

KISSsoft AG - +41 55 254 20 50
 Uetzikon 4 - +41 55 254 20 51
 8634 Hombrechtikon - info@KISSsoft.AG
 Switzerland - www.KISSsoft.AG

KISSsoft Tutorial: Nachrechnung Stirnradpaar

1 Aufgabenstellung

In diesem Tutorial wird gezeigt, wie die bereits bekannten Daten einer Stirnradstufe eingegeben werden können.

Es sind also folgende Arbeiten für eine bereits bestehende Stirnradstufe zu erbringen:

- 1) erforderliche Daten in KISSsoft eingegeben
- 2) nach DIN 3990 nachrechnen
- 3) Dokumentation der Stufe erstellen

1.1 Eingabedaten

Die Erklärung zur Eingabe nachfolgender Daten finden Sie im Anschluss ab Kapitel 2 in diesem Tutorial:

1.1.1 Leistungsdaten

Leistung [P]	3.5	kW
Drehzahl [n] am Antrieb	2500	1/min (Rad1 treibend)
Anwendungsfaktor [K _A]	1.35	
Lebensdauer [H]	750	h

1.1.2 Geometrie

Normalmodul [m _n]	1.5	mm
Schrägungswinkel am Teilkreis [β]	25	°
Eingriffswinkel im Normalschnitt [α _n]	20	°
Zähnezahlen [z] Rad1 / Rad2	16 / 43	
Zahnbreite [b] Rad1 / Rad2	14 / 14.5	mm
Achsabstand [a]	48.9 ±0.03	mm
Profilverschiebungsfaktor [x] Rad 1 (Ritzel)	0.3215	

1.1.3 Bezugsprofil

	Fusshöhenfaktor [h* _{fP}]	Fussradiusfaktor [ρ* _{fP}]	Kopfhöhenfaktor [h* _{aP}]
Rad 1 (Ritzel)	1.25	0.3	1.0
Rad 2	1.25	0.3	1.0

1.1.4 Zusatzdaten

Material:

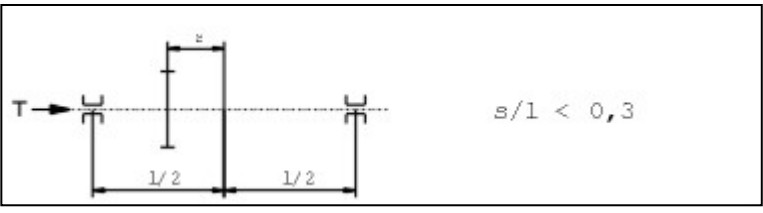
	Material	Härtearten	σFlim	σHlim
Rad 1 (Ritzel)	15 CrNi 6	einsatzgehärtet HRC 60	430 N/mm ²	1500 N/mm ²
Rad 2	15 CrNi 6	einsatzgehärtet HRC 60	430 N/mm ²	1500 N/mm ²

Schmierung:

Fettschmierung	Microlobe GB 00	80 °C
----------------	-----------------	-------

Zahnweitenabmasse

	Messzähnezahl [k]	Zahnweite max [Wkmax]	Zahnweite min [Wkmin]
Rad 1 (Ritzel)	3	11.782 mm	11.758 mm
Rad 2	6	25.214 mm	25.183 mm

Qualität [Q] (DIN 3961)	8 / 8
Flankenlinienkorrektur	Endrücknahme
Tragbild	ohne Nachweis oder ungünstig
Art der Ritzelwelle	 <p>Abbildung 1.1 Belastungsschaubild der Ritzelwelle ISO 6336 Bild 13a; = 53 mm; s = 5.9 mm; dsh = 14 mm</p>

2 Lösung

2.1 Starten des Programms

Nach Installation und Freischaltung kann KISSsoft aufgerufen werden. Der Programmstart erfolgt üblicherweise mittels „Start→Programme→KISSsoft 03-2011→KISSsoft“. Es erscheint die folgende KISSsoft Benutzeroberfläche:

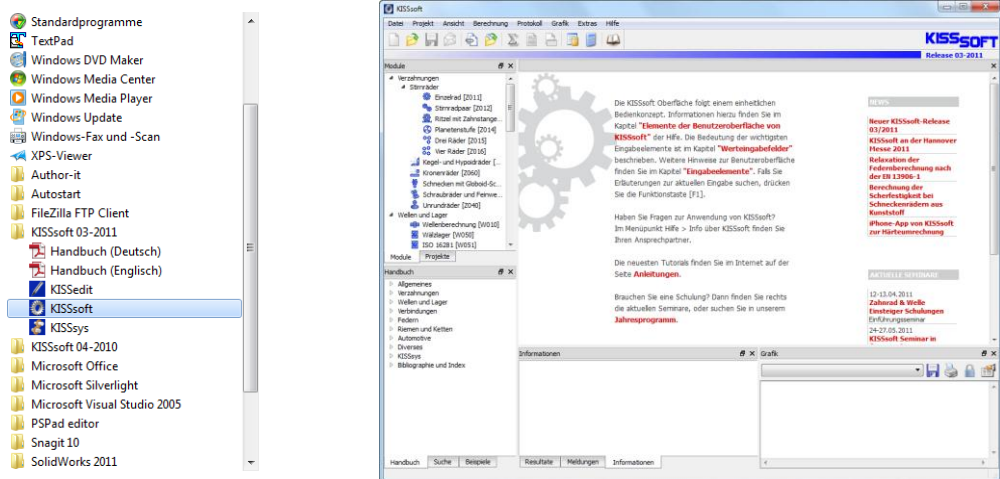


Abbildung 2.1 Starten von KISSsoft, Startfenster

2.2 Auswahl der Berechnung

Über das Modulbaumfenster im Tab „Module“ wird die Berechnung für Stirnradpaar aufgerufen:

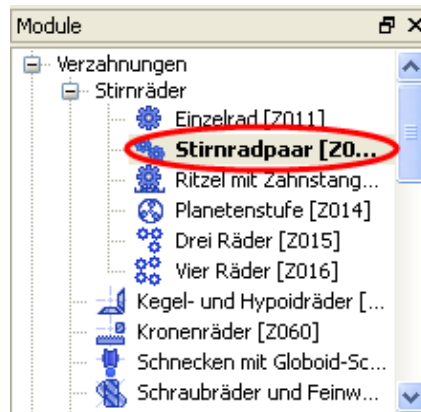


Abbildung 2.2 Aufruf der Stirradberechnung

Daraufhin öffnet sich das KISSsoft Eingabefenster:

