96.000	0.100	0.000	
Mittlere Rauheit (µm)		[Rz]	8.000	

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		-0.0	0.0	1475.6	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		0.0	196.9	1475.6	377.8
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		-0.0	334.7	5016.9	642.3
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		5654.9	70685.8	141371.7	5654.9

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

[σzdm, obm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.000	10.437	0.000
[σzda, oba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	2.785	10.437	0.116
[σzdmax, obmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	4.735	35.487	0.197

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.793
	[K1(sS)]	0.729

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	6.926	6.454	3.526
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	23.962	23.962	11.500
Stützziffer	[n]	1.721	1.721	1.499
Kerbwirkungszahl	[β]	4.025	3.751	2.351
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.834	0.834
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912	0.949
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	4.121	4.593	2.872

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

WZ1 22/37

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		18.078	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		10.437	
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	53.880	60.432	57.980
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.051	0.058	0.055
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.023	43.996	54.953
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		4.995	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		416.2	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.150	1.150	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	411.017	452.119	206.349
Sicherheit Fließgrenze	[S]		5.804	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		483.7	

**Querschnitt 'Absatz Loslager Rechts'**

**Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		793.12	
Aussendurchmesser (mm)	[da]		80.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]		30.000	
Kerbwirkung	Wellenabsatz			
[D, r, t] (mm)		96.000	1.500	0.000
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]			8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-0.0	0.0	1475.6	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	200.7	1475.6	382.9
Maximalwert	[Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-0.0	341.2	5016.9	650.9
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		4319.7	49271.5	98542.9	4319.7

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.000	14.974	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	4.073	14.974	0.157
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	6.925	50.911	0.267

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.793
	[K1(sS)]	0.729

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Formzahl	[a]	2.971	2.687	1.835
Bezogenes Spannungsgefälle	[G]	1.670	1.670	0.767
Stützziffer	[n]	1.190	1.190	1.129
Kerbwirkungszahl	[β]	2.496	2.257	1.626
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.842	0.842
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912	0.949
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000

WZ1 23/37

Gesamteinflussfaktor [K] 2.592 2.778 1.984

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm<sup>2</sup>) [σmV] 25.935

Vergleichsmittelspannung (N/mm<sup>2</sup>) [τmV] 14.974

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm<sup>2</sup>) [σWK] 85.661 99.934 83.942

Einflussfaktor Mittelspannungsempf. [ψσK] 0.084 0.099 0.082

Ertragbare Amplitude (N/mm<sup>2</sup>) [σADK] 0.015 58.701 77.596

Sicherheit gegen Ermüdung [S] 4.876

Sollsicherheit gegen Ermüdung [Smin] 1.200

Resultat (%) [S/Smin] 406.4

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer [K2F] 1.000 1.100 1.000

Erhöhungsfaktor [γF] 1.100 1.100 1.000

Bauteilfließsgrenze (N/mm<sup>2</sup>) [σFK] 393.147 432.462 206.349

Sicherheit Fließsgrenze [S] 4.045

Sollsicherheit [Smin] 1.200

Resultat (%) [S/Smin] 337.1

**Querschnitt 'Keilwelle' Keilwelle**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm) [y] 900.00

Aussendurchmesser (mm) [da] 78.000

Innendurchmesser (mm) [di] 30.000

Kerbwirkung Keilwelle

[da, df, z, mn] (mm) 78.000 72.000 0 0.000

Form A

Mittlere Rauheit (μm) [Rz] 8.000

Zug/Druck Biegung Torsion Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm] 826.8 0.0 799.5 0.0

Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa] 826.8 715.8 799.5 3895.8

Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax] 2811.1 1216.9 2718.4 6622.9

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm<sup>2</sup>) (mm<sup>3</sup>) [A, Wb, Wt, A] 3364.6 35539.1 71078.1 3364.6

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm<sup>2</sup>) 0.246 0.000 11.249 0.000

[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm<sup>2</sup>) 0.246 20.142 11.249 2.092

[σzdm<sub>max</sub>, σbm<sub>max</sub>, τm<sub>max</sub>, τqm<sub>max</sub>] (N/mm<sup>2</sup>) 0.835 34.241 38.245 3.556

Technologischer Grösseneinfluss [K1(sB)] 0.793

[K1(sS)] 0.729

Zug/Druck Biegung Torsion

Kerbwirkungszahl [β(dB)] 1.062 1.062 1.138

[dB] (mm) = 29.0

Geometrischer Grösseneinfluss [K3(d)] 0.996 0.996 0.991

WZ1 24/37

Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.998	0.998	0.995
Kerbwirkungszahl	[β]	1.064	1.064	1.142
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.844	0.844
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	1.000	1.000	1.000
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.064	1.261	1.354

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	19.485
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]	11.250

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	208.697	220.086	122.987
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.231	0.247	0.125
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	4.451	177.608	103.170
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		4.980	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		415.0	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	357.406	393.147	206.349
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		4.859	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		404.9	

**Querschnitt 'Absatz Stirnrad'**

**Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	924.12	
Aussendurchmesser (mm)	[da]	70.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]	30.000	
Kerbwirkung	Wellenabsatz		
[D, r, t] (mm)	78.000	1.000	0.000
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]	8.000	

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	1781.5	0.0	18.9	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	1781.5	618.1	18.9	6971.2
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	6057.2	1050.8	64.2	11851.0
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	3141.6	32537.9	65075.8	3141.6

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	0.567	0.000	0.290	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.567	18.997	0.290	4.030
[σzdmax, obmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	1.928	32.294	0.986	6.851

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.793
	[K1(sS)]	0.729

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Formzahl	[a]	2.958	2.733	1.822
Bezogenes Spannungsgefälle	[G]	2.530	2.530	1.150
Stützziffer	[n]	1.234	1.234	1.158
Kerbwirkungszahl	[β]	2.397	2.214	1.573
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.851	0.851
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912	0.949
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.493	2.699	1.903

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		0.758	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		0.437	

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	89.058	102.856	87.538
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.087	0.102	0.086
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	79.764	102.439	77.532
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		5.192	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		432.7	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.100	1.100	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	393.147	432.462	206.349
Sicherheit Fließgrenze	[S]		12.543	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		1045.3	

**Querschnitt 'Umlaufnut Festlager' Press-Sitz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	1053.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]	70.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	30.000
Kerbwirkung	Press-Sitz	
Charakteristik:	Leichter Press-Sitz	
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]	8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-0.0	0.0	18.9	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	15.1	18.9	93.9
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-0.0	25.6	64.2	159.6
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	3141.6	32537.9	65075.8	3141.6

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

[σzdm, obm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.000	0.290	0.000
[σzda, oba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.463	0.290	0.054
[σzdmax, obmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.787	0.986	0.092

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.793
	[K1(sS)]	0.729

WZ1 26/37

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Kerbwirkungszahl	[β(dB)]	1.984	1.984	1.443
[dB] (mm) =				
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.956	0.956	0.976
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.956	0.956	0.976
Kerbwirkungszahl	[β]	1.984	1.984	1.443
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.851	0.851
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	1.000	1.000	1.000
Rauheitsfaktor ist gemäss Norm in der Kerbwirkungszahl inbegriffen				
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.984	2.331	1.696

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		0.502	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		0.290	
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	111.938	119.057	98.226
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.112	0.120	0.097
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.710	105.323	89.536
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		183.175	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		15264.6	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	357.406	393.147	206.349
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		192.983	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		16081.9	

**Querschnitt 'Festlager Links'      Glatte Welle**

Kommentar				
Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		984.12	
Aussendurchmesser (mm)	[da]		70.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]		30.000	
Kerbwirkung	Glatte Welle			
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]		8.000	

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	1781.5	0.0	18.9	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fzda, Mba, Ta, Fqa]	1781.5	203.0	18.9	6985.6
Maximalwert	[Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	6057.2	345.2	64.2	11875.6
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		3141.6	32537.9	65075.8	3141.6

Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )					
[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )		0.567	0.000	0.290	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )		0.567	6.240	0.290	4.038

WZ1 27/37

[σzdm, obmax, τmax, τqmax] (N/mm²) 1.928 10.608 0.986 6.865

Technologischer Grösseneinfluss [K1(sB)] 0.793  
[K1(sS)] 0.729

Zug/Druck Biegung Torsion

Kerbwirkungszahl [β] 1.000 1.000 1.000  
Geometrischer Grösseneinfluss [K2(d)] 1.000 0.851 0.851  
Einflussfaktor Oberflächenrauheit [KF] 0.912 0.912 0.949  
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung [KV] 1.000 1.000 1.000  
Gesamteinflussfaktor [K] 1.097 1.272 1.229

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm²) [σmV] 0.758  
Vergleichsmittelspannung (N/mm²) [τmV] 0.437

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm²) [σWK] 202.499 218.245 135.556  
Einflussfaktor Mittelspannungsempf. [ψσK] 0.223 0.245 0.139  
Ertragbare Amplitude (N/mm²) [σADK] 152.996 211.949 82.279  
Sicherheit gegen Ermüdung [S] 29.999  
Sollsicherheit gegen Ermüdung [Smin] 1.200  
Resultat (%) [S/Smin] 2499.9

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer [K2F] 1.000 1.100 1.000  
Erhöhungsfaktor [γF] 1.000 1.000 1.000  
Bauteilfließsgrenze (N/mm²) [σFK] 357.406 393.147 206.349  
Sicherheit Fließsgrenze [S] 30.555  
Sollsicherheit [Smin] 1.200  
Resultat (%) [S/Smin] 2546.3

**Querschnitt 'Freistich links'**

**Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm) [y] 874.12  
Aussendurchmesser (mm) [da] 70.000  
Innendurchmesser (mm) [di] 30.000  
Kerbwirkung Wellenabsatz  
[D, r, t] (mm) 80.000 1.000 0.000  
Mittlere Rauheit (µm) [Rz] 8.000

Zug/Druck Biegung Torsion Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)  
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm] -0.0 0.0 1475.6 0.0  
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa] 0.0 636.4 1475.6 11823.8  
Maximalwert [Fzdm, Mbmax, Tmax, Fqmax] -0.0 1081.8 5016.9 20100.4  
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm²) (mm³)  
[A, Wb, Wt, A] 3141.6 32537.9 65075.8 3141.6

Spannungen: (N/mm²)

[σzdm, obm, τm, τqm] (N/mm²) -0.000 0.000 22.675 0.000  
[σzda, oba, τa, τqa] (N/mm²) 0.000 19.558 22.675 6.835

WZ1 28/37

[σzdm, obmax, tmax, tqmax] (N/mm²) -0.000 33.248 77.093 11.620

Technologischer Grösseneinfluss [K1(sB)] 0.793  
[K1(sS)] 0.729

Zug/Druck Biegung Torsion

Formzahl [a] 3.086 2.824 1.881  
 Bezogenes Spannungsgefälle [G'] 2.510 2.510 1.150  
 Stützziffer [n] 1.233 1.233 1.158  
 Kerbwirkungszahl [β] 2.502 2.289 1.624  
 Geometrischer Grösseneinfluss [K2(d)] 1.000 0.851 0.851  
 Einflussfaktor Oberflächenrauheit [KF] 0.912 0.912 0.949  
 Einflussfaktor Oberflächenverfestigung [KV] 1.000 1.000 1.000  
 Gesamteinflussfaktor [K] 2.599 2.787 1.962

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm²) [σmV] 39.273  
 Vergleichsmittelspannung (N/mm²) [rmV] 22.675

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm²) [σWK] 85.443 99.585 84.876  
 Einflussfaktor Mittelspannungsempf. [ψσK] 0.083 0.099 0.083  
 Ertragbare Amplitude (N/mm²) [σADK] 0.010 83.136 78.387  
 Sicherheit gegen Ermüdung [S] 2.682  
 Sollsicherheit gegen Ermüdung [Smin] 1.200  
 Resultat (%) [S/Smin] 223.5

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer [K2F] 1.000 1.100 1.000  
 Erhöhungsfaktor [γF] 1.150 1.100 1.000  
 Bauteilfließsgrenze (N/mm²) [σFK] 411.017 432.462 206.349  
 Sicherheit Fließsgrenze [S] 2.622  
 Sollsicherheit [Smin] 1.200  
 Resultat (%) [S/Smin] 218.5

**Querschnitt 'Freistich rechts'**

**Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm) [y] 879.12  
 Aussendurchmesser (mm) [da] 70.000  
 Innendurchmesser (mm) [di] 30.000  
 Kerbwirkung Wellenabsatz  
 [D, r, t] (mm) 78.000 1.000 0.000  
 Mittlere Rauheit (µm) [Rz] 8.000

Zug/Druck Biegung Torsion Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)  
 Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm] -0.0 0.0 1475.6 0.0  
 Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa] 0.0 694.8 1475.6 11822.7  
 Maximalwert [Fzdm, Mbm, Tmax, Fqmax] -0.0 1181.1 5016.9 20098.7  
 Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm²) (mm³)  
 [A, Wb, Wt, A] 3141.6 32537.9 65075.8 3141.6

Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )				
[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.000	22.675	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	21.352	22.675	6.834
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	36.299	77.093	11.619

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.793		
	[K1(sS)]	0.729		

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	2.958	2.733	1.822
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	2.530	2.530	1.150
Stützziffer	[n]	1.234	1.234	1.158
Kerbwirkungszahl	[β]	2.397	2.214	1.573
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.851	0.851
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912	0.949
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.493	2.699	1.903

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		39.273	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		22.675	

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	89.058	102.856	87.538
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.087	0.102	0.086
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.010	86.595	80.636
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		2.674	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		222.8	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.100	1.100	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	393.147	432.462	206.349
Sicherheit Fließgrenze	[S]		2.612	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		217.6	

**Querschnitt 'Absatz Kupplung Motor E2' Wellenabsatz**

Kommentar				
Position (Y-Koordinate) (mm)		[y]		1205.12
Aussendurchmesser (mm)		[da]		42.000
Innendurchmesser (mm)		[di]		30.000
Kerbwirkung	Wellenabsatz			
[D, r, t] (mm)	60.000	2.000	0.000	
Mittlere Rauheit (µm)		[Rz]		8.000

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-0.0	0.0	18.9	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	3.2	18.9	64.2
Maximalwert	[Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-0.0	5.4	64.2	109.1
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					

WZ1 30/37

[A, Wb, Wt, A]		678.6	5380.2	10760.4	678.6
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	1.754	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	0.594	1.754	0.186
[σ <sub>zdmax</sub> , σ <sub>bmax</sub> , τ <sub>max</sub> , τ <sub>qmax</sub> ] (N/mm <sup>2</sup> )		-0.000	1.010	5.965	0.316
Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.793			
	[K1(sS)]	0.729			

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	2.364	2.117	1.581
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	1.260	1.260	0.575
Stützziffer	[n]	1.165	1.165	1.112
Kerbwirkungszahl	[β]	2.029	1.817	1.422
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.885	0.885
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912	0.949
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.125	2.149	1.661

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>mV</sub> ]		3.039	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τ <sub>mV</sub> ]		1.754	

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>WK</sub> ]	104.489	129.154	100.294
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσ <sub>K</sub> ]	0.104	0.132	0.099
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>ADK</sub> ]	0.129	70.714	91.234
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		47.655	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[S <sub>min</sub> ]		1.200	
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]		3971.3	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.100	1.100	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σ <sub>FK</sub> ]	393.147	432.462	206.349
Sicherheit Fließgrenze	[S]		34.481	
Sollsicherheit	[S <sub>min</sub> ]		1.200	
Resultat (%)	[S/S <sub>min</sub> ]		2873.4	

**Querschnitt 'Absatz Lager Lamellenkupplung Rechts' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		708.12	
Aussendurchmesser (mm)	[da]		75.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]		30.000	
Kerbwirkung	Wellenabsatz			
[D, r, t] (mm)		80.000	5.000	0.000
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]		8.000	

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert [F <sub>zdm</sub> , M <sub>bm</sub> , T <sub>m</sub> , F <sub>qm</sub> ]		-0.0	0.0	1475.6	0.0

WZ1 31/37

Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	169.7	1475.6	349.4
Maximalwert [Fzdm <sub>ax</sub> , Mb <sub>max</sub> , T <sub>max</sub> , Fq <sub>max</sub> ]	-0.0	288.5	5016.9	593.9
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> ) [A, Wb, Wt, A]	3711.0	40357.2	80714.4	3711.0

Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )				
[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.000	18.281	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	4.205	18.281	0.169
[σzdm <sub>ax</sub> , σbm <sub>ax</sub> , τm <sub>ax</sub> , τqm <sub>ax</sub> ] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	7.148	62.156	0.287

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.793		
	[K1(sS)]	0.729		

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	1.737	1.518	1.269
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	0.555	0.555	0.230
Stützziffer	[n]	1.110	1.110	1.071
Kerbwirkungszahl	[β]	1.566	1.368	1.185
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.846	0.846
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912	0.949
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.662	1.713	1.454

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		31.664	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		18.281	

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	133.597	162.086	114.532
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.137	0.171	0.115
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.012	48.392	102.718
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		5.049	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		420.8	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.050	1.050	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	375.277	412.804	206.349
Sicherheit Fließgrenze	[S]		3.314	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		276.2	

Querschnitt	'Rechtecknut Wellensicherungsring'	Wellenabsatz		
Kommentar	Rechtecknut Wellensicherungsring			
Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]			140.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]			70.000
Innendurchmesser (mm)	[di]			30.000
Kerbwirkung	Wellenabsatz			
[D, r, t] (mm)		75.000	0.500	0.000
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]			8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-0.0	0.0	1475.6	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	17.2	1475.6	187.4
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-0.0	29.3	5016.9	318.6
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	3141.6	32537.9	65075.8	3141.6

Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )				
[σzdm, obm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.000	22.675	0.000
[σzda, oba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.529	22.675	0.108
[σzdmax, obmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.899	77.093	0.184

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.793		
	[K1(sS)]	0.729		

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	3.387	3.178	2.002
Bezogenes Spannungsgefälle	[G]	5.020	5.020	2.300
Stützziffer	[n]	1.330	1.330	1.223
Kerbwirkungszahl	[β]	2.547	2.390	1.636
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.851	0.851
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912	0.949
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.644	2.905	1.976

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		39.273	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		22.675	

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	83.994	95.539	84.265
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.082	0.094	0.082
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.010	6.008	77.870
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		3.287	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		273.9	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.150	1.150	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	411.017	452.119	206.349
Sicherheit Fließgrenze	[S]		2.677	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		223.0	

**Querschnitt 'Absatz Lager Lamellenkupplung links' Wellenabsatz**

Kommentar				
Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		120.00	
Aussendurchmesser (mm)	[da]		68.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]		30.000	
Kerbwirkung	Wellenabsatz			

WZ1 33/37

[D, r, t] (mm)	70.000	0.100	0.000			
Mittlere Rauheit (µm)		[Rz]		8.000		
Beanspruchung: (N) (Nm)						
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		-0.0	0.0	1475.6		0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		0.0	13.5	1475.6		182.6
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		-0.0	23.0	5016.9		310.4
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )						
[A, Wb, Wt, A]	2924.8	29699.9	59399.7	2924.8		

Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )						
[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )		-0.000	0.000	24.841		0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	0.455	24.841		0.114
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )		-0.000	0.773	84.460		0.194

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.793				
	[K1(sS)]	0.729				

		Zug/Druck	Biegung	Torsion		
Formzahl	[a]	4.718	4.550	2.570		
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	24.570	24.570	11.500		
Stützziffer	[n]	1.730	1.730	1.499		
Kerbwirkungszahl	[β]	2.727	2.630	1.714		
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.853	0.853		
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912	0.949		
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000		
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.824	3.181	2.063		

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		43.026			
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		24.841			
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	78.638	87.266	80.731		
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.076	0.085	0.078		
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.010	4.730	74.861		
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		2.894			
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200			
Resultat (%)	[S/Smin]		241.2			

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000		
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.150	1.150	1.000		
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	411.017	452.119	206.349		
Sicherheit Fließgrenze	[S]		2.443			
Sollsicherheit	[Smin]		1.200			
Resultat (%)	[S/Smin]		203.6			

**Querschnitt 'AbsatzRWD' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	1157.12
------------------------------	-----	---------

WZ1 34/37

Aussendurchmesser (mm)	[da]	60.000		
Innendurchmesser (mm)	[di]	30.000		
Kerbwirkung	Wellenabsatz			
[D, r, t] (mm)		65.000	4.000	0.000
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]			8.000
			Zug/Druck	Biegung
				Torsion
				Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		-0.0	0.0	18.9
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		0.0	6.5	18.9
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		-0.0	11.0	64.2
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm²) (mm³)				
[A, Wb, Wt, A]		2120.6	19880.4	39760.8
			2120.6	
Spannungen: (N/mm²)				
[σzdm, obm, τm, τqm] (N/mm²)		-0.000	0.000	0.475
[σzda, oba, τα, τqa] (N/mm²)		0.000	0.325	0.475
[σzdmax, obmax, τmax, τqmax] (N/mm²)		-0.000	0.553	1.614
			0.108	
Technologischer Grösseneinfluss				
	[K1(sB)]	0.793		
	[K1(sS)]	0.729		
			Zug/Druck	Biegung
				Torsion
Formzahl	[a]	1.793	1.604	1.301
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	0.686	0.686	0.287
Stützziffer	[n]	1.122	1.122	1.079
Kerbwirkungszahl	[β]	1.598	1.430	1.206
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.861	0.861
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912	0.949
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.694	1.757	1.453
Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:				
Vergleichsmittelspannung (N/mm²)	[σmV]		0.822	
Vergleichsmittelspannung (N/mm²)	[τmV]		0.475	
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm²)	[σWK]	131.056	158.016	114.601
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.134	0.166	0.115
Ertragbare Amplitude (N/mm²)	[σADK]	0.456	111.302	102.773
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		182.955	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		15246.2	
Vorhandene Sicherheitszahl				
für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:				
Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.050	1.050	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm²)	[σFK]	375.277	412.804	206.349
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		125.995	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		10499.6	

**Querschnitt 'Loslager' Glatte Welle**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	819.12
Aussendurchmesser (mm)	[da]	80.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	30.000
Kerbwirkung	Glatte Welle	
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]	8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-0.0	0.0	1475.6	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	106.0	1475.6	11839.6
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-0.0	180.1	5016.9	20127.3
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> ) [A, Wb, Wt, A]	4319.7	49271.5	98542.9	4319.7

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

[σzdm, obm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.000	14.974	0.000
[σzda, oba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	2.150	14.974	4.856
[σzdmax, obmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	3.656	50.911	8.255

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.793
	[K1(sS)]	0.729

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.842	0.842
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912	0.949
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.097	1.284	1.241

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	25.935
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]	14.974

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	202.499	216.130	134.197
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.223	0.242	0.137
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.014	30.102	103.174
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		6.182	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		515.2	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	357.406	393.147	206.349
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		4.050	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		337.5	

Hinweise:

WZ1 36/37

- 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 DIN743. 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: 1768

---

## B.8 Welle und Lager WelleZ2

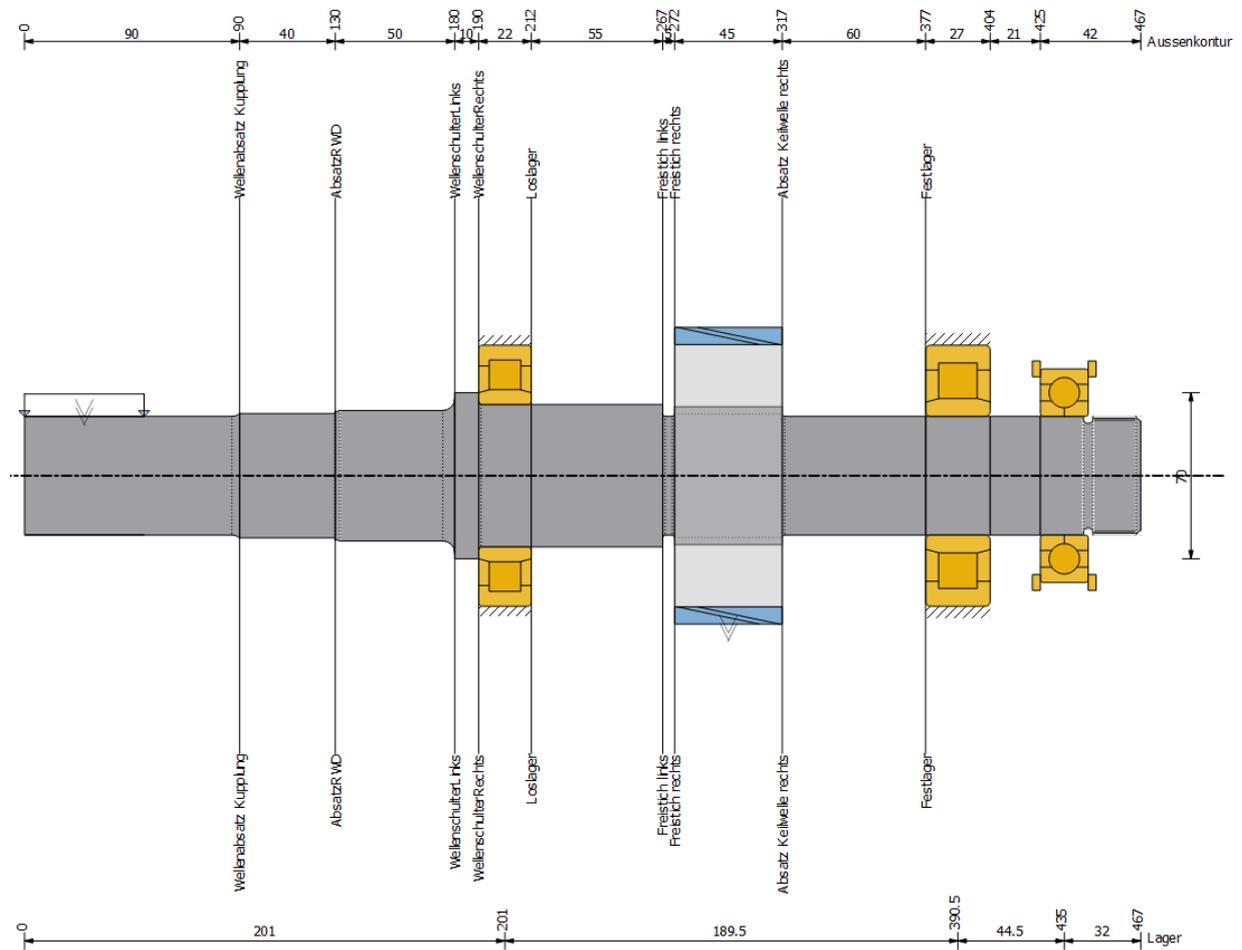


Abbildung B.4: WelleZ2

**Berechnung von Wellen, Achsen und Trägern**

**Eingabedaten**

Koordinatensystem Welle: siehe Bild W-002

Bezeichnung	WelleZ2
Zeichnung	
Startposition (mm)	0.000
Länge (mm)	467.000
Drehzahl (1/min)	8520.13
Drehrichtung: im Uhrzeigersinn	
Werkstoff	C45 (1)
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)	80.000
Gewicht der Welle (kg)	8.309
(Hinweis: Gewicht gilt für die Welle ohne Berücksichtigung der Zahnräder)	
Gewicht der Welle, inklusive zusatzmassen (kg)	11.216
Massenträgheitsmoment (kg*mm <sup>2</sup> )	9363.518
Schwungmoment GD2 (Nm <sup>2</sup> )	0.367
Gewicht in Richtung	( 0.000, 0.000, -1.000)
Zahnräder als Massen und Steifigkeit berücksichtigt	
Schubverformungen werden berücksichtigt	
Schubkorrekturfaktor	1.100
Ein nichtlineares Wellenmodell wird verwendet	
Wälzlagersteifigkeiten werden aus innerer Lagergeometrie bestimmt	
Toleranzlage: Mittelwert	
Gehäusewerkstoff	C45 (1)
Wärmeausdehnungskoeffizient (10 <sup>-6</sup> /K)	11.500
Gehäusetemperatur (°C)	40.000
Thermische Gehäusereferenzpunkt (mm)	0.000
Referenztemperatur (°C)	20.000

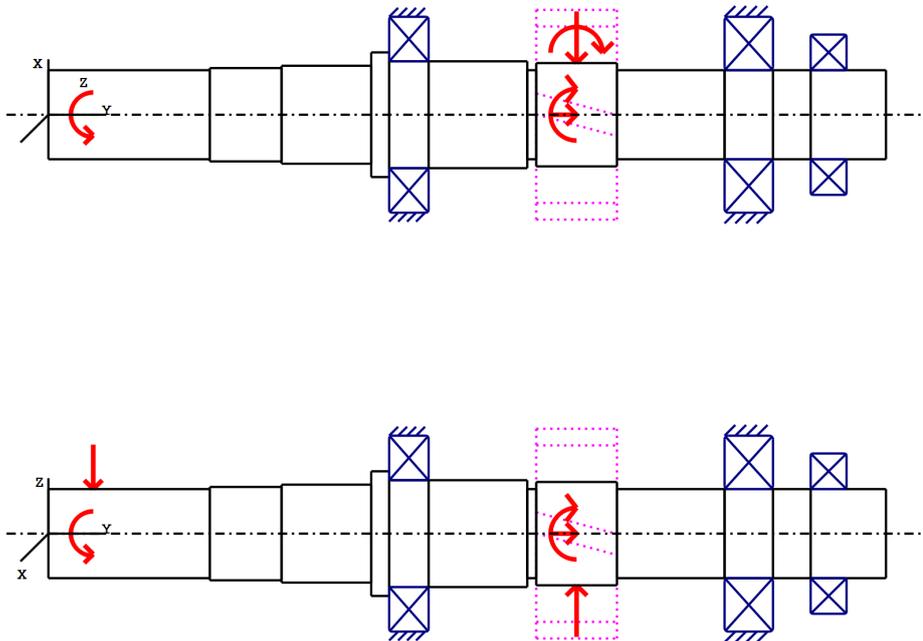


Abbildung: Lasteinleitungen

**Wellendefinition (WelleZ2)**

**Aussenkontur**

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			0.000mm ...	90.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	50.0000		
Länge (mm)	[l]	90.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Radius rechts (Radius rechts)  
 r=5.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			90.000mm ...	130.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	52.4000		
Länge (mm)	[l]	40.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Radius rechts (Radius rechts)  
 r=0.30 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			130.000mm ...	180.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	55.0000		
Länge (mm)	[l]	50.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Radius rechts (Radius rechts)  
 r=5.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Fase links (Fase links)  
 l=2.00 (mm), alpha=15.00 (°)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			180.000mm ...	190.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	70.0000		
Länge (mm)	[l]	10.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			190.000mm ...	212.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	60.0000		
Länge (mm)	[l]	22.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Radius links (Radius links)  
 r=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			212.000mm ...	267.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	60.0000		
Länge (mm)	[l]	55.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			267.000mm ...	272.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	50.0000		
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=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			272.000mm ...	317.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	58.0000		
Länge (mm)	[l]	45.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Keilwelle (Keilwelle) 249.500mm ... 294.500mm  
 da=58.00 (mm), df=52.00 (mm), z=8, Form=A, l=45.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Konus (Konus)</u>			317.000mm ...	377.000mm
Durchmesser links (mm)	[d <sub>l</sub> ]	50.0000		
Durchmesser rechts (mm)	[d <sub>r</sub> ]	50.0000		
Länge (mm)	[l]	60.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Radius links (Radius links)  
 r=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			377.000mm ...	404.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	50.0000		
Länge (mm)	[l]	27.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Zylinder (Zylinder)			404.000mm ...	425.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	50.0000		
Länge (mm)	[l]	21.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Zylinder (Zylinder)			425.000mm ...	467.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	50.0000		
Länge (mm)	[l]	42.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

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

Gewinde (Gewinde) 447.000mm ... 467.000mm  
 t=1.50 (mm), l=20.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

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

Umlaufnut (Umlaufnut)  
 t=3.00 (mm), r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

**Kräfte**

Art des Kräftelements		Zentrische Last
Bezeichnung im Modell		CentralLoad5
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	25.0000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	25.0000
Länge der Kräfteinleitung (mm)		50.0000
Leistung (kW)		0.0000
Drehmoment (Nm)		-0.0000
Axialkraft (N)		0.0000
Querkraft X (N)		0.0000
Querkraft Z (N)		-58.2500
Biegemoment X (Nm)		0.0000
Biegemoment Z (Nm)		0.0000

Art des Kräftelements		Kupplung/Motor
Bezeichnung im Modell		FreilaufZ2(Freilauf)
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	25.0000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	25.0000
Wirkdurchmesser (mm)		50.0000
Radialkraftfaktor (-)		0.0000
Richtung der Radialkraft (°)		0.0000
Axialkraftfaktor (-)		0.0000
Länge der Kräfteinleitung (mm)		50.0000
Leistung (kW)		895.8075 getrieben (Antrieb)
Drehmoment (Nm)		1004.0144
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 Jp (kg*m²)		0.0000

WZ2 4/26

Massenträgheitsmoment Jxx (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Massenträgheitsmoment Jzz (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Exzentrizität (mm)		0.0000
<b>Art des Kraftelements</b>		<b>Stirnrad</b>
Bezeichnung im Modell		Z2(Z1Z2)
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	294.5000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	294.5000
Wälzkreisdurchmesser (mm)		117.7557
Schrägungswinkel (°)		11.9179 rechts
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)		18.9018
Position des Eingriffs (°)		0.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		45.0000
Leistung (kW)		895.8075 treibend (Abtrieb)
Drehmoment (Nm)		-1004.0144
Axialkraft (N)		3599.0748
Querkraft X (N)		-5967.6170
Querkraft Z (N)		17052.4974
Biegemoment X (Nm)		-0.0000
Biegemoment Z (Nm)		211.9058

**Lager**

Bezeichnung im Modell		WelleZ2AxiallagerQJ210MA
Lager Typ		SKF *QJ 210 MA
Lager Bauform		Vierpunktlager
Lager Position (mm)	[ylocal]	435.000
Lager Position (mm)	[yglobal]	435.000
Befestigung Aussenring		Axiallager
Innendurchmesser (mm)	[d]	50.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	90.000
Breite (mm)	[b]	20.000
Eckradius (mm)	[r]	1.100
Anzahl Wälzkörper	[Z]	15
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[Dpw]	70.000
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[Dw]	12.807
Druckwinkel (°)	[α0]	35.000
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	82.946
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	57.101
Krümmungsradius äussere Laufbahn (mm)	[r <sub>o</sub> ]	6.788
Krümmungsradius innere Laufbahn (mm)	[r <sub>i</sub> ]	6.659
Pa = 0.100 (mm)		
Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (*)		
Lagerspiel	DIN 620:1988 C0 (100.00 µm)	
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ]	61.000
Dynamische Tragzahl	[C]	65.500
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ]	2.400
Werte für die approximierte Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	40.156
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	30.637

Bezeichnung im Modell		WelleZ2RadiallagerLinksNU212ECML
Lager Typ		SKF *NU 212 ECML
Lager Bauform		Zylinderrollenlager (einreihig)
Lager Position (mm)	[ylocal]	201.000
Lager Position (mm)	[yglobal]	201.000
Befestigung Aussenring		Loslager
Innendurchmesser (mm)	[d]	60.000