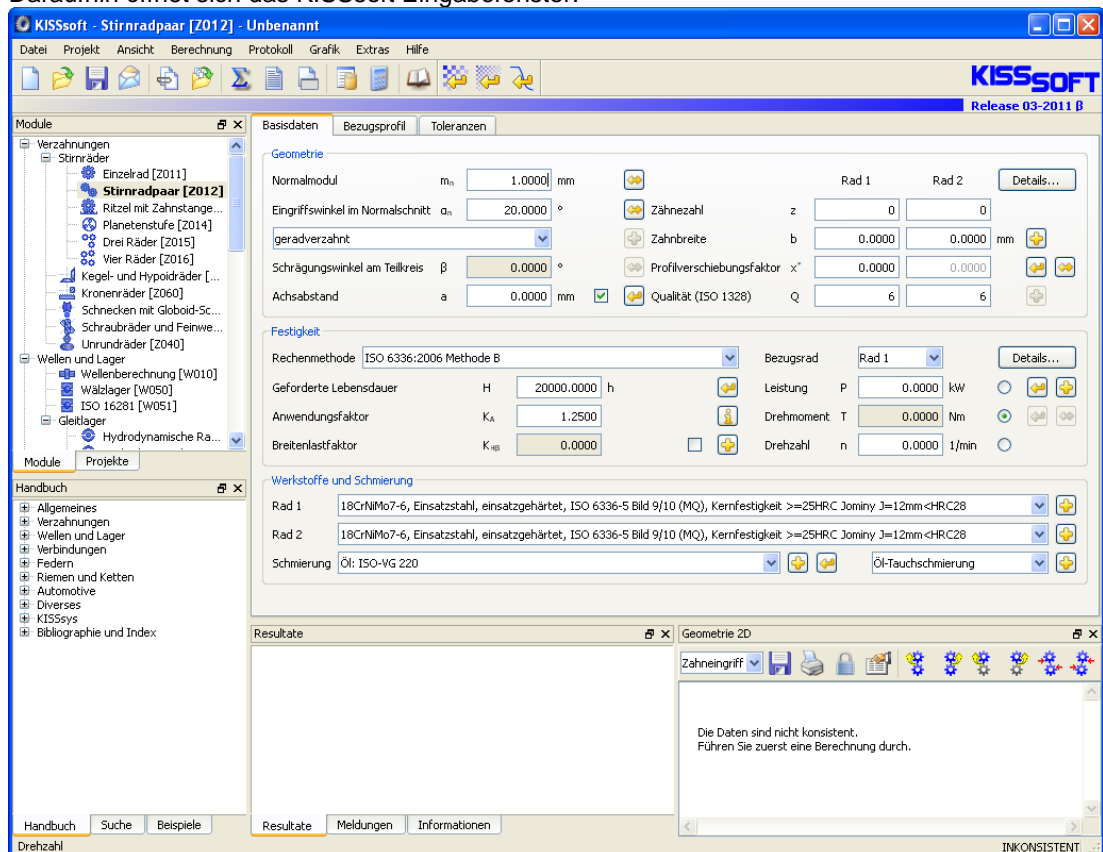



Abbildung 2.3 Eingabefenster KISSsoft Stirradberechnung

Im weiteren Verlauf wird die Eingabe der verschiedenen Daten erklärt.

2.3 Geometrie Zahnradpaar

Normalmodul (1.5 mm), Eingriffswinkel (20°), Schrägungswinkel (25°), Achsabstand (48.9 mm) Zähnezah (16/43), Zahnbreiten (14/14,5 mm), Profilverchiebungsfaktor (0.3215/...) und die Qualität (8/8) werden im Eingabefenster - Tab „Basisdaten“; Bereich: ‚Geometrie‘ eingegeben. Da die Profilverchiebung des zweiten Rades durch den Achsabstand und die Profilverchiebung des ersten Rades berechnet wird, kann der Wert nicht direkt eingegeben werden.

Über den Auslegen Button  kann der Wert jedoch den Anforderungen entsprechend ausgelegt werden. Die Qualität kann unabhängig von der Rechenmethode eingestellt werden.

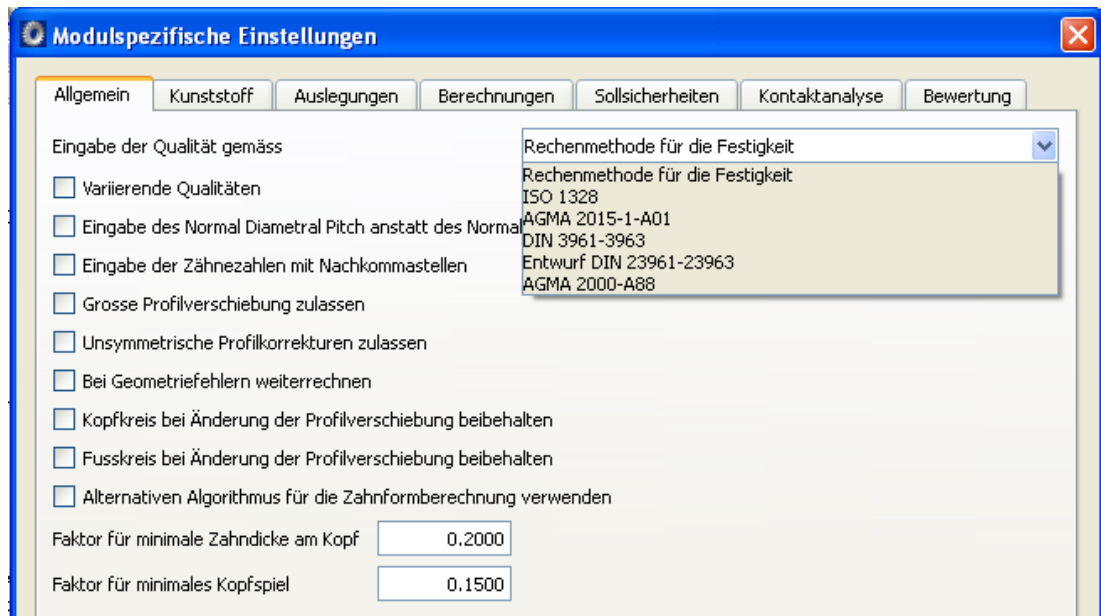


Abbildung 2.4 Modulspezifische Einstellungen, Qualität unabhängig von der Berechnungsmethode

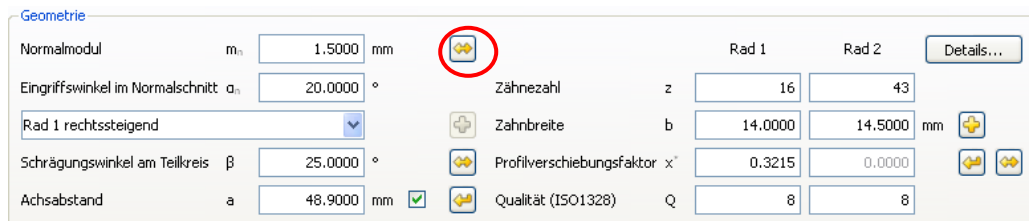



Abbildung 2.5: Eingabefenster – Tab „Basisdaten“, Bereich: ‚Geometrie‘

Ein Klick auf den Umrechnen Button  hinter den Eingabefeldern erlaubt jeweils Zusatzeingaben, oder die Eingabe von anderen Daten zu den jeweiligen Werten. Ist eine Winkeleingabe erforderlich, kann mit Rechtsklick im Eingabefeld ein weiteres Fenster geöffnet werden, was die Eingabe von Winkel, Minute und Sekunde ermöglicht:

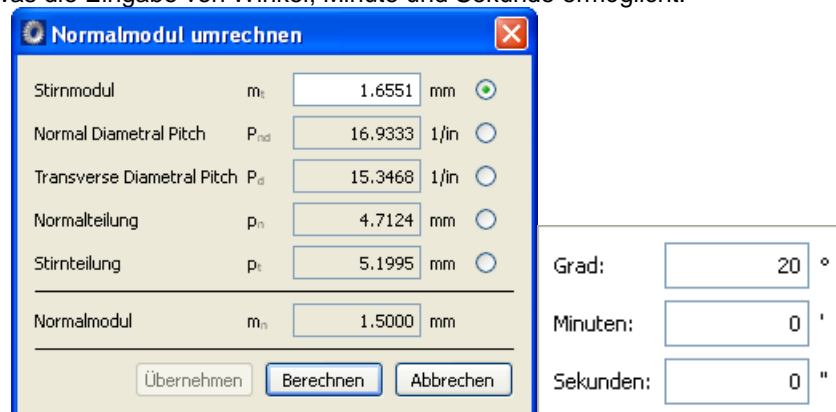


Abbildung 2.6 Zusatzeingaben, Normalmodul, Winkeleingabe

2.4 Definition der Leistungsdaten und Rechenmethode

Im Eingabefenster Tab „Basisdaten“, Bereich: ‚Festigkeit‘ werden nun die Kinematik, die geforderte Lebensdauer (750 h) und der Anwendungsfaktor (1.35) definiert. In vorliegendem Fall wird das Drehmoment durch die Eingabe der Leistung (3.5 kW) und der Drehzahl (2500 1/min) festgelegt. Will man in einem anderen Fall das Drehmoment eingeben und die Leistung errechnen lassen, muss der „Auswahl Button“ rechts der Eingabefelder von Drehmoment auf Leistung gesetzt werden. Unter Details können noch detaillierte Parameter zur Festigkeit eingegeben werden.

Wichtig ist auch die korrekte Einstellung des Bezugsrades (Erstes Rad – Rad 1) für den Lastfall.

Die „Dropdownliste“ links oben dient zur Eingabe der Rechenmethode. In diesem Fall muss auf DIN 3990 Methode B umgestellt werden.

Parameter	Symbol	Value	Unit
Rechenmethode		DIN 3990 Methode B	
Bezugsrad		Rad 1	
Lebensdauer	H	750.0000	h
Leistung	P	3.5000	kW
Anwendungsfaktor	K_A	1.3500	
Drehmoment	T	13.3690	Nm
Breitenlastfaktor	$K_{H\beta}$	0.0000	
Drehzahl	n	2500.0000	1/min

Abbildung 2.7 Eingabefenster – Tab „Basisdaten“, Bereich: Festigkeit

Der Breitenlastfaktor $K_{H\beta}$ kann entweder, direkt eingegeben werden, (dazu in der Checkbox den Haken setzen), oder definiert werden durch den daneben stehenden Plus Button

Abbildung 2.8 Definieren des Breitenlastfaktors

Für die Berechnung der Breitenlastfaktoren wird hier eingegeben:

- Die Flankenlinienkorrektur (in diesem Fall „**Endrücknahme**“ Abbildung 2.9).
- Die möglichen Wellenkonfigurationen werden mit einem Klick auf den Info Button hinter dem Feld „**Art der Ritzelwelle**“ im „**Infofenster**“ eingeblendet. Siehe Markierung untere Abbildung rechts, vorliegender Fall entspricht Bild A in Abbildung 2.9. Die Distanzen l und s können definiert werden, sobald der Haken in der Checkbox hinter den entsprechenden Eingabefeldern gesetzt ist.
- Die Lage des Tragbildes, welches nicht nachgewiesen ist, ist ebenfalls mit entsprechender „Dropdownliste“ auszuwählen.

Abbildung 2.9 Breitenlastfaktor definieren

Bemerkung:

Die Wellenkonfiguration wird für die Berechnung des Breitenlastfaktors $K_{H\beta}$ benötigt, für welche die ISO 6336 (oder DIN 3990) 5 verschiedene Konfigurationen zur Auswahl gibt. Diese Fälle sind mit A bis E in der oberen rechten Abbildung dargestellt.

Der Breitenlastfaktor $K_{H\beta}$ gibt die Nichtlinearität der Last über der Zahnbreite an. Hierzu ist eine spezielle Anleitung bei der KISSsoft AG erhältlich: siehe Dokument: „kisssoft-anl-002-D-Eingabe-des-Breitenlastfaktors-KH β .doc“.

2.5 Werkstoffe und Schmierung

Im Eingabefenster – Tab „Basisdaten“, Bereich: ‚Werkstoffe und Schmierung‘ können die Werkstoffe der Zahnräder aus der „Dropdownliste“ ausgewählt werden. In unserem Fall wählen wir 15 Cr Ni 6, Einsatzstahl.

Die Schmierung sowie auch die Schmierungsart können gleich ausgewählt werden.

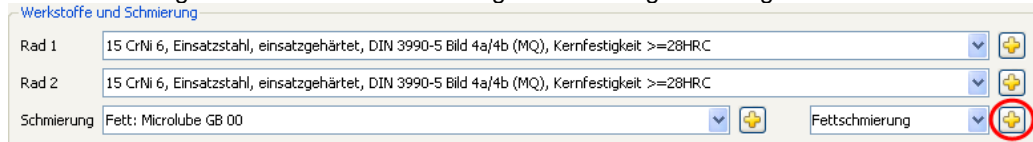
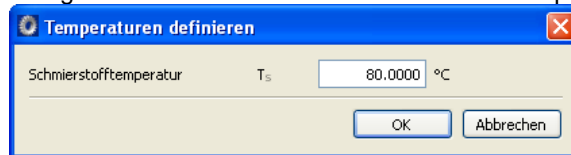


Abbildung 2.10 Eingabefenster – Tab „Basisdaten“, Bereich: Werkstoffe und Schmierung

Über den Plus Button  ganz rechts unten kann die Schmierstofftemperatur definiert werden.



2.6 Bezugsprofil

Über den Tab „Bezugsprofil“ werden nun noch weitere Eingaben wie das Bezugsprofil, der Fusshöhenfaktor, der Fussradiusfaktor und der Kopfhöhenfaktor für Rad 1 und 2 definiert.