WZ2 5/26

Aussendurchmesser (mm)	[D]	110.000
Breite (mm)	[b]	22.000
Eckradius (mm)	[r]	1.500
Anzahl Wälzkörper	[Z]	8
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	82.212
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	17.869
Länge Wälzkörper (mm)	[L <sub>we</sub> ]	20.715
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	100.085
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	64.339

Pd = 0.055 (mm)

Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (\*)

Lagerspiel	DIN 620:1988 C0 (55.00 µm)
Toleranzlage	Mittelwert
Toleranz	DIN 620:1988 PN
Toleranz der Welle	k5, 60.008 mm (min = 60.002 mm , max = 60.015 mm)
Toleranz der Nabe	K6, 109.993 mm (min = 109.982 mm , max = 110.004 mm)
RzI = 8.00 µm	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Innenring)
RzO = 8.00 µm	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Aussenring)
Änderung Lagerspiel durch: n = 0 (1/min)	
Press-Sitz	-8.95 µm
Temperatur	-52.74 µm
Gesamte Lagerspieländerung	-47.12 µm, ni = 8520.13 (1/min), no = 0 (1/min)
Betriebslagerspiel	55.00 µm + (-47.12 µm) = 7.88 µm
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ] 102.000
Dynamische Tragzahl	[C] 108.000
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ] 13.400
Werte für die approximierte Geometrie:	
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ] 107.941
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ] 101.973

Bezeichnung im Modell	WelleZ2RadiallagerRechtsNU310ECML
Lager Typ	SKF *NU 310 ECML
Lager Bauform	Zylinderrollenlager (einreihig)
Lager Position (mm)	[l <sub>lokal</sub> ] 390.500
Lager Position (mm)	[l <sub>global</sub> ] 390.500
Befestigung Aussenring	Loslager
Innendurchmesser (mm)	[d] 50.000
Aussendurchmesser (mm)	[D] 110.000
Breite (mm)	[b] 27.000
Eckradius (mm)	[r] 2.000
Anzahl Wälzkörper	[Z] 7
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ] 77.376
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ] 21.640
Länge Wälzkörper (mm)	[L <sub>we</sub> ] 23.324
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ] 99.018
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ] 55.734

Pd = 0.045 (mm)

Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (\*)

Lagerspiel	DIN 620:1988 C0 (45.00 µm)
Toleranzlage	Mittelwert
Toleranz	DIN 620:1988 PN
Toleranz der Welle	k5, 50.008 mm (min = 50.002 mm , max = 50.013 mm)
Toleranz der Nabe	K6, 109.993 mm (min = 109.982 mm , max = 110.004 mm)
RzI = 8.00 µm	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Innenring)
RzO = 8.00 µm	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Aussenring)
Änderung Lagerspiel durch: n = 0 (1/min)	
Press-Sitz	-6.36 µm
Temperatur	-47.70 µm

Gesamte Lagerspieländerung	-42.19 µm, ni = 8520.13 (1/min), no = 0 (1/min)	
Betriebslagerspiel	45.00 µm + (-42.19 µm) = 2.81 µm	
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ]	112.000
Dynamische Tragzahl	[C]	127.000
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ]	15.000
Werte für die approximierte Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	126.990
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	111.980

Welle 'WelleZ2': Stirnrad 'Z2(Z1Z2)' (y= 294.5000 (mm)) wird als fester Bestandteil der Welle berücksichtigt.  
 EI (y= 272.0000 (mm)): 114432.4229 (Nm<sup>2</sup>), EI (y= 317.0000 (mm)): 114432.4229 (Nm<sup>2</sup>), m (yS= 294.5000 (mm)): 2.9064 (kg)  
 Jp: 0.0063 (kg\*m<sup>2</sup>), Jxx: 0.0036 (kg\*m<sup>2</sup>), Jzz: 0.0036 (kg\*m<sup>2</sup>)

**Resultate**

**Welle**

Maximale Durchbiegung (mm)	0.044
Position des Maximums (mm)	317.000
Massenschwerpunkt (mm)	231.657
Summe der axialen Belastung (N)	3599.075
Verdrehung unter Drehmoment (°)	-0.210

**Lager**

Ausfallwahrscheinlichkeit	[n]	1.00	%
Axialspiel	[u <sub>A</sub> ]	10.00	µm
Schmierstoff	Öl: Klübersynth GEM 4-680 N		
Schmierstoff mit Additivierung, dessen Wirksamkeit in Wälzlagern geprüft wurde.			
Ölschmierung mit Filterung, ISO4406 -/13/10			
Schmierstoff - Betriebstemperatur	[T <sub>B</sub> ]	80.00	°C
Grenzwert für Faktor aISO	[a <sub>ISOmax</sub> ]	50.00	
Ölstand	[h <sub>oil</sub> ]	0.00	mm
Öl-Einspritzschmierung			

Wälzlagersteifigkeiten aus innerer Geometrie

**Welle 'WelleZ2' Wälzlager 'WelleZ2AxiallagerQJ210MA'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	435.00	mm
Äquivalente Belastung	[P]	3.85	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	2.09	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>ISO</sub> ]	50.000	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	2406.26	h
Lebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	120313.01	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.86	
Betriebsviskosität	[v]	117.76	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	5.83	mm <sup>2</sup> /s

WZ2 7/26

Viskositätsverhältnis	[κ]	20.21	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	1.574	µm
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	[-]	0.192	
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	29.22	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	2141.20	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	107060.01	h
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	-0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	-3.599	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	44.99	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	14.75	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	47.35	Nm (18.15°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.280	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.120	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	0.400	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	356.829	W
Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.			
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff µ <sub>bl</sub> =0.15 gerechnet.			
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-7.093	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	168.121	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	10.302	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.013	µm (124.55°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.255	mrاد (-0.88')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	-3.672	mrاد (-12.62')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	-0.084	mrاد (-0.29')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.269	mrاد (0.92')

**Welle 'WelleZ2' Wälzlager 'WelleZ2RadiallagerLinksNU212ECML'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	201.00	mm
Äquivalente Belastung	[P]	8.40	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	8.40	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>1SO</sub> ]	50.000	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	2435.88	h
Lebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	121794.15	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.87	
Betriebsviskosität	[ν]	117.76	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[ν <sub>1</sub> ]	5.29	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[κ]	22.27	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	2.356	µm
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	12.14	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	7919.78	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	284831.79	h
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	1.822	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	-8.199	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	8.399	kN (-77.47°)
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	-3.30	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	-1.08	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	3.47	Nm (-161.95°)
Ölstand	[H]	0.000	mm

Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.451	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.022	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	0.472	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	421.507	W
Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.			
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff $\mu_{bl}=0.15$ gerechnet.			
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-6.019	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	7.754	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	23.968	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.025	$\mu\text{m}$ (104.1°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	0.232	mrاد (0.8')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	-2.896	mrاد (-9.96')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	0.108	mrاد (0.37')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.256	mrاد (0.88')

**Welle 'WelleZ2' Wälzlager 'WelleZ2RadiallagerRechtsNU310ECML'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	390.50	mm
Äquivalente Belastung	[P]	9.62	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	9.62	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>ISO</sub> ]	50.000	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	2655.81	h
Lebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	132790.56	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.87	
Betriebsviskosität	[v]	117.76	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	5.45	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[k]	21.60	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	2.277	$\mu\text{m}$
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	11.64	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	9347.42	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	321601.38	h
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	4.145	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	-8.685	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	9.624	kN (-64.49°)
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	4.67	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	2.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	5.08	Nm (23.18°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.499	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.023	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	0.522	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	465.712	W
Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.			
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff $\mu_{bl}=0.15$ gerechnet.			
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-11.050	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	137.814	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	22.373	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.025	$\mu\text{m}$ (116.28°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.287	mrاد (-0.99')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	-3.672	mrاد (-12.62')

Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	-0.094	mrاد (-0.32°)
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.302	mrاد (1.04°)

(\*) Hinweis zu Wälzlager mit approximierter Lagergeometrie:

Die innere Geometrie von diesen Lagern ist nicht in der Datenbank eingetragen.

Die Geometrie wird nach ISO281 aus C und C0 (Angaben im Katalog des Herstellers) rückwärts gerechnet.

Die Geometrie kann deshalb von der wirklichen Geometrie abweichen.

Dies kann in gewissen Fällen deutliche Unterschiede bei der Wälzlagersteifigkeit bewirken.

Ausnutzung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer [H] ( 20000.000)

B1	B2	B3
0.55	0.58	0.57

B1: WelleZ2AxiallagerQJ210MA

B2: WelleZ2RadiallagerLinksNU212ECML

B3: WelleZ2RadiallagerRechtsNU310ECML

Verschiebung [mm]

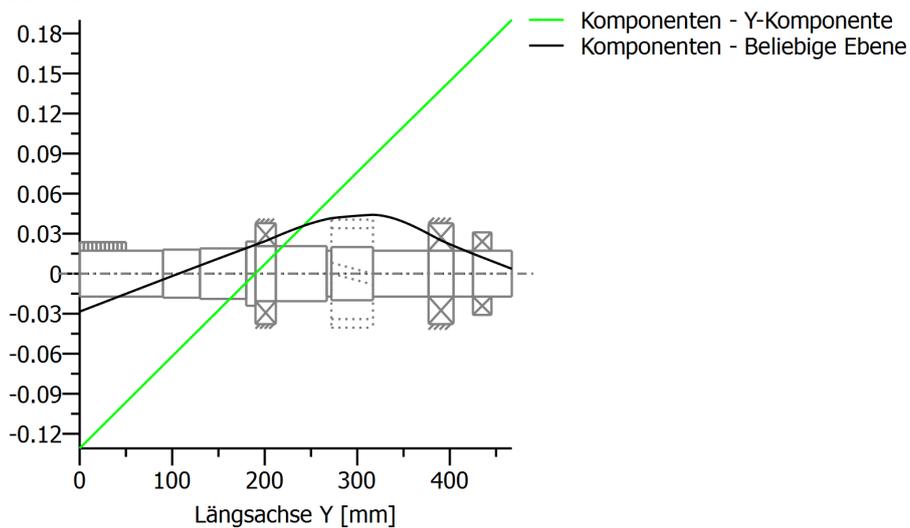
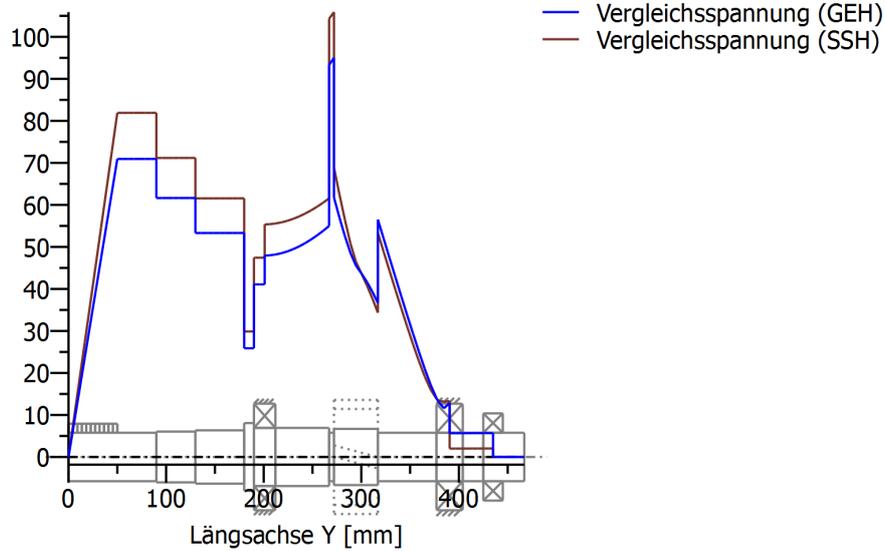


Abbildung: Verformung (Biegelinien etc.) (Beliebige Ebene 111.9249741 120)

Spannung [N/mm<sup>2</sup>]



GEH(von Mises):  $\text{sigV} = ((\text{sigB} + \text{sigZ}, \text{D})^2 + 3 * (\text{tauT} + \text{tauS})^2)^{1/2}$  SSH(Tresca):  $\text{sigV} = ((\text{sigB} - \text{sigZ}, \text{D})^2 + 4 * (\text{tauT} + \text{tauS})^2)^{1/2}$   
 Abbildung: Vergleichsspannung

**Eigenfrequenzen/Kritische Drehzahlen**

1. Eigenfrequenz:	0.00 Hz, Kritische Drehzahl:	0.00 1/min	Starrkörperrotation Y 'WelleZ2'
2. Eigenfrequenz:	626.96 Hz, Kritische Drehzahl:	37617.77 1/min	Biegung XY 'WelleZ2'
3. Eigenfrequenz:	676.68 Hz, Kritische Drehzahl:	40601.01 1/min	Biegung YZ 'WelleZ2'
4. Eigenfrequenz:	770.69 Hz, Kritische Drehzahl:	46241.19 1/min	Axial 'WelleZ2'
5. Eigenfrequenz:	1382.00 Hz, Kritische Drehzahl:	82920.26 1/min	Biegung XY 'WelleZ2'

Normierte Verschiebung

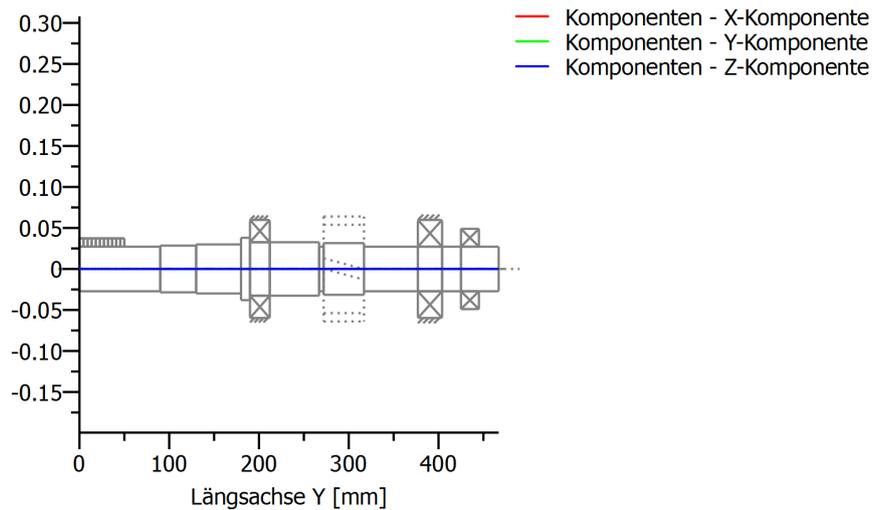


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 1. (0 Hz))

Normierte Verschiebung

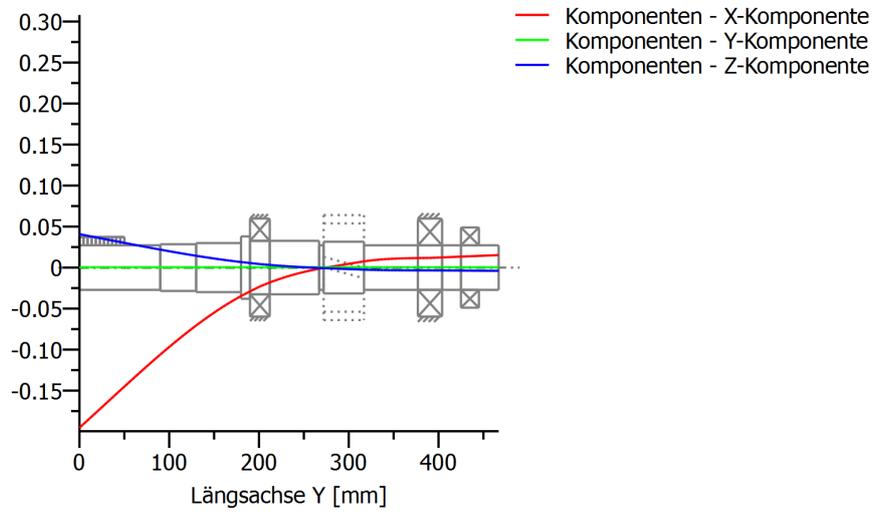


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 2. (626.96 Hz))

Normierte Verschiebung

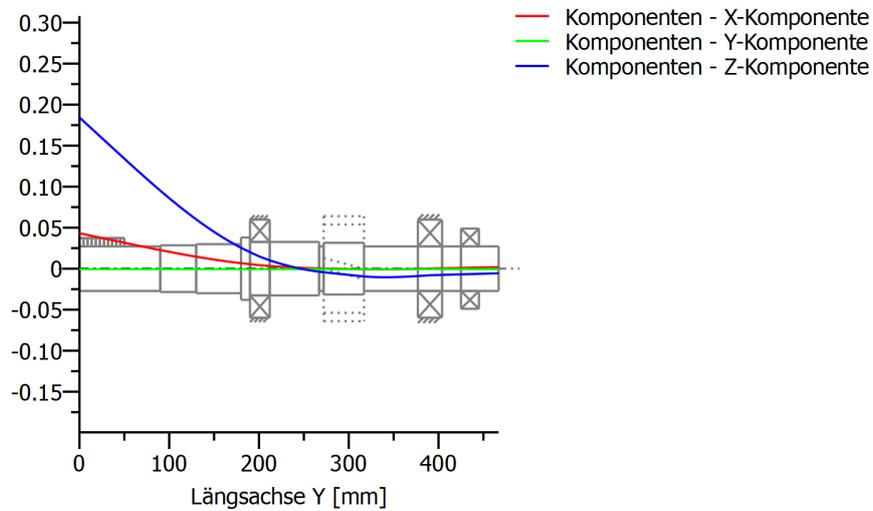


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 3. (676.68 Hz))

Normierte Verschiebung

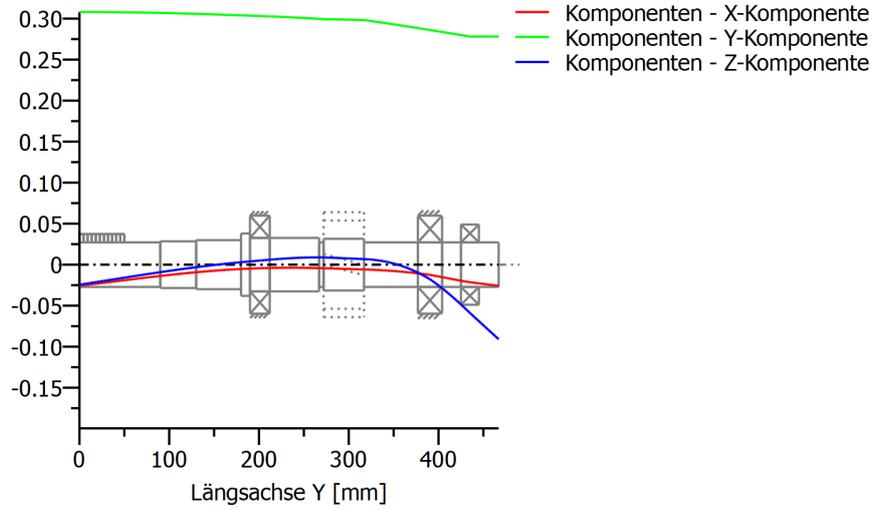


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 4. (770.69 Hz))

Normierte Verschiebung

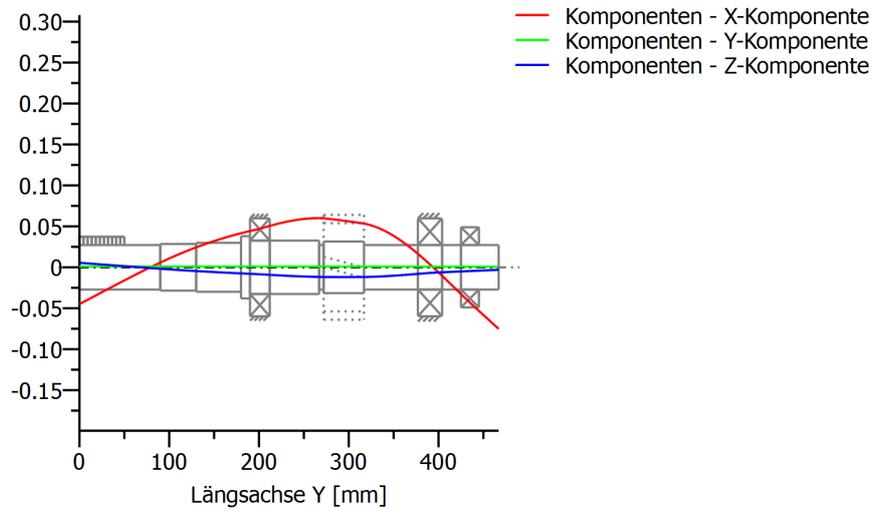


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 5. (1382 Hz))

**Festigkeitsberechnung nach DIN 743:2012**

**Zusammenfassung**

**WelleZ2**

Werkstoff	C45 (1)
Werkstoffart	Vergütungsstahl
Werkstoff-Behandlung	unlegiert, vergütet
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)	
Absatz Keilwelle rechts	317.00	Wellenabsatz
Wellenabsatz Kupplung	90.00	Wellenabsatz
WellenschulterLinks	180.00	Wellenabsatz
Festlager	377.00	Glatte Welle
Loslager	212.00	Glatte Welle
Freistich links	267.00	Wellenabsatz
Freistich rechts	272.00	Wellenabsatz
AbsatzRWD	130.00	Wellenabsatz
WellenschulterRechts	190.00	Wellenabsatz

Resultate:

Querschnitt	Kfb	Kf <sub>σ</sub>	K2d	SD	SS
Absatz Keilwelle rechts	2.10	0.91	0.87	2.12	5.72
Wellenabsatz Kupplung	1.12	0.91	0.87	5.23	3.77
WellenschulterLinks	1.56	0.91	0.87	6.20	5.01
Festlager	1.00	0.91	0.87	31.73	63.33
Loslager	1.00	0.91	0.86	9.09	6.47
Freistich links	2.16	0.91	0.87	1.97	3.24
Freistich rechts	2.10	0.91	0.87	1.91	3.17
AbsatzRWD	2.26	0.91	0.87	4.67	4.34
WellenschulterRechts	2.25	0.91	0.86	6.73	6.51

Sollsicherheiten: 1.20 1.20

Abkürzungen:

- Kfb: Kerbfaktor Biegung
- Kf<sub>σ</sub>: Oberflächenfaktor
- K2d: Grössenfaktor Biegung
- SD: Sicherheit Dauerfestigkeit
- SS: Sicherheit Streckgrenze

**Ausnutzung (%A) [Smin/S]**

Querschnitt	Statisch	Dauerfest
Absatz Keilwelle rechts	20.976	56.730
Wellenabsatz Kupplung	31.847	22.960

WZ2 14/26

---

WellenschulterLinks	23.929	19.352	
Festlager	1.895	3.782	
Loslager	18.559	13.202	
Freistich links	37.083	60.906	
Freistich rechts	37.828	62.740	
AbsatzRWD	27.669	25.680	
WellenschulterRechts	18.431	17.844	
Maximale Ausnutzung (%)	[A]	62.740	



[σSeff] (N/mm <sup>2</sup> )	378.22
[σbF] (N/mm <sup>2</sup> )	453.87
[τtF] (N/mm <sup>2</sup> )	262.04
[σBRand] (N/mm <sup>2</sup> )	628.00

[σzdW] (N/mm <sup>2</sup> )	231.16
[σbW] (N/mm <sup>2</sup> )	288.94
[τtW] (N/mm <sup>2</sup> )	173.37

Dauerfestigkeit für Einstufenbeanspruchung

Berechnung für Beanspruchungsfall 2 (σ.av/σ.mv = konst)

<b>Querschnitt 'Absatz Keilwelle rechts'</b>	<b>Wellenabsatz</b>			
Kommentar				
Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		317.00	
Aussendurchmesser (mm)	[da]		50.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]		0.000	
Kerbwirkung	Wellenabsatz			
[D, r, t] (mm)	58.000	1.000	0.000	
Mittlere Rauheit (µm)		[Rz]		8.000
		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		-1799.5	0.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		1799.5	657.0	0.0
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		-6118.4	1116.8	0.0
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]		1963.5	12271.8	24543.7
Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )				
[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )		-0.916	0.000	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )		0.916	53.534	0.000
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )		-3.116	91.009	0.000
Technologischer Grösseneinfluss				
	[K1(sB)]	0.826		
	[K1(sS)]	0.772		
		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	2.807	2.564	1.761
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	2.530	2.530	1.150
Stützziffer	[n]	1.219	1.219	1.148
Kerbwirkungszahl	[β]	2.302	2.104	1.535
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.873	0.873
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.908	0.908	0.947
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.403	2.510	1.813
Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:				
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		-0.916	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		0.000	
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )				
	[σWK]	96.188	115.135	95.636
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.091	0.111	0.090
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	105.791	115.353	95.636

WZ2 17/26

Sicherheit gegen Ermüdung	[S]	2.115
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]	1.200
Resultat (%)	[S/Smin]	176.3

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.200	1.200
Erhöhungsfaktor	[yF]	1.100	1.100	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	416.043	499.252	262.039
Sicherheit Fließgrenze	[S]		5.721	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		476.7	

**Querschnitt 'Wellenabsatz Kupplung'**

**Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	90.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]	50.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	0.000
Kerbwirkung	Wellenabsatz	
[D, r, t] (mm)	52.400 5.000 0.000	
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]	8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-0.0	0.0	502.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	4.5	502.0	71.8
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-0.0	7.6	1706.8	122.1
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	1963.5	12271.8	24543.7	1963.5

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.000	20.454	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.366	20.454	0.049
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.622	69.542	0.083

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.826
	[K1(sS)]	0.772

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	1.528	1.235	1.166
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	0.576	0.576	0.230
Stützziffer	[n]	1.104	1.104	1.066
Kerbwirkungszahl	[β]	1.383	1.118	1.094
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.873	0.873
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.908	0.908	0.947
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.484	1.381	1.308

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	35.427
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]	20.454

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	155.771	209.162	132.524
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.156	0.221	0.130
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.011	4.637	117.328
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		5.226	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		435.5	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.200	1.200
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.050	1.000	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	397.132	453.865	262.039
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		3.768	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		314.0	

**Querschnitt 'WellenschulterLinks' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		180.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]		55.000
Innendurchmesser (mm)	[di]		0.000
Kerbwirkung Wellenabsatz			
[D, r, t] (mm)	70.000	5.000	0.000
Mittlere Rauheit (µm)		[Rz]	8.000

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		-0.0	0.0	502.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		0.0	11.6	502.0	87.6
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		-0.0	19.8	1706.8	148.9
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		2375.8	16333.8	32667.7	2375.8

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )		-0.000	0.000	15.367	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	0.713	15.367	0.049
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )		-0.000	1.212	52.248	0.084

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.826
	[K1(sS)]	0.772

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	1.876	1.719	1.367
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	0.527	0.527	0.230
Stützziffer	[n]	1.100	1.100	1.066
Kerbwirkungszahl	[β]	1.706	1.563	1.282
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.867	0.867
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.908	0.908	0.947
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.807	1.904	1.534

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

WZ2 19/26

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		26.617	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		15.367	
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	127.944	151.776	113.000
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.124	0.151	0.108
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.015	12.430	101.952
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		6.201	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		516.7	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.200	1.200
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.050	1.050	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	397.132	476.559	262.039
Sicherheit Fließgrenze	[S]		5.015	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		417.9	

**Querschnitt 'Festlager' Glatte Welle**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	377.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]	50.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	0.000
Kerbwirkung Glatte Welle		
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]	8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-1799.5	0.0	0.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	1799.5	78.7	0.0	9636.1
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-6118.4	133.8	0.0	16381.3
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	1963.5	12271.8	24543.7	1963.5

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.916	0.000	0.000	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.916	6.415	0.000	6.543
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	-3.116	10.906	0.000	11.124

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.826
	[K1(sS)]	0.772

	Zug/Druck	Biegung	Torsion
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.873
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.908	0.908
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.101	1.246

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	-0.916
---	-------	--------

WZ2 20/26

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[rmV]		0.000	
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	209.992	231.934	144.401
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.222	0.251	0.143
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	189.111	240.562	144.401
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		31.732	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		2644.3	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.200	1.200
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	378.221	453.865	262.039
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		63.329	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		5277.5	

**Querschnitt 'Loslager' Glatte Welle**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	212.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]	60.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	0.000
Kerbwirkung Glatte Welle		
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]	8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-0.0	0.0	502.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	103.2	502.0	8492.1
Maximalwert [Fzdmax, Mbmmax, Tmax, Fqmax]	-0.0	175.5	1706.8	14436.6
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	2827.4	21205.8	42411.5	2827.4

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.000	11.837	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	4.868	11.837	4.005
[σzdmax, σbmmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	8.275	40.244	6.808

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.826
	[K1(sS)]	0.772

	Zug/Druck	Biegung	Torsion
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.861
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.908	0.908
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.101	1.262

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	20.502
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[rmV]	11.837

WZ2 21/26

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	209.992	228.960	142.480
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.222	0.247	0.141
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.018	87.086	124.916
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		9.090	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		757.5	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.200	1.200
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	378.221	453.865	262.039
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		6.466	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		538.8	

Querschnitt 'Freistich links'

Wellenabsatz

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		267.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]		50.000
Innendurchmesser (mm)	[di]		0.000
Kerbwirkung	Wellenabsatz		
[D, r, t] (mm)	60.000	1.000	0.000
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]		8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-0.0	0.0	502.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	570.6	502.0	8503.8
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-0.0	970.0	1706.8	14456.4
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	1963.5	12271.8	24543.7	1963.5

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

[σzdm, obm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.000	20.454	0.000
[σzda, oba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	46.494	20.454	5.775
[σzdmax, obmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	79.040	69.542	9.817

Technologischer Grösseneinfluss

[K1(sB)]	0.826
[K1(sS)]	0.772

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Formzahl	[a]	2.905	2.630	1.807
Bezogenes Spannungsgefälle	[G]	2.510	2.510	1.150
Stützziffer	[n]	1.218	1.218	1.148
Kerbwirkungszahl	[β]	2.385	2.159	1.575
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.873	0.873
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.908	0.908	0.947
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.486	2.573	1.859

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		35.427
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		20.454

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	92.982	112.288	93.282
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.087	0.108	0.088
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.012	103.779	85.753
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		1.970	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		164.2	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.200	1.200
Erhöhungsfaktor	[yF]	1.100	1.100	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	416.043	499.252	262.039
Sicherheit Fließgrenze	[S]		3.236	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		269.7	

**Querschnitt 'Freistich rechts'**

**Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		272.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]		50.000
Innendurchmesser (mm)	[di]		0.000
Kerbwirkung	Wellenabsatz		
[D, r, t] (mm)	58.000	1.000	0.000
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]		8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-0.0	0.0	502.0	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	613.1	502.0	8504.5
Maximalwert	[Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-0.0	1042.3	1706.8	14457.7
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		1963.5	12271.8	24543.7	1963.5

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.000	20.454	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	49.959	20.454	5.775
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	84.930	69.542	9.818

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.826
	[K1(sS)]	0.772

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Formzahl	[a]	2.807	2.564	1.761
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	2.530	2.530	1.150
Stützziffer	[n]	1.219	1.219	1.148
Kerbwirkungszahl	[β]	2.302	2.104	1.535
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.873	0.873
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.908	0.908	0.947

WZ2 23/26

Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.403	2.510	1.813

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		35.427	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		20.454	

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	96.188	115.135	95.636
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.091	0.111	0.090
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.012	106.759	87.722
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		1.913	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		159.4	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.200	1.200
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.100	1.100	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	416.043	499.252	262.039
Sicherheit Fließgrenze	[S]		3.172	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		264.4	

**Querschnitt 'AbsatzRWD' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		130.00	
Aussendurchmesser (mm)	[da]		52.400	
Innendurchmesser (mm)	[di]		0.000	
Kerbwirkung Wellenabsatz				
[D, r, t] (mm)		55.000	0.300	0.000
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]			8.000

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		-0.0	0.0	502.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		0.0	7.5	502.0	78.4
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		-0.0	12.7	1706.8	133.4
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		2156.5	14125.2	28250.3	2156.5

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )		-0.000	0.000	17.770	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	0.530	17.770	0.049
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )		-0.000	0.902	60.418	0.082

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.826			
	[K1(sS)]	0.772			

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	3.331	3.165	1.972
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	8.409	8.409	3.833
Stützziffer	[n]	1.399	1.399	1.270

WZ2 24/26

Kerbwirkungszahl	[β]	2.381	2.262	1.554
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.870	0.870
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.908	0.908	0.947
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.481	2.700	1.841

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		30.778	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		17.770	

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	93.159	107.011	94.180
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.088	0.102	0.089
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.014	8.843	86.505
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 Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.200	1.200
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.150	1.150	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	434.954	521.945	262.039
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		4.337	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		361.4	

**Querschnitt 'WellenschulterRechts' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		190.00	
Aussendurchmesser (mm)	[da]		60.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]		0.000	
Kerbwirkung Wellenabsatz				
[D, r, t] (mm)	70.000	1.000	0.000	
Mittlere Rauheit (µm)		[Rz]	8.000	

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-0.0	0.0	502.0	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	12.5	502.0	90.5
Maximalwert	[Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-0.0	21.3	1706.8	153.9
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		2827.4	21205.8	42411.5	2827.4

Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )					
[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )		-0.000	0.000	11.837	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	0.591	11.837	0.043
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )		-0.000	1.005	40.244	0.073

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.826		
	[K1(sS)]	0.772		

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Formzahl	[a]	3.006	2.736	1.848
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	2.510	2.510	1.150
Stützziffer	[n]	1.218	1.218	1.148
Kerbwirkungszahl	[β]	2.468	2.246	1.610
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.861	0.861
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.908	0.908	0.947
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.568	2.709	1.925

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		20.502	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		11.837	

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	90.002	106.660	90.038
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.084	0.102	0.084
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.021	13.990	83.024
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		6.725	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		560.4	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.200	1.200
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.150	1.100	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	434.954	499.252	262.039
Sicherheit Fließgrenze	[S]		6.511	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		542.6	

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 DIN743. 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: 1208