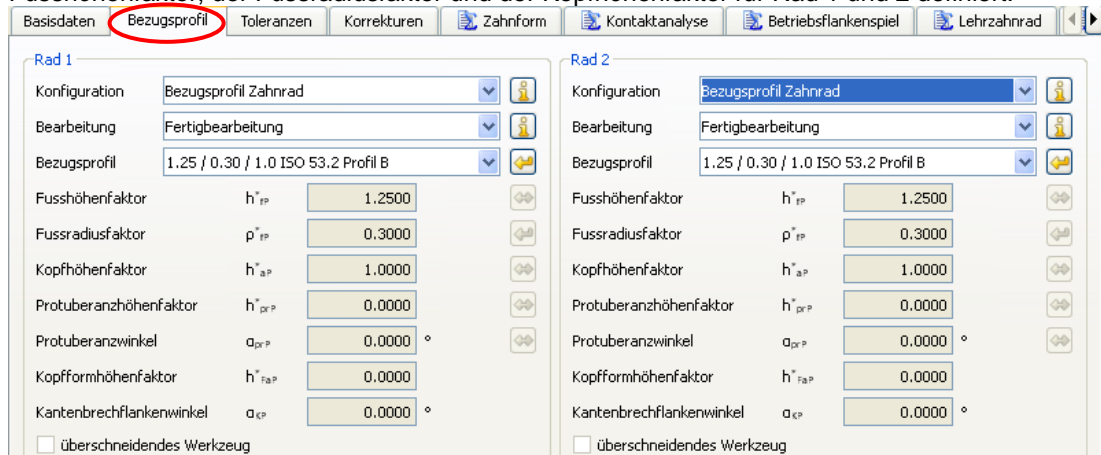


Abbildung 2.11 Eingabefenster – Tab „Bezugsprofil“

2.7 Toleranzen

Die Zahndickenabmasse der Zahnräder werden unter dem Tab „Toleranzen“ definiert. Bei einem Nachrechnungsbeispiel sind häufig nur die effektiven Zahnweitenabmasse und die Messzähnezahl angegeben. Diese können eingegeben werden und KISSsoft errechnet dann die korrekten Zahndickentoleranzen für die Zahnform.

Hier werden auch die Toleranzen des Achsabstandes eingeben entweder durch Auswahl aus der „Dropdownliste“ oder wie im Beispiel durch eigene Eingabe.

Abbildung 2.12 Eingabefenster – Tab „Toleranzen“



Zur Eingabe der Zahnweiten wählt man im Eingabefenster – Tab „Toleranzen“, Bereich ‚Abmasse‘ den Auslegen Button  neben der Eingabe der Zahndickenabmasse (mittlere Markierungen).

Abbildung 2.13 Berechnung Zahnweiten

Nun kann die Messzähnezahl und die Zahnweite (min/max) eingegeben werden und anschliessend ist auf Berechnen  zu drücken. Mit „Übernehmen“ werden die Werte schliesslich in die Hauptmaske übernommen.

Achtung: Abmasse dürfen erst eingegeben werden, wenn die Profilverschiebungen auf beiden Rädern feststeht. Andernfalls ergeben sich falsche Werte und die Auslegung muss wiederholt werden.

Hinweis: Die Messzähnezahl kann zwischen Schritt 2 und Schritt 3 geändert werden. Dafür wird in der „Checkbox“ der Haken neben dem Feld „Messzähnezahl“ im Eingabefenster – Tab „Toleranzen“, Bereich ‚Einstellungen‘ gesetzt und anschliessend die Messzähnezahl entweder bereits im Bereich ‚Einstellungen‘ oder in der Berechnungsmaske geändert.

2.8 Schmierung

Im Eingabefenster – Tab **„Basisdaten“**, Bereich ‚Werkstoffe und Schmierung‘ ist für die unterschiedlichen Schmierungen nur der Eingabewert für die Schmierstofftemperatur vorgesehen. Weitere Schmierungsarten und die Fettsorte werden in der entsprechenden „Dropdownliste“ gewählt, während die Temperatur als Zahlenwert eingegeben wird.

Das Eingabefeld **„Schmierstofftemperatur“** für Öl- oder Fettschmierung definiert die Grundtemperatur der Zahnradkörper. Dazu ist die **„Schmierstofftemperatur“** ebenfalls wichtig zur Berechnung der effektiven Schmierstoffviskosität. Eine **„Umgebungstemperatur“** hat keinen Einfluss auf die Berechnung (s. auch 2.5 Werkstoffe und Schmierung).

Nur bei Trockenlauf definiert das Feld **„Umgebungstemperatur“** die Grundtemperatur. Die Temperatur für den Zahnradkörper hat hier Einfluss auf die Berechnung.

Ausnahmen:

- Schneckenräder: Die **„Umgebungstemperatur“** ist ein Eingabewert für die Berechnung des Temperatur-Sicherheits-Koeffizienten.

-Kunststoffzahnäder: Weil die Festigkeitswerte von Kunststoffzahnädern stark von der Temperatur des Radkörpers abhängen, ist die Eingabe der entsprechenden Temperaturen sehr wichtig.

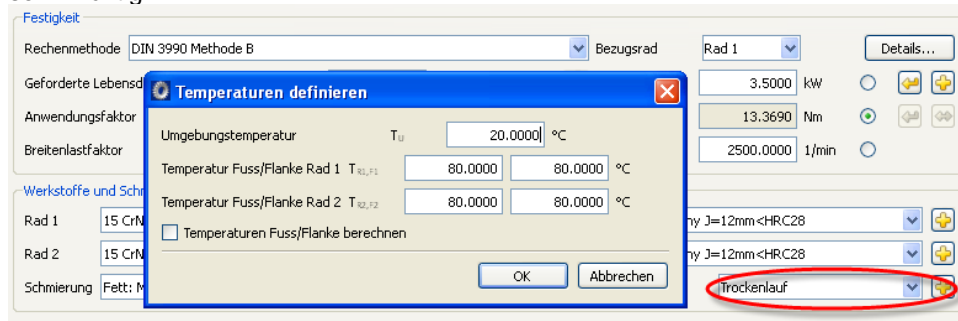


Abbildung 2.15 Eingabe der Temperatur bei Trockenlauf

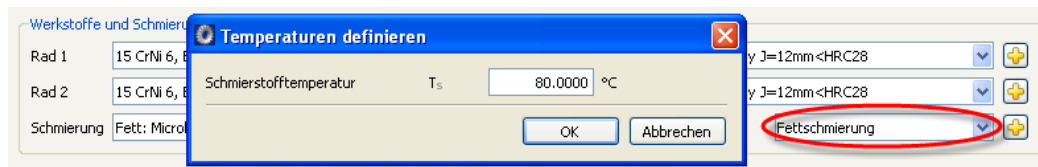


Abbildung 2.16 Eingabe der Temperatur bei Fettschmierung

2.9 Berechnen

Durch das Drücken des Symbols Σ in der Symbolleiste oder „F5“ werden die Festigkeitsergebnisse berechnet. Es erscheint eine Information über einen hohen $K_{H\beta}$ -Wert aufgrund des fehlenden Nachweises des Tragbildes.

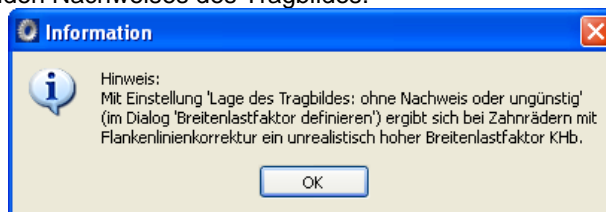


Abbildung 2.17 Informationsfenster nach "Berechnen"

Dies bedeutet, dass die Rechnung für den $K_{H\beta}$ Wert mit einem als ungünstig angenommenem Tragbild durchgeführt wurde. In einer Überprüfung des Tragbildes während einem

Werkstattversuch, kann überprüft werden, ob dies eine konservative oder realistische Annahme ist.

Wenn das Tutorial richtig durchgeführt wurde, sollten die umrandeten Festigkeitswerte mit Abbildung 2.18 übereinstimmen:

The screenshot shows the KISSsoft software interface for a gear pair design. The main window displays various input parameters for the gear geometry and strength calculations. The 'Results' section is highlighted with a red box, showing the following data:

	Gear 1	Gear 2	
Contact ratio (Transverse/Overlap/Total)	1.3565/1.2556/2.6121		
Actual tip circle d_{a2}	30.446	73.355	mm
Root safety	2.3398	2.3070	
Flank safety	1.1533	1.1686	
Safety against scuffing (integral temperature)	2.9067		
Safety against scuffing (flash temperature)	3.1485		

The 'Results' table is highlighted with a red box in the original image. The software interface also shows a 3D model of the gear pair in the 'Geometrie 3D' window.

Abbildung 2.18 Endresultat Tutorial

2.10 Protokoll

KISSsoft - Release 03-2011
KISSsoft-Entwicklungs-Version KISSsoft AG CH-8634 HOMBRECHTIKON

----- Datei
Name : Tutorial-008.Z12
Beschreibung: KISSsoft example
Geändert von: ho am: 11.02.2011 um: 08:44:33

Wichtiger Hinweis: Bei der Berechnung sind Warnungen aufgetreten:

1-> Hinweis:
Mit Einstellung 'Lage des Tragbildes: ohne Nachweis oder ungünstig'
(im Dialog 'Breitenlastfaktor definieren') ergibt sich bei Zahnrädern mit
Flankenlinienkorrektur ein unrealistisch hoher Breitenlastfaktor KHb.

BERECHNUNG EINES SCHRÄGVERZÄHNTEN STIRNRAD-PAARES

Zeichnungs- oder Artikelnummer:

Rad 1: 0.000.0
Rad 2: 0.000.0

Rechenmethode DIN 3990 Methode B

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Leistung (kW)	[P]	3.500	
Drehzahl (1/min)	[n]	2500.0	930.2
Drehmoment (Nm)	[T]	13.4	35.9
Anwendungsfaktor	[KA]	1.35	
Geforderte Lebensdauer	[H]	750.00	
Rad treibend (+) / getrieben (-)		+	-

1. ZAHNGEOMETRIE UND WERKSTOFF

(Geometrieberechnung nach ISO 21771)

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Achsabstand (mm)	[a]	48.900	
Achsabstandsabmass (mm)	[Aa.e/i]	0.030 / -0.030	
Normalmodul (mm)	[mn]	1.5000	
Eingriffswinkel im Normalschnitt (°)	[alfn]	20.0000	
Schrägungswinkel am Teilkreis (°)	[beta]	25.0000	
Zähnezahl	[z]	16	43
Zahnbreite (mm)	[b]	14.00	14.50
Schrägungsrichtung		rechts	links
Verzahnungsqualität	[Q-DIN3961]	8	8
Innendurchmesser (mm)	[di]	0.00	0.00
Innendurchmesser der Bandage (mm)	[dbi]	0.00	0.00

Werkstoff

Rad 1: 15 CrNi 6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet
ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernfestigkeit >=25HRC Jominy J=12mm<HRC28
Rad 2: 15 CrNi 6, Einsatzstahl, einsatzgehärtet
ISO 6336-5 Bild 9/10 (MQ), Kernfestigkeit >=25HRC Jominy J=12mm<HRC28

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Oberflächen-Härte		HRC 60	HRC 60
Dauerfestigk. Zahnfußspannung (N/mm ²)	[sigFlim]	430.00	430.00
Dauerfestig. Hertzsche Pressung (N/mm ²)	[sigHlim]	1500.00	1500.00
Bruchfestigkeit (N/mm ²)	[Rm]	1000.00	1000.00
Streckgrenze (N/mm ²)	[Rp]	685.00	685.00
Elastizitätsmodul (N/mm ²)	[E]	206000	206000
Poissonzahl	[ny]	0.300	0.300
Mittenrauhwert Ra, Zahnflanke (µm)	[RAH]	0.60	0.60
Gemittelte Rauhtiefe Rz, Flanke (µm)	[RZH]	4.80	4.80
Gemittelte Rauhtiefe Rz, Fuss (µm)	[RZF]	20.00	20.00

Werkzeug oder Bezugsprofil von Rad 1 :

Bezugsprofil 1.25 / 0.30 / 1.0 ISO 53.2 Profil B

Kopfhöhenfaktor	[haP*]	1.000
Fusshöhenfaktor	[hfP*]	1.250
Kopfradiusfaktor	[rhoaP*]	0.000
Fussradiusfaktor	[rhofP*]	0.300
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000
Protuberanzwinkel	[alfprP]	0.000
Kantenbrechflankenwinkel	[alfkP]	0.000

nicht überschneidend

Werkzeug oder Bezugsprofil von Rad 2 :

Bezugsprofil 1.25 / 0.30 / 1.0 ISO 53.2 Profil B

Kopfhöhenfaktor	[haP*]	1.000
Fusshöhenfaktor	[hfP*]	1.250
Kopfradiusfaktor	[rhoaP*]	0.000
Fussradiusfaktor	[rhofP*]	0.300
Kopfformhöhenfaktor	[hFaP*]	0.000
Protuberanzhöhenfaktor	[hprP*]	0.000