### B.9 Welle und Lager WelleZ3

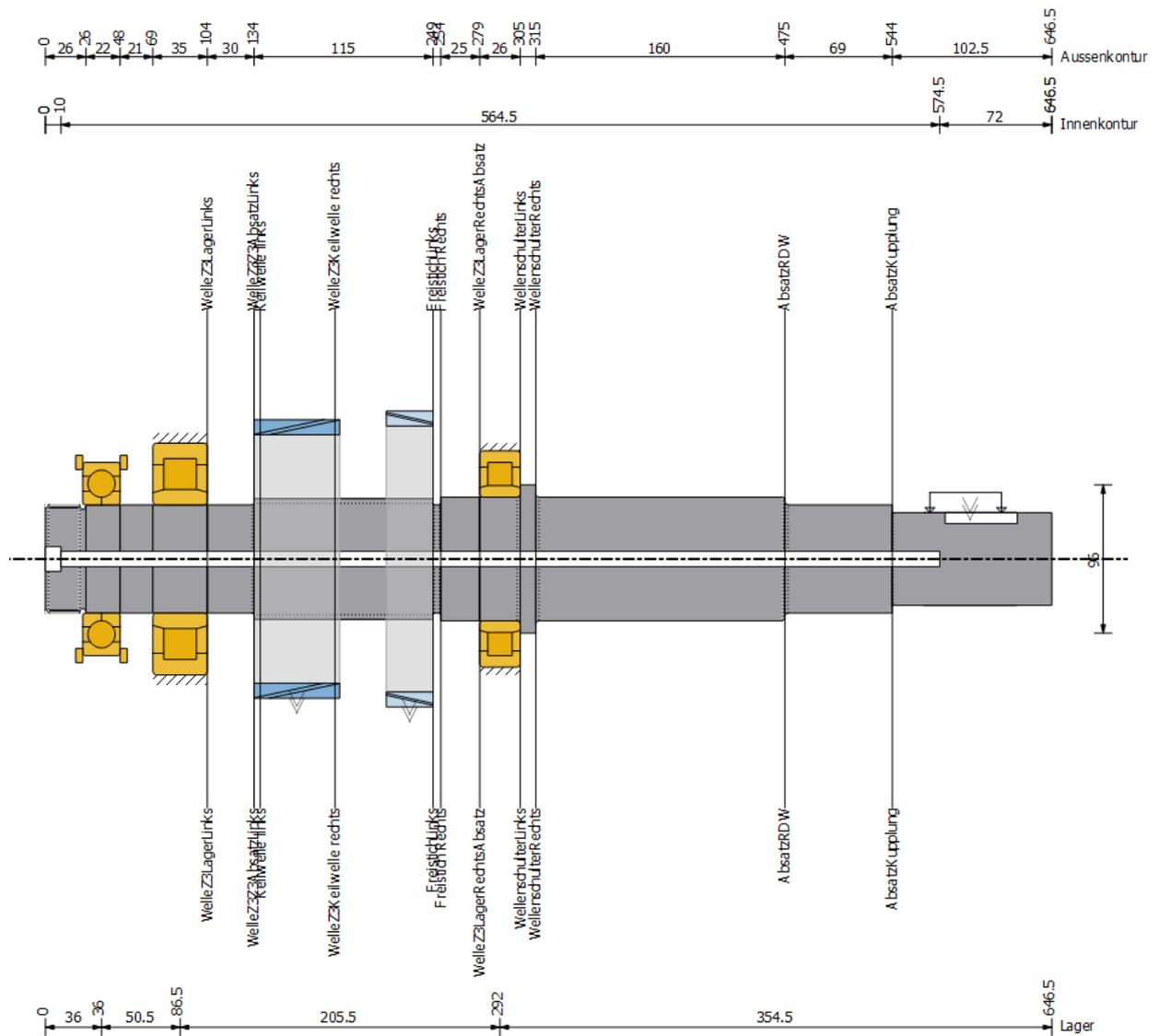


Abbildung B.5: WelleZ3

**Berechnung von Wellen, Achsen und Trägern****Eingabedaten**

Koordinatensystem Welle: siehe Bild W-002

Bezeichnung	WelleZ3
Zeichnung	
Startposition (mm)	0.000
Länge (mm)	646.500
Drehzahl (1/min)	2906.87
Drehrichtung: gegen den Uhrzeigersinn	
Werkstoff	C45 (1)
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)	80.000
Gewicht der Welle (kg)	21.348
(Hinweis: Gewicht gilt für die Welle ohne Berücksichtigung der Zahnräder)	
Gewicht der Welle, inklusive zusatzmassen (kg)	34.100
Massenträgheitsmoment (kg*m <sup>2</sup> )	0.074
Schwungmoment GD2 (Nm <sup>2</sup> )	2.901
Gewicht in Richtung	( 0.000, 0.000, -1.000)
Zahnräder als Massen berücksichtigt	
Schubverformungen werden berücksichtigt	
Schubkorrekturfaktor	1.100
Ein nichtlineares Wellenmodell wird verwendet	
Wälzlagersteifigkeiten werden aus innerer Lagergeometrie bestimmt	
Toleranzlage: Mittelwert	
Gehäusewerkstoff	C45 (1)
Wärmeausdehnungskoeffizient (10 <sup>-6</sup> /K)	11.500
Gehäusetemperatur (°C)	40.000
Thermische Gehäusereferenzpunkt (mm)	0.000
Referenztemperatur (°C)	20.000

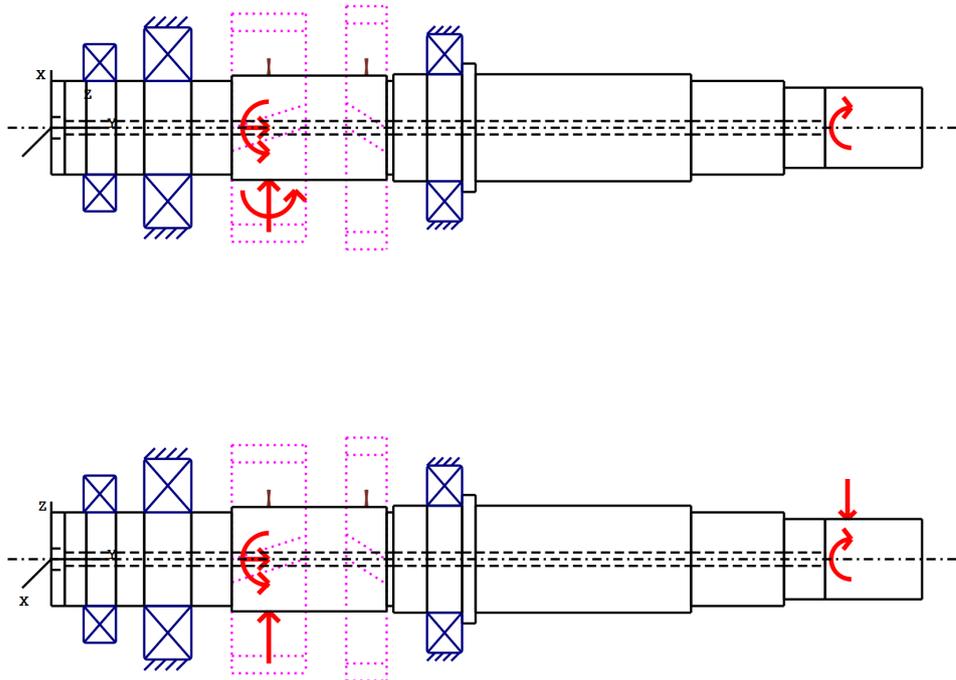


Abbildung: Lasteinleitungen

**Wellendefinition (WelleZ3)**

**Aussenkontur**

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			0.000mm ...	26.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	70.0000		
Länge (mm)	[l]	26.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

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

Gewinde (Gewinde) 0.000mm ... 24.000mm  
 t=2.00 (mm), l=24.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Umlaufnut (Umlaufnut)  
 t=3.00 (mm), r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

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

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			26.000mm ...	48.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	70.0000		
Länge (mm)	[l]	22.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			48.000mm ...	69.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	70.0000		
Länge (mm)	[l]	21.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

WZ3 2/30

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			69.000mm ...	104.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	70.0000		
Länge (mm)	[l]	35.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			104.000mm ...	134.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	70.0000		
Länge (mm)	[l]	30.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Radius rechts (Radius rechts)  
 r=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			134.000mm ...	249.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	78.0000		
Länge (mm)	[l]	115.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Keilwelle (Keilwelle) 76.500mm ... 191.500mm  
 da=78.00 (mm), df=72.00 (mm), z=10, Form=A, l=115.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			249.000mm ...	254.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	70.0000		
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=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			254.000mm ...	279.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	80.0000		
Länge (mm)	[l]	25.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Radius rechts (Radius rechts)  
 r=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			279.000mm ...	305.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	80.0000		
Länge (mm)	[l]	26.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

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

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			305.000mm ...	315.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	96.0000		
Länge (mm)	[l]	10.0000		

Rauhigkeit (µm) [Rz] 8.0000

Zylinder (Zylinder) 315.000mm ... 475.000mm

Durchmesser (mm) [d] 80.0000  
 Länge (mm) [l] 160.0000  
 Rauhigkeit (µm) [Rz] 8.0000

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

Fase rechts (Fase rechts)  
 l=1.00 (mm), alpha=45.00 (°)

Zylinder (Zylinder) 475.000mm ... 544.000mm

Durchmesser (mm) [d] 70.0000  
 Länge (mm) [l] 69.0000  
 Rauhigkeit (µm) [Rz] 8.0000

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

Zylinder (Zylinder) 544.000mm ... 646.500mm

Durchmesser (mm) [d] 60.0000  
 Länge (mm) [l] 102.5000  
 Rauhigkeit (µm) [Rz] 8.0000

Passfedernut (Passfedernut) 578.000mm ... 624.350mm  
 l=46.35 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Radius links (Radius links)  
 r=0.50 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

**Innenkontur**

Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung) 0.000mm ... 10.000mm

Durchmesser (mm) [d] 16.0000  
 Länge (mm) [l] 10.0000  
 Rauhigkeit (µm) [Rz] 8.0000

Zylindrische Bohrung (Zylindrische Bohrung) 10.000mm ... 574.500mm

Durchmesser (mm) [d] 10.0000  
 Länge (mm) [l] 564.5000  
 Rauhigkeit (µm) [Rz] 8.0000

**Kräfte**

Art des Kraftelements		Zentrische Last
Bezeichnung im Modell		CentralLoad3
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	591.1750
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	591.1750
Länge der Krafteinleitung (mm)		46.0000
Leistung (kW)		0.0000
Drehmoment (Nm)		0.0000
Axialkraft (N)		0.0000
Querkraft X (N)		0.0000

WZ3 4/30

Querkraft Z (N)		-180.0000
Biegemoment X (Nm)		0.0000
Biegemoment Z (Nm)		0.0000
<b>Art des Kraftelements</b>		<b>Stirnrad</b>
Bezeichnung im Modell		Z3(Z3Z4)
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	161.5000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	161.5000
Wälzkreisdurchmesser (mm)		170.5427
Schrägungswinkel (°)		11.9179 links
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)		18.9018
Position des Eingriffs (°)		180.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		55.0000
Leistung (kW)		898.3425 treibend (Abtrieb)
Drehmoment (Nm)		2951.1287
Axialkraft (N)		7304.4544
Querkraft X (N)		12111.4995
Querkraft Z (N)		34608.6692
Biegemoment X (Nm)		-0.0000
Biegemoment Z (Nm)		-622.8609

<b>Art des Kraftelements</b>		<b>Kupplung/Motor</b>
Bezeichnung im Modell		Z3Lamellenkupplung(LamellenkupplungZ1Z3)
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	594.0000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	594.0000
Wirkdurchmesser (mm)		60.0000
Radialkraftfaktor (-)		0.0000
Richtung der Radialkraft (°)		0.0000
Axialkraftfaktor (-)		0.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		60.0000
Leistung (kW)		898.3425 getrieben (Antrieb)
Drehmoment (Nm)		-2951.1287
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 Jp (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Massenträgheitsmoment Jxx (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Massenträgheitsmoment Jzz (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Exzentrizität (mm)		0.0000

<b>Art des Kraftelements</b>		<b>Stirnrad</b>
Bezeichnung im Modell		Z7(Z7Z8)
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	234.0000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	234.0000
Wälzkreisdurchmesser (mm)		181.7560
Schrägungswinkel (°)		12.1853 rechts
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)		22.2384
Position des Eingriffs (°)		0.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		30.0000
Leistung (kW)		0.0000
Drehmoment (Nm)		0.0000
Axialkraft (N)		0.0000
Querkraft X (N)		0.0000
Querkraft Z (N)		0.0000
Biegemoment X (Nm)		0.0000
Biegemoment Z (Nm)		-0.0000

WZ3 5/30

**Lager**

Bezeichnung im Modell		WelleZ3AxiallagerQJ214N2MA
Lager Typ		SKF *QJ 214 N2MA
Lager Bauform		Vierpunktlager
Lager Position (mm)	[Ylokal]	36.000
Lager Position (mm)	[Yglobal]	36.000
Befestigung Aussenring		Axiallager
Innendurchmesser (mm)	[d]	70.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	125.000
Breite (mm)	[b]	24.000
Eckradius (mm)	[r]	1.500
Anzahl Wälzkörper	[Z]	14
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[Dpw]	97.500
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[Dw]	18.612
Druckwinkel (°)	[α0]	35.000
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	116.314
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	78.753
Krümmungsradius äussere Laufbahn (mm)	[r <sub>o</sub> ]	9.864
Krümmungsradius innere Laufbahn (mm)	[r <sub>i</sub> ]	9.678
Pa =		0.113 (mm)
Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (*)		
Lagerspiel	DIN 620:1988 C0 (112.50 µm)	
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ]	122.000
Dynamische Tragzahl	[C]	120.000
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ]	4.800
Werte für die approximierte Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	75.416
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	59.625

Bezeichnung im Modell		WelleZ3RadiallagerNU314ECP
Lager Typ		SKF *NU 314 ECP
Lager Bauform		Zylinderrollenlager (einreihig)
Lager Position (mm)	[Ylokal]	86.500
Lager Position (mm)	[Yglobal]	86.500
Befestigung Aussenring		Loslager
Innendurchmesser (mm)	[d]	70.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	150.000
Breite (mm)	[b]	35.000
Eckradius (mm)	[r]	2.100
Anzahl Wälzkörper	[Z]	8
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[Dpw]	106.392
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[Dw]	28.007
Länge Wälzkörper (mm)	[L <sub>we</sub> ]	31.385
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	134.403
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	78.381
Pd =		0.058 (mm)
Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (*)		
Lagerspiel	DIN 620:1988 C0 (57.50 µm)	
Toleranzlage	Mittelwert	
Toleranz	DIN 620:1988 PN	
Toleranz der Welle	0.00 µm (70.000 mm)	
Toleranz der Nabe	0.00 µm (150.000 mm)	
RzI =	8.00 µm (Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Innenring)	
RzO =	8.00 µm (Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Aussenring)	
Änderung Lagerspiel durch: n = 0 (1/min)		
Press-Sitz		-0.98 µm

WZ3 6/30

Temperatur	-55.61 µm	
Gesamte Lagerspieländerung	-50.00 µm, ni = 2906.87 (1/min), no = 0 (1/min)	
Betriebslagerspiel	57.50 µm + (-50.00 µm) = 7.50 µm	
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ]	228.000
Dynamische Tragzahl	[C]	236.000
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ]	29.000
Werte für die approximierte Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	235.955
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	227.956

Bezeichnung im Modell	WelleZ3RadiallagerRechtsNU216ECP	
Lager Typ	SKF *NU 216 ECP	
Lager Bauform	Zylinderrollenlager (einreihig)	
Lager Position (mm)	[Ylokal]	292.000
Lager Position (mm)	[Yglobal]	292.000
Befestigung Aussenring	Loslager	
Innendurchmesser (mm)	[d]	80.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	140.000
Breite (mm)	[b]	26.000
Eckradius (mm)	[r]	2.000
Anzahl Wälzkörper	[Z]	9
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	106.392
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	20.279
Länge Wälzkörper (mm)	[L <sub>we</sub> ]	25.540
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	126.674
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	86.110
Pd = 0.058 (mm)		

Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (\*)

Lagerspiel	DIN 620:1988 C0 (57.50 µm)	
Toleranzlage	Mittelwert	
Toleranz	DIN 620:1988 PN	
Toleranz der Welle	0.00 µm (80.000 mm)	
Toleranz der Nabe	0.00 µm (140.000 mm)	
RzI = 8.00 µm (Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Innenring)		
RzO = 8.00 µm (Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Aussenring)		
Änderung Lagerspiel durch: n = 0 (1/min)		
Press-Sitz	-1.02 µm	
Temperatur	-55.89 µm	
Gesamte Lagerspieländerung	-50.06 µm, ni = 2906.87 (1/min), no = 0 (1/min)	
Betriebslagerspiel	57.50 µm + (-50.06 µm) = 7.44 µm	
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ]	166.000
Dynamische Tragzahl	[C]	160.000
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ]	21.200
Werte für die approximierte Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	159.889
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	166.002

-----  
Welle 'WelleZ3': Die Masse von folgendem Element wird berücksichtigt (y= 161.5000 (mm)): Stirnrad 'Z3(Z3Z4)'  
m (yS= 161.5000 (mm)): 7.7796 (kg)  
Jp: 0.0342 (kg\*m<sup>2</sup>), Jxx: 0.0191 (kg\*m<sup>2</sup>), Jzz: 0.0191 (kg\*m<sup>2</sup>)  
-----

Welle 'WelleZ3': Die Masse von folgendem Element wird berücksichtigt (y= 234.0000 (mm)): Stirnrad 'Z7(Z7Z8)'

m (yS= 234.0000 (mm)): 4.9722 (kg)  
 Jp: 0.0243 (kg\*m<sup>2</sup>), Jxx: 0.0125 (kg\*m<sup>2</sup>), Jzz: 0.0125 (kg\*m<sup>2</sup>)

**Resultate**

**Welle**

Maximale Durchbiegung (mm)	0.085
Position des Maximums (mm)	646.500
Massenschwerpunkt (mm)	312.212
Summe der axialen Belastung (N)	7304.454
Verdrehung unter Drehmoment (°)	-0.317

**Lager**

Ausfallwahrscheinlichkeit	[n]	1.00	%
Axialspiel	[u <sub>A</sub> ]	10.00	µm
Schmierstoff	Öl: Klübersynth GEM 4-150 N		
Schmierstoff mit Additivierung, dessen Wirksamkeit in Wälzlagern geprüft wurde.			
Ölschmierung mit Filterung, ISO4406 -/13/10			
Schmierstoff - Betriebstemperatur	[T <sub>B</sub> ]	80.00	°C
Grenzwert für Faktor a <sub>ISO</sub>	[a <sub>ISOmax</sub> ]	50.00	
Ölstand	[h <sub>oil</sub> ]	0.00	mm
Öl-Einspritzschmierung			

Wälzlagerteifigkeiten aus innerer Geometrie

**Welle 'WelleZ3' Wälzlager 'WelleZ3AxiallagerQJ214N2MA'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	36.00	mm
Äquivalente Belastung	[P]	7.82	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	4.24	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>ISO</sub> ]	50.000	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	5187.91	h
Lebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	259395.62	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.88	
Betriebsviskosität	[v]	34.11	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	8.45	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[k]	4.04	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	0.445	µm
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	[-]	0.198	
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	28.80	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	6097.50	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	304875.07	h
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	-7.304	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	-76.52	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	52.99	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	93.08	Nm (145.3°)

WZ3 8/30

Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.621	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.219	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	0.840	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	255.671	W
Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.			
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff $\mu_{bl}=0.15$ gerechnet.			
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	3.376	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	91.864	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	29.462	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.030	$\mu\text{m}$ (83.46°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	0.161	mrاد (0.55')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	-0.000	mrاد (0')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	-0.111	mrاد (-0.38')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.196	mrاد (0.67')

**Welle 'WelleZ3' Wälzlager 'WelleZ3RadiallagerNU314ECP'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	86.50	mm
Äquivalente Belastung	[P]	23.14	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	23.14	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>1SO</sub> ]	46.113	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	3299.12	h
Lebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	152131.75	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.88	
Betriebsviskosität	[v]	34.11	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	7.96	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[k]	4.29	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	0.578	$\mu\text{m}$
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	9.85	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	10722.06	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	228166.36	h
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	-4.932	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	-22.605	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	23.137	kN (-102.31°)
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	-13.01	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	4.99	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	13.93	Nm (159.01°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	1.512	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.077	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	1.588	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	483.497	W
Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.			
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff $\mu_{bl}=0.15$ gerechnet.			
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	9.278	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	127.183	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	37.986	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.039	$\mu\text{m}$ (76.28°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	0.177	mrاد (0.61')

Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	-0.000	mrاد (0')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	-0.122	mrاد (-0.42')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.215	mrاد (0.74')

**Welle 'WelleZ3' Wälzlager 'WelleZ3RadiallagerRechtsNU216ECP'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	292.00	mm
Äquivalente Belastung	[P]	13.55	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	13.55	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>ISO</sub> ]	50.000	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	5376.78	h
Lebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	268839.17	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.88	
Betriebsviskosität	[v]	34.11	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	7.96	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[k]	4.29	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	0.571	µm
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	12.25	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	17407.58	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	636510.95	h
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	-7.179	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	-11.489	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	13.548	kN (-122°)
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	5.96	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	-2.08	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	6.31	Nm (-19.26°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	1.258	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.045	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	1.303	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	396.530	W
Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.			
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff µbl=0.15 gerechnet.			
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	14.590	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	269.627	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	23.403	µm
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.028	µm (58.06°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.287	mrاد (-0.99')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	-1.328	mrاد (-4.57')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	0.066	mrاد (0.23')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.294	mrاد (1.01')

(\*) Hinweis zu Wälzlagern mit approximierter Lagergeometrie:

Die innere Geometrie von diesen Lagern ist nicht in der Datenbank eingetragen.

Die Geometrie wird nach ISO281 aus C und C0 (Angaben im Katalog des Herstellers) rückwärts gerechnet.

Die Geometrie kann deshalb von der wirklichen Geometrie abweichen.

Dies kann in gewissen Fällen deutliche Unterschiede bei der Wälzlagersteifigkeit bewirken.

Ausnutzung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer [H] ( 20000.000)

B1	B2	B3
0.43	0.54	0.46

B1: WelleZ3AxiallagerQJ214N2MA  
 B2: WelleZ3RadiallagerNU314ECP  
 B3: WelleZ3RadiallagerRechtsNU216ECP

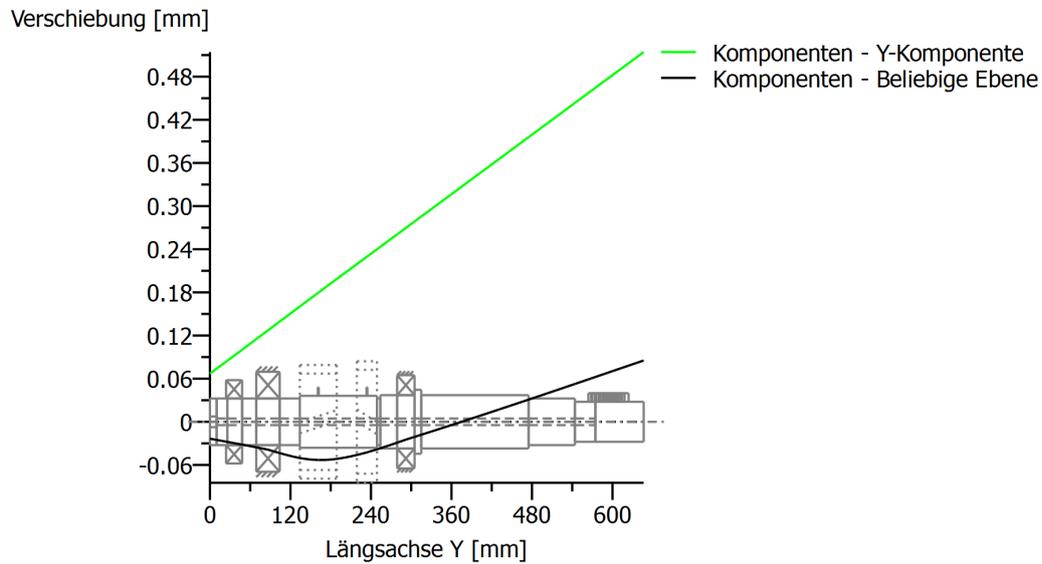
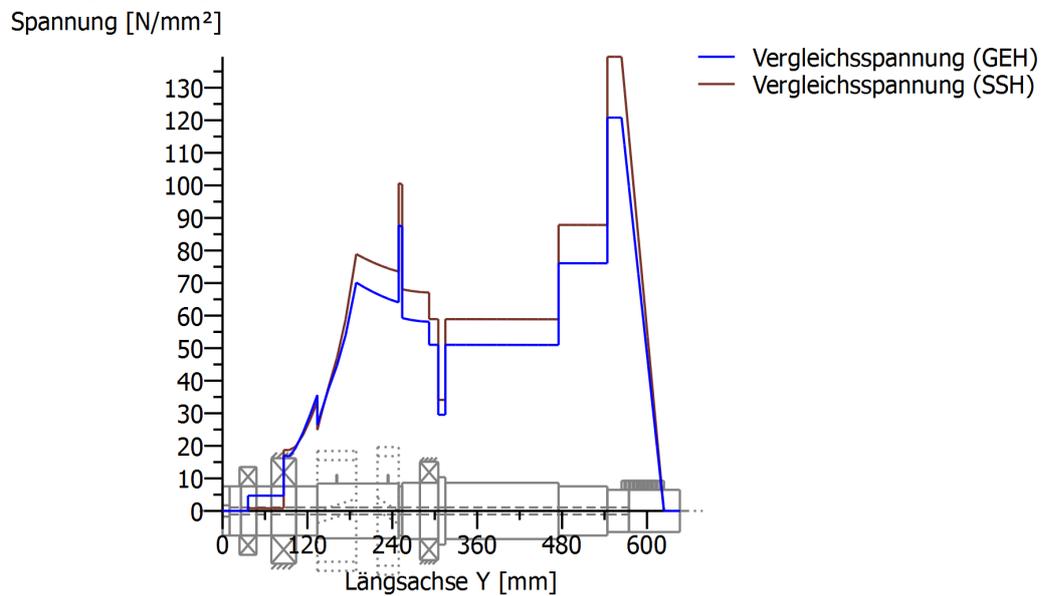


Abbildung: Verformung (Biegelinien etc.) (Beliebige Ebene 264.0294085 120)



GEH(von Mises):  $\text{sigV} = ((\text{sigB} + \text{sigZ}, D)^2 + 3 * (\text{tauT} + \text{tauS})^2)^{1/2}$  SSH(Tresca):  $\text{sigV} = ((\text{sigB} - \text{sigZ}, D)^2 + 4 * (\text{tauT} + \text{tauS})^2)^{1/2}$   
 Abbildung: Vergleichsspannung

**Eigenfrequenzen/Kritische Drehzahlen**

WZ3 11/30

1. Eigenfrequenz:	0.00 Hz, Kritische Drehzahl:	0.00 1/min	Starrkörperrotation Y 'WelleZ3'
2. Eigenfrequenz:	329.55 Hz, Kritische Drehzahl:	19772.96 1/min	Biegung XY 'WelleZ3'
3. Eigenfrequenz:	351.65 Hz, Kritische Drehzahl:	21098.79 1/min	Biegung YZ 'WelleZ3'
4. Eigenfrequenz:	527.89 Hz, Kritische Drehzahl:	31673.26 1/min	Axial 'WelleZ3'
5. Eigenfrequenz:	931.41 Hz, Kritische Drehzahl:	55884.82 1/min	Biegung XY 'WelleZ3'
6. Eigenfrequenz:	1094.65 Hz, Kritische Drehzahl:	65678.82 1/min	Biegung YZ 'WelleZ3'
7. Eigenfrequenz:	1440.38 Hz, Kritische Drehzahl:	86423.06 1/min	Biegung YZ 'WelleZ3', Biegung XY 'WelleZ3'
8. Eigenfrequenz:	1516.11 Hz, Kritische Drehzahl:	90966.76 1/min	Biegung XY 'WelleZ3'

Normierte Verschiebung

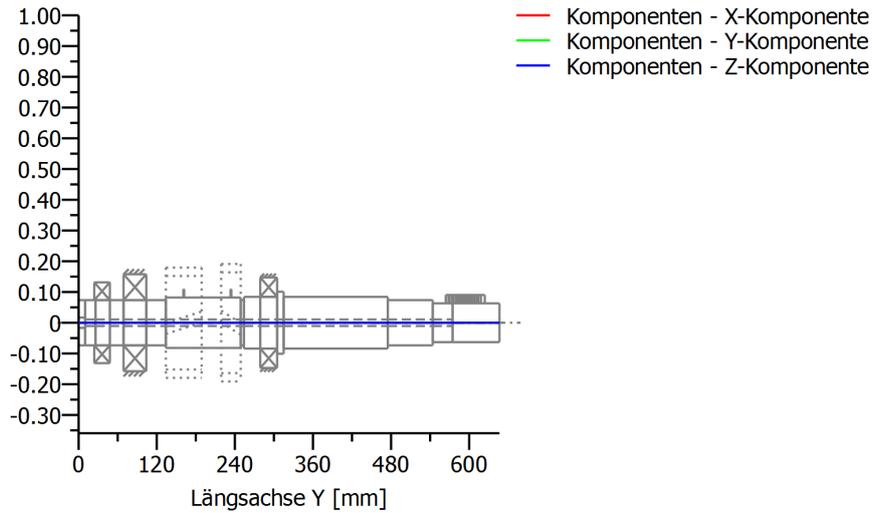


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 1. (0 Hz))

Normierte Verschiebung

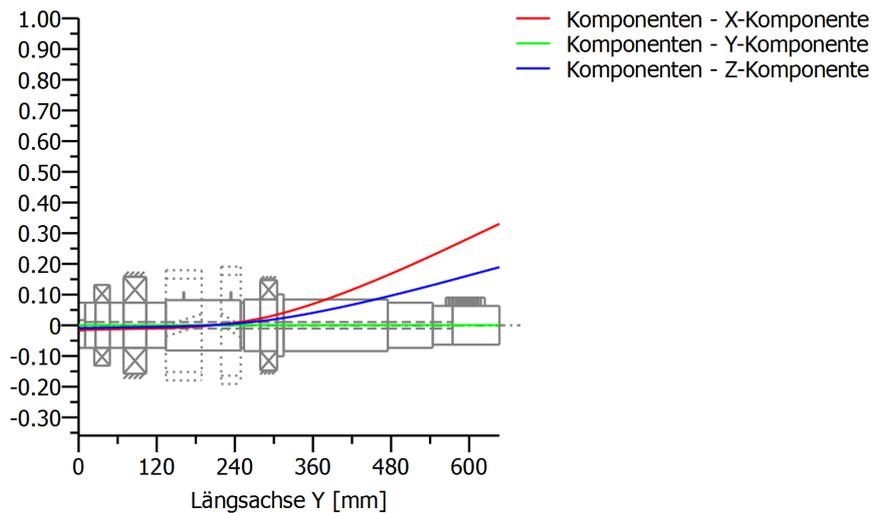


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 2. (329.55 Hz))

Normierte Verschiebung

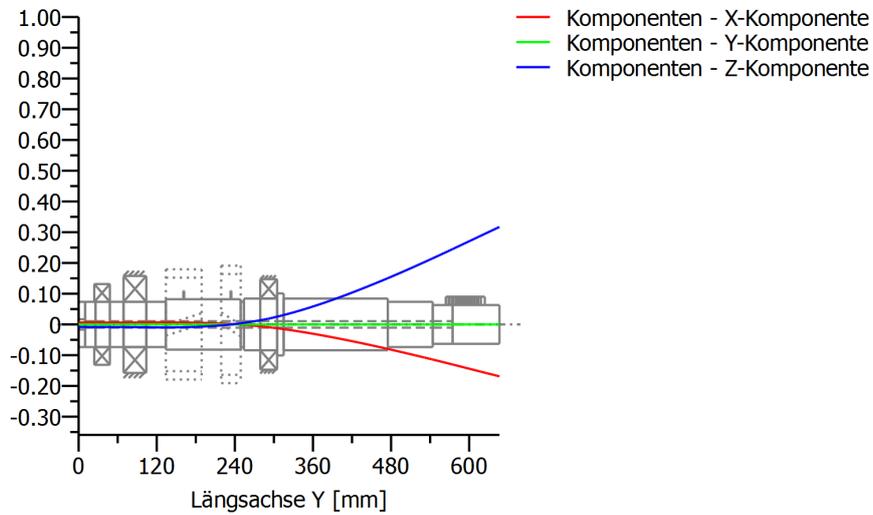


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 3. (351.65 Hz))

Normierte Verschiebung

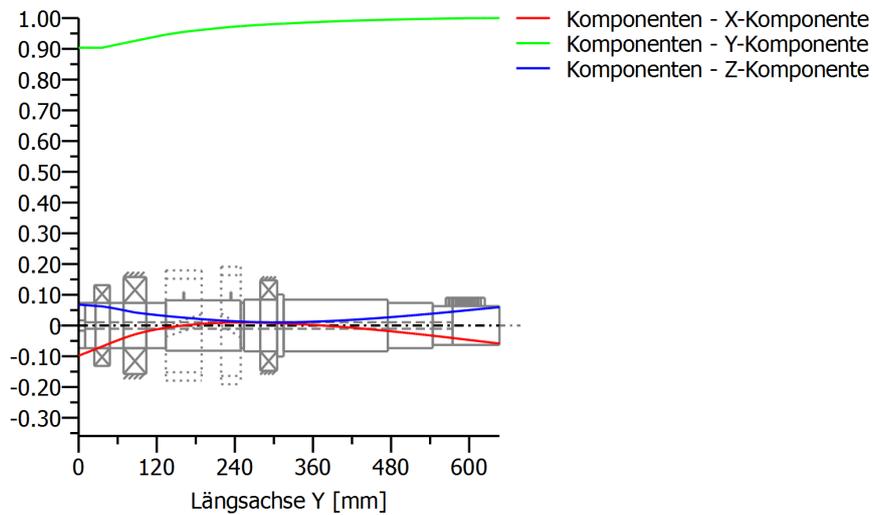


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 4. (527.89 Hz))

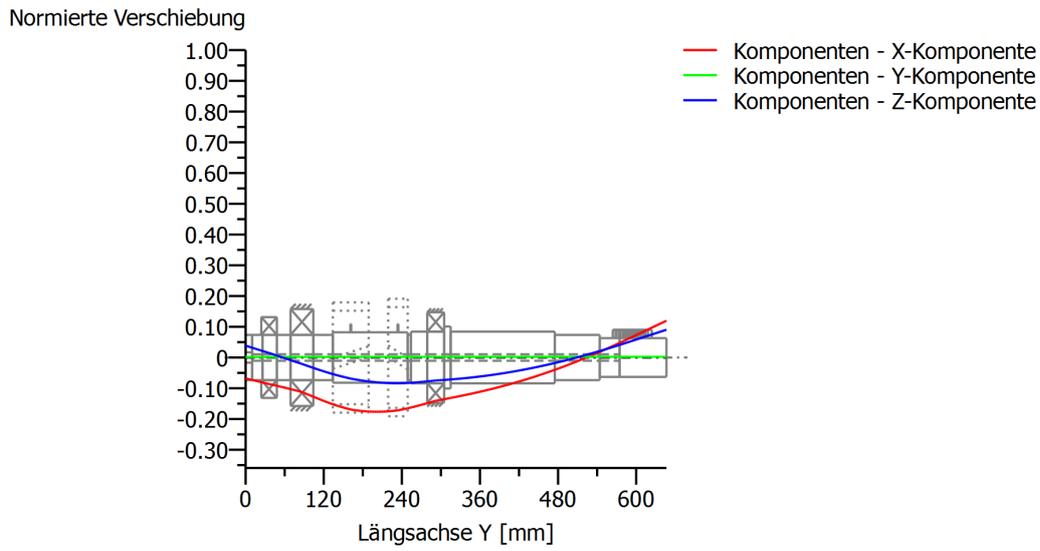


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 5. (931.41 Hz))