Protuberanzwinkel	[alfprP]		0.000
Kantenbrechflankenwinkel	[alfkP]		0.000
			nicht überschneidend
Zusammenfassung Bezugsprofil der Zahnräder:			
Fusshöhe Bezugsprofil (in Modul)	[hfP*]	1.250	1.250
Fussradius Bezugsprofil (in Modul)	[rofP*]	0.300	0.300
Kopfhöhe Bezugsprofil (in Modul)	[haP*]	1.000	1.000
Protuberanz-Höhe (in Modul)	[hprP*]	0.000	0.000
Protuberanz-Winkel (°)	[alfprP]	0.000	0.000
Höhe Knickfussflanke (in Modul)	[hFaP*]	0.000	0.000
Winkel Knickfussflanke (°)	[alfkP]	0.000	0.000
Art der Profilkorrektur: keine (nur Einlaufbetrag)			
Kopfrücknahme (µm) (durch Einlaufen)	[Ca]	2.00	2.00
Schmierungsart Fettschmierung			
Fettsorte			Fett: Microlube GB 00
Schmierstoff-Basis			Mineralöl-Basis
Kinem. Nennvisko. Grund-Öl bei 40 Grad (mm²/s)	[nu40]		700.00
Kinem. Nennvisko. Grund-Öl bei 100 Grad (mm²/s)	[nu100]		35.00
FZG-Test A/8.3/90 Stufe	[FZGtestA]		12
Spez. Dichte bei 15 Grad (kg/dm³)	[roOil]		0.900
Fett-Temperatur (°C)	[TS]		80.000
----- RAD 1 ----- RAD 2 --			
Gesamtübersetzung	[itot]		-2.688
Zähnezahlverhältnis	[u]		2.688
Stirnmodul (mm)	[mt]		1.655
Eingriffswinkel am Teilkreis (°)	[alfT]		21.880
Betriebseingriffswinkel (°)	[alfwT]		22.100
	[alfwT.e/i]		22.186 / 22.013
Betriebseingriffswinkel im Normalschnitt (°)	[alfwn]		20.199
Schrägungswinkel am Wälzkreis (°)	[betaw]		25.034
Grundschrägungswinkel (°)	[betab]		23.399
Nullachsabstand (mm)	[ad]		48.824
Profilverschiebungsfaktorsumme	[Summexi]		0.0506
Profilverschiebungsfaktor	[x]	0.3215	-0.2709
Zahndicke (Bogen) im Teilkreis (in Modul)	[sn*]	1.8048	1.3736
Kopfhöhenänderung (mm)	[k*mn]	0.000	0.000
Teilkreisdurchmesser (mm)	[d]	26.481	71.168
Grundkreisdurchmesser (mm)	[db]	24.573	66.041
Kopfkreisdurchmesser (mm)	[da]	30.446	73.355
(mm)	[da.e/i]	30.446 / 30.436	73.355 / 73.345
Kopfkreisabmasse (mm)	[Ada.e/i]	0.000 / -0.010	0.000 / -0.010
Kopfkantenbruch / Kopfrundung (mm)	[hK]	0.000	0.000
Kopfformkreisdurchmesser (mm)	[dFa]	30.446	73.355
(mm)	[dFa.e/i]	30.446 / 30.436	73.355 / 73.345
Wälzkreisdurchmesser (mm)	[dw]	26.522	71.278
(mm)	[dw.e/i]	26.538 / 26.506	71.322 / 71.234
Fusskreisdurchmesser (mm)	[df]	23.696	66.605
Erzeugungsprofilverschiebungsfaktor	[xE.e/i]	0.2601 / 0.2367	-0.3275 / -0.3577
Erzeugter Fusskreis mit xE (mm)	[df.e/i]	23.511 / 23.441	66.436 / 66.345
Kopfspiel theoretisch (mm)	[c]	0.375	0.375
Kopfspiel effektiv (mm)	[c.e/i]	0.540 / 0.429	0.537 / 0.437
Fuss-Nutzkreisdurchmesser (mm)	[dNf]	25.050	68.670
(mm)	[dNf.e/i]	25.086 / 25.020	68.719 / 68.627
Fussformkreisdurchmesser (mm)	[dFf]	24.894	67.921
(mm)	[dFf.e/i]	24.820 / 24.794	67.816 / 67.761
Reserve (dNf-dFf)/2 (mm)	[cF.e/i]	0.146 / 0.100	0.479 / 0.405
Addendum (mm)	[ha = mn * (haP**x)]	1.982	1.094
(mm)	[ha.e/i]	1.982 / 1.977	1.094 / 1.089
Dedendum (mm)	[hf = mn * (hfP**x)]	1.393	2.281
(mm)	[hf.e/i]	1.485 / 1.520	2.366 / 2.411
Wälzwinkel zu dFa (°)	[xsi_dFa.e/i]	41.909 / 41.870	27.702 / 27.682
Wälzwinkel zu dNa (°)	[xsi_dNa.e/i]	41.909 / 41.870	27.702 / 27.682
Wälzwinkel zu dNf (°)	[xsi_dNf.e/i]	11.766 / 10.969	16.480 / 16.189
Wälzwinkel zu dFf (°)	[xsi_dFf.e/i]	8.135 / 7.696	13.371 / 13.160
Zahnhöhe (mm)	[H]	3.375	3.375
Ersatz-Zähnezahl	[zn]	20.960	56.329
Normal-Zahndicke am Kopfzylinder (mm)	[san]	0.874	1.225
(mm)	[san.e/i]	0.806 / 0.771	1.166 / 1.127
Normal-Lückenweite am Fusszylinder (mm)	[efn]	0.000	1.352
(mm)	[efn.e/i]	0.000 / 0.000	1.388 / 1.409
Max. Gleitgeschwindigkeit am Kopf (m/s)	[vga]	1.436	0.919
Spezifisches Gleiten am Kopf	[zetaa]	0.610	0.591
Spezifisches Gleiten am Fuss	[zetaf]	-1.443	-1.567
Gleitfaktor am Kopf	[Kga]	0.414	0.265
Gleitfaktor am Fuss	[Kgf]	-0.265	-0.414
Teilkreisteilung (mm)	[pt]		5.200
Grundkreisteilung (mm)	[pbt]		4.825
Stirneingriffsteilung (mm)	[pet]		4.825
Steigungshöhe (mm)	[pz]	178.408	479.470
Axiale Teilung (mm)	[px]		11.150
Länge der Eingriffsstrecke (mm)	[ga, e/i]		6.555 (6.635 / 6.456)
Länge T1-A, T2-A (mm)	[T1A, T2A]	2.432 (2.352/ 2.523)	15.965 (15.965/15.954)
Länge T1-B (mm)	[T1B, T2B]	4.162 (4.162/ 4.154)	14.235 (14.155/14.323)
Länge T1-C (mm)	[T1C, T2C]	4.989 (4.967/ 5.011)	13.408 (13.350/13.466)
Länge T1-D (mm)	[T1D, T2D]	7.257 (7.177/ 7.348)	11.140 (11.140/11.129)
Länge T1-E (mm)	[T1E, T2E]	8.987 (8.987/ 8.979)	9.410 (9.330/ 9.498)
Länge T1-T2 (mm)	[T1T2]		18.397 (18.317 / 18.477)
Durchmesser Einzeleingriffspunkt B (mm)	[d-B]	25.945 (25.945/25.940)	71.916 (71.853/71.986)