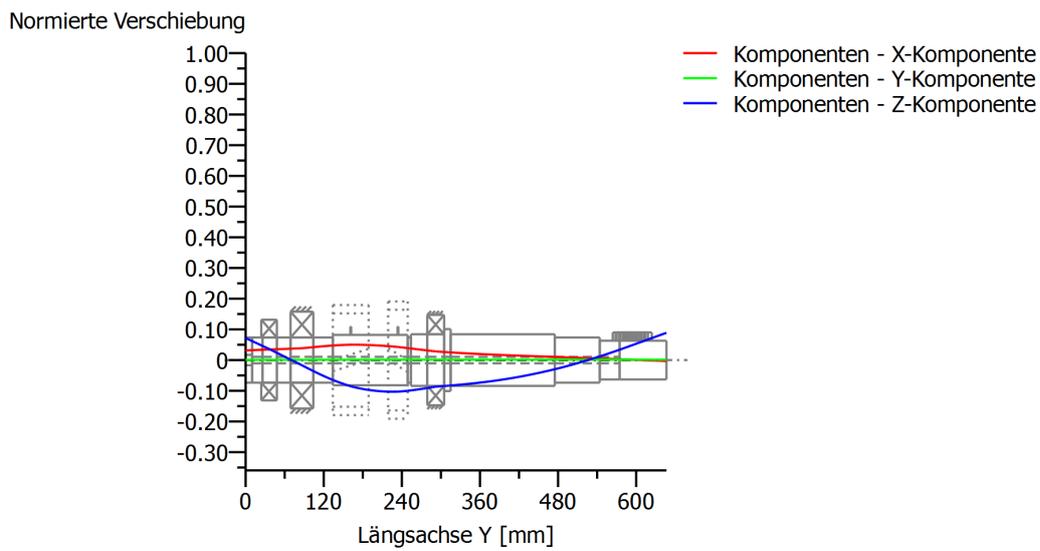


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 6. (1094.65 Hz))

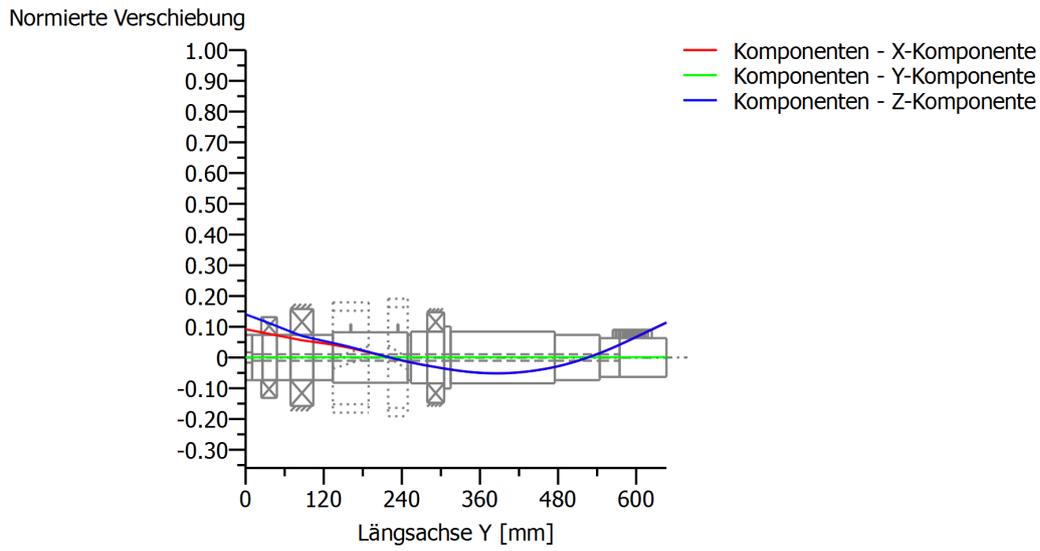


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 7. (1440.38 Hz))

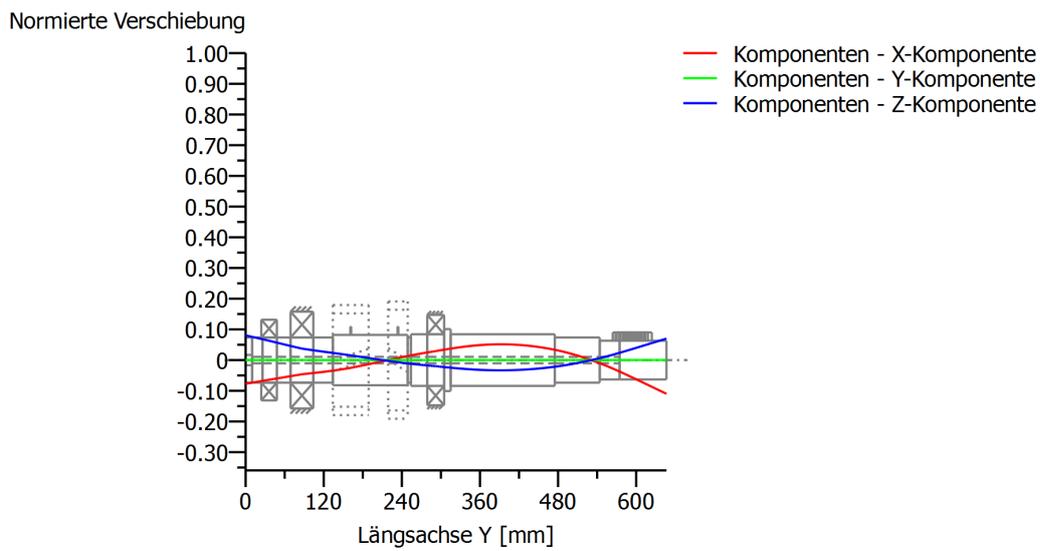


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 8. (1516.11 Hz))

**Festigkeitsberechnung nach DIN 743:2012**

**Zusammenfassung**

**WelleZ3**

Werkstoff	C45 (1)
Werkstoffart	Vergütungsstahl
Werkstoff-Behandlung	unlegiert, vergütet
Oberflächen-Behandlung	Kugelstrahlen

Berechnung der Dauerfestigkeit und der statischen Festigkeit

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

Querschnitt	Lage (Y-Koor) (mm)	
WelleZ3LagerRechtsAbsatz	279.00	Glatte Welle
WelleZ3LagerLinks	104.00	Glatte Welle
WelleZ3Z3AbsatzLinks	134.00	Wellenabsatz
Freistich Rechts	254.00	Wellenabsatz
WellenschulterRechts	315.00	Wellenabsatz
WelleZ3Keilwelle rechts	186.00	Keilwelle
Keilwelle links	138.00	Keilwelle
FreistichLinks	249.00	Wellenabsatz
WellenschulterLinks	305.00	Wellenabsatz
AbsatzRDW	475.00	Wellenabsatz
AbsatzKupplung	544.00	Wellenabsatz

Resultate:

Querschnitt	Kfb	Kfσ	K2d	SD	SS
WelleZ3LagerRechtsAbsatz	1.00	0.91	0.84	6.19	4.12
WelleZ3LagerLinks	1.00	0.91	0.85	22.13	20.45
WelleZ3Z3AbsatzLinks	2.21	0.91	0.85	3.62	7.97
Freistich Rechts	2.29	0.91	0.85	3.10	2.72
WellenschulterRechts	2.10	0.91	0.84	5.65	4.13
WelleZ3Keilwelle rechts	1.06	1.00	0.84	2.73	2.77
Keilwelle links	1.06	1.00	0.84	6.67	7.15
FreistichLinks	2.21	0.91	0.85	3.08	2.71
WellenschulterLinks	2.10	0.91	0.84	5.65	4.13
AbsatzRDW	1.94	0.91	0.85	4.03	2.77
AbsatzKupplung	2.63	0.91	0.86	2.16	1.74

Sollsicherheiten: 1.20 1.20

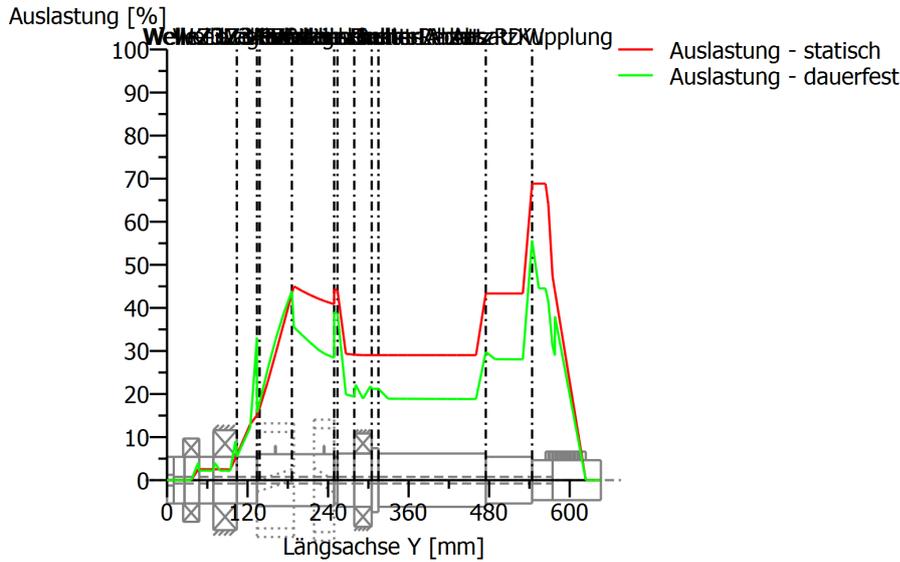
Abkürzungen:

- Kfb: Kerbfaktor Biegung
- Kfσ: Oberflächenfaktor
- K2d: Grössenfaktor Biegung
- SD: Sicherheit Dauerfestigkeit
- SS: Sicherheit Streckgrenze

**Ausnutzung (%A) [Smin/S]**

WZ3 16/30

Querschnitt	Statisch	Dauerfest
WelleZ3LagerRechtsAbsatz	29.131	19.396
WelleZ3LagerLinks	5.868	5.424
WelleZ3Z3AbsatzLinks	15.053	33.122
Freistich Rechts	44.095	38.672
WellenschulterRechts	29.035	21.222
WelleZ3Keilwelle rechts	43.275	43.891
Keilwelle links	16.785	17.984
FreistichLinks	44.283	38.999
WellenschulterLinks	29.035	21.227
AbsatzRDW	43.340	29.777
AbsatzKupplung	68.845	55.662
Maximale Ausnutzung (%)	[A]	68.845



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

**Berechnungs-Details**

**Allgemeine Angaben**

Bezeichnung	WelleZ3		
Zeichnung			
Länge (mm)	[l]		646.50
Drehzahl (1/min)	[n]		2906.87
Werkstoff	C45 (1)		
Werkstoffart	Vergütungsstahl		
Werkstoff-Behandlung	unlegiert, vergütet		
Oberflächen-Behandlung	Kugelstrahlen		

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Lastfaktor statische Berechnung	1.700	1.700	1.700	1.700
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> )	[ $\sigma_B$ ]	700.00
$\sigma_S$ nach DIN 743 (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_S$ ]	490.00
[ $\sigma_{zdW}$ ] (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )		280.00
[ $\sigma_{bW}$ ] (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )		350.00
[ $\tau_{tW}$ ] (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )		210.00
Dicke Rohmaterial (mm)	[dWerkst]	100.00
Werkstoffdaten nach DIN743/3 mit K1(d) berechnet		
Werkstoff-Festigkeitswerte aus Dicke Rohmaterial bestimmt		
Geometrischer Grössenfaktor K1d mit Rohdurchmesser berechnet		
[ $\sigma_{Beff}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )		555.15

WZ3 18/30

[σSeff] (N/mm <sup>2</sup> )	357.41
[σbF] (N/mm <sup>2</sup> )	428.89
[τtF] (N/mm <sup>2</sup> )	247.62
[σBRand] (N/mm <sup>2</sup> )	628.00

[σzdW] (N/mm <sup>2</sup> )	222.06
[σbW] (N/mm <sup>2</sup> )	277.57
[τtW] (N/mm <sup>2</sup> )	166.54

Dauerfestigkeit für Einstufenbeanspruchung

Berechnung für Beanspruchungsfall 2 (σ.av/σ.mv = konst)

**Querschnitt 'WelleZ3LagerRechtsAbsatz'      Glatte Welle**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	279.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]	80.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	10.000
Kerbwirkung	Glatte Welle	
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]	8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	1475.6	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	236.8	1475.6	13801.7
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	402.6	5016.9	23462.9
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	4948.0	50253.2	100506.4	4948.0

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	14.681	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	4.713	14.681	4.177
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	8.011	49.916	7.101

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.793
	[K1(sS)]	0.729

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.842	0.842
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912	0.949
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.100	1.100
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.097	1.168	1.128

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	25.429
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]	14.681

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	202.499	237.743	147.617
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.223	0.272	0.153
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.014	61.468	103.174
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		6.187	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		515.6	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	357.406	393.147	206.349
Sicherheit Fließgrenze	[S]		4.119	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		343.3	

**Querschnitt 'WelleZ3LagerLinks' Glatte Welle**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	104.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]	70.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	10.000
Kerbwirkung Glatte Welle		
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]	8.000

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		3652.2	0.0	0.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		3652.2	308.9	0.0	23166.1
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		12417.6	525.2	0.0	39382.3
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		3769.9	33659.9	67319.8	3769.9

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

[σzdm, obm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	0.969	0.000	0.000	0.000
[σzda, oba, τα, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.969	9.178	0.000	9.340
[σzdm, obmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	3.294	15.603	0.000	15.879

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.793
	[K1(sS)]	0.729

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Kerbwirkungszahl	[β]	1.000	1.000	1.000
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.851	0.851
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912	0.949
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.100	1.100
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.097	1.156	1.117

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	0.969
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]	0.559

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	202.499	240.069	149.112
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.223	0.276	0.155
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	165.566	233.277	0.368
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		22.126	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		1843.8	

Vorhandene Sicherheitszahl

WZ3 20/30

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[yF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	357.406	393.147	206.349
Sicherheit Fließgrenze	[S]		20.448	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		1704.0	

**Querschnitt 'WelleZ3Z3AbsatzLinks' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		134.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]		70.000
Innendurchmesser (mm)	[di]		10.000
Kerbwirkung	Wellenabsatz		
[D, r, t] (mm)	78.000	1.000	0.000
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]		8.000

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		3652.2	0.0	0.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		3652.2	1002.4	0.0	23174.6
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		12417.6	1704.1	0.0	39396.8
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		3769.9	33659.9	67319.8	3769.9

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

[σzdm, obm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	0.969	0.000	0.000	0.000
[σzda, oba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.969	29.781	0.000	9.344
[σzdmax, obmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	3.294	50.627	0.000	15.884

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.793
	[K1(sS)]	0.729

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	2.958	2.733	1.822
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	2.530	2.530	1.150
Stützziffer	[n]	1.234	1.234	1.158
Kerbwirkungszahl	[β]	2.397	2.214	1.573
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.851	0.851
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912	0.949
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.100	1.100
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.493	2.453	1.730

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		0.969
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		0.559
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )			
	[σWK]	89.058	113.141
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.087	0.113
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	81.915	112.725
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		3.623
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200

Resultat (%)	[S/Smin]		301.9	
Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:				
Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[YF]	1.100	1.100	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	393.147	432.462	206.349
Sicherheit Fließgrenze	[S]		7.972	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		664.3	

<b>Querschnitt 'Freistich Rechts'</b>	<b>Wellenabsatz</b>			
Kommentar				
Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		254.00	
Aussendurchmesser (mm)	[da]		70.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]		10.000	
Kerbwirkung	Wellenabsatz			
[D, r, t] (mm)	80.000	1.000	0.000	
Mittlere Rauheit (µm)		[Rz]		8.000
		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		0.0	0.0	1475.6
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		0.0	580.4	1475.6
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		0.0	986.6	5016.9
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]		3769.9	33659.9	67319.8
Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )				
[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	0.000	21.919
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	17.242	21.919
[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	29.311	74.524
Technologischer Grösseneinfluss				
	[K1(sB)]	0.793		
	[K1(sS)]	0.729		
		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	3.086	2.824	1.881
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	2.510	2.510	1.150
Stützziffer	[n]	1.233	1.233	1.158
Kerbwirkungszahl	[β]	2.502	2.289	1.624
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.851	0.851
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912	0.949
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.100	1.100
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.599	2.534	1.784
Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:				
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		37.964	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		21.919	
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	85.443	109.544	93.363
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.083	0.109	0.092

Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.011	88.269	85.512
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		3.103	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		258.6	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.150	1.100	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	411.017	432.462	206.349
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		2.721	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		226.8	

**Querschnitt 'WellenschulterRechts' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		315.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]		80.000
Innendurchmesser (mm)	[di]		10.000
Kerbwirkung	Wellenabsatz		
[D, r, t] (mm)		96.000	2.000 0.000
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]		8.000

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		0.0	0.0	1475.6	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		0.0	64.6	1475.6	282.8
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		0.0	109.9	5016.9	480.8
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		4948.0	50253.2	100506.4	4948.0

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	0.000	14.681	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	1.286	14.681	0.086
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	2.187	49.916	0.146

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.793
	[K1(sS)]	0.729

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	2.695	2.447	1.716
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	1.265	1.265	0.575
Stützziffer	[n]	1.166	1.166	1.112
Kerbwirkungszahl	[β]	2.312	2.100	1.544
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.842	0.842
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912	0.949
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.100	1.100
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.409	2.355	1.715

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	25.429
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]	14.681

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	92.180	117.871	97.087
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.091	0.119	0.096
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.015	20.825	88.597
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		5.655	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		471.2	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.100	1.100	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	393.147	432.462	206.349
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		4.133	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		344.4	

Querschnitt 'WelleZ3Keilwelle rechts'

Keilwelle

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		186.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]		78.000
Innendurchmesser (mm)	[di]		10.000
Kerbwirkung	Keilwelle		
[da, df, z, mn] (mm)		78.000	72.000 0 0.000
Form A			
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]		8.000

Zug/Druck Biegung Torsion Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	199.2	0.0	1395.1	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fzda, Mba, Ta, Fqa]	199.2	1501.9	1395.1	11922.1
Maximalwert	[Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	677.3	2553.2	4743.3	20267.6
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		3993.0	36629.9	73259.8	3993.0

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )		0.050	0.000	19.043	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )		0.050	41.001	19.043	4.524
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )		0.170	69.702	64.746	7.690

Technologischer Grösseneinfluss

[K1(sB)]	0.793
[K1(sS)]	0.729

Zug/Druck Biegung Torsion

Kerbwirkungszahl	[β(dB)]	1.062	1.062	1.138
[dB] (mm) = 29.0				
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.996	0.996	0.991
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.998	0.998	0.995
Kerbwirkungszahl	[β]	1.064	1.064	1.142
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.844	0.844
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	1.000	1.000	1.000
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000

WZ3 24/30

Gesamteinflussfaktor [K] 1.064 1.261 1.354

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm<sup>2</sup>) [σmV] 32.983

Vergleichsmittelspannung (N/mm<sup>2</sup>) [τmV] 19.043

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm<sup>2</sup>) [σWK] 208.697 220.086 122.987

Einflussfaktor Mittelspannungsempf. [ψσK] 0.231 0.247 0.125

Ertragbare Amplitude (N/mm<sup>2</sup>) [σADK] 0.540 183.576 103.174

Sicherheit gegen Ermüdung [S] 2.734

Sollsicherheit gegen Ermüdung [Smin] 1.200

Resultat (%) [S/Smin] 227.8

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer [K2F] 1.000 1.100 1.000

Erhöhungsfaktor [γF] 1.000 1.000 1.000

Bauteilfließsgrenze (N/mm<sup>2</sup>) [σFK] 357.406 393.147 206.349

Sicherheit Fließsgrenze [S] 2.773

Sollsicherheit [Smin] 1.200

Resultat (%) [S/Smin] 231.1

**Querschnitt 'Keilwelle links'**

**Keilwelle**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm) [y] 138.00

Aussendurchmesser (mm) [da] 78.000

Innendurchmesser (mm) [di] 10.000

Kerbwirkung Keilwelle

[da, df, z, mn] (mm) 78.000 72.000 0 0.000

Form A

Mittlere Rauheit (μm) [Rz] 8.000

Zug/Druck Biegung Torsion Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)

Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm] 3386.6 0.0 107.3 0.0

Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa] 3386.6 1098.8 107.3 20531.8

Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax] 11514.5 1867.9 364.9 34904.0

Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm<sup>2</sup>) (mm<sup>3</sup>) [A, Wb, Wt, A] 3993.0 36629.9 73259.8 3993.0

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm<sup>2</sup>) 0.848 0.000 1.465 0.000

[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm<sup>2</sup>) 0.848 29.996 1.465 7.790

[σzdm<sub>max</sub>, σbm<sub>max</sub>, τm<sub>max</sub>, τqm<sub>max</sub>] (N/mm<sup>2</sup>) 2.884 50.994 4.980 13.243

Technologischer Grösseneinfluss [K1(sB)] 0.793

[K1(sS)] 0.729

Zug/Druck Biegung Torsion

Kerbwirkungszahl [β(dB)] 1.062 1.062 1.138

[dB] (mm) = 29.0

Geometrischer Grösseneinfluss [K3(d)] 0.996 0.996 0.991

WZ3 25/30

Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.998	0.998	0.995
Kerbwirkungszahl	[β]	1.064	1.064	1.142
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.844	0.844
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	1.000	1.000	1.000
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.064	1.261	1.354

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		2.675
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[rmV]		1.545

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	208.697	220.086	122.987
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.231	0.247	0.125
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	86.036	215.338	100.443
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		6.673	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		556.0	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	357.406	393.147	206.349
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		7.149	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		595.8	

**Querschnitt 'FreistichLinks'**

**Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		249.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]		70.000
Innendurchmesser (mm)	[di]		10.000
Kerbwirkung	Wellenabsatz		
[D, r, t] (mm)	78.000	1.000	0.000
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]		8.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	1475.6	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	649.3	1475.6	13811.0
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	1103.8	5016.9	23478.8
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	3769.9	33659.9	67319.8	3769.9

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	21.919	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	19.290	21.919	5.569
[σzdmax, obmax, tmax, tqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	32.793	74.524	9.466

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.793
	[K1(sS)]	0.729

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Formzahl	[a]	2.958	2.733	1.822
Bezogenes Spannungsgefälle	[G]	2.530	2.530	1.150
Stützziffer	[n]	1.234	1.234	1.158
Kerbwirkungszahl	[β]	2.397	2.214	1.573
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.851	0.851
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912	0.949
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.100	1.100
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.493	2.453	1.730

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		37.964	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		21.919	

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	89.058	113.141	96.292
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.087	0.113	0.095
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.010	92.488	87.941
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		3.077	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		256.4	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.100	1.100	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	393.147	432.462	206.349
Sicherheit Fließgrenze	[S]		2.710	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		225.8	

**Querschnitt 'WellenschulterLinks' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		305.00	
Aussendurchmesser (mm)	[da]		80.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]		10.000	
Kerbwirkung	Wellenabsatz			
[D, r, t] (mm)		96.000	2.000	0.000
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]			8.000

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	1475.6	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	67.5	1475.6	288.3
Maximalwert	[Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	114.8	5016.9	490.1
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		4948.0	50253.2	100506.4	4948.0

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

[σzdm, obm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	0.000	14.681	0.000
[σzda, oba, τα, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	1.343	14.681	0.087
[σzdmax, obmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	2.284	49.916	0.148

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.793		
	[K1(sS)]	0.729		

WZ3 27/30

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	2.695	2.447	1.716
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	1.265	1.265	0.575
Stützziffer	[n]	1.166	1.166	1.112
Kerbwirkungszahl	[β]	2.312	2.100	1.544
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.842	0.842
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912	0.949
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.100	1.100
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.409	2.355	1.715

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	25.429		
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]	14.681		

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	92.180	117.871	97.087
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.091	0.119	0.096
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.015	21.699	88.597
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		5.653	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		471.1	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.100	1.100	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	393.147	432.462	206.349
Sicherheit Fließgrenze	[S]		4.133	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		344.4	

**Querschnitt 'AbsatzRDW' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	475.00		
Aussendurchmesser (mm)	[da]	70.000		
Innendurchmesser (mm)	[di]	10.000		
Kerbwirkung	Wellenabsatz			
[D, r, t] (mm)		80.000	2.000	0.000
Mittlere Rauheit (μm)	[Rz]			8.000

		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert	[Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	1475.6	0.0
Ausschlag (Amplitude)	[Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	24.3	1475.6	222.0
Maximalwert	[Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	41.2	5016.9	377.5
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )	[A, Wb, Wt, A]	3769.9	33659.9	67319.8	3769.9

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	21.919	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.721	21.919	0.090
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	1.225	74.524	0.152

WZ3 28/30

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.793		
	[K1(sS)]	0.729		
			Zug/Druck	Biegung
Formzahl	[a]	2.456	2.260	1.607
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	1.288	1.288	0.575
Stützziffer	[n]	1.167	1.167	1.112
Kerbwirkungszahl	[β]	2.105	1.937	1.446
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.851	0.851
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912	0.949
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.100	1.100
Gesamteinflussfaktor	[K]	2.201	2.157	1.593

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		37.964	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		21.919	
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	100.881	128.688	104.543
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.100	0.131	0.104
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.010	8.057	94.699
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		4.030	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		335.8	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.100	1.100	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	393.147	432.462	206.349
Sicherheit Fließgrenze	[S]		2.769	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		230.7	

**Querschnitt 'AbsatzKupplung' Wellenabsatz**

Kommentar					
Position (Y-Koordinate) (mm)		[y]		544.00	
Aussendurchmesser (mm)		[da]		60.000	
Innendurchmesser (mm)		[di]		10.000	
Kerbwirkung	Wellenabsatz				
[D, r, t] (mm)		70.000	0.500	0.000	
Mittlere Rauheit (µm)			[Rz]	8.000	
			Zug/Druck	Biegung	Torsion
Beanspruchung: (N) (Nm)					Scherung
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		0.0	0.0	1475.6	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		0.0	9.6	1475.6	202.1
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		0.0	16.4	5016.9	343.5
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		2748.9	21189.4	42378.8	2748.9

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

WZ3 29/30

[ $\sigma_{zdm}$ , $\sigma_{bm}$ , $\tau_m$ , $\tau_{qm}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	34.818	0.000
[ $\sigma_{zda}$ , $\sigma_{ba}$ , $\tau_a$ , $\tau_{qa}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.454	34.818	0.114
[ $\sigma_{zdm\max}$ , $\sigma_{b\max}$ , $\tau_{m\max}$ , $\tau_{qm\max}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.773	118.383	0.194

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.793		
	[K1(sS)]	0.729		

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	3.860	3.484	2.216
Bezogenes Spannungsgefälle	[G]	4.914	4.914	2.300
Stützziffer	[n]	1.326	1.326	1.223
Kerbwirkungszahl	[ $\beta$ ]	2.910	2.627	1.812
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.861	0.861
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.912	0.912	0.949
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.100	1.100
Gesamteinflussfaktor	[K]	3.006	2.861	1.961

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_mV$ ]		60.307	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\tau_mV$ ]		34.818	

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{WK}$ ]	73.862	97.036	84.924
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ $\psi\sigma_K$ ]	0.071	0.096	0.083
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{ADK}$ ]	0.007	3.381	78.428
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		2.156	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		179.7	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.100	1.000
Erhöhungsfaktor	[ $\gamma_F$ ]	1.150	1.150	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\sigma_{FK}$ ]	411.017	452.119	206.349
Sicherheit Fließgrenze	[S]		1.743	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		145.3	

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 DIN743. 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: 1393

### B.10 Welle und Lager WelleZ6

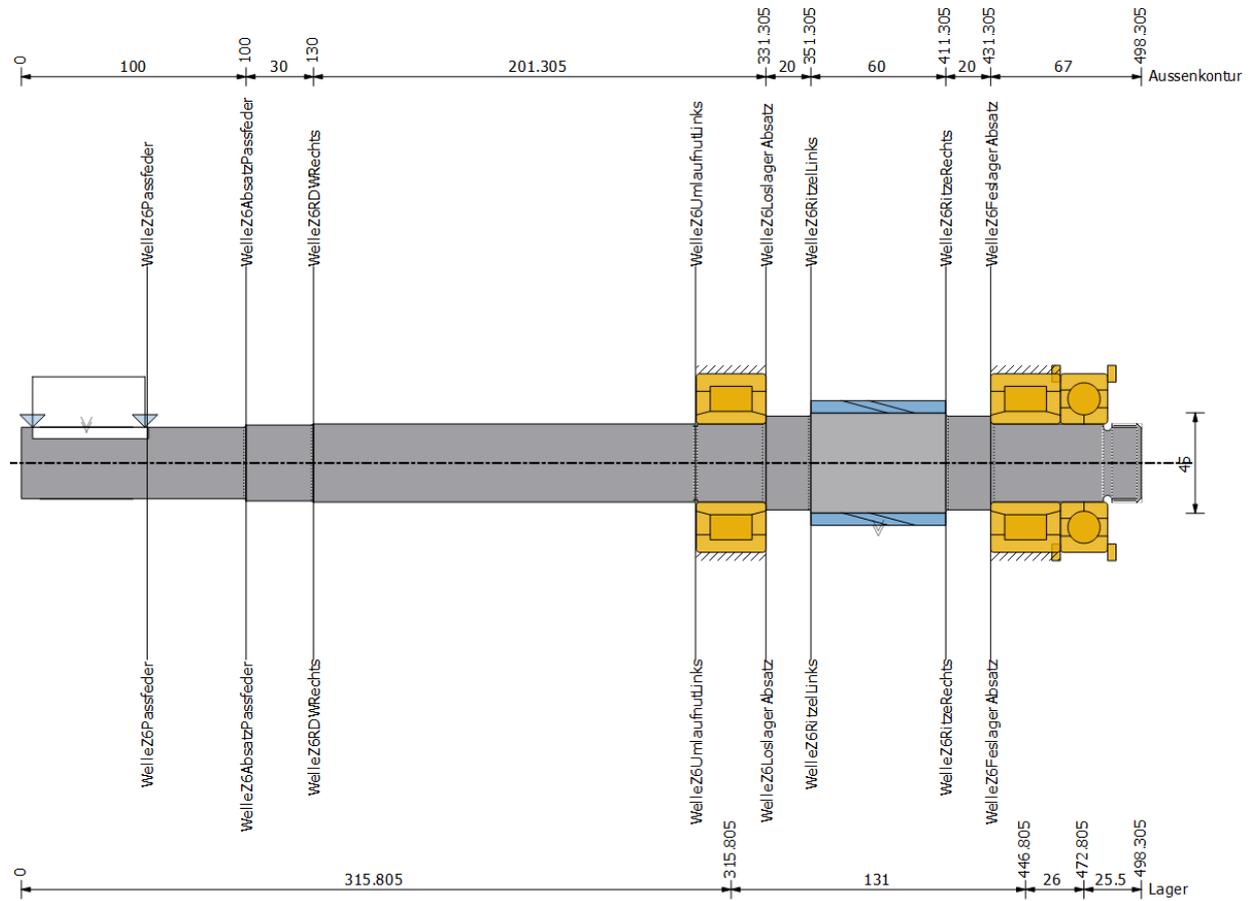


Abbildung B.6: WelleZ6

**Berechnung von Wellen, Achsen und Trägern**

**Eingabedaten**

Koordinatensystem Welle: siehe Bild W-002

Bezeichnung	WelleZ6E1
Zeichnung	
Startposition (mm)	0.000
Länge (mm)	498.305
Drehzahl (1/min)	391.55
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)	80.000
Gewicht der Welle (kg)	4.045
(Hinweis: Gewicht gilt für die Welle ohne Berücksichtigung der Zahnräder)	
Gewicht der Welle, inklusive zusatzmassen (kg)	4.229
Massenträgheitsmoment (kg*mm <sup>2</sup> )	809.953
Schwungmoment GD2 (Nm <sup>2</sup> )	0.032
Gewicht in Richtung	( 0.000, 0.000, -1.000)
Zahnräder als Massen und Steifigkeit berücksichtigt	
Schubverformungen werden berücksichtigt	
Schubkorrekturfaktor	1.100
Ein nichtlineares Wellenmodel wird verwendet	
Wälzlagersteifigkeiten werden aus innerer Lagergeometrie bestimmt	
Toleranzlage: Mittelwert	
Gehäusewerkstoff	C45 (1)
Wärmeausdehnungskoeffizient (10 <sup>-6</sup> /K)	11.500
Gehäusetemperatur (°C)	40.000
Thermische Gehäusereferenzpunkt (mm)	0.000
Referenztemperatur (°C)	20.000

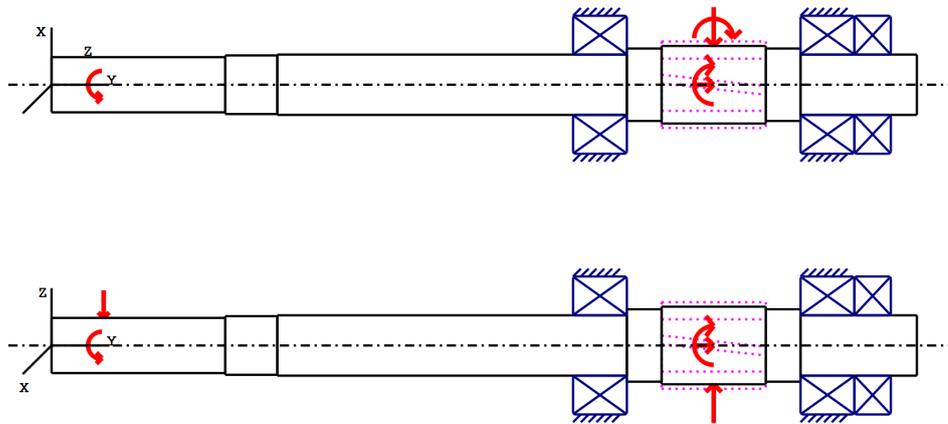


Abbildung: Lasteinleitungen

**Wellendefinition (WelleZ6E1)**

**Aussenkontur**

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			0.000mm ...	100.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	32.0000		
Länge (mm)	[l]	100.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Radius rechts (Radius rechts)  
 r=0.50 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Radius rechts (Radius rechts)  
 r=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Passfedernut (Passfedernut)</u>			5.000mm ...	56.600mm
l=51.60 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)				

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			100.000mm ...	130.000mm
Durchmesser (mm)	[d]	34.0000		
Länge (mm)	[l]	30.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Radius rechts (Radius rechts)  
 r=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			130.000mm ...	331.305mm
Durchmesser (mm)	[d]	35.0000		
Länge (mm)	[l]	201.3050		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

WZ6 2/26

Radius rechts (Radius rechts)  
r=0.50 (mm), Rz=16.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Radius rechts (Radius rechts)  
r=1.50 (mm), Rz=2.8, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Rechtecknut (Rechtecknut)  
b=1.50 (mm), t=1.00 (mm), r=0.10 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			331.305mm ...	351.305mm
Durchmesser (mm)	[d]	42.0000		
Länge (mm)	[l]	20.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Radius rechts (Radius rechts)  
r=1.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			351.305mm ...	411.305mm
Durchmesser (mm)	[d]	45.0000		
Länge (mm)	[l]	60.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	16.0000		