Durchmesser Einzeleingriffspunkt D (mm) [d-D]	28.540(28.459/28.633)	69.698(69.698/69.691)
Kopfüberdeckung	[eps]	0.829(0.833/ 0.822) 0.530(0.542/ 0.516)
Minimale Berührlinienlänge (mm)	[Lmin]	19.611
Profilüberdeckung	[eps_a]	1.359
Profilüberdeckung mit Abmassen	[eps_a.e/m/i]	1.375 / 1.357 / 1.338
Sprungüberdeckung	[eps_b]	1.256
Gesamtüberdeckung	[eps_g]	2.614
Gesamtüberdeckung mit Abmassen	[eps_g.e/m/i]	2.631 / 2.612 / 2.594

2. ALLGEMEINE EINFLUSSFAKTOREN

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Nennumfangskraft im Teilkreis (N)	[Ft]	1009.7	
Axialkraft (N)	[Fa]	470.8	
Radialkraft (N)	[Fr]	405.5	
Normalkraft (N)	[Fnorm]	1185.6	
Nennumfangskraft Teilk. pro mm (N/mm)	[w]	72.12	
Nur zur Information: Kräfte im Wälzkreis:			
Nennumfangskraft (N)	[Ftw]	1008.1	
Axialkraft (N)	[Faw]	470.8	
Radialkraft (N)	[Frw]	409.4	
Umfangsgeschwindigkeit Teilk. (m/sec)	[v]	3.47	
Einlaufbetrag (µm)	[yp]	1.1	
Einlaufbetrag (µm)	[yf]	0.9	
Korrekturfaktor	[CM]	0.800	
Radkörperfaktor	[CR]	1.000	
Bezugsprofilfaktor	[CBS]	0.975	
Materialfaktor	[E/Est]	1.000	
Einzelfedersteifigkeit (N/mm/µm)	[c']	11.915	
Eingriffsfedersteifigkeit (N/mm/µm)	[cg]	15.120	
Reduzierte Masse (kg/mm)	[mRed]	0.00235	
Resonanzdrehzahl (min-1)	[nE1]	47834	
Bezugsdrehzahl (-)	[N]	0.052	
Unterkritischer Bereich			
Einlaufbetrag (µm)	[ya]	1.1	
Lagerdistanz l der Ritzelwelle (mm)	[l]	53.000	
Distanz s der Ritzelwelle (mm)	[s]	5.900	
Aussendurchmesser der Ritzelwelle (mm)	[dsh]	14.000	
Belastung nach DIN 3990/1 Bild 6.8 (0:6.8a, 1:6.8b, 2:6.8c, 3:6.8d, 4:6.8e)	[-]	0	
Faktor K' nach DIN 3990/1 Bild 6.8	[K']	0.80	
Ohne Stützwirkung			
Flankenlinienabweichung wirksame (µm)	[Fby]	12.41	
von Verformung der Wellen (µm)	[fsh*B1]	2.56	
Flankenlinie: mit Endrücknahme			
Lage des Tragbildes : ohne Nachweis oder ungünstig			
von Fertigungstoleranzen (µm)	[fma*B2]	11.20	
Flankenlinienabweichung, theoretisch (µm)	[Fbx]	14.60	
Einlaufbetrag (µm)	[yb]	2.2	
Dynamikfaktor	[KV]	1.049	
Breitenfaktoren - Flanke	[KHb]	1.919	
- Zahnfuss	[KFb]	1.644	
- Fressen	[KBb]	1.919	
Stirnfaktoren - Flanke	[KHa]	1.344	
- Zahnfuss	[KFa]	1.344	
- Fressen	[KBa]	1.344	
Schrägungsfaktor Fressen	[Kbg]	1.242	
Anzahl der Lastwechsel (in Mio.)	[NL]	112.500	41.860

3. ZAHNFUSS-TRAGFÄHIGKEIT

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Rechnung der Zahnformfaktoren nach Methode: B (Zahnformfaktoren mit Herstellprofilverschiebung xE.e berechnet)			
Zahnformfaktor	[YF]	1.37	1.67
Spannungskorrekturfaktor	[YS]	2.15	1.84
Kraftangriffswinkel (°)	[alfen]	21.64	18.97
Biegehebelarm (mm)	[hF]	1.52	1.84
Zahnfussdicke (mm)	[sFn]	3.14	3.15
Zahnfussradius (mm)	[roF]	0.65	0.82
(hF* = 1.012/1.225 sFn* = 2.093/2.102 roF* = 0.431/0.545 dsFn = 24.00/67.03 alfsFn = 30.00/30.00)			
Überdeckungsfaktor	[Yeps]	1.000	
Schrägungsfaktor	[Ybet]	0.792	
Massgebende Zahnbreite (mm)	[beff]	14.00	14.50
Zahnfuss-Nennspannung (N/mm ²)	[sigF0]	112.30	113.33
Zahnfussspannung (N/mm ²)	[sigF]	351.41	354.63
Zulässige Zahnfussspannung von Prüf-Zahnrad			
Stützziffer	[YdrelT]	0.999	0.994
Oberflächenfaktor	[YRrelT]	0.957	0.957
Grössenfaktor (Zahnfuss)	[YX]	1.000	1.000
Zeitfestigkeits-Faktor	[YNT]	1.000	1.000
	[YdrelT*YRrelT*YX*YNT]	0.956	0.951

Wechselbiegungs-Faktor	[YM]	1.000		1.000
Spannungs-Korrekturfaktor	[Yst]		2.00	
Zahnfuß-Grenzfestigkeit (N/mm ²)	[sigFG]	822.21		818.14
Zulässige Zahnfußsspannung (N/mm ²)	[sigFP=sigFG/SFmin]	632.47		629.34
Soll-Sicherheit	[SFmin]	1.30		1.30
Sicherheitsfaktor für Zahnfußsspannung	[SF=sigFG/sigF]	2.34		2.31
Übertragbare Leistung (kW)	[kWRating]	6.30		6.21