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			411.305mm ...	431.305mm
Durchmesser (mm)	[d]	42.0000		
Länge (mm)	[l]	20.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	8.0000		

Radius links (Radius links)  
r=1.00 (mm), Rz=16.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

<u>Zylinder (Zylinder)</u>			431.305mm ...	498.305mm
Durchmesser (mm)	[d]	35.0000		
Länge (mm)	[l]	67.0000		
Rauhigkeit (µm)	[Rz]	2.8000		

Radius links (Radius links)  
r=1.50 (mm), Rz=2.8, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Umlaufnut (Umlaufnut)  
t=3.00 (mm), r=2.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

Gewinde (Gewinde) 485.305mm ... 498.305mm  
t=1.50 (mm), l=13.00 (mm), Rz=8.0, Gedreht (Ra=3.2µm/125µin)

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

**Kräfte**

Art des Kraftelements		<b>Zentrische Last</b>
Bezeichnung im Modell		CentralLoad7
Position auf Welle (mm)	[y]ocal	30.0000

WZ6 3/26

Position im globalen System (mm)	[yglobal]	30.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		50.0000
Leistung (kW)		0.0000
Drehmoment (Nm)		-0.0000
Axialkraft (N)		0.0000
Querkraft X (N)		0.0000
Querkraft Z (N)		-30.0000
Biegemoment X (Nm)		0.0000
Biegemoment Z (Nm)		0.0000
<b>Art des Kraftelements</b>		<b>Kupplung/Motor</b>
Bezeichnung im Modell		MotorE1(MotorE1)
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	29.0000
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	29.0000
Wirkdurchmesser (mm)		32.0000
Radialkraftfaktor (-)		0.0000
Richtung der Radialkraft (°)		0.0000
Axialkraftfaktor (-)		0.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		41.6000
Leistung (kW)		21.2293 getrieben (Antrieb)
Drehmoment (Nm)		517.7500
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 Jp (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Massenträgheitsmoment Jxx (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Massenträgheitsmoment Jzz (kg*m <sup>2</sup> )		0.0000
Exzentrizität (mm)		0.0000
<b>Art des Kraftelements</b>		<b>Stirnrad</b>
Bezeichnung im Modell		Z6(Z5Z6)
Position auf Welle (mm)	[ylocal]	381.3050
Position im globalen System (mm)	[yglobal]	381.3050
Wälzkreisdurchmesser (mm)		50.2190
Schrägungswinkel (°)		15.1514 rechts
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)		21.4844
Position des Eingriffs (°)		0.0000
Länge der Krafteinleitung (mm)		60.0000
Leistung (kW)		21.2293 treibend (Abtrieb)
Drehmoment (Nm)		-517.7500
Axialkraft (N)		5583.4817
Querkraft X (N)		-8408.1204
Querkraft Z (N)		20619.6824
Biegemoment X (Nm)		-0.0000
Biegemoment Z (Nm)		140.1985
<b>Lager</b>		
Bezeichnung im Modell		WelleZ6AxiallagerQJ307N2MA
Lager Typ		SKF *QJ 307 N2MA
Lager Bauform		Vierpunktelager
Lager Position (mm)	[ylocal]	472.805
Lager Position (mm)	[yglobal]	472.805
Befestigung Aussenring		Axiallager
Innendurchmesser (mm)	[d]	35.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	80.000

WZ6 4/26

Breite (mm)	[b]	21.000
Eckradius (mm)	[r]	1.500
Anzahl Wälzkörper	[Z]	11
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	57.500
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	14.194
Druckwinkel (°)	[α <sub>0</sub> ]	35.000
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	71.830
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	43.222
Krümmungsradius äussere Laufbahn (mm)	[r <sub>o</sub> ]	7.523
Krümmungsradius innere Laufbahn (mm)	[r <sub>i</sub> ]	7.381

Pa = 0.088 (mm)

Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (\*)

Lagerspiel	DIN 620:1988 C0 (87.50 µm)
Toleranzlage	Mittelwert
Toleranz	DIN 620:1988 PN
Toleranz der Welle	k5, 35.008 mm (min = 35.002 mm , max = 35.013 mm)
Toleranz der Nabe	K6, 79.995 mm (min = 79.985 mm , max = 80.004 mm)

RzI = 2.80 µm (Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Innenring)

RzO = 8.00 µm (Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Aussenring)

Änderung Lagerspiel durch: n = 0 (1/min)

Press-Sitz	-9.10 µm
Temperatur	-37.38 µm
Gesamte Lagerspieländerung	-35.57 µm, ni = 391.55 (1/min), no = 0 (1/min)
Betriebslagerspiel	87.50 µm + (-35.57 µm) = 51.93 µm

Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ]	51.000
Dynamische Tragzahl	[C]	64.000
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ]	1.960

Werte für die approximierte Geometrie:

Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	39.682
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	25.294

Bezeichnung im Modell		WelleZ6RadiallagerLinksNU2307ECP
Lager Typ		SKF *NU 2307 ECP
Lager Bauform		Zylinderrollenlager (einreihig)
Lager Position (mm)	[y <sub>lokal</sub> ]	315.805
Lager Position (mm)	[y <sub>global</sub> ]	315.805
Befestigung Aussenring		Loslager
Innendurchmesser (mm)	[d]	35.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	80.000
Breite (mm)	[b]	31.000
Eckradius (mm)	[r]	1.500
Anzahl Wälzkörper	[Z]	8
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	55.614
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	16.644
Länge Wälzkörper (mm)	[L <sub>we</sub> ]	23.870
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	72.260
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	38.968

Pd = 0.037 (mm)

Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (\*)

Lagerspiel	DIN 620:1988 C0 (37.50 µm)
Toleranzlage	Mittelwert
Toleranz	DIN 620:1988 PN
Toleranz der Welle	k5, 35.008 mm (min = 35.002 mm , max = 35.013 mm)
Toleranz der Nabe	J6, 80.004 mm (min = 79.994 mm , max = 80.013 mm)

RzI = 8.00 µm (Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Innenring)

RzO = 8.00 µm (Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Aussenring)

Änderung Lagerspiel durch: n = 0 (1/min)

Press-Sitz	-6.37 µm
------------	----------

Temperatur	-37.71 $\mu\text{m}$	
Gesamte Lagerspieländerung	-31.96 $\mu\text{m}$ , ni = 391.55 (1/min), no = 0 (1/min)	
Betriebslagerspiel	37.50 $\mu\text{m}$ + (-31.96 $\mu\text{m}$ ) = 5.54 $\mu\text{m}$	
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ]	98.000
Dynamische Tragzahl	[C]	106.000
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ]	12.700
Werte für die approximierte Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	106.070
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	97.992

Bezeichnung im Modell	WelleZ7RadiallagerRechtsNU2307ECP	
Lager Typ	SKF *NU 2307 ECP	
Lager Bauform	Zylinderrollenlager (einreihig)	
Lager Position (mm)	[l <sub>lokal</sub> ]	446.805
Lager Position (mm)	[l <sub>global</sub> ]	446.805
Befestigung Aussenring	Loslager	
Innendurchmesser (mm)	[d]	35.000
Aussendurchmesser (mm)	[D]	80.000
Breite (mm)	[b]	31.000
Eckradius (mm)	[r]	1.500
Anzahl Wälzkörper	[Z]	8
Teilkreis Wälzkörper (mm)	[D <sub>pw</sub> ]	55.614
Durchmesser Wälzkörper (mm)	[D <sub>w</sub> ]	16.644
Länge Wälzkörper (mm)	[L <sub>we</sub> ]	23.870
Durchmesser äussere Laufbahn (mm)	[d <sub>o</sub> ]	72.259
Durchmesser innere Laufbahn (mm)	[d <sub>i</sub> ]	38.969

Pd = 0.037 (mm)

Berechnung mit approximierter Lagerinnengeometrie (\*)

Lagerspiel	DIN 620:1988 C0 (37.50 $\mu\text{m}$ )	
Toleranzlage	Mittelwert	
Toleranz	DIN 620:1988 PN	
Toleranz der Welle	k5, 35.008 mm (min = 35.002 mm , max = 35.013 mm)	
Toleranz der Nabe	J6, 80.004 mm (min = 79.994 mm , max = 80.013 mm)	
Rz1 = 2.80 $\mu\text{m}$	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Innenring)	
RzO = 8.00 $\mu\text{m}$	(Oberflächenrauigkeit Welle/Nabe im Kontakt mit Aussenring)	
Änderung Lagerspiel durch: n = 0 (1/min)		
Press-Sitz	-10.10 $\mu\text{m}$	
Temperatur	-37.71 $\mu\text{m}$	
Gesamte Lagerspieländerung	-35.69 $\mu\text{m}$ , ni = 391.55 (1/min), no = 0 (1/min)	
Betriebslagerspiel	37.50 $\mu\text{m}$ + (-35.69 $\mu\text{m}$ ) = 1.81 $\mu\text{m}$	
Statische Tragzahl	[C <sub>0</sub> ]	98.000
Dynamische Tragzahl	[C]	106.000
Tragzahl Ermüdung	[C <sub>U</sub> ]	12.700
Werte für die approximierte Geometrie:		
Dynamische Tragzahl (kN)	[C <sub>theo</sub> ]	106.070
Statische Tragzahl (kN)	[C <sub>0theo</sub> ]	97.992

-----

Welle 'WelleZ6E1': Stirnrad 'Z6(Z5Z6)' (y= 381.3050 (mm)) wird als fester Bestandteil der Welle berücksichtigt.  
 EI (y= 351.3050 (mm)): 41465.5256 (Nm<sup>2</sup>), EI (y= 411.3050 (mm)): 41465.5256 (Nm<sup>2</sup>), m (yS= 381.3050 (mm)): 0.1834 (kg)  
 Jp: 0.0001 (kg\*m<sup>2</sup>), Jxx: 0.0001 (kg\*m<sup>2</sup>), Jzz: 0.0001 (kg\*m<sup>2</sup>)

**Resultate**

WZ6 6/26

**Welle**

Maximale Durchbiegung (mm)	0.149
Position des Maximums (mm)	0.000
Massenschwerpunkt (mm)	269.634
Summe der axialen Belastung (N)	5583.482
Verdrehung unter Drehmoment (°)	-0.898

**Lager**

Ausfallwahrscheinlichkeit	[n]	1.00	%
Axialspiel	[u <sub>A</sub> ]	10.00	µm
Schmierstoff	Öl: Klübersynth GEM 4-150 N		
Schmierstoff mit Additivierung, dessen Wirksamkeit in Wälzlagern geprüft wurde.			
Ölschmierung mit Filterung, ISO4406 -/13/10			
Schmierstoff - Betriebstemperatur	[T <sub>B</sub> ]	80.00	°C
Grenzwert für Faktor a <sub>ISO</sub>	[a <sub>ISOmax</sub> ]	50.00	
Ölstand	[h <sub>oil</sub> ]	0.00	mm
Öl-Einspritzschmierung			

Wälzlagersteifigkeiten aus innerer Geometrie

**Welle 'WelleZ6E1' Wälzlager 'WelleZ6AxiallagerQJ307N2MA'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	472.81	mm
Äquivalente Belastung	[P]	5.97	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	3.24	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>ISO</sub> ]	3.643	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	13082.02	h
Lebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	47653.31	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.60	
Betriebsviskosität	[v]	34.11	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	41.82	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[κ]	0.82	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	0.068	µm
Bohr- zu Rollgeschwindigkeit	[-]	0.237	
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	15.75	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	13943.68	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	52405.47	h
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	-0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	-5.583	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	37.13	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	13.41	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	39.48	Nm (19.85°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.070	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.261	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm

WZ6 7/26

Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	0.331	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	13.572	W
Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.			
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff $\mu_{bl}=0.15$ gerechnet.			
Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-7.188	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	157.869	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	11.989	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.014	$\mu\text{m}$ (120.94°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	-0.336	mrاد (-1.15')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	-15.672	mrاد (-53.88')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	-0.121	mrاد (-0.42')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.357	mrاد (1.23')

**Welle 'WelleZ6E1' Wälzlager 'WelleZ6RadiallagerLinksNU2307ECP'**

Position (Y-Koordinate)	[y]	315.81	mm
Äquivalente Belastung	[P]	10.34	kN
Äquivalente Belastung	[P <sub>0</sub> ]	10.34	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a <sub>1</sub> ]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[a <sub>ISO</sub> ]	3.000	
Lebensdauer	[L <sub>nh</sub> ]	24934.74	h
Lebensdauer	[L <sub>nmh</sub> ]	74804.21	h
Verunreinigungsbeiwert	[e <sub>C</sub> ]	0.60	
Betriebsviskosität	[v]	34.11	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v <sub>1</sub> ]	41.82	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[k]	0.82	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[h <sub>min</sub> ]	0.075	$\mu\text{m}$
Statischer Sicherheitsfaktor	[S <sub>0</sub> ]	9.48	
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrh</sub> ]	74995.59	h
Referenzlebensdauer	[L <sub>nrmh</sub> ]	87535.55	h
Lagerreaktionskraft	[F <sub>x</sub> ]	3.029	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>y</sub> ]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>z</sub> ]	-9.883	kN
Lagerreaktionskraft	[F <sub>r</sub> ]	10.336	kN (-72.96°)
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>x</sub> ]	-10.74	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>y</sub> ]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>z</sub> ]	-3.88	Nm
Lagerreaktionsmoment	[M <sub>r</sub> ]	11.41	Nm (-160.15°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[M <sub>rr</sub> ]	0.133	Nm
Gleitreibungsmoment	[M <sub>sl</sub> ]	0.066	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[M <sub>seal</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[M <sub>drag</sub> ]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[M <sub>loss</sub> ]	0.199	Nm
Verlustleistung	[P <sub>loss</sub> ]	8.143	W

Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.

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

Lagerverschiebung	[u <sub>x</sub> ]	-7.392	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>y</sub> ]	51.522	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>z</sub> ]	22.900	$\mu\text{m}$
Lagerverschiebung	[u <sub>r</sub> ]	0.024	$\mu\text{m}$ (107.89°)
Lagerneigung	[r <sub>x</sub> ]	0.437	mrاد (1.5')
Lagerneigung	[r <sub>y</sub> ]	-14.243	mrاد (-48.96')
Lagerneigung	[r <sub>z</sub> ]	0.191	mrاد (0.66')
Lagerneigung	[r <sub>r</sub> ]	0.477	mrاد (1.64')

**Welle 'WelleZ6E1' Wälzlager 'WelleZ7RadiallagerRechtsNU2307ECP'**

WZ6 8/26

Position (Y-Koordinate)	[y]	446.81	mm
Äquivalente Belastung	[P]	11.95	kN
Äquivalente Belastung	[P0]	11.95	kN
Faktor für Ausfallwahrscheinlichkeit	[a1]	0.250	
Lebensdauerbeiwert	[aISO]	2.403	
Lebensdauer	[Lnh]	15393.88	h
Lebensdauer	[Lnmh]	36988.80	h
Verunreinigungsbeiwert	[eC]	0.60	
Betriebsviskosität	[v]	34.11	mm <sup>2</sup> /s
Bezugsviskosität	[v1]	41.82	mm <sup>2</sup> /s
Viskositätsverhältnis	[k]	0.82	
Minimale Schmierfilmdicke EHL	[hmin]	0.074	µm
Statischer Sicherheitsfaktor	[S0]	8.20	
Referenzlebensdauer	[Lnrh]	49718.88	h
Referenzlebensdauer	[Lnrmh]	52344.23	h
Lagerreaktionskraft	[Fx]	5.379	kN
Lagerreaktionskraft	[Fy]	0.000	kN
Lagerreaktionskraft	[Fz]	-10.666	kN
Lagerreaktionskraft	[Fr]	11.945	kN (-63.23°)
Lagerreaktionsmoment	[Mx]	9.92	Nm
Lagerreaktionsmoment	[My]	0.00	Nm
Lagerreaktionsmoment	[Mz]	4.25	Nm
Lagerreaktionsmoment	[Mr]	10.79	Nm (23.21°)
Ölstand	[H]	0.000	mm
Rollreibungsmoment	[Mrr]	0.139	Nm
Gleitreibungsmoment	[Msl]	0.076	Nm
Reibungsmoment Dichtungen	[Mseal]	0.000	Nm
Reibungsmoment Dichtungen nach SKF-Hauptkatalog 10000/1 EN:2013 bestimmt			
Reibungsmoment Strömungsverluste	[Mdrag]	0.000	Nm
Reibungsmoment	[Mloss]	0.215	Nm
Verlustleistung	[Ploss]	8.810	W
Das Reibungsmoment wird nach Angaben aus dem SKF-Katalog 2013 berechnet.			
Es wird immer mit einem Beiwert für Zusätze im Schmierstoff µbl=0.15 gerechnet.			
Lagerverschiebung	[ux]	-10.637	µm
Lagerverschiebung	[uy]	140.663	µm
Lagerverschiebung	[uz]	21.542	µm
Lagerverschiebung	[ur]	0.024	µm (116.28°)
Lagerneigung	[rx]	-0.399	mrاد (-1.37°)
Lagerneigung	[ry]	-15.672	mrاد (-53.88°)
Lagerneigung	[rz]	-0.144	mrاد (-0.5°)
Lagerneigung	[r]	0.424	mrاد (1.46°)

(\* Hinweis zu Wälzlager mit approximierter Lagergeometrie:

Die innere Geometrie von diesen Lagern ist nicht in der Datenbank eingetragen.

Die Geometrie wird nach ISO281 aus C und C0 (Angaben im Katalog des Herstellers) rückwärts gerechnet.

Die Geometrie kann deshalb von der wirklichen Geometrie abweichen.

Dies kann in gewissen Fällen deutliche Unterschiede bei der Wälzlagersteifigkeit bewirken.

Ausnutzung, bezogen auf die Soll-Lebensdauer [H] ( 20000.000)

B1	B2	B3
0.75	0.67	0.83

B1: WelleZ6AxiallagerQJ307N2MA

B2: WelleZ6RadiallagerLinksNU2307ECP

B3: WelleZ7RadiallagerRechtsNU2307ECP

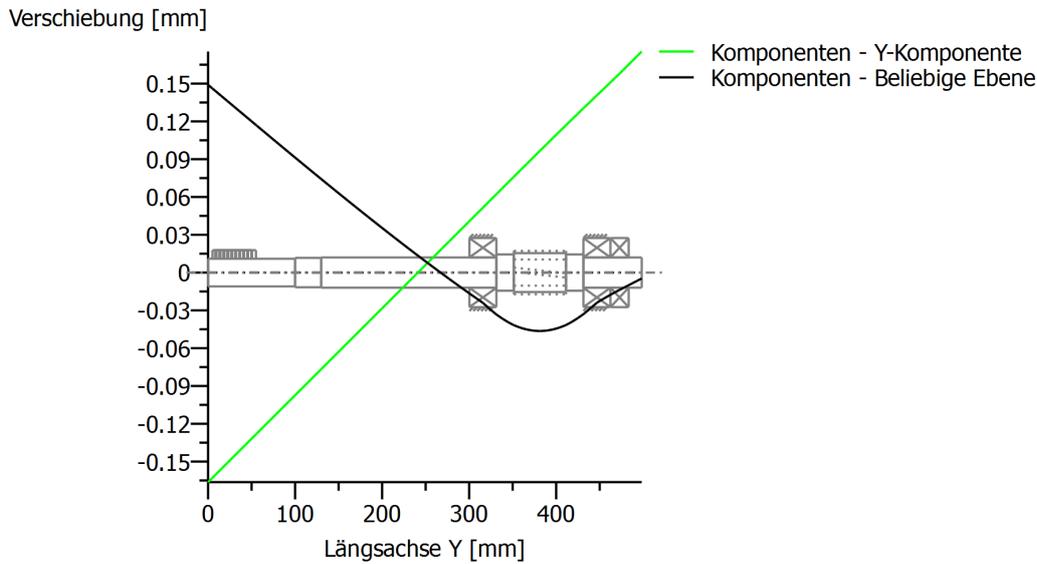
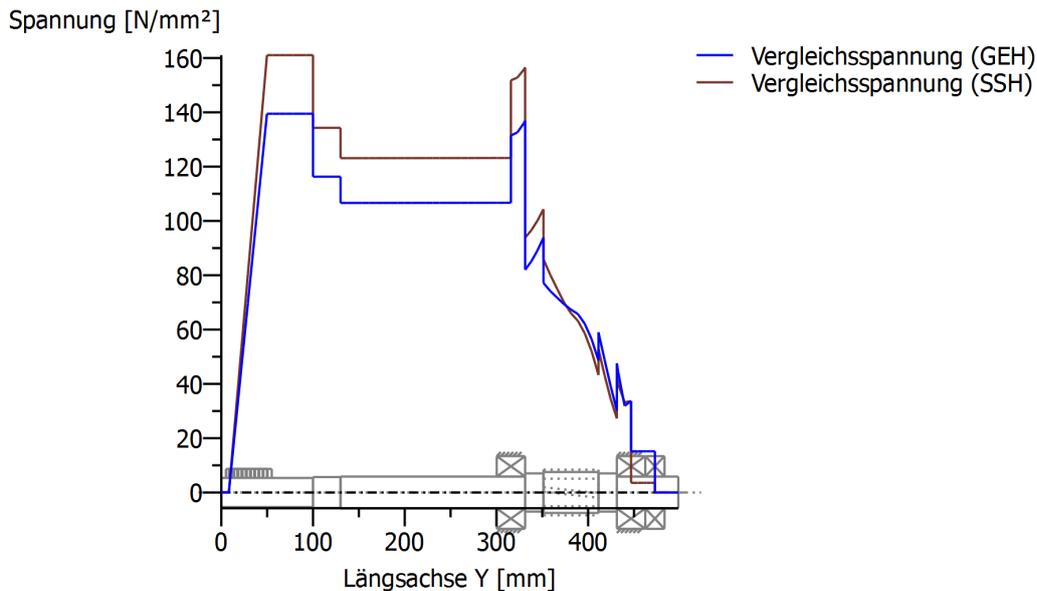


Abbildung: Verformung (Biegelinien etc.) (Beliebige Ebene 290.8535994 120)



GEH(von Mises):  $\text{sigV} = ((\text{sigB} + \text{sigZ},D)^2 + 3 * (\text{tauT} + \text{tauS})^2)^{1/2}$  SSH(Tresca):  $\text{sigV} = ((\text{sigB} - \text{sigZ},D)^2 + 4 * (\text{tauT} + \text{tauS})^2)^{1/2}$   
Abbildung: Vergleichsspannung

**Eigenfrequenzen/Kritische Drehzahlen**

1. Eigenfrequenz:	0.00 Hz, Kritische Drehzahl:	0.00 1/min	Starrkörperrotation Y 'WelleZ6E1'
2. Eigenfrequenz:	227.09 Hz, Kritische Drehzahl:	13625.66 1/min	Biegung XY 'WelleZ6E1'
3. Eigenfrequenz:	228.57 Hz, Kritische Drehzahl:	13714.26 1/min	Torsion 'WelleZ6E1'
4. Eigenfrequenz:	1187.75 Hz, Kritische Drehzahl:	71264.86 1/min	Axial 'WelleZ6E1'
5. Eigenfrequenz:	1279.33 Hz, Kritische Drehzahl:	76759.69 1/min	Biegung XY 'WelleZ6E1'

Normierte Verschiebung

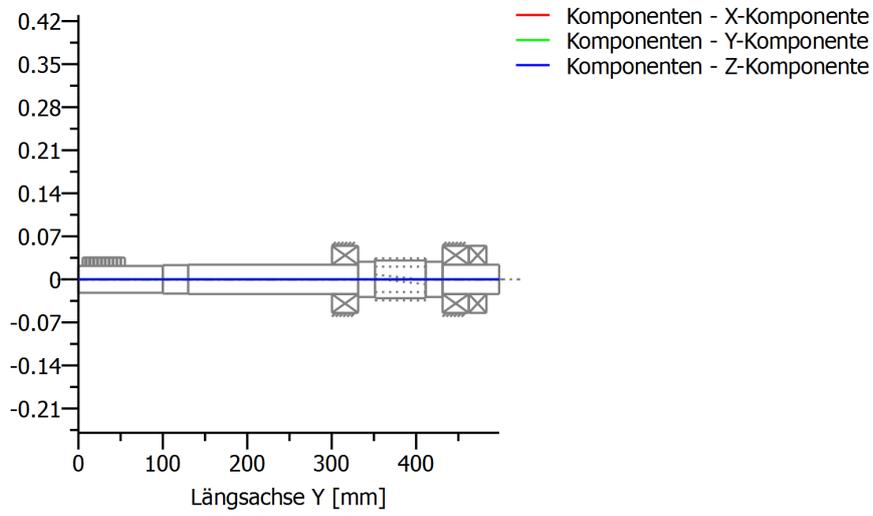


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 1. (0 Hz))

Normierte Verschiebung

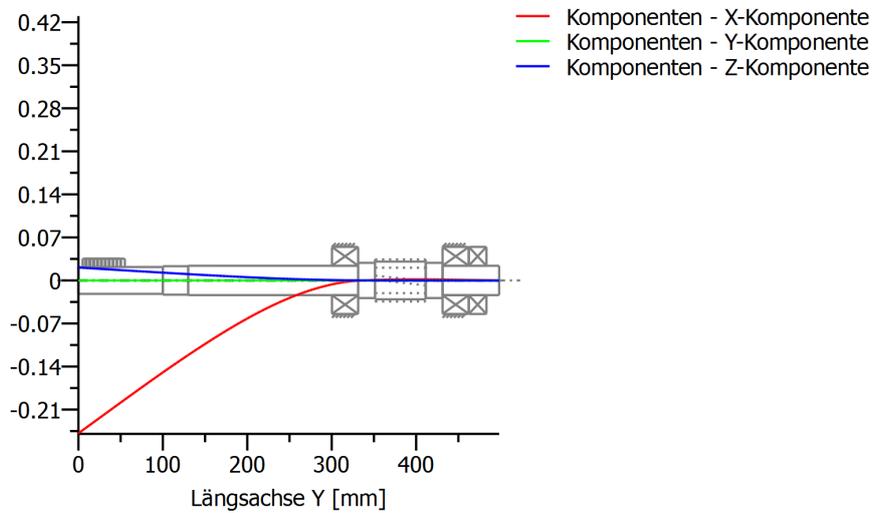


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 2. (227.09 Hz))

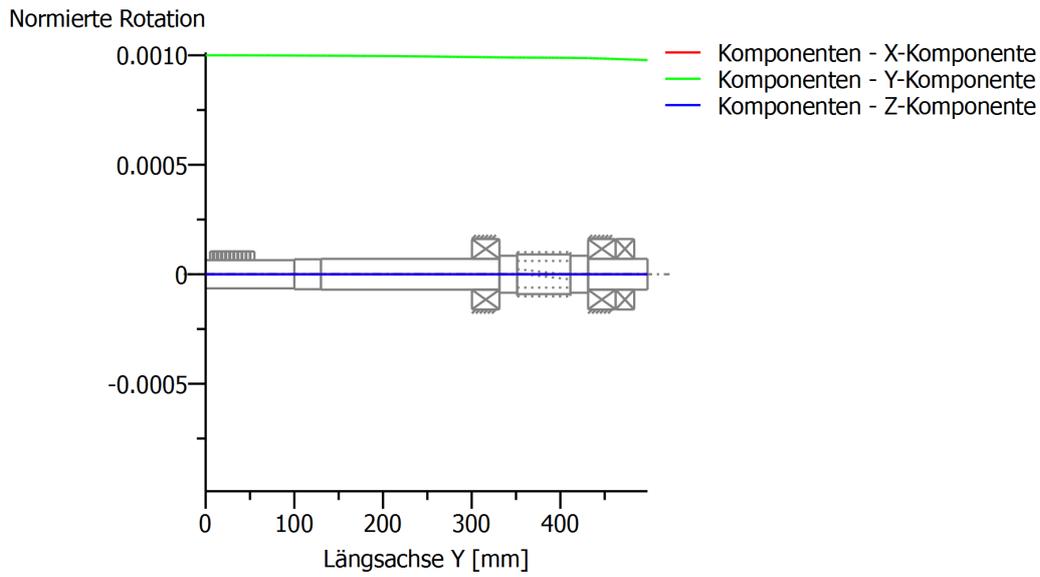


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Verschiebung) (Eigenfrequenz: 3. (228.57 Hz))

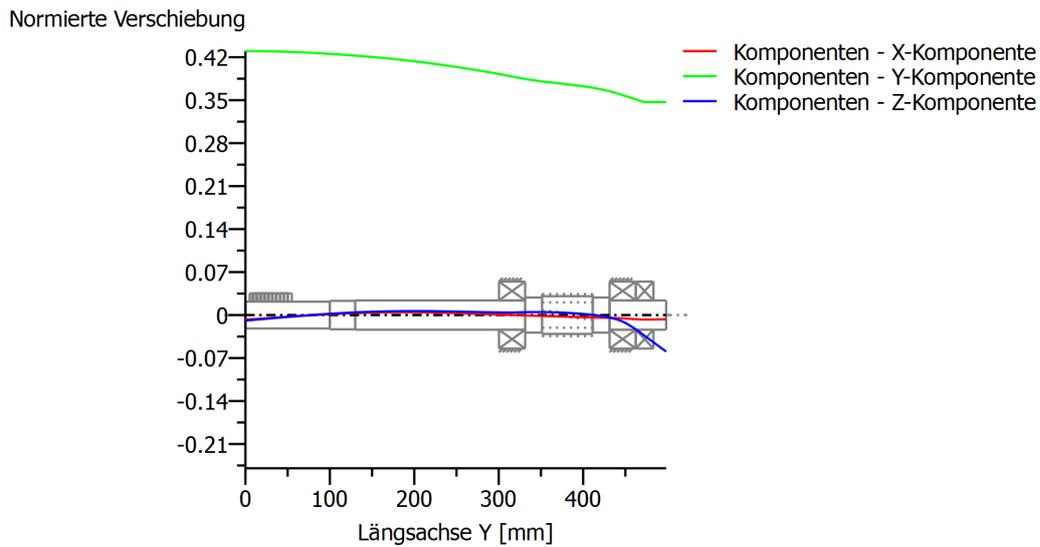


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 4. (1187.75 Hz))

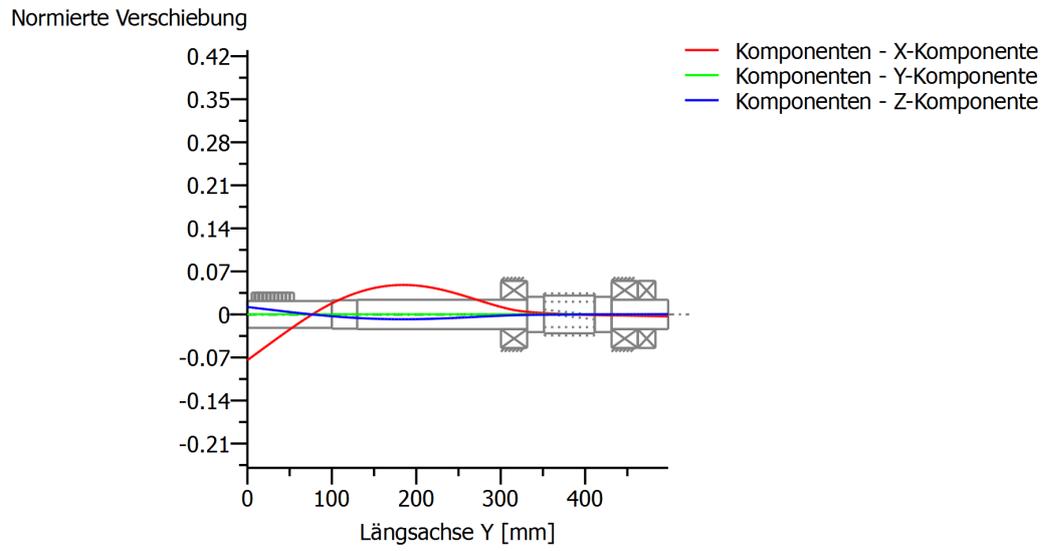


Abbildung: Eigenfrequenzen (Normierte Rotation) (Eigenfrequenz: 5. (1279.33 Hz))

**Festigkeitsberechnung nach DIN 743:2012**

**Zusammenfassung**

**WelleZ6E1**

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)	
WelleZ6LoslagerAbsatz	331.31	Wellenabsatz
WelleZ6RDWRechts	130.00	Wellenabsatz
WelleZ6RitzeRechts	411.31	Wellenabsatz
WelleZ6FeslagerAbsatz	431.31	Wellenabsatz
WelleZ6RitzelLinks	351.31	Wellenabsatz
WelleZ6UmlaufnutLinks	300.00	Rechtecknut
WelleZ6Passfeder	56.00	Passfeder
WelleZ6AbsatzPassfeder	100.00	Wellenabsatz

Resultate:

Querschnitt	Kfb	Kfs	K2d	SD	SS	SA
WelleZ6LoslagerAbsatz	1.64	0.93	0.90	4.38	3.85	9.53
WelleZ6RDWRechts	1.17	0.86	0.90	5.68	3.75	15.51
WelleZ6RitzeRechts	1.62	0.81	0.88	4.91	9.18	13.41
WelleZ6FeslagerAbsatz	1.64	0.93	0.90	8.09	16.50	25.22
WelleZ6RitzelLinks	1.62	0.86	0.88	4.47	5.46	10.34
WelleZ6UmlaufnutLinks	3.42	1.08	0.90	2.85	3.43	7.14
WelleZ6Passfeder	3.02	1.00	0.90	3.36	3.13	9.12
WelleZ6AbsatzPassfeder	1.44	0.86	0.90	4.64	3.13	11.77

Sollsicherheiten: 1.20 1.20 1.20

Abkürzungen:

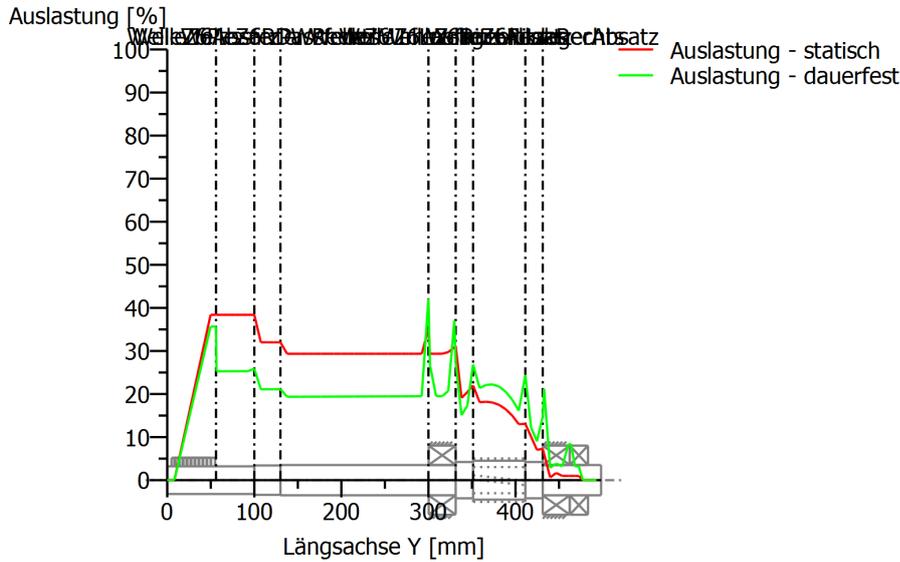
- Kfb: Kerbfaktor Biegung
- Kfo: Oberflächenfaktor
- K2d: Grössenfaktor Biegung
- SD: Sicherheit Dauerfestigkeit
- SS: Sicherheit Streckgrenze
- SA: Sicherheit Anriss

**Ausnutzung (%A) [Smin/S]**

Querschnitt	Statisch	Dauerfest
WelleZ6LoslagerAbsatz	31.179	27.424
WelleZ6RDWRechts	32.008	21.119
WelleZ6RitzeRechts	13.072	24.441

WZ6 14/26

WelleZ6FeslagerAbsatz	7.271	14.838
WelleZ6RitzelLinks	21.988	26.854
WelleZ6UmlaufnutLinks	35.016	42.127
WelleZ6Passfeder	38.391	35.671
WelleZ6AbsatzPassfeder	38.391	25.874
Maximale Ausnutzung (%)	[A]	42.127



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

**Berechnungs-Details**

**Allgemeine Angaben**

Bezeichnung	WelleZ6E1		
Zeichnung			
Länge (mm)	[l]		498.31
Drehzahl (1/min)	[n]		391.55
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
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
[ $\tau_{tW}$ ] (bei dB) (N/mm <sup>2</sup> )		360.00
Dicke Rohmaterial (mm)	[dWerkst]	50.00
Werkstoffdaten nach DIN743/3 mit K1(d) berechnet		
Werkstoff-Festigkeitswerte aus Dicke Rohmaterial bestimmt		
Geometrischer Grössenfaktor K1d mit Rohdurchmesser berechnet		
[ $\sigma_{Beff}$ ] (N/mm <sup>2</sup> )		1045.61

WZ6 16/26

[σSeff] (N/mm <sup>2</sup> )	740.64
[σbF] (N/mm <sup>2</sup> )	740.64
[τtF] (N/mm <sup>2</sup> )	427.61
[σBRand] (N/mm <sup>2</sup> )	2300.00

[σzdW] (N/mm <sup>2</sup> )	418.24
[σbW] (N/mm <sup>2</sup> )	522.80
[τtW] (N/mm <sup>2</sup> )	313.68

Dauerfestigkeit für Einstufenbeanspruchung

Berechnung für Beanspruchungsfall 2 (σ.av/σ.mv = konst)

Querschnitt 'WelleZ6LoslagerAbsatz'		Wellenabsatz			
Kommentar					
Position (Y-Koordinate) (mm)		[y]		331.31	
Aussendurchmesser (mm)		[da]		35.000	
Innendurchmesser (mm)		[di]		0.000	
Kerbwirkung	Wellenabsatz				
[D, r, t] (mm)	42.000	1.500	0.000		
Mittlere Rauheit (µm)		[Rz]		2.800	
			Zug/Druck	Biegung	Torsion
Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		-0.0	0.0	258.9	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		0.0	161.2	258.9	10387.1
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		-0.0	274.0	880.2	17658.1
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		962.1	4209.2	8418.5	962.1
Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )					
[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )		-0.000	0.000	30.751	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	38.291	30.751	14.395
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )		-0.000	65.095	104.553	24.471
Technologischer Grösseneinfluss					
	[K1(sB)]	0.871			
	[K1(sS)]	0.871			
			Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	2.271	2.075	1.532	
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	1.722	1.722	0.767	
Stützziffer	[n]	1.262	1.262	1.175	
Kerbwirkungszahl	[β]	1.799	1.645	1.304	
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.897	0.897	
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.929	0.929	0.959	
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.033	1.033	
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.876	1.848	1.448	
Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:					
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		53.262		
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		30.751		
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	223.003	282.961	216.634	
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.119	0.156	0.116	
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.014	232.381	194.192	

WZ6 17/26

Sicherheit gegen Ermüdung	[S]	4.376
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]	1.200
Resultat (%)	[S/Smin]	364.6

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[yF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	740.638	740.638	427.608
Sicherheit Fließgrenze	[S]		3.849	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		320.7	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]	9.528
Sollsicherheit	[Smin]	1.200
Resultat (%)	[S/Smin]	794.0

**Querschnitt 'WelleZ6RDWRechts' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	130.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]	34.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	0.000
Kerbwirkung	Wellenabsatz	
[D, r, t] (mm)	35.000 1.000 0.000	
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]	8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	258.9	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	3.7	258.9	38.3
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	6.2	880.2	65.0
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	907.9	3858.7	7717.3	907.9

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	33.545	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.949	33.545	0.056
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	1.613	114.052	0.096

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.871
	[K1(sS)]	0.871

	Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	1.825	1.561
Bezogenes Spannungsgefälle	[G]	2.776	2.776
Stützziffer	[n]	1.332	1.332
Kerbwirkungszahl	[β]	1.369	1.172
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.899
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.857	0.857
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.033
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.536	1.422

WZ6 18/26

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		58.101
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		33.545

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	272.330	367.622	255.075
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.150	0.213	0.139
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.013	11.899	213.804
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		5.682	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		473.5	

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]	740.638	740.638	427.608
Sicherheit Fließgrenze	[S]		3.749	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		312.4	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]		15.507
Sollsicherheit	[Smin]		1.200
Resultat (%)	[S/Smin]		1292.2

**Querschnitt 'WelleZ6RitzeRechts' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		411.31
Aussendurchmesser (mm)	[da]		42.000
Innendurchmesser (mm)	[di]		0.000
Kerbwirkung Wellenabsatz			
[D, r, t] (mm)	45.000	1.000	0.000
Mittlere Rauheit (µm)		[Rz]	16.000

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-2791.7	0.0	0.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	2791.7	374.5	0.0	11951.8
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-9491.9	636.7	0.0	20318.0
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	1385.4	7273.6	14547.1	1385.4

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-2.015	0.000	0.000	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	2.015	51.491	0.000	11.502
[σzdm, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	-6.851	87.534	0.000	19.554

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.871
	[K1(sS)]	0.871

Zug/Druck    Biegung    Torsion

Formzahl	[a]	2.295	2.138	1.522
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	2.633	2.633	1.150
Stützziffer	[n]	1.324	1.324	1.214
Kerbwirkungszahl	[β]	1.734	1.615	1.253
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.885	0.885
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.810	0.810	0.891
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.033	1.033
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.969	1.994	1.490

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		-2.015	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		0.000	

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	212.445	262.218	210.583
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.113	0.143	0.112
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	239.530	263.697	210.583
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		4.910	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		409.1	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	740.638	740.638	427.608
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		9.180	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		765.0	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]		13.415	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		1117.9	

**Querschnitt 'WelleZ6FeslagerAbsatz'**

**Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		431.31	
Aussendurchmesser (mm)	[da]		35.000	
Innendurchmesser (mm)	[di]		0.000	
Kerbwirkung	Wellenabsatz			
[D, r, t] (mm)	42.000	1.500	0.000	
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]		2.800	

Zug/Druck    Biegung    Torsion    Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	-2791.7	0.0	0.0	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	2791.7	135.5	0.0	11949.9
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-9491.9	230.4	0.0	20314.7
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	962.1	4209.2	8418.5	962.1

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-2.902	0.000	0.000	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	2.902	32.200	0.000	16.561

WZ6 20/26

[σzdm, obmax, tmax, tqmax] (N/mm²) -9.866 54.741 0.000 28.153

Technologischer Grösseneinfluss [K1(sB)] 0.871  
 [K1(sS)] 0.871

Zug/Druck Biegung Torsion

Formzahl [a] 2.271 2.075 1.532  
 Bezogenes Spannungsfälle [G'] 1.722 1.722 0.767  
 Stützziffer [n] 1.262 1.262 1.175  
 Kerbwirkungszahl [β] 1.799 1.645 1.304  
 Geometrischer Grösseneinfluss [K2(d)] 1.000 0.897 0.897  
 Einflussfaktor Oberflächenrauheit [KF] 0.929 0.929 0.959  
 Einflussfaktor Oberflächenverfestigung [KV] 1.000 1.033 1.033  
 Gesamteinflussfaktor [K] 1.876 1.848 1.448

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm²) [σmV] -2.902  
 Vergleichsmittelspannung (N/mm²) [rmV] 0.000

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm²) [σWK] 223.003 282.961 216.634  
 Einflussfaktor Mittelspannungsempf. [ψσK] 0.119 0.156 0.116  
 Ertragbare Amplitude (N/mm²) [σADK] 253.230 287.008 216.634  
 Sicherheit gegen Ermüdung [S] 8.087  
 Sollsicherheit gegen Ermüdung [Smin] 1.200  
 Resultat (%) [S/Smin] 673.9

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer [K2F] 1.000 1.000 1.000  
 Erhöhungsfaktor [γF] 1.000 1.000 1.000  
 Bauteilfließsgrenze (N/mm²) [σFK] 740.638 740.638 427.608  
 Sicherheit Fließsgrenze [S] 16.504  
 Sollsicherheit [Smin] 1.200  
 Resultat (%) [S/Smin] 1375.4

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss [S] 25.219  
 Sollsicherheit [Smin] 1.200  
 Resultat (%) [S/Smin] 2101.6

**Querschnitt 'WelleZ6RitzelLinks' Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm) [y] 351.31  
 Aussendurchmesser (mm) [da] 42.000  
 Innendurchmesser (mm) [di] 0.000  
 Kerbwirkung Wellenabsatz  
 [D, r, t] (mm) 45.000 1.000 0.000  
 Mittlere Rauheit (µm) [Rz] 8.000

Zug/Druck Biegung Torsion Scherung

Beanspruchung: (N) (Nm)  
 Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm] -0.0 0.0 258.9 0.0  
 Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa] 0.0 368.9 258.9 10389.2

WZ6 21/26

Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	-0.0	627.2	880.2	17661.6
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	1385.4	7273.6	14547.1	1385.4

Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )				
[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	0.000	17.796	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	50.719	17.796	9.998
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	-0.000	86.223	60.505	16.997

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.871		
	[K1(sS)]	0.871		

		Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	2.295	2.138	1.522
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	2.633	2.633	1.150
Stützziffer	[n]	1.324	1.324	1.214
Kerbwirkungszahl	[β]	1.734	1.615	1.253
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.885	0.885
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.857	0.857	0.918
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.033	1.033
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.900	1.927	1.457

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		30.823	
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		17.796	

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	220.107	271.241	215.263
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.118	0.149	0.115
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.024	248.714	193.104
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		4.469	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		372.4	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[γF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	740.638	740.638	427.608
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		5.458	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		454.8	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]		10.338	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		861.5	

**Querschnitt 'WelleZ6UmlaufnutLinks'**

**Rechtecknut**

Kommentar		
Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]	300.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]	35.000
Innendurchmesser (mm)	[di]	0.000

WZ6 22/26

Kerbwirkung [d, r, t, m] (mm)	Rechtecknut 33.00 0.10 1.00 1.50				
		Mittlere Rauheit (µm) [Rz] 8.000			
		Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		0.0	0.0	258.9	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		0.0	11.2	258.9	50.8
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		0.0	19.1	880.2	86.4
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm²) (mm³)					
[A, Wb, Wt, A]		855.3	3528.1	7056.2	855.3
Spannungen: (N/mm²)					
[σzdm, obm, τm, τqm] (N/mm²)		0.000	0.000	36.688	0.000
[σzda, oba, τa, τqa] (N/mm²)		0.000	3.184	36.688	0.079
[σzdm <sub>max</sub> , obm <sub>max</sub> , τ <sub>max</sub> , τqm <sub>max</sub> ] (N/mm²)		0.000	5.413	124.738	0.135
Technologischer Grösseneinfluss					
	[K1(sB)]	0.871			
	[K1(sS)]	0.871			
		Zug/Druck	Biegung	Torsion	
Kerbwirkungszahl [dB] (mm) = 30.0	[β(dB)]	3.724	3.408	2.500	
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.944	0.947	0.961	
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.947	0.951	0.963	
Kerbwirkungszahl	[β]	3.738	3.420	2.507	
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.901	0.901	
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	1.079	1.079	1.041	
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000	
Gesamteinflussfaktor	[K]	3.665	3.723	2.742	
Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:					
Vergleichsmittelspannung (N/mm²)	[σmV]		63.545		
Vergleichsmittelspannung (N/mm²)	[τmV]		36.688		
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm²)	[σWK]	114.124	140.440	114.384	
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.058	0.072	0.058	
Ertragbare Amplitude (N/mm²)	[σADK]	0.012	35.341	108.128	
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		2.849		
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200		
Resultat (%)	[S/Smin]		237.4		
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/mm²)	[σFK]	740.638	740.638	427.608	
Sicherheit Fließgrenze	[S]		3.427		
Sollsicherheit	[Smin]		1.200		
Resultat (%)	[S/Smin]		285.6		
Vorhandene Sicherheitszahl für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:					
Sicherheit Anriss	[S]		7.142		
Sollsicherheit	[Smin]		1.200		
Resultat (%)	[S/Smin]		595.1		

<b>Querschnitt 'WelleZ6Passfeder'</b>	<b>Passfeder</b>				
Kommentar					
Position (Y-Koordinate) (mm)		[y]		56.00	
Aussendurchmesser (mm)		[da]		32.000	
Innendurchmesser (mm)		[di]		0.000	
Kerbwirkung	Passfeder				
Anzahl Passfedern	[n]		1		
Nut mit Fingerfräser bearbeitet					
Norm: DIN 6885.1:1968 Standard					
[b, t] (mm)		10.000	5.100		
Mittlere Rauheit (µm)			[Rz]	8.000	
			Zug/Druck	Biegung	Torsion
Beanspruchung: (N) (Nm)					
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]		0.0	0.0	258.9	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]		0.0	1.0	258.9	33.5
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]		0.0	1.7	880.2	56.9
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )					
[A, Wb, Wt, A]		804.2	3217.0	6434.0	804.2
Spannungen: (N/mm <sup>2</sup> )					
[σzdm, obm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	0.000	40.236	0.000
[σzda, oba, τα, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	0.315	40.236	0.055
[σzdmax, obmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )		0.000	0.535	136.801	0.094
Technologischer Grösseneinfluss					
	[K1(sB)]	0.871			
	[K1(sS)]	0.871			
			Zug/Druck	Biegung	Torsion
Kerbwirkungszahl					
[dB] (mm) = 40.0	[β(dB)]	3.046	3.046	1.846	
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(d)]	0.953	0.953	0.974	
Geometrischer Grösseneinfluss	[K3(dB)]	0.946	0.946	0.970	
Kerbwirkungszahl	[β]	3.023	3.023	1.838	
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.903	0.903	
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	1.000	1.000	1.000	
Rauheitsfaktor ist gemäss Norm in der Kerbwirkungszahl inbegriffen					
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.000	1.000	
Gesamteinflussfaktor	[K]	3.023	3.347	2.035	
Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:					
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]		69.690		
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]		40.236		
Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )					
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	138.373	156.212	154.126	
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[ψσK]	0.071	0.081	0.080	
Sicherheit gegen Ermüdung	[σADK]	0.011	3.332	142.767	
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		3.364		
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200		
Resultat (%)	[S/Smin]		280.3		

Vorhandene Sicherheitszahl

WZ6 24/26

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[yF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	740.638	740.638	427.608
Sicherheit Fließgrenze	[S]		3.126	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		260.5	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]		9.117
Sollsicherheit	[Smin]		1.200
Resultat (%)	[S/Smin]		759.8

**Querschnitt 'WelleZ6AbsatzPassfeder'**

**Wellenabsatz**

Kommentar

Position (Y-Koordinate) (mm)	[y]		100.00
Aussendurchmesser (mm)	[da]		32.000
Innendurchmesser (mm)	[di]		0.000
Kerbwirkung Wellenabsatz			
[D, r, t] (mm)	34.000	1.000	0.000
Mittlere Rauheit (µm)	[Rz]		8.000

	Zug/Druck	Biegung	Torsion	Scherung
Beanspruchung: (N) (Nm)				
Mittelwert [Fzdm, Mbm, Tm, Fqm]	0.0	0.0	258.9	0.0
Ausschlag (Amplitude) [Fzda, Mba, Ta, Fqa]	0.0	2.5	258.9	36.2
Maximalwert [Fzdmax, Mbmax, Tmax, Fqmax]	0.0	4.3	880.2	61.5
Querschnitt, Widerstandsmomente: (mm <sup>2</sup> ) (mm <sup>3</sup> )				
[A, Wb, Wt, A]	804.2	3217.0	6434.0	804.2

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

[σzdm, σbm, τm, τqm] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.000	40.236	0.000
[σzda, σba, τa, τqa] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	0.791	40.236	0.060
[σzdmax, σbmax, τmax, τqmax] (N/mm <sup>2</sup> )	0.000	1.345	136.801	0.102

Technologischer Grösseneinfluss	[K1(sB)]	0.871
	[K1(sS)]	0.871

	Zug/Druck	Biegung	Torsion
Formzahl	[a]	2.074	1.906
Bezogenes Spannungsgefälle	[G']	2.683	2.683
Stützziffer	[n]	1.327	1.327
Kerbwirkungszahl	[β]	1.563	1.437
Geometrischer Grösseneinfluss	[K2(d)]	1.000	0.903
Einflussfaktor Oberflächenrauheit	[KF]	0.857	0.857
Einflussfaktor Oberflächenverfestigung	[KV]	1.000	1.033
Gesamteinflussfaktor	[K]	1.730	1.701

Vorhandene Sicherheitszahl für den Dauerfestigkeitsnachweis:

Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[σmV]	69.690
Vergleichsmittelspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[τmV]	40.236

Bauteilwechselfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[σWK]	241.816	307.423	234.181
Einflussfaktor Mittelspannungsempf.	[ψσK]	0.131	0.172	0.126
Ertragbare Amplitude (N/mm <sup>2</sup> )	[σADK]	0.011	8.311	207.957
Sicherheit gegen Ermüdung	[S]		4.638	
Sollsicherheit gegen Ermüdung	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		386.5	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis gegen Überschreiten der Fließsgrenze:

Statische Stützziffer	[K2F]	1.000	1.000	1.000
Erhöhungsfaktor	[YF]	1.000	1.000	1.000
Bauteilfließsgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[σFK]	740.638	740.638	427.608
Sicherheit Fließsgrenze	[S]		3.126	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		260.5	

Vorhandene Sicherheitszahl

für den Nachweis des Vermeidens von Anriss bei harten Randschichten:

Sicherheit Anriss	[S]		11.766	
Sollsicherheit	[Smin]		1.200	
Resultat (%)	[S/Smin]		980.5	

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 DIN743. 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: 1178

## **B.11 DIN5480 Sonnenwelle**

**ZAHNWELLENVERBINDUNG DIN 5480:2006**

Welle                   DIN5480 - W 47.00\*2.00\*22\*8f  
 Nabe                   DIN5480 - N 47.00\*2.00\*22\*9H

Zeichnungs- oder Artikelnummer:

Welle:                0.000.0  
 Nabe:                0.000.0

**1. ZAHNGEOMETRIE UND WERKSTOFF**

Normalmodul (mm)	[mn]	2.0000	
Bezugsdurchmesser DIN (mm)	[dB]	47.00	
Eingriffswinkel im Normalschnitt (°)	[alfn]	30.000	
		----- WELLE -----	NABE -----
Zähnezahl	[z]	22	-22
Schrägungswinkel am Teilkreis (°)	[beta]	0.0000	
Zahnbreite (mm)	[b]	54.00	54.00
Schrägungsrichtung	Geradverzahnt		

Werkstoff

Rad 1:                               30 CrNiMo 8 (1), Vergütungsstahl, legiert, vergütet  
 ISO 6336-5 Bild 5/6 (MQ)  
 Rad 2:                               18CrNiMo7-6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet  
 ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernfestigkeit >=25HRC Jominy J=12mm<HRC28

		----- WELLE -----	NABE ----
Oberflächen-Härte		HBW 266	HRC 61
Bezugsdurchmesser Werkstoff (mm)	[dB]	47	55
Bruchfestigkeit (N/mm²)	[Rm]	1100.00	900.00
Streckgrenze (N/mm²)	[Rp]	900.00	640.00
Elastizitätsmodul (N/mm²)	[E]	206000	206000
Poissonzahl	[ny]	0.300	0.300
Mittenrauhwert Ra, Flanke (µm)	[RAH]	0.00	0.00
Mittenrauhwert Ra, Fuss (µm)	[RAF]	0.00	0.00
Gemittelte Rauhtiefe Rz, Flanke (µm)	[RZH]	8.00	4.80
Gemittelte Rauhtiefe Rz, Fuss (µm)	[RZF]	20.00	20.00

Bezugsprofil von Rad       1 :

Bezugsprofil	DIN 5480:2006 0.55 / 0.16 / 0.45 Räumen	
Fusshöhenfaktor	[hfP*]	0.550
Fussradiusfaktor	[rhofP*]	0.160 (rhofPmax*=0.810)
Kopfhöhenfaktor	[haP*]	0.450
Kopfradiusfaktor	[rhoaP*]	0.000
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000
Protuberanzwinkel	[alfprP]	0.000
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000
Kantenbrechflankenwinkel	[alfKP]	0.000

nicht überschneidend

Bezugsprofil von Rad       2 :

Bezugsprofil	DIN 5480:2006 0.55 / 0.16 / 0.45 Räumen	
Fusshöhenfaktor	[hfP*]	0.550
Fussradiusfaktor	[rhofP*]	0.160 (rhofPmax*=0.810)
Kopfhöhenfaktor	[haP*]	0.450
Kopfradiusfaktor	[rhoaP*]	0.000
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000

Protuberanzwinkel	[alfprP]	0.000
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000
Kantenbrechflankenwinkel	[alfKP]	0.000

nicht überschneidend

Zusammenfassung Bezugsprofil der Zahnräder:

Fusshöhe Bezugsprofil	[hfP*]	0.550	0.550
Fussradius Bezugsprofil	[rofP*]	0.160	0.160
Kopfhöhe Bezugsprofil	[haP*]	0.450	0.450
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000	0.000
Protuberanzwinkel (°)	[alfprP]	0.000	0.000
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000	0.000
Kantenbrechflankenwinkel (°)	[alfKP]	0.000	0.000

Stirnmodul (mm)	[mt]	2.000
Eingriffswinkel am Teilkreis (°)	[alfi]	30.000
Grundschrägungswinkel (°)	[betab]	0.000
Profilverschiebungsfaktorsumme	[Summexi]	0.0000

		----- WELLE -----	NABE -----
Profilverschiebungsfaktor	[x]	0.2000	-0.2000
Profilverschiebung (x*m) (mm)	[x*m]	0.4000	-0.4000
Teilkreisdurchmesser (mm)	[d]	44.000	-44.000
Grundkreisdurchmesser (mm)	[db]	38.105	-38.105
Kopfkreisdurchmesser (mm)	[da]	46.600	-43.000
Effektiver Kopfkreisdurchmesser (mm)	[da.e/i]	46.600 / 46.440	-43.000 / -43.160
Kopfkreisabmasse (mm)	[Ada.e/i]	0.000 / -0.160	0.000 / -0.160
Fusskreisdurchmesser (mm)	[df]	42.600	-47.000
Effektive Fusskreisdurchmesser (mm)	[df.e/i]	42.531 / 42.475	-47.045 / -47.123
Fusskreisabmasse (mm)	[Adf.e/i]	-0.069 / -0.125	-0.045 / -0.123
Fusskreisabmasse Adf.e/i und df.e/i nur als Hinweis.			
Gemäss DIN 5480 gelten je nach Herstellverfahren andere Abmasse.			
Erzeugungsprofilverschiebungsfaktor	[xE.e/i]	0.1827 / 0.1688	-0.2113 / -0.2307
Fussformkreisdurchmesser (mm)	[dFf.e/i]	42.897 / 42.846	-46.602 / -46.705
(dFf2 berechnet mit angenommenem Stossrad (circa): z= 14 x= 0.300 rhoaP0*=0.1)			
Zahnhöhe (mm)	[H]	2.000	2.000
Kopfspiel theoretisch (mm)	[c]	0.200	0.200
Kopfspiel effektiv (mm)	[c.e/i]	0.341 / 0.223	0.342 / 0.235
Normal-Zahndicke am Kopfkreis (mm)	[san]	2.100	2.075
Normal-Lückenweite am Fusskreis (mm)	[san.e/i]	2.163 / 2.024	2.142 / 2.005
Normal-Lückenweite am Fusskreis (mm)	[efn]	1.852	1.832
Normal-Lückenweite am Fusskreis (mm)	[efn.e/i]	1.853 / 1.854	1.829 / 1.823
Teilkreisteilung (mm)	[pt]		6.283
Grundkreisteilung (mm)	[pbt]		5.441
Stirneingriffsteilung (mm)	[pet]		5.441

**2. PRÜFMASSE FÜR DIE ZAHNDICKE**

		----- WELLE -----	NABE -----
Verzahnungsqualität		8	9
Zahndickentoleranz		DIN 5480 f	DIN 5480 H
Messzähnezahl	[k]	4.0000	-4.0000
Zahnweite spielfrei (mm)	[Wk]	21.4931	-21.4931
Messkreisdurchmesser (mm)	[dMWk.m]	43.7356	-43.7543
Theor. Messkörperdurchmesser (mm)	[dm]	3.9574	3.5942
Eff. Messkörperdurchmesser (mm)	[DMeff]	4.0000	3.7500

Diametrales Kugelmass spielfrei (mm)	[MRe/Mri-ball]	51.0744	-38.9279
Diametrales Rollenmass spielfrei (mm)	[MRe/Mri-pin]	51.0744	-38.9279

**Data for Actual Dimensions ( DIN 5480:2005)**

Zahndicke / Lückenweite (mm)	[Smax/Smin, Emax/Emin]	3.5635 / 3.5315	3.6745 / 3.6295
Zahndickentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Smax/min]	-0.0400 / -0.0720	
Zahnlückentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Emax/min]		0.0710 / 0.0260
Zahnweite (mm)	[Wk.Smax/Smin]	21.4585 / 21.4307	-21.5546 / -21.5156
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]	51.0154 / 50.9680	39.0636 / 38.9778
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]	51.0154 / 50.9680	39.0636 / 38.9778

**Data for Effective Dimensions ( DIN 5480:2005)**

Zahndicke / Lückenweite (mm)	[Svmax/min, Evmax/min]	3.5815 / 3.5635	3.6295 / 3.6035
Zahndickentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Svmax/min]	-0.0220 / -0.0400	
Zahnlückentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Evmax/min]		0.0260 / 0.0000
Zahnweite (mm)	[Wk.Svmax/min]	(21.4740 / 21.4585)	(-21.5156 / -21.4931)
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]	( 51.0420 / 51.0154)	(-38.9778 / -38.9279)
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]	( 51.0420 / 51.0154)	(-38.9778 / -38.9279)

Verdrehflankenspiel (Stirnschnitt):

-Theoretisch (ohne Formfehler) (mm)	[jt.th]	0.1430 / 0.0660
-Effektiv (mit Formfehler) (mm)	[jt.eff]	0.0660 / 0.0220
Normalflankenspiel theoretisch (mm)	[jn.th]	0.1238 / 0.0572
Normalflankenspiel (mm)	[jn.eff]	0.0572 / 0.0191
Radialspiel theoretisch (mm)	[jr.th]	0.1196 / 0.0530
Radialspiel (mm)	[jr.eff]	0.0529 / 0.0149

Hinweis: Bei Kontrolle der Splines mit Einzelmessung (Zahnweite/Rollenmass) sind die Angaben zu 'Actual Dimensions' einzuhalten.

**3. VERZÄHNUNGS-TOLERANZEN**

		----- WELLE ----- NABE -----
Nach DIN 5480:2005:		
Verzahnungsqualität	[Q-DIN5480]	8                      9
Profil-Gesamtabweichung (µm)	[Fa]	17.0                    23.0
Flankenlinien-Gesamtabweichung (µm)	[Fb]	13.0                    15.0
Teilungs-Einzelabweichung (µm)	[fp]	13.0                    19.0
Teilungs-Gesamtabweichung (µm)	[Fp]	32.0                    45.0
Rundlaufabweichung (µm)	[Fr]	40.0                    40.0

**4. FESTIGKEITS-BERECHNUNG**

Rechenmethode: G.Niemann, Maschinenelemente I, 3.Auflage.

Zentrierung: Flankenzentriert

Tragende Länge (mm)	[ltr]	54.00
Maximale Umfangskraft (N)	[Ft]	57254.46
Maximale Umfangskraft pro Zahn (N)	[Ft/z]	2602.48
Kraftangriffs Durchmesser (mm)	[dm]	44.80
Zahnhöhe (mm)	[h]	1.64
Abstand a0 (mm)	[a0]	21.50
Längenfaktor	[k1]	1.22
Anteulfaktor (äquivalente Last)	[kphibeq]	2.00
Anteulfaktor (maximale Last)	[kphibmax]	1.70
Nenn Drehmoment (Nm)	[Tnenn]	1004.01
Betriebsfaktor	[KA]	1.25
Betriebsdrehmoment (Nm)	[Teq]	1255.02

Maximaldrehmoment (Nm)	[Tmax]	1282.50
Drehmoment-Verlauf: Kein Wechselmoment		
Häufigkeit der Lastspitze	[NL]	999999999
Häufigkeit der Lastrichtungswechsel	[NW]	999999999
Lastrichtungswechselfaktor	[fw]	1.00
Herstellungstoleranz nach Niemann		H9

WELLE

Breite auf Welle (mm)	[l_W]	54.00
Tragende Fläche (mm²)	[Flw=ltr*h*z]	1948.32
Kopfformkreisdurchmesser (mm)	[dFa1.i]	46.44
Press-Beanspruchung (äquivalente Last) (N/mm²)	[peq]	70.27
Press-Beanspruchung (maximale Last) (N/mm²)	[pmax]	70.27
Stützfaktor	[fs]	1.20
Lastspitzenfaktor	[fL]	1.00
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.00
Zulässige Pressung (N/mm²)	[pzuleq]	1080.00
Zulässige Pressung (N/mm²)	[pzulmax]	1080.00
fw * pzul / peq		15.37
fL * pzul / pmax		15.37
Sollsicherheit	[Smin]	1.00
Minimale Sicherheit	[S]	15.37

NABE

Breite auf Nabe (mm)	[l_N]	54.00
Tragende Fläche (mm²)	[Fln=ltr*h*z]	1948.32
Kopfformkreisdurchmesser (mm)	[dFa2.i]	-43.16
Kleiner Aussendurchmesser (mm)	[D1]	55.00
Grosser Aussendurchmesser (mm)	[D2]	55.00
Breite des Nabenteils mit D2 (mm)	[c]	54.00
Ersatzdurchmesser Nabe (mm)	[D]	55.00
Press-Beanspruchung (äquivalente Last) (N/mm²)	[peq]	70.27
Press-Beanspruchung (maximale Last) (N/mm²)	[pmax]	70.27
Stützfaktor	[fs]	1.50
Lastspitzenfaktor	[fL]	1.00
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.15
Zulässige Pressung (N/mm²)	[pzuleq]	1104.00
Zulässige Pressung (N/mm²)	[pzulmax]	1104.00
fw * pzul / peq		15.71
fL * pzul / pmax		15.71
Sollsicherheit	[Smin]	1.00
Minimale Sicherheit	[S]	15.71

**5. ERGÄNZENDE DATEN**

Trägheitsmoment (System bezogen auf Rad 1):

Berechnung ohne Berücksichtigung der exakten Zahnform

Räder einzeln	((da+df)/2...di) (kg*m²)	[TraeghMom]	0.0001629	0.0002084
System	((da+df)/2...di) (kg*m²)	[TraeghMom]	0.0003713	

Hinweise zur Montage mit Verspannung durch kleinen Schrägungswinkel an der Welle

(Klemmen frühestens bei 0.33\*b, spätestens bei 0.66\*b)

Schrägungswinkel-Differenz (°) [beta.min/max] 0.0354... 0.2122

**6. ZAHNFORM-BESTIMMUNG**

Daten zur Zahnformberechnung:

Daten nicht vorhanden.

**BEMERKUNGEN:**

- Angaben mit [.e/i] bedeuten: Maximal- [e] und Minimalwert [i] bei Berücksichtigung aller Toleranzen

Angaben mit [.m] bedeuten: Mittelwert in der Toleranz

- Zur Rechenmethode:

$$h = (dFa1.i - ABS(dFa2.i)) / 2.0$$

$$dm = (dFa1.i + ABS(dFa2.i)) / 2.0;$$

$$Ft = Mmax * 2000 / dm$$

$$\text{Pressbelastung: } p(eq,max) = k\phi ib(eq,max) * k1 * M * 2000 / (dm * l * h * z); pmax \geq peq$$

Lastrichtungswechselfaktor nach DIN 6892:1998/ Bild 6

$$pzuleq = fs * fH * fw * (Rm, Rp)$$

$$pzulmax = fs * fH * fL * (Rm, Rp)$$

(Rm: bei sprödem Werkstoff; Rp: bei duktilem Werkstoff)

---

Ende Protokoll

Zeilen: 267

---

## **B.12 DIN5480 WelleZ4-Planetenträger**

**ZAHNWELLENVERBINDUNG DIN 5480:2006**

Welle                   DIN5480 - W 95.00\*3.00\*30\*8f  
 Nabe                   DIN5480 - N 95.00\*3.00\*30\*9H

Zeichnungs- oder Artikelnummer:

Welle:                0.000.0  
 Nabe:                0.000.0

**1. ZAHNGEOMETRIE UND WERKSTOFF**

Normalmodul (mm)	[mn]	3.0000	
Bezugsdurchmesser DIN (mm)	[dB]	95.00	
Eingriffswinkel im Normalschnitt (°)	[alfn]	30.000	
		----- WELLE -----	NABE -----
Zähnezahl	[z]	30	-30
Schrägungswinkel am Teilkreis (°)	[beta]	0.0000	
Zahnbreite (mm)	[b]	55.00	55.00
Schrägungsrichtung	Geradverzahnt		

Werkstoff

Rad 1:                               30 CrNiMo 8 (1), Vergütungsstahl, legiert, vergütet  
 ISO 6336-5 Bild 5/6 (MQ)

Rad 2:                               C45 (1), Vergütungsstahl, unlegiert, vergütet  
 ISO 6336-5 Bild 5/6 (MQ)

		----- WELLE -----	NABE ----
Oberflächen-Härte		HBW 266	HBW 186
Bezugsdurchmesser Werkstoff (mm)	[dB]	94	120
Bruchfestigkeit (N/mm²)	[Rm]	1100.00	630.00
Streckgrenze (N/mm²)	[Rp]	900.00	370.00
Elastizitätsmodul (N/mm²)	[E]	206000	206000
Poissonzahl	[ny]	0.300	0.300
Mittenrauhwert Ra, Flanke (µm)	[RAH]	0.00	0.00
Mittenrauhwert Ra, Fuss (µm)	[RAF]	0.00	0.00
Gemittelte Rauhtiefe Rz, Flanke (µm)	[RZH]	8.00	8.00
Gemittelte Rauhtiefe Rz, Fuss (µm)	[RZF]	20.00	20.00

Bezugsprofil von Rad       1 :

Bezugsprofil               DIN 5480:2006 0.55 / 0.16 / 0.45 Räumen

Fusshöhenfaktor	[hfP*]	0.550
Fussradiusfaktor	[rhofP*]	0.160 (rhofPmax*=0.810)
Kopfhöhenfaktor	[haP*]	0.450
Kopfradiusfaktor	[rhoaP*]	0.000
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000
Protuberanzwinkel	[alfprP]	0.000
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000
Kantenbrechflankenwinkel	[alfKP]	0.000

nicht überschneidend

Bezugsprofil von Rad       2 :

Bezugsprofil               DIN 5480:2006 0.55 / 0.16 / 0.45 Räumen

Fusshöhenfaktor	[hfP*]	0.550
Fussradiusfaktor	[rhofP*]	0.160 (rhofPmax*=0.810)
Kopfhöhenfaktor	[haP*]	0.450
Kopfradiusfaktor	[rhoaP*]	0.000
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000

DIN5480WZ4Planetenträger 1/5

Protuberanzwinkel	[alfprP]	0.000	
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000	
Kantenbrechflankenwinkel	[alfKP]	0.000	
			nicht überschneidend

Zusammenfassung Bezugsprofil der Zahnräder:

Fusshöhe Bezugsprofil	[hfP*]	0.550	0.550
Fussradius Bezugsprofil	[rofP*]	0.160	0.160
Kopfhöhe Bezugsprofil	[haP*]	0.450	0.450
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000	0.000
Protuberanzwinkel (°)	[alfprP]	0.000	0.000
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000	0.000
Kantenbrechflankenwinkel (°)	[alfKP]	0.000	0.000

Stirnmodul (mm)	[mt]	3.000	
Eingriffswinkel am Teilkreis (°)	[alfit]	30.000	
Grundschrägungswinkel (°)	[betab]	0.000	
Profilverschiebungsfaktorsumme	[Summexi]	0.0000	

		----- WELLE -----	NABE -----
Profilverschiebungsfaktor	[x]	0.2833	-0.2833
Profilverschiebung (x*m) (mm)	[x*m]	0.8499	-0.8499
Teilkreisdurchmesser (mm)	[d]	90.000	-90.000
Grundkreisdurchmesser (mm)	[db]	77.942	-77.942
Kopfkreisdurchmesser (mm)	[da]	94.400	-89.000
Effektiver Kopfkreisdurchmesser (mm)	[da.e/i]	94.400 / 94.180	-89.000 / -89.220
Kopfkreisabmasse (mm)	[Ada.e/i]	0.000 / -0.220	0.000 / -0.220
Fusskreisdurchmesser (mm)	[df]	88.400	-95.000
Effektive Fusskreisdurchmesser (mm)	[df.e/i]	88.322 / 88.260	-95.052 / -95.138
Fusskreisabmasse (mm)	[Adf.e/i]	-0.078 / -0.140	-0.052 / -0.139
Fusskreisabmasse Adf.e/i und df.e/i nur als Hinweis.			
Gemäss DIN 5480 gelten je nach Herstellverfahren andere Abmasse.			
Erzeugungsprofilverschiebungsfaktor	[xE.e/i]	0.2703 / 0.2599	-0.2920 / -0.3064
Fussformkreisdurchmesser (mm)	[dFf.e/i]	88.826 / 88.766	-94.626 / -94.702
(dFf2 berechnet mit angenommenem Stossrad (circa): z= 19 x= 0.000 rhoaP0*=0.1)			
Zahnhöhe (mm)	[H]	3.000	3.000
Kopfspiel theoretisch (mm)	[c]	0.300	0.300
Kopfspiel effektiv (mm)	[c.e/i]	0.479 / 0.326	0.480 / 0.339
Normal-Zahndicke am Kopfkreis (mm)	[san]	3.129	3.128
	[san.e/i]	3.224 / 3.044	3.228 / 3.049
Normal-Lückenweite am Fusskreis (mm)	[efn]	2.782	2.734
	[efn.e/i]	2.782 / 2.783	2.731 / 2.725
Teilkreisteilung (mm)	[pt]		9.425
Grundkreisteilung (mm)	[pbt]		8.162
Stirneingriffsteilung (mm)	[pet]		8.162

**2. PRÜFMASSE FÜR DIE ZAHNDICKE**

		----- WELLE -----	NABE -----
Verzahnungsqualität		8	9
Zahndickentoleranz		DIN 5480 f	DIN 5480 H
Messzähnezahl	[k]	6.0000	-6.0000
Zahnweite spielfrei (mm)	[Wk]	49.9309	-49.9309
Messkreisdurchmesser (mm)	[dMWk.m]	92.5477	-92.5710
Theor. Messkörperdurchmesser (mm)	[dm]	5.8783	5.4459
Eff. Messkörperdurchmesser (mm)	[DMeff]	6.0000	5.5000

DIN5480WZ4Planetenträger 2/5

Diametrales Kugelmass spielfrei (mm)	[MRe/Mri-ball]	101.1409	-83.3388
Diametrales Rollenmass spielfrei (mm)	[MRe/Mri-pin]	101.1409	-83.3388

**Data for Actual Dimensions ( DIN 5480:2005)**

Zahndicke / Lückenweite (mm)	[Smax/Smin, Emax/Emin]	5.6488 / 5.6128	5.7738 / 5.7238
Zahndickentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Smax/min]	-0.0450 / -0.0810	
Zahnlückentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Emax/min]		0.0800 / 0.0300
Zahnweite (mm)	[Wk.Smax/Smin]	49.8920 / 49.8608	-50.0002 / -49.9569
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]	101.0729 / 101.0185	83.4828 / 83.3929
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]	101.0729 / 101.0185	83.4828 / 83.3929

**Data for Effective Dimensions ( DIN 5480:2005)**

Zahndicke / Lückenweite (mm)	[Svmax/min, Evmax/min]	5.6688 / 5.6488	5.7238 / 5.6938
Zahndickentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Svmax/min]	-0.0250 / -0.0450	
Zahnlückentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Evmax/min]		0.0300 / 0.0000
Zahnweite (mm)	[Wk.Svmax/min](49.9093 / 49.8920)		(-49.9569 / -49.9309)
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball](	101.1032 / 101.0729)	(-83.3929 / -83.3388)
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin] (	101.1032 / 101.0729)	(-83.3929 / -83.3388)

Verdrehflankenspiel (Stirnschnitt):

-Theoretisch (ohne Formfehler) (mm)	[jt.th]	0.1610 / 0.0750
-Effektiv (mit Formfehler) (mm)	[jt.eff]	0.0750 / 0.0250
Normalflankenspiel theoretisch (mm)	[jn.th]	0.1394 / 0.0650
Normalflankenspiel (mm)	[jn.eff]	0.0650 / 0.0217
Radialspiel theoretisch (mm)	[jr.th]	0.1355 / 0.0610
Radialspiel (mm)	[jr.eff]	0.0610 / 0.0177

Hinweis: Bei Kontrolle der Splines mit Einzelmessung (Zahnweite/Rollenmass) sind die Angaben zu 'Actual Dimensions' einzuhalten.

**3. VERZÄHNUNGS-TOLERANZEN**

		----- WELLE ----- NABE -----
Nach DIN 5480:2005:		
Verzahnungsqualität	[Q-DIN5480]	8 9
Profil-Gesamtabweichung (µm)	[Fa]	19.0 25.0
Flankenlinien-Gesamtabweichung (µm)	[Fb]	13.0 16.0
Teilungs-Einzelabweichung (µm)	[fp]	15.0 21.0
Teilungs-Gesamtabweichung (µm)	[Fp]	36.0 50.0
Rundlaufabweichung (µm)	[Fr]	50.0 50.0

**4. FESTIGKEITS-BERECHNUNG**

Rechenmethode: G.Niemann, Maschinenelemente I, 3.Auflage.

Zentrierung: Flankenzenriert

Tragende Länge (mm)	[ltr]	55.00
Maximale Umfangskraft (N)	[Ft]	136532.47
Maximale Umfangskraft pro Zahn (N)	[Ft/z]	4551.08
Kraftangriffs Durchmesser (mm)	[dm]	91.70
Zahnhöhe (mm)	[h]	2.48
Abstand a0 (mm)	[a0]	131.50
Längenfaktor	[k1]	1.04
Anteulfaktor (äquivalente Last)	[kphibeq]	2.00
Anteulfaktor (maximale Last)	[kphibmax]	1.70
Nenn Drehmoment (Nm)	[Tnenn]	5008.00
Betriebsfaktor	[KA]	1.25
Betriebsdrehmoment (Nm)	[Teq]	6260.00

DIN5480WZ4Planetenträger 3/5

Maximaldrehmoment (Nm)	[Tmax]	6260.00
Drehmoment-Verlauf: Kein Wechselmoment		
Häufigkeit der Lastspitze	[NL]	999999999
Häufigkeit der Lastrichtungswechsel	[NW]	999999999
Lastrichtungswechselfaktor	[fw]	1.00
Herstellungstoleranz nach Niemann		H9

WELLE

Breite auf Welle (mm)	[L_W]	55.00
Tragende Fläche (mm²)	[Flw=ltr*h*z]	4092.00
Kopfformkreisdurchmesser (mm)	[dFa1.i]	94.18
Press-Beanspruchung (äquivalente Last) (N/mm²)	[peq]	69.38
Press-Beanspruchung (maximale Last) (N/mm²)	[pmax]	69.38
Stützfaktor	[fs]	1.20
Lastspitzenfaktor	[fL]	1.00
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.00
Zulässige Pressung (N/mm²)	[pzuleq]	1080.00
Zulässige Pressung (N/mm²)	[pzulmax]	1080.00
fw * pzul / peq		15.57
fL * pzul / pmax		15.57
Sollsicherheit	[Smin]	1.00
Minimale Sicherheit	[S]	15.57

NABE

Breite auf Nabe (mm)	[L_N]	55.00
Tragende Fläche (mm²)	[Fln=ltr*h*z]	4092.00
Kopfformkreisdurchmesser (mm)	[dFa2.i]	-89.22
Kleiner Aussendurchmesser (mm)	[D1]	120.00
Grosser Aussendurchmesser (mm)	[D2]	120.00
Breite des Nabenteils mit D2 (mm)	[c]	30.00
Ersatzdurchmesser Nabe (mm)	[D]	120.00
Press-Beanspruchung (äquivalente Last) (N/mm²)	[peq]	69.38
Press-Beanspruchung (maximale Last) (N/mm²)	[pmax]	69.38
Stützfaktor	[fs]	1.50
Lastspitzenfaktor	[fL]	1.00
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.00
Zulässige Pressung (N/mm²)	[pzuleq]	555.00
Zulässige Pressung (N/mm²)	[pzulmax]	555.00
fw * pzul / peq		8.00
fL * pzul / pmax		8.00
Sollsicherheit	[Smin]	1.00
Minimale Sicherheit	[S]	8.00

**5. ERGÄNZENDE DATEN**

Trägheitsmoment (System bezogen auf Rad 1):

Berechnung ohne Berücksichtigung der exakten Zahnform

Räder einzeln	((da+df)/2...di) (kg*m²)	[TraeghMom]	0.00239	0.00572
System	((da+df)/2...di) (kg*m²)	[TraeghMom]	0.00811	

Hinweise zur Montage mit Verspannung durch kleinen Schrägungswinkel an der Welle

(Klemmen frühestens bei 0.33\*b, spätestens bei 0.66\*b)

Schrägungswinkel-Differenz (°) [beta.min/max] 0.0395... 0.2368

DIN5480WZ4Planetenträger 4/5

**6. ZAHNFORM-BESTIMMUNG**

Daten zur Zahnformberechnung:

Daten nicht vorhanden.

**BEMERKUNGEN:**

- Angaben mit [.e/i] bedeuten: Maximal- [e] und Minimalwert [i] bei Berücksichtigung aller Toleranzen

Angaben mit [.m] bedeuten: Mittelwert in der Toleranz

- Zur Rechenmethode:

$$h = (dFa1.i - ABS(dFa2.i)) / 2.0$$

$$dm = (dFa1.i + ABS(dFa2.i)) / 2.0;$$

$$Ft = Mmax * 2000 / dm$$

$$\text{Pressbelastung: } p(eq,max) = k\text{phib}(eq,max) * k1 * M * 2000 / (dm * l * h * z); pmax \geq peq$$

Lastrichtungswechselfaktor nach DIN 6892:1998/ Bild 6

$$pzuleq = fs * fH * fw * (Rm, Rp)$$

$$pzulmax = fs * fH * fL * (Rm, Rp)$$

(Rm: bei sprödem Werkstoff; Rp: bei duktilem Werkstoff)

---

Ende Protokoll

Zeilen: 267

---

## **B.13 DIN5480 WelleZ5-Hohlrad**

**ZAHNWELLENVERBINDUNG DIN 5480:2006**

Welle                   DIN5480 - W 75.00\*3.00\*24\*8f  
 Nabe                   DIN5480 - N 75.00\*3.00\*24\*9H

Zeichnungs- oder Artikelnummer:

Welle:                0.000.0  
 Nabe:                0.000.0

**1. ZAHNGEOMETRIE UND WERKSTOFF**

Normalmodul (mm)	[mn]	3.0000	
Bezugsdurchmesser DIN (mm)	[dB]	75.00	
Eingriffswinkel im Normalschnitt (°)	[alfn]	30.000	
		----- WELLE -----	NABE -----
Zähnezahl	[z]	24	-24
Schrägungswinkel am Teilkreis (°)	[beta]	0.0000	
Zahnbreite (mm)	[b]	50.00	50.00
Schrägungsrichtung	Geradverzahnt		

Werkstoff

Rad 1:                               34 CrMo 4, Vergütungsstahl, legiert, vergütet  
 ISO 6336-5 Bild 5/6 (MQ)

Rad 2:                               C45 (1), Vergütungsstahl, unlegiert, vergütet  
 ISO 6336-5 Bild 5/6 (MQ)

		----- WELLE -----	NABE ----
Oberflächen-Härte		HBW 238	HBW 186
Bezugsdurchmesser Werkstoff (mm)	[dB]	74	150
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	800.00	630.00
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Rp]	550.00	370.00
Elastizitätsmodul (N/mm <sup>2</sup> )	[E]	206000	206000
Poissonzahl	[ny]	0.300	0.300
Mittenrauhwert Ra, Flanke (µm)	[RAH]	0.00	0.00
Mittenrauhwert Ra, Fuss (µm)	[RAF]	0.00	0.00
Gemittelte Rauhtiefe Rz, Flanke (µm)	[RZH]	8.00	8.00
Gemittelte Rauhtiefe Rz, Fuss (µm)	[RZF]	20.00	20.00

Bezugsprofil von Rad       1 :

Bezugsprofil               DIN 5480:2006 0.55 / 0.16 / 0.45 Räumen

Fusshöhenfaktor	[hfP*]	0.550
Fussradiusfaktor	[rhofP*]	0.160 (rhofPmax*=0.810)
Kopfhöhenfaktor	[haP*]	0.450
Kopfradiusfaktor	[rhoaP*]	0.000
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000
Protuberanzwinkel	[alfprP]	0.000
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000
Kantenbrechflankenwinkel	[alfKP]	0.000

nicht überschneidend

Bezugsprofil von Rad       2 :

Bezugsprofil               DIN 5480:2006 0.55 / 0.16 / 0.45 Räumen

Fusshöhenfaktor	[hfP*]	0.550
Fussradiusfaktor	[rhofP*]	0.160 (rhofPmax*=0.810)
Kopfhöhenfaktor	[haP*]	0.450
Kopfradiusfaktor	[rhoaP*]	0.000
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000

DIN5480WZ5Hohlrad 1/5

Protuberanzwinkel	[alfprP]	0.000	
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000	
Kantenbrechflankenwinkel	[alfKP]	0.000	
nicht überschneidend			

Zusammenfassung Bezugsprofil der Zahnräder:

Fusshöhe Bezugsprofil	[hfP*]	0.550	0.550
Fussradius Bezugsprofil	[rofP*]	0.160	0.160
Kopfhöhe Bezugsprofil	[haP*]	0.450	0.450
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000	0.000
Protuberanzwinkel (°)	[alfprP]	0.000	0.000
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000	0.000
Kantenbrechflankenwinkel (°)	[alfKP]	0.000	0.000

Stirnmodul (mm)	[mt]	3.000	
Eingriffswinkel am Teilkreis (°)	[alfit]	30.000	
Grundschrägungswinkel (°)	[betab]	0.000	
Profilverschiebungsfaktorsumme	[Summexi]	0.0000	

		----- WELLE -----	NABE -----
Profilverschiebungsfaktor	[x]	-0.0500	0.0500
Profilverschiebung (x*m) (mm)	[x*m]	-0.1500	0.1500
Teilkreisdurchmesser (mm)	[d]	72.000	-72.000
Grundkreisdurchmesser (mm)	[db]	62.354	-62.354
Kopfkreisdurchmesser (mm)	[da]	74.400	-69.000
Effektiver Kopfkreisdurchmesser (mm)	[da.e/i]	74.400 / 74.210	-69.000 / -69.190
Kopfkreisabmasse (mm)	[Ada.e/i]	0.000 / -0.190	0.000 / -0.190
Fusskreisdurchmesser (mm)	[df]	68.400	-75.000
Effektive Fusskreisdurchmesser (mm)	[df.e/i]	68.322 / 68.260	-75.052 / -75.139
Fusskreisabmasse (mm)	[Adf.e/i]	-0.078 / -0.140	-0.052 / -0.139
Fusskreisabmasse Adf.e/i und df.e/i nur als Hinweis.			
Gemäss DIN 5480 gelten je nach Herstellverfahren andere Abmasse.			
Erzeugungprofilverschiebungsfaktor	[xE.e/i]	-0.0630 / -0.0734	0.0413 / 0.0269
Fussformkreisdurchmesser (mm)	[dFf.e/i]	69.025 / 68.971	-74.127 / -74.278
(dFf2 berechnet mit angenommenem Stossrad (circa): z= 15 x= 0.200 rhoaP0*=0.1)			
Zahnhöhe (mm)	[H]	3.000	3.000
Kopfspiel theoretisch (mm)	[c]	0.300	0.300
Kopfspiel effektiv (mm)	[c.e/i]	0.464 / 0.326	0.465 / 0.339
Normal-Zahndicke am Kopfkreis (mm)	[san]	3.191	3.136
Normal-Lückenweite am Fusskreis (mm)	[san.e/i]	3.260 / 3.108	3.206 / 3.059
Normal-Lückenweite am Fusskreis (mm)	[efn]	2.832	2.820
Normal-Lückenweite am Fusskreis (mm)	[efn.e/i]	2.837 / 2.840	2.818 / 2.816
Teilkreisteilung (mm)	[pt]		9.425
Grundkreisteilung (mm)	[pbt]		8.162
Stirneingriffsteilung (mm)	[pet]		8.162

**2. PRÜFMASSE FÜR DIE ZAHNDICKE**

		----- WELLE -----	NABE -----
Verzahnungsqualität		8	9
Zahndickentoleranz		DIN 5480 f	DIN 5480 H
Messzähnezahl	[k]	4.0000	-4.0000
Zahnweite spielfrei (mm)	[Wk]	31.7690	-31.7690
Messkreisdurchmesser (mm)	[dMWk.m]	69.9667	-69.9864
Theor. Messkörperdurchmesser (mm)	[dm]	5.6141	5.2089
Eff. Messkörperdurchmesser (mm)	[DMeff]	6.0000	5.2500

Diametrales Kugelmass spielfrei (mm)	[MRe/Mri-ball]	81.3264	-63.9321
Diametrales Rollenmass spielfrei (mm)	[MRe/Mri-pin]	81.3264	-63.9321

**Data for Actual Dimensions ( DIN 5480:2005)**

Zahndicke / Lückenweite (mm)	[Smax/Smin, Emax/Emin]	4.4942 / 4.4582	4.6192 / 4.5692
Zahndickentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Smax/min]	-0.0450 / -0.0810	
Zahnlückentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Emax/min]		0.0800 / 0.0300
Zahnweite (mm)	[Wk.Smax/Smin]	31.7300 / 31.6988	-31.8382 / -31.7949
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]	81.2568 / 81.2011	64.0912 / 63.9920
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]	81.2568 / 81.2011	64.0912 / 63.9920

**Data for Effective Dimensions ( DIN 5480:2005)**

Zahndicke / Lückenweite (mm)	[Svmax/min, Evmax/min]	4.5142 / 4.4942	4.5692 / 4.5392
Zahndickentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Svmax/min]	-0.0250 / -0.0450	
Zahnlückentoleranz, Normalschnitt (mm)	[Tol.Evmax/min]		0.0300 / 0.0000
Zahnweite (mm)	[Wk.Svmax/min]	(31.7473 / 31.7300)	(-31.7949 / -31.7690)
Diametrales Zweikugelmass (mm)	[MRe/Mri-ball]	( 81.2877 / 81.2568)	(-63.9920 / -63.9321)
Diametrales Rollenmass (mm)	[MRe/Mri-pin]	( 81.2877 / 81.2568)	(-63.9920 / -63.9321)

Verdrehflankenspiel (Stirnschnitt):

-Theoretisch (ohne Formfehler) (mm)	[jt.th]	0.1610 / 0.0750
-Effektiv (mit Formfehler) (mm)	[jt.eff]	0.0750 / 0.0250
Normalflankenspiel theoretisch (mm)	[jn.th]	0.1394 / 0.0650
Normalflankenspiel (mm)	[jn.eff]	0.0650 / 0.0217
Radialspiel theoretisch (mm)	[jr.th]	0.1367 / 0.0623
Radialspiel (mm)	[jr.eff]	0.0623 / 0.0190

Hinweis: Bei Kontrolle der Splines mit Einzelmessung (Zahnweite/Rollenmass) sind die Angaben zu 'Actual Dimensions' einzuhalten.

**3. VERZÄHNUNGS-TOLERANZEN**

		----- WELLE -----	NABE -----
Nach	DIN 5480:2005:		
Verzahnungsqualität	[Q-DIN5480]	8	9
Profil-Gesamtabweichung (µm)	[Fa]	19.0	25.0
Flankenlinien-Gesamtabweichung (µm)	[Fb]	10.0	13.0
Teilungs-Einzelabweichung (µm)	[fp]	15.0	21.0
Teilungs-Gesamtabweichung (µm)	[Fp]	36.0	50.0
Rundlaufabweichung (µm)	[Fr]	50.0	50.0

**4. FESTIGKEITS-BERECHNUNG**

Rechenmethode: G.Niemann, Maschinenelemente I, 3.Auflage.

Zentrierung: Flankenzentriert

Tragende Länge (mm)	[ltr]	50.00
Maximale Umfangskraft (N)	[Ft]	139625.87
Maximale Umfangskraft pro Zahn (N)	[Ft/z]	5817.74
Kraftangriffs Durchmesser (mm)	[dm]	71.70
Zahnhöhe (mm)	[h]	2.51
Abstand a0 (mm)	[a0]	40.00
Längenfaktor	[k1]	1.07
Anteilmfaktor (äquivalente Last)	[kphibeq]	2.00
Anteilmfaktor (maximale Last)	[kphibmax]	1.70
Nenn Drehmoment (Nm)	[Tnenn]	4004.47
Betriebsfaktor	[KA]	1.25
Betriebsdrehmoment (Nm)	[Teq]	5005.59

DIN5480WZ5Hohlrad 3/5

Maximaldrehmoment (Nm)	[Tmax]	5005.59
Drehmoment-Verlauf: Kein Wechselmoment		
Häufigkeit der Lastspitze	[NL]	1000
Häufigkeit der Lastrichtungswechsel	[NW]	1
Lastrichtungswechselfaktor	[fw]	1.00
Herstellungstoleranz nach Niemann		H9

WELLE

Breite auf Welle (mm)	[l_W]	50.00
Tragende Fläche (mm²)	[Flw=ltr*h*z]	3012.00
Kopfformkreisdurchmesser (mm)	[dFa1.i]	74.21
Press-Beanspruchung (äquivalente Last) (N/mm²)	[peq]	98.96
Press-Beanspruchung (maximale Last) (N/mm²)	[pmax]	98.96
Stützfaktor	[fs]	1.20
Lastspitzenfaktor	[fL]	1.50
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.00
Zulässige Pressung (N/mm²)	[pzuleq]	660.00
Zulässige Pressung (N/mm²)	[pzulmax]	990.00
fw * pzul / peq		6.67
fL * pzul / pmax		10.00
Sollsicherheit	[Smin]	1.00
Minimale Sicherheit	[S]	6.67

NABE

Breite auf Nabe (mm)	[l_N]	50.00
Tragende Fläche (mm²)	[Fln=ltr*h*z]	3012.00
Kopfformkreisdurchmesser (mm)	[dFa2.i]	-69.19
Kleiner Aussendurchmesser (mm)	[D1]	110.00
Grosser Aussendurchmesser (mm)	[D2]	150.00
Breite des Nabenteils mit D2 (mm)	[c]	5.00
Ersatzdurchmesser Nabe (mm)	[D]	112.05
Press-Beanspruchung (äquivalente Last) (N/mm²)	[peq]	98.96
Press-Beanspruchung (maximale Last) (N/mm²)	[pmax]	98.96
Stützfaktor	[fs]	1.50
Lastspitzenfaktor	[fL]	1.50
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.00
Zulässige Pressung (N/mm²)	[pzuleq]	555.00
Zulässige Pressung (N/mm²)	[pzulmax]	832.50
fw * pzul / peq		5.61
fL * pzul / pmax		8.41
Sollsicherheit	[Smin]	1.00
Minimale Sicherheit	[S]	5.61

5. ERGÄNZENDE DATEN

Trägheitsmoment (System bezogen auf Rad 1):

Berechnung ohne Berücksichtigung der exakten Zahnform

Räder einzeln	((da+df)/2...di) (kg*m²)	[TraeghMom]	0.0009871	0.01842
System	((da+df)/2...di) (kg*m²)	[TraeghMom]	0.01941	

Hinweise zur Montage mit Verspannung durch kleinen Schrägungswinkel an der Welle

(Klemmen frühestens bei 0.33\*b, spätestens bei 0.66\*b)

Schrägungswinkel-Differenz (°) [beta.min/max] 0.0434... 0.2604

**6. ZAHNFORM-BESTIMMUNG**

Daten zur Zahnformberechnung:

Daten nicht vorhanden.

**BEMERKUNGEN:**

- Angaben mit [.e/i] bedeuten: Maximal- [e] und Minimalwert [i] bei Berücksichtigung aller Toleranzen

Angaben mit [.m] bedeuten: Mittelwert in der Toleranz

- Zur Rechenmethode:

$$h = (dFa1.i - ABS(dFa2.i)) / 2.0$$

$$dm = (dFa1.i + ABS(dFa2.i)) / 2.0;$$

$$Ft = Mmax * 2000 / dm$$

$$\text{Pressbelastung: } p(eq,max) = k\phi_{ib}(eq,max) * k1 * M * 2000 / (dm * l * h * z); pmax \geq p_{eq}$$

Lastrichtungswechselfaktor nach DIN 6892:1998/ Bild 6

$$p_{zuleq} = fs * f_H * f_w * (R_m, R_p)$$

$$p_{zulmax} = fs * f_H * f_L * (R_m, R_p)$$

(R<sub>m</sub>:bei sprödem Werkstoff; R<sub>p</sub>:bei duktilem Werkstoff)

---

Ende Protokoll

Zeilen: 267

---

## **B.14 Keilwelle Z1**

**Keilwelle WZ1 [M02b]**

Rechenmethode: G.Niemann, Maschinenelemente I, 4.Auflage, 2005.

Bezeichnung	DIN ISO 14:1986 (Leichte Reihe)	
Innendurchmesser (mm)	[d1]	72.00
Aussendurchmesser (mm)	[d2]	78.00
Mittlerer Durchmesser (mm)	[dm]	75.00
Anzahl Keile	[nK]	10.00
Breite (mm)	[b]	12.00
Höhe Keil (mm)	[h]	3.00
Tragende Länge (mm)	[ltr]	40.00
Längenfaktor	[k1]	1.05
Anteilmoment (äquivalente Last)	[kphibeq]	1.30
Anteilmoment (maximale Last)	[kphibmax]	1.10
Nennmoment (Nm)	[Tnenn]	2913.37
Anwendungsfaktor	[KA]	1.25
Betriebsmoment (Nm)	[Teq]	3641.72
Maximalmoment (Nm)	[Tmax]	3641.72
Häufigkeit der Lastspitze	[NL]	999999999
Drehmomentverlauf: Kein Wechselmoment		
Lastrichtungswchselfaktor	[fw]	1.00
Herstellungstoleranz nach Niemann		H7

**Welle**

Werkstoff	C45 (1)	
Typ	Vergütungsstahl	
Behandlung	unlegiert, vergütet	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	630.00 (d=40-100mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Rp]	370.00 (d=40-100mm)
Pressbeanspruchung (äquiv. Last) (N/mm <sup>2</sup> )	[peq]	110.52
Pressbeanspruchung (maxim. Last) (N/mm <sup>2</sup> )	[pmax]	110.52
Stützfaktor	[fs]	1.20
Lastspitzenfaktor	[fL]	1.00
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.00
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzuleq]	444.00
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzulmax]	444.00
fw * pzul / peq		4.02
fL * pzul / pmax		4.02
Sollsicherheit		1.00
Minimale Sicherheit		4.02

**Nabe**

Werkstoff	18CrNiMo7-6	
Typ	Einsatzstahl	
Behandlung	einsatzgehärtet	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	600.00 (d= 0- 0mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Rp]	425.00 (d= 0- 0mm)
Kleiner Aussendurchmesser (mm)	[D1]	110.00

Keilwelle WZ1 1/2

Grosser Aussendurchmesser (mm)	[D2]	110.00
Breite des Nabenteils mit D2 (mm)	[c]	40.00
Ersatzdurchmesser Nabe (mm)	[D]	110.00
Abstand a0 (mm)	[a0]	20.00
Pressbeanspruchung (äquiv. Last) (N/mm <sup>2</sup> )	[peq]	110.52
Pressbeanspruchung (maxim. Last) (N/mm <sup>2</sup> )	[pmax]	110.52
Stützfaktor	[fs]	1.50
Lastspitzenfaktor	[fL]	1.00
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.15
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzuleq]	733.13
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzulmax]	733.13
fw * pzul / peq		6.63
fL * pzul / pmax		6.63
Sollsicherheit		1.00
Minimale Sicherheit		6.63

Bemerkungen:

Pressbelastung:  $p(eq,max) = k_{\text{phib}}(eq,max) \cdot k_1 \cdot T \cdot 2000 / (d_m \cdot l_{tr} \cdot h \cdot z)$

Lastrichtungswchselfaktor nach DIN 6892:1998/ Bild 6

$pzuleq = f_s \cdot f_H \cdot f_w \cdot (R_m, R_p)$

$pzulmax = f_s \cdot f_H \cdot f_L \cdot (R_m, R_p)$

(Rm:bei sprödem Werkstoff; Rp:bei duktilem Werkstoff)

Ende Protokoll

Zeilen: 90

## **B.15 Keilwelle Z2**

**Keilwelle WZ2**

**[M02b]**

Rechenmethode: G.Niemann, Maschinenelemente I, 4.Auflage, 2005.

Bezeichnung	DIN ISO 14:1986 (Leichte Reihe)	
Innendurchmesser (mm)	[d1]	52.00
Aussendurchmesser (mm)	[d2]	58.00
Mittlerer Durchmesser (mm)	[dm]	55.00
Anzahl Keile	[nK]	8.00
Breite (mm)	[b]	10.00
Höhe Keil (mm)	[h]	3.00
Tragende Länge (mm)	[ltr]	40.00
Längenfaktor	[k1]	1.08
Anteilmoment (äquivalente Last)	[kphibeq]	1.30
Anteilmoment (maximale Last)	[kphibmax]	1.10
Nennmoment (Nm)	[Tnenn]	1004.01
Anwendungsfaktor	[KA]	1.25
Betriebsmoment (Nm)	[Teq]	1255.02
Maximalmoment (Nm)	[Tmax]	1500.00
Häufigkeit der Lastspitze	[NL]	999999999
Drehmomentverlauf: Kein Wechselmoment		
Lastrichtungswchselfaktor	[fw]	1.00
Herstellungstoleranz nach Niemann		H7

**Welle**

Werkstoff	C45 (1)	
Typ	Vergütungsstahl	
Behandlung	unlegiert, vergütet	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	630.00 (d=40-100mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Rp]	370.00 (d=40-100mm)
Pressbeanspruchung (äquiv. Last) (N/mm <sup>2</sup> )	[peq]	66.55
Pressbeanspruchung (maxim. Last) (N/mm <sup>2</sup> )	[pmax]	67.30
Stützfaktor	[fs]	1.20
Lastspitzenfaktor	[fL]	1.00
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.00
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzuleq]	444.00
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzulmax]	444.00
fw * pzul / peq		6.67
fL * pzul / pmax		6.60
Sollsicherheit		1.00
Minimale Sicherheit		6.60

**Nabe**

Werkstoff	18CrNiMo7-6	
Typ	Einsatzstahl	
Behandlung	einsatzgehärtet	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	900.00 (d=40-100mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Rp]	640.00 (d=40-100mm)
Kleiner Aussendurchmesser (mm)	[D1]	80.00

Keilwelle WZ2 1/2

Grosser Aussendurchmesser (mm)	[D2]	80.00
Breite des Nabenteils mit D2 (mm)	[c]	40.00
Ersatzdurchmesser Nabe (mm)	[D]	80.00
Abstand a0 (mm)	[a0]	20.00
Pressbeanspruchung (äquiv. Last) (N/mm <sup>2</sup> )	[peq]	66.55
Pressbeanspruchung (maxim. Last) (N/mm <sup>2</sup> )	[pmax]	67.30
Stützfaktor	[fs]	1.50
Lastspitzenfaktor	[fL]	1.00
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.15
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzuleq]	1104.00
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzulmax]	1104.00
fw * pzul / peq		16.59
fL * pzul / pmax		16.40
Sollsicherheit		1.00
Minimale Sicherheit		16.40

Bemerkungen:

Pressbelastung:  $p(eq,max) = k_{\text{phib}}(eq,max) \cdot k_1 \cdot T \cdot 2000 / (d_m \cdot l_{tr} \cdot h \cdot z)$

Lastrichtungswechselfaktor nach DIN 6892:1998/ Bild 6

$p_{zuleq} = f_s \cdot f_H \cdot f_w \cdot (R_m, R_p)$

$p_{zulmax} = f_s \cdot f_H \cdot f_L \cdot (R_m, R_p)$

(Rm:bei sprödem Werkstoff; Rp:bei duktilem Werkstoff)

Ende Protokoll

Zeilen: 90

## **B.16 Keilwelle Z3**

**Keilwelle WZ3 [M02b]**

Rechenmethode: G.Niemann, Maschinenelemente I, 4.Auflage, 2005.

Bezeichnung	DIN ISO 14:1986 (Leichte Reihe)	
Innendurchmesser (mm)	[d1]	72.00
Aussendurchmesser (mm)	[d2]	78.00
Mittlerer Durchmesser (mm)	[dm]	75.00
Anzahl Keile	[nK]	10.00
Breite (mm)	[b]	12.00
Höhe Keil (mm)	[h]	3.00
Tragende Länge (mm)	[l <sub>tr</sub> ]	40.00
Längenfaktor	[k1]	1.05
Anteilmomentfaktor (äquivalente Last)	[k <sub>phibeq</sub> ]	1.30
Anteilmomentfaktor (maximale Last)	[k <sub>phibmax</sub> ]	1.10
Nennmoment (Nm)	[T <sub>enn</sub> ]	2951.13
Anwendungsfaktor	[KA]	1.25
Betriebsmoment (Nm)	[T <sub>eq</sub> ]	3688.91
Maximalmoment (Nm)	[T <sub>max</sub> ]	3688.91
Häufigkeit der Lastspitze	[NL]	999999999
Drehmomentverlauf: Kein Wechselmoment		
Lastrichtungswchselfaktor	[f <sub>w</sub> ]	1.00
Herstellungstoleranz nach Niemann		H7

**Welle**

Werkstoff	C45 (1)	
Typ	Vergütungsstahl	
Behandlung	unlegiert, vergütet	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[R <sub>m</sub> ]	630.00 (d=40-100mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[R <sub>p</sub> ]	370.00 (d=40-100mm)
Pressbeanspruchung (äquiv. Last) (N/mm <sup>2</sup> )	[p <sub>eq</sub> ]	112.03
Pressbeanspruchung (maxim. Last) (N/mm <sup>2</sup> )	[p <sub>max</sub> ]	112.03
Stützfaktor	[f <sub>s</sub> ]	1.20
Lastspitzenfaktor	[f <sub>L</sub> ]	1.00
Härteeinflussfaktor	[f <sub>H</sub> ]	1.00
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[p <sub>zuleq</sub> ]	444.00
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[p <sub>zulmax</sub> ]	444.00
f <sub>w</sub> * p <sub>zul</sub> / p <sub>eq</sub>		3.96
f <sub>L</sub> * p <sub>zul</sub> / p <sub>max</sub>		3.96
Sollsicherheit		1.00
Minimale Sicherheit		3.96

**Nabe**

Werkstoff	18CrNiMo7-6	
Typ	Einsatzstahl	
Behandlung	einsatzgehärtet	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[R <sub>m</sub> ]	600.00 (d= 0- 0mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[R <sub>p</sub> ]	425.00 (d= 0- 0mm)
Kleiner Aussendurchmesser (mm)	[D1]	160.00

Keilwelle WZ3 1/2

Grosser Aussendurchmesser (mm)	[D2]	160.00
Breite des Nabenteils mit D2 (mm)	[c]	40.00
Ersatzdurchmesser Nabe (mm)	[D]	160.00
Abstand a0 (mm)	[a0]	20.00
Pressbeanspruchung (äquiv. Last) (N/mm <sup>2</sup> )	[peq]	112.03
Pressbeanspruchung (maxim. Last) (N/mm <sup>2</sup> )	[pmax]	112.03
Stützfaktor	[fs]	1.50
Lastspitzenfaktor	[fL]	1.00
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.15
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzuleq]	733.13
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzulmax]	733.13
fw * pzul / peq		6.54
fL * pzul / pmax		6.54
Sollsicherheit		1.00
Minimale Sicherheit		6.54

Bemerkungen:

Pressbelastung:  $p(eq,max) = k_{\text{phib}}(eq,max) \cdot k_1 \cdot T \cdot 2000 / (d_m \cdot l_{tr} \cdot h \cdot z)$

Lastrichtungswechselfaktor nach DIN 6892:1998/ Bild 6

$pzuleq = f_s \cdot f_H \cdot f_w \cdot (R_m, R_p)$

$pzulmax = f_s \cdot f_H \cdot f_L \cdot (R_m, R_p)$

(Rm:bei sprödem Werkstoff; Rp:bei duktilem Werkstoff)

Ende Protokoll

Zeilen: 90

## **B.17 Keilwelle Z4**

**Keilwelle WZ4**

**[M02b]**

Rechenmethode: G.Niemann, Maschinenelemente I, 4.Auflage, 2005.

Bezeichnung	DIN ISO 14:1986 (Leichte Reihe)	
Innendurchmesser (mm)	[d1]	82.00
Aussendurchmesser (mm)	[d2]	88.00
Mittlerer Durchmesser (mm)	[dm]	85.00
Anzahl Keile	[nK]	10.00
Breite (mm)	[b]	12.00
Höhe Keil (mm)	[h]	3.00
Tragende Länge (mm)	[ltr]	45.00
Längenfaktor	[k1]	1.03
Anteilmoment (äquivalente Last)	[kphibeq]	1.30
Anteilmoment (maximale Last)	[kphibmax]	1.10
Nennmoment (Nm)	[Tnenn]	5008.49
Anwendungsfaktor	[KA]	1.25
Betriebsmoment (Nm)	[Teq]	6260.61
Maximalmoment (Nm)	[Tmax]	6260.61
Häufigkeit der Lastspitze	[NL]	999999999
Drehmomentverlauf: Kein Wechselmoment		
Lastrichtungswchselfaktor	[fw]	1.00
Herstellungstoleranz nach Niemann		H7

**Welle**

Werkstoff	30 CrNiMo 8 (1)	
Typ	Vergütungsstahl	
Behandlung	legiert, vergütet	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	1100.00 (d=40-100mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Rp]	900.00 (d=40-100mm)
Pressbeanspruchung (äquiv. Last) (N/mm <sup>2</sup> )	[peq]	146.43
Pressbeanspruchung (maxim. Last) (N/mm <sup>2</sup> )	[pmax]	146.43
Stützfaktor	[fs]	1.20
Lastspitzenfaktor	[fL]	1.00
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.00
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzuleq]	1080.00
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzulmax]	1080.00
fw * pzul / peq		7.38
fL * pzul / pmax		7.38
Sollsicherheit		1.00
Minimale Sicherheit		7.38

**Nabe**

Werkstoff	18CrNiMo7-6	
Typ	Einsatzstahl	
Behandlung	einsatzgehärtet	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	900.00 (d=40-100mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Rp]	640.00 (d=40-100mm)
Kleiner Aussendurchmesser (mm)	[D1]	89.00

Keilwelle WZ4 1/2

Grosser Aussendurchmesser (mm)	[D2]	89.00
Breite des Nabenteils mit D2 (mm)	[c]	45.00
Ersatzdurchmesser Nabe (mm)	[D]	89.00
Abstand a0 (mm)	[a0]	22.50
Pressbeanspruchung (äquiv. Last) (N/mm <sup>2</sup> )	[peq]	146.43
Pressbeanspruchung (maxim. Last) (N/mm <sup>2</sup> )	[pmax]	146.43
Stützfaktor	[fs]	1.50
Lastspitzenfaktor	[fL]	1.00
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.15
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzuleq]	1104.00
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzulmax]	1104.00
fw * pzul / peq		7.54
fL * pzul / pmax		7.54
Sollsicherheit		1.00
Minimale Sicherheit		7.54

Bemerkungen:

Pressbelastung:  $p(eq,max) = k_{\text{phib}}(eq,max) \cdot k_1 \cdot T \cdot 2000 / (d_m \cdot l_{tr} \cdot h \cdot z)$

Lastrichtungswechselfaktor nach DIN 6892:1998/ Bild 6

$p_{zuleq} = f_s \cdot f_H \cdot f_w \cdot (R_m, R_p)$

$p_{zulmax} = f_s \cdot f_H \cdot f_L \cdot (R_m, R_p)$

(Rm:bei sprödem Werkstoff; Rp:bei duktilem Werkstoff)

Ende Protokoll

Zeilen: 90

## **B.18 Keilwelle Z5**

**Keilwelle WZ5 [M02b]**

Rechenmethode: G.Niemann, Maschinenelemente I, 4.Auflage, 2005.

Bezeichnung	DIN ISO 14:1986 (Leichte Reihe)	
Innendurchmesser (mm)	[d1]	62.00
Aussendurchmesser (mm)	[d2]	68.00
Mittlerer Durchmesser (mm)	[dm]	65.00
Anzahl Keile	[nK]	8.00
Breite (mm)	[b]	12.00
Höhe Keil (mm)	[h]	3.00
Tragende Länge (mm)	[ltr]	50.00
Längenfaktor	[k1]	1.08
Anteilmoment (äquivalente Last)	[kphibeq]	1.30
Anteilmoment (maximale Last)	[kphibmax]	1.10
Nennmoment (Nm)	[Tnenn]	4004.47
Anwendungsfaktor	[KA]	1.25
Betriebsmoment (Nm)	[Teq]	5005.59
Maximalmoment (Nm)	[Tmax]	5005.59
Häufigkeit der Lastspitze	[NL]	999999999
Drehmomentverlauf: Kein Wechselmoment		
Lastrichtungswchselfaktor	[fw]	1.00
Herstellungstoleranz nach Niemann		H7

**Welle**

Werkstoff	34 CrMo 4	
Typ	Vergütungsstahl	
Behandlung	legiert, vergütet	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	800.00 (d=40-100mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Rp]	550.00 (d=40-100mm)
Pressbeanspruchung (äquiv. Last) (N/mm <sup>2</sup> )	[peq]	180.84
Pressbeanspruchung (maxim. Last) (N/mm <sup>2</sup> )	[pmax]	180.84
Stützfaktor	[fs]	1.20
Lastspitzenfaktor	[fL]	1.00
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.00
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzuleq]	660.00
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzulmax]	660.00
fw * pzul / peq		3.65
fL * pzul / pmax		3.65
Sollsicherheit		1.00
Minimale Sicherheit		3.65

**Nabe**

Werkstoff	18CrNiMo7-6	
Typ	Einsatzstahl	
Behandlung	einsatzgehärtet	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	600.00 (d= 0- 0mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Rp]	425.00 (d= 0- 0mm)
Kleiner Aussendurchmesser (mm)	[D1]	200.00

Keilwelle WZ5 1/2

Grosser Aussendurchmesser (mm)	[D2]	200.00
Breite des Nabenteils mit D2 (mm)	[c]	50.00
Ersatzdurchmesser Nabe (mm)	[D]	200.00
Abstand a0 (mm)	[a0]	0.00
Pressbeanspruchung (äquiv. Last) (N/mm <sup>2</sup> )	[peq]	180.84
Pressbeanspruchung (maxim. Last) (N/mm <sup>2</sup> )	[pmax]	180.84
Stützfaktor	[fs]	1.50
Lastspitzenfaktor	[fL]	1.00
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.15
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzuleq]	733.13
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzulmax]	733.13
fw * pzul / peq		4.05
fL * pzul / pmax		4.05
Sollsicherheit		1.00
Minimale Sicherheit		4.05

Bemerkungen:

Pressbelastung:  $p(eq,max) = k_{\text{phib}}(eq,max) \cdot k_1 \cdot T \cdot 2000 / (dm \cdot l_{tr} \cdot h \cdot z)$

Lastrichtungswechselfaktor nach DIN 6892:1998/ Bild 6

$p_{zuleq} = f_s \cdot f_H \cdot f_w \cdot (R_m, R_p)$

$p_{zulmax} = f_s \cdot f_H \cdot f_L \cdot (R_m, R_p)$

(Rm:bei sprödem Werkstoff; Rp:bei duktilem Werkstoff)

Ende Protokoll

Zeilen: 90

## **B.19 Passfeder WelleZ1 - LP1-4000**

**Passfeder WZ1-LP1-4000 [M02a]**

Rechenmethode: DIN 6892-B:2012

Bezeichnung	DIN 6885.1:1968 Standard	
Passfederbreite (mm)	[b]	18.00
Passfederhöhe (mm)	[h]	11.00
Kantenbruch (Mittelwert) (mm)	[r]	0.50
Wellendurchmesser (mm)	[d]	65.00
Nenn Drehmoment (Nm)	[T]	2951.13
Anwendungsfaktor	[KA]	1.25
Äquivalentes Drehmoment (Nm)	[Teq]	3688.91
Maximaldrehmoment (Nm)	[Tmax]	3688.91
Minimalreißschlussmoment bei Press-Sitz (Nm)	[TRmin]	0.00
Drehmomentverlauf: Kein Wechselmoment		
Häufigkeit der Lastspitze	[NL]	999999999
Häufigkeit der Lastrichtungswechsel	[NW]	1
Lastrichtungswechselfaktor	[fw]	1.00
Anzahl Passfedern	[i]	1
Tragfaktor	[phi]	1.00
Äquivalente Umfangskraft (N)	[F <sub>eq</sub> ]	113504.95
Maximale Umfangskraft (N)	[F <sub>max</sub> ]	113504.95
Traganteilfaktor für äquival. Flächenpressung	[K <sub>neq</sub> ]	1.00
Traganteilfaktor für maximale Flächenpressung	[K <sub>nmax</sub> ]	1.00
Hilfsfaktor	[K <sub>le</sub> ]	1.129
Lastverteilungsfaktor	[K <sub>I</sub> ]	1.129
Reißschlussfaktor	[K <sub>Req</sub> ]	1.000
Reißschlussfaktor	[K <sub>R</sub> ]	1.000

**Welle**

Werkstoff	34 CrMo 4	
Typ	Vergütungsstahl	
Behandlung	legiert, vergütet	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[R <sub>m</sub> ]	800.00 (d=40-100mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[R <sub>e</sub> ]	550.00 (d=40-100mm)
Wellennuttiefe (Minimalwert) (mm)	[t1]	7.00
Kantenbruch an der Welle (mm)	[s1]	0.01
Tragende Passfederlänge (mm)	[l <sub>tr</sub> ]	60.00
Tragende Passfederhöhe (mm)	[t1 <sub>tr</sub> ]	5.22
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[p <sub>eq</sub> ]	409.34
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[p <sub>max</sub> ]	409.34
Stützfaktor	[f <sub>s</sub> ]	1.30
Härteeinflussfaktor	[f <sub>H</sub> ]	1.00
Zulässige Flächenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[p <sub>zul</sub> ]	715.00
Lastspitzen-Häufigkeits-Faktor	[f <sub>L</sub> ]	1.00
Lastrichtungswechselfaktor	[f <sub>w</sub> ]	1.00
Sicherheit gegen Fließen (f <sub>w</sub> * p <sub>zul</sub> / p <sub>eq</sub> )	[SF <sub>eq</sub> ]	1.75
Sicherheit gegen Fließen (f <sub>L</sub> * p <sub>zul</sub> / p <sub>max</sub> )	[SF <sub>max</sub> ]	1.75
Minimale Sicherheit	[SF]	1.75

Passfeder WZ1 1/3

**Nabe**

Werkstoff	C45 (1)	
Typ	Vergütungsstahl	
Behandlung	unlegiert, vergütet	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	650.00 (d=16-40mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Re]	430.00 (d=16-40mm)
Nabennuttiefe (Minimalwert) (mm)	[t2]	4.40
Kantenbruch an der Nabe (mm)	[s2]	0.01
Tragende Passfederlänge (mm)	[ltr]	60.00
Tragende Passfederhöhe (mm)	[t2tr]	4.76
Kleiner Aussendurchmesser Nabe (mm)	[D1]	120.00
Grosser Aussendurchmesser Nabe (mm)	[D2]	120.00
Breite des Nabenteils mit D2 (mm)	[c]	60.00
Ersatzdurchmesser Nabe (mm)	[D]	120.00
Abstand a0 (Bild 2, DIN 6892) (mm)	[a0]	35.00
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[peq]	448.20
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[pmax]	448.20
Stützfaktor	[fs]	1.50
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.00
Zulässige Flächenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzul]	645.00
Lastspitzen-Häufigkeits-Faktor	[fL]	1.00
Lastrichtungswechselfaktor	[fw]	1.00
Sicherheit gegen Fliesen (fw * pzul / peq)	[SFeq]	1.44
Sicherheit gegen Fliesen (fL * pzul / pmax)	[SFmax]	1.44
Minimale Sicherheit	[SF]	1.44

**Passfeder**

Werkstoff	C60	
Typ	Vergütungsstahl	
Behandlung	unlegiert, vergütet	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	850.00 (d= 0-16mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Re]	580.00 (d= 0-16mm)
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[peq]	409.34 / 448.20
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[pmax]	409.34 / 448.20
Stützfaktor	[fs]	1.10
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.00
Zulässige Flächenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzul]	638.00
Lastspitzen-Häufigkeits-Faktor	[fL]	1.00
Lastrichtungswechselfaktor	[fw]	1.00
Sicherheit gegen Fliesen (fw * pzul / peq)	[SFeq]	1.42
Sicherheit gegen Fliesen (fL * pzul / pmax)	[SFmax]	1.42
Minimale Sicherheit	[SF]	1.42
Querschnittsfläche (mm <sup>2</sup> )	[b*ltr]	1080.00
Scherbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[tau]	105.10

**Bemerkungen:**

Sicherheit = Minimum (fw\*pzul/peq, fL\*pzul/pmax)

Bedingung gemäss DIN 6892 Sicherheit >= 1.0

Kantenbruch an der Passfeder: Mittelwert entsprechend den Beispielen in DIN 6892

Nuttiefe: Minimalwert entsprechend den Beispielen in DIN 6892

Passfeder WZ1 2/3

---

Ende Protokoll

Zeilen: 127

---

## **B.20 Passfeder WelleZ3 - hydraulische Lamellenkupplung**

**Passfeder WZ3-hydraulische Lamellenkupplung**

**[M02a]**

Rechenmethode: DIN 6892-B:2012

Bezeichnung	DIN 6885.1:1968 Standard	
Passfederbreite (mm)	[b]	18.00
Passfederhöhe (mm)	[h]	11.00
Kantenbruch (Mittelwert) (mm)	[r]	0.50
Wellendurchmesser (mm)	[d]	60.00
Nenn Drehmoment (Nm)	[T]	2951.13
Anwendungsfaktor	[KA]	1.25
Äquivalentes Drehmoment (Nm)	[Teq]	3688.91
Maximaldrehmoment (Nm)	[Tmax]	3688.91
Minimalreibschlussmoment bei Press-Sitz (Nm)	[TRmin]	0.00
Drehmomentverlauf: Kein Wechselmoment		
Häufigkeit der Lastspitze	[NL]	999999999
Häufigkeit der Lastrichtungswechsel	[NW]	1
Lastrichtungswechselfaktor	[fw]	1.00
Anzahl Passfedern	[i]	2
Tragfaktor	[phi]	0.75
Äquivalente Umfangskraft (N)	[F <sub>eq</sub> ]	122963.70
Maximale Umfangskraft (N)	[F <sub>max</sub> ]	122963.70
Traganteilfaktor für äquival. Flächenpressung	[K <sub>neq</sub> ]	0.67
Traganteilfaktor für maximale Flächenpressung	[K <sub>nmax</sub> ]	0.56
Hilfsfaktor	[K <sub>le</sub> ]	1.163
Lastverteilungsfaktor	[K <sub>I</sub> ]	1.326
Reibschlussfaktor	[K <sub>Req</sub> ]	1.000
Reibschlussfaktor	[K <sub>R</sub> ]	1.000

**Welle**

Werkstoff	34 CrMo 4	
Typ	Vergütungsstahl	
Behandlung	legiert, vergütet	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[R <sub>m</sub> ]	800.00 (d=40-100mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[R <sub>e</sub> ]	550.00 (d=40-100mm)
Wellennuttiefe (Minimalwert) (mm)	[t1]	7.00
Kantenbruch an der Welle (mm)	[s1]	0.01
Tragende Passfederlänge (mm)	[l <sub>tr</sub> ]	60.00
Tragende Passfederhöhe (mm)	[t1 <sub>tr</sub> ]	5.11
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[p <sub>eq</sub> ]	354.99
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[p <sub>max</sub> ]	354.99
Stützfaktor	[f <sub>s</sub> ]	1.30
Härteeinflussfaktor	[f <sub>H</sub> ]	1.00
Zulässige Flächenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[p <sub>zul</sub> ]	715.00
Lastspitzen-Häufigkeits-Faktor	[f <sub>L</sub> ]	1.00
Lastrichtungswechselfaktor	[f <sub>w</sub> ]	1.00
Sicherheit gegen Fließen (f <sub>w</sub> * p <sub>zul</sub> / p <sub>eq</sub> )	[SF <sub>eq</sub> ]	2.01
Sicherheit gegen Fließen (f <sub>L</sub> * p <sub>zul</sub> / p <sub>max</sub> )	[SF <sub>max</sub> ]	2.01
Minimale Sicherheit	[SF]	2.01

Passfeder WZ3 1/3

**Nabe**

Werkstoff	C45 (1)	
Typ	Vergütungsstahl	
Behandlung	unlegiert, vergütet	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	700.00 (d= 0-16mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Re]	490.00 (d= 0-16mm)
Nabennuttiefe (Minimalwert) (mm)	[t2]	4.40
Kantenbruch an der Nabe (mm)	[s2]	0.01
Tragende Passfederlänge (mm)	[ltr]	60.00
Tragende Passfederhöhe (mm)	[t2tr]	4.87
Kleiner Aussendurchmesser Nabe (mm)	[D1]	80.00
Grosser Aussendurchmesser Nabe (mm)	[D2]	80.00
Breite des Nabenteils mit D2 (mm)	[c]	60.00
Ersatzdurchmesser Nabe (mm)	[D]	80.00
Abstand a0 (Bild 2, DIN 6892) (mm)	[a0]	23.18
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[peq]	371.74
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[pmax]	371.74
Stützfaktor	[fs]	1.50
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.00
Zulässige Flächenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzul]	735.00
Lastspitzen-Häufigkeits-Faktor	[fL]	1.00
Lastrichtungswechselfaktor	[fw]	1.00
Sicherheit gegen Fliesen (fw * pzul / peq)	[SFeq]	1.98
Sicherheit gegen Fliesen (fL * pzul / pmax)	[SFmax]	1.98
Minimale Sicherheit	[SF]	1.98

**Passfeder**

Werkstoff	C60	
Typ	Vergütungsstahl	
Behandlung	unlegiert, vergütet	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	850.00 (d= 0-16mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Re]	580.00 (d= 0-16mm)
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[peq]	354.99 / 371.74
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[pmax]	354.99 / 371.74
Stützfaktor	[fs]	1.10
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.00
Zulässige Flächenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzul]	638.00
Lastspitzen-Häufigkeits-Faktor	[fL]	1.00
Lastrichtungswechselfaktor	[fw]	1.00
Sicherheit gegen Fliesen (fw * pzul / peq)	[SFeq]	1.72
Sicherheit gegen Fliesen (fL * pzul / pmax)	[SFmax]	1.72
Minimale Sicherheit	[SF]	1.72
Querschnittsfläche (mm <sup>2</sup> )	[b*ltr]	1080.00
Scherbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[tau]	113.86

**Bemerkungen:**

Sicherheit = Minimum (fw\*pzul/peq, fL\*pzul/pmax)  
 Bedingung gemäss DIN 6892 Sicherheit >= 1.0  
 Kantenbruch an der Passfeder: Mittelwert entsprechend den Beispielen in DIN 6892  
 Nuttiefe: Minimalwert entsprechend den Beispielen in DIN 6892

Passfeder WZ3 2/3

Ende Protokoll

Zeilen: 127

---

## **B.21 Passfeder WelleZ6 - MotorE1**

**Passfeder WZ6-MotorE1 [M02a]**

Rechenmethode: DIN 6892-B:2012

Bezeichnung	DIN 6885.1:1968 Standard	
Passfederbreite (mm)	[b]	10.00
Passfederhöhe (mm)	[h]	8.00
Kantenbruch (Mittelwert) (mm)	[r]	0.50
Wellendurchmesser (mm)	[d]	32.00
Nenn Drehmoment (Nm)	[T]	517.75
Anwendungsfaktor	[KA]	1.25
Äquivalentes Drehmoment (Nm)	[Teq]	647.19
Maximaldrehmoment (Nm)	[Tmax]	647.19
Minimalreibschlussmoment bei Press-Sitz (Nm)	[TRmin]	0.00
Drehmomentverlauf: Kein Wechselmoment		
Häufigkeit der Lastspitze	[NL]	999999999
Häufigkeit der Lastrichtungswechsel	[NW]	1
Lastrichtungswechselfaktor	[fw]	1.00
Anzahl Passfedern	[i]	1
Tragfaktor	[phi]	1.00
Äquivalente Umfangskraft (N)	[F <sub>eq</sub> ]	40449.22
Maximale Umfangskraft (N)	[F <sub>max</sub> ]	40449.22
Traganteilfaktor für äquival. Flächenpressung	[K <sub>neq</sub> ]	1.00
Traganteilfaktor für maximale Flächenpressung	[K <sub>nmax</sub> ]	1.00
Hilfsfaktor	[K <sub>le</sub> ]	1.258
Lastverteilungsfaktor	[K <sub>I</sub> ]	1.258
Reibschlussfaktor	[K <sub>Req</sub> ]	1.000
Reibschlussfaktor	[K <sub>R</sub> ]	1.000

**Welle**

Werkstoff	18CrNiMo7-6	
Typ	Einsatzstahl	
Behandlung	einsatzgehärtet	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[R <sub>m</sub> ]	1100.00 (d=16-40mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[R <sub>e</sub> ]	745.00 (d=16-40mm)
Wellennuttiefe (Minimalwert) (mm)	[t1]	5.00
Kantenbruch an der Welle (mm)	[s1]	0.01
Tragende Passfederlänge (mm)	[l <sub>tr</sub> ]	41.60
Tragende Passfederhöhe (mm)	[t1 <sub>tr</sub> ]	3.69
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[p <sub>eq</sub> ]	331.91
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[p <sub>max</sub> ]	331.91
Stützfaktor	[f <sub>s</sub> ]	1.30
Härteeinflussfaktor	[f <sub>H</sub> ]	1.15
Zulässige Flächenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[p <sub>zul</sub> ]	1113.77
Lastspitzen-Häufigkeits-Faktor	[f <sub>L</sub> ]	1.00
Lastrichtungswechselfaktor	[f <sub>w</sub> ]	1.00
Sicherheit gegen Fließen (f <sub>w</sub> * p <sub>zul</sub> / p <sub>eq</sub> )	[SF <sub>eq</sub> ]	3.36
Sicherheit gegen Fließen (f <sub>L</sub> * p <sub>zul</sub> / p <sub>max</sub> )	[SF <sub>max</sub> ]	3.36
Minimale Sicherheit	[SF]	3.36

Passfeder WZ6 1/3

**Nabe**

Werkstoff	C45 (1)	
Typ	Vergütungsstahl	
Behandlung	unlegiert, vergütet	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	650.00 (d=16-40mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Re]	430.00 (d=16-40mm)
Nabennuttiefe (Minimalwert) (mm)	[t2]	3.30
Kantenbruch an der Nabe (mm)	[s2]	0.01
Tragende Passfederlänge (mm)	[ltr]	41.60
Tragende Passfederhöhe (mm)	[t2tr]	3.29
Kleiner Aussendurchmesser Nabe (mm)	[D1]	86.00
Grosser Aussendurchmesser Nabe (mm)	[D2]	86.00
Breite des Nabenteils mit D2 (mm)	[c]	41.60
Ersatzdurchmesser Nabe (mm)	[D]	86.00
Abstand a0 (Bild 2, DIN 6892) (mm)	[a0]	20.80
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[peq]	371.27
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[pmax]	371.27
Stützfaktor	[fs]	1.50
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.00
Zulässige Flächenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzul]	645.00
Lastspitzen-Häufigkeits-Faktor	[fL]	1.00
Lastrichtungswechselfaktor	[fw]	1.00
Sicherheit gegen Fließen (fw * pzul / peq)	[SFeq]	1.74
Sicherheit gegen Fließen (fL * pzul / pmax)	[SFmax]	1.74
Minimale Sicherheit	[SF]	1.74

**Passfeder**

Werkstoff	C45 (1)	
Typ	Vergütungsstahl	
Behandlung	unlegiert, vergütet	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	700.00 (d= 0-16mm)
Streckgrenze (N/mm <sup>2</sup> )	[Re]	490.00 (d= 0-16mm)
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[peq]	331.91 / 371.27
Pressbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[pmax]	331.91 / 371.27
Stützfaktor	[fs]	1.10
Härteeinflussfaktor	[fH]	1.00
Zulässige Flächenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzul]	539.00
Lastspitzen-Häufigkeits-Faktor	[fL]	1.00
Lastrichtungswechselfaktor	[fw]	1.00
Sicherheit gegen Fließen (fw * pzul / peq)	[SFeq]	1.45
Sicherheit gegen Fließen (fL * pzul / pmax)	[SFmax]	1.45
Minimale Sicherheit	[SF]	1.45
Querschnittsfläche (mm <sup>2</sup> )	[b*ltr]	416.00
Scherbeanspruchung (N/mm <sup>2</sup> )	[tau]	97.23

**Bemerkungen:**

Sicherheit = Minimum (fw\*pzul/peq, fL\*pzul/pmax)  
 Bedingung gemäss DIN 6892 Sicherheit >= 1.0  
 Kantenbruch an der Passfeder: Mittelwert entsprechend den Beispielen in DIN 6892  
 Nuttiefe: Minimalwert entsprechend den Beispielen in DIN 6892

Passfeder WZ6 2/3

---

Ende Protokoll

Zeilen: 127

---

## **B.22** Vollstifte Hohlrad

**Bolzen und Stifte**

**[M03a]**

**Kreisförmige Bolzenanordnung (einschnittig)**

**Eingaben:**

Drehmoment (Nm)	[Tn]	4004.000
Kraft pro Bolzen (N)	[Fp]	2780.556
Anzahl Bolzen	[nb]	8
Bolzendurchmesser (mm)	[d]	10.000
Querschnittsfläche (mm <sup>2</sup> )	[A]	78.540
Anordnungsdurchmesser (mm)	[dcirc]	360.000
Dicke Bauteil 1 (mm)	[t1]	20.000
Dicke Bauteil 2 (mm)	[t2]	54.000
Anwendungsfaktor	[KA]	1.250

Belastungsart:  
schwellend

Stiftart: Vollstift/Bolzen

**Werkstoffdaten:**

Dynamikfaktor	[cd]	0.700
Minderungsfaktor Kerbstift Biegung/Schub	[ck]	1.000
Minderungsfaktor Kerbstift Pressung	[ckp]	1.000
Faktor Flächenpressung	[faktp]	0.350
Faktor Scherspannung	[faktau]	0.200
Faktor Biegespannung	[faktsigma]	0.300

**Stift/Bolzen**

Werkstoff	C45 (1)	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	700.000
Zulässige Schubspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[tauzul]	98.000

**Bauteil 1**

Werkstoff	34 CrMo 4	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	1000.000
Zulässige Flächenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzul]	245.000

**Bauteil 2**

Werkstoff	30 CrNiMo 8 (1)	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	1250.000
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzul]	306.250

**Resultate:**

Hohlrad Vollstifte1/2

## Stift:

Widerstandsmoment (mm <sup>3</sup> )	[W]	98.175
Scherspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[tau]	44.254
Maximale Scherspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[taumax]	59.005

## Bauteil 1:

Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pw]	17.378
-------------------------------	------	--------

## Bauteil 2:

Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pn]	6.436
-------------------------------	------	-------

## Sicherheiten:

Sicherheit Scherung (Stift):	[SSpin]	2.214
Minimale Sicherheit Scherung (Stift):	[SSpinmin]	1.661
Sicherheit Pressung (Bauteil 1):	[SPp1]	14.098
Sicherheit Pressung (Bauteil 2):	[SPp2]	47.580

## Bemerkungen:

$$p = Fp \cdot KA / d \cdot t$$

$$\tau = Fp \cdot KA / A$$

$$\tau_{\max} = 4/3 \cdot Fp \cdot KA / A$$

---

Ende Protokoll

Zeilen: 86

---

## **B.23 Schwerspannstifte Hohlrad**

**Bolzen und Stifte**

**[M03a]**

**Kreisförmige Bolzenanordnung (einschnittig)**

**Eingaben:**

Drehmoment (Nm)	[Tn]	4004.000
Kraft pro Bolzen (N)	[Fp]	2780.556
Anzahl Bolzen	[nb]	8
Bolzendurchmesser (mm)	[d]	10.000
Querschnittsfläche (mm <sup>2</sup> )	[A]	50.265
Anordnungsdurchmesser (mm)	[dcirc]	360.000
Dicke Bauteil 1 (mm)	[t1]	20.000
Dicke Bauteil 2 (mm)	[t2]	54.000
Wanddicke des Stifts (mm)	[sb]	2.000
Anwendungsfaktor	[KA]	1.250

Belastungsart:  
 ruhend

Stiftart: Spannstift(-hülse) (geschlitzt,schwere Ausführung) DIN EN ISO 8752:1997

**Werkstoffdaten:**

Dynamikfaktor	[cd]	1.000
Minderungsfaktor Kerbstift Biegung/Schub	[ck]	1.000
Minderungsfaktor Kerbstift Pressung	[ckp]	1.000
Faktor Flächenpressung	[faktp]	0.350
Faktor Scherspannung	[fakttau]	0.200
Faktor Biegespannung	[faktsigma]	0.300

**Stift/Bolzen**

Werkstoff nach Norm Spannstift(-hülse) (geschlitzt,schwere Ausführung) DIN EN ISO 8752:1997

Mindest-Abscherkraft, nach Norm für den zweischnittigen Lastfall:

bei Stahl oder martensitisch nichtrostendem Stahl (N)	[Fzul1]	70160.000
Zulässige Schubspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[tauzul]	1395.789

**Bauteil 1**

Werkstoff	34 CrMo 4	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	1000.000
Zulässige Flächenpressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzul]	350.000

**Bauteil 2**

Werkstoff	30 CrNiMo 8 (1)	
Bruchfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	[Rm]	1250.000
Zulässige Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pzul]	437.500

Hohlrad Schwerspannstifte1/2

**Resultate:**

Stift:

Widerstandsmoment (mm <sup>3</sup> )	[W]	100.480
Scherspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[tau]	69.147
Maximale Scherspannung (N/mm <sup>2</sup> )	[taumax]	92.196

Bauteil 1:

Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pw]	17.378
-------------------------------	------	--------

Bauteil 2:

Pressung (N/mm <sup>2</sup> )	[pn]	6.436
-------------------------------	------	-------

Sicherheiten:

Sicherheit Scherung (Stift):	[SSpin]	20.186
Minimale Sicherheit Scherung (Stift):	[SSpinmin]	15.139
Sicherheit Pressung (Bauteil 1):	[SPp1]	20.140
Sicherheit Pressung (Bauteil 2):	[SPp2]	67.972

Bemerkungen:

 $p = F_p \cdot K_A / d \cdot t$  $\tau = F_p \cdot K_A / A$  $\tau_{\max} = 4/3 \cdot F_p \cdot K_A / A$ 

Ende Protokoll

Zeilen: 88