4. FLANKENSICHERHEIT

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Zonenfaktor	[ZH]		2.291
Elastizitätsfaktor (N ^{0.5} /mm)	[ZE]		189.812
Überdeckungsfaktor	[Zeps]		0.858
Schrägenfaktor	[Zbet]		0.952
Massgebende Zahnbreite (mm)	[beff]		14.00
Nominelle Flankenpressung (N/mm ²)	[sigH0]		686.65
Flankenpressung am Wälzkreis (N/mm ²)	[sigHw]		1312.18
Einzeleingriffs-Faktor	[ZB,ZD]	1.00	1.00
Flankenpressung (N/mm ²)	[sigH]	1312.18	1312.18
Schmierstoff-Faktor	[ZL]	1.096	1.093
Geschwindigkeits-Faktor	[ZV]	0.974	0.975
Rauhigkeitsfaktor	[ZR]	0.945	0.946
Werkstoffpaarungs-Faktor	[ZW]	1.000	1.000
Zeitfestigkeits-Faktor	[ZNT]	1.000	1.014
	[ZL*ZV*ZR*ZNT]	1.009	1.022
Kleine Anzahl Grübchen zulässig (0=nein, 1=ja)		0	0
Größenfaktor (Flanke)	[ZX]	1.000	1.000
Grübchen-Grenzfestigkeit (N/mm ²)	[sigHG]	1513.28	1533.36
Zulässige Flankenpressung (N/mm ²)	[sigHP=sigHG/SHmin]	1592.92	1614.07
Sicherheit für Flankenpressung Wälzkreis	[SHw]	1.15	1.17
Soll-Sicherheit	[SHmin]	0.95	0.95
Übertragbare Leistung (kW)	[kWRating]	5.16	5.30
Sicherheit für Pressung Einzeleingriff	[SHBD=sigHG/sigH]	1.15	1.17
(Sicherheit bezüglich Nenn-Drehmoment)	[(SHBD)^2]	1.33	1.37

5. FRESSTRAGFÄHIGKEIT

Rechenmethode nach DIN3990

Die Berechnung der Fresstragfähigkeit ist nicht für Fette vorgesehen.
Die FZG-Test Stufe [FZGtestA] bei Fetten ist nur geschätzt.
Die Berechnung kann nur als ungenauer Hinweis dienen!

Schmierungs-faktor (für Schmierungsart)	[XS]		1.200
Relativer Gefügefaktor (Fressen)	[XWrelT]		1.000
Therm. Kontaktkoeffizient (N/mm/s ^{0.5} /K)	[EM]	13.795	13.795
Massgebende Kopfrücknahme (µm)	[Ca]	2.00	2.00
Optimale Kopfrücknahme (µm)	[Ceff]		6.44
Massgebende Zahnbreite (mm)	[beff]		14.000
Massgebende Umfangskraft/Zahnbreite (N/mm)	[wBt]		327.144
Blitzfaktor (°K*N ^{-0.75} *s ^{0.5} *m ^{-0.5} mm)	[XM]		50.002
Winkelfaktor (eps1: 0.990, eps2: 0.829)	[Xalfbet]		0.530
Blitztemperatur-Kriterium			
Massentemperatur (°C)	[theM-B]		116.47
theM-B = theoil + XS*0.47*theflamax	[theflamax]		64.67
Fresstemperatur (°C)	[theS]		398.47
Koordinate Gamma (Ort der höchsten Temp.)	[Gamma]		0.455
[Gamma.A]= -0.513 [Gamma.E]= 0.801			
Höchste Kontakttemp. (°C)	[theB]		181.14
Geometriefaktor	[XB]		0.215
Kraftaufteilungsfaktor	[XGam]		1.000
Dynamische Viskosität (mPa*s)	[etaM]		17.95
Reibungszahl	[mym]		0.112
Soll-Sicherheit	[SBmin]		2.000
Sicherheitsfaktor für Fressen (Blitz-T.)	[SB]		3.148
Integraltemperatur-Kriterium			
Massentemperatur (°C)	[theM-C]		100.49
theM-C = theoil + XS*0.70*theflaint	[theflaint]		24.40
Fress-Integraltemperatur (°C)	[theSint]		398.47
Überdeckungsfaktor	[Xeps]		0.282
Dynamische Viskosität (mPa*s)	[etaOil]		63.62
Gemittelte Reibungszahl	[mym]		0.089
Geometriefaktor	[XBE]		0.364
Eingriffsfaktor	[XQ]		1.000
Kopfrücknahmefaktor	[XCa]		1.000
Integral-Flankentemperatur (°C)	[theint]		137.09
Soll-Sicherheit	[SSmin]		1.800
Sicherheitsfaktor für Fressen (Int.-T.)	[SSint]		2.907
Sicherh. f. übertragbares Moment (Int.-T.)	[SSL]		5.579

6. PRÜFMASSE FÜR DIE ZAHNDICKE

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Zahndickentoleranz		Eigene Eingabe	Eigene Eingabe
Zahndickenabmass im Normalschnitt (mm)	[As.e/i]	-0.067 / -0.093	-0.062 / -0.095
Messzähnezahl	[k]	3.000	6.000

Zahnweite spielfrei (mm)	[Wk]	11.845	25.272
Effektive Zahnweite (mm)	[Wk.e/i]	11.782 / 11.758	25.214 / 25.183
Messkreisdurchmesser (mm)	[dMwK.m]	26.843	69.973
Theor. Messkörperdurchmesser (mm)	[DM]	2.789	2.496
Eff. Messkörperdurchmesser (mm)	[DMeff]	3.000	2.500
Radiales Einkugel-Mass spielfrei (mm)	[MrK]	16.053	36.846
Eff. radiales Einkugel-Mass (mm)	[MrK.e/i]	15.989 / 15.964	36.760 / 36.714
Messkreisdurchmesser (mm)	[dMmr.m]	27.596	70.166
Diametrales Zweikugel-Mass spielfrei (mm)	[MdK]	32.107	73.644
Eff. diametrales Zweikugel-Mass (mm)	[MdK.e/i]	31.978 / 31.929	73.473 / 73.381
Diametrales Rollen-Mass spielfrei (mm)	[MdR]	32.107	73.691
Eff. diametrales Rollen-Mass (mm)	[MdR.e/i]	31.978 / 31.929	73.520 / 73.428
Dreirollen-Mass spielfrei (mm)	[Md3R]	0.000	73.691
Effektives Dreirollen-Mass (mm)	[Md3R.e/i]	0.000 / 0.000	73.520 / 73.428
Zahndickensehne spielfrei (mm)	['sn]	2.704	2.060
Effektive Zahndickensehne (mm)	['sn.e/i]	2.637 / 2.611	1.998 / 1.965
Höhe über der Sehne ab da.m (mm)	[ha]	2.037	1.103
Zahndicke (Bogen) im Teilkreis (mm)	[sn]	2.707	2.060
	[sn.e/i]	2.640 / 2.615	1.999 / 1.966
Spielfreier Achsabstand (mm)	[aControl.e/i]	48.725 / 48.646	
Spielfreier Achsabstand, Abmasse (mm)	[jta]	-0.175 / -0.254	
Achsabstandsabmass (mm)	[Aa.e/i]	0.030 / -0.030	
Verdrehflankenspiel aus Aa (mm)	[jt_Aa.e/i]	0.024 / -0.024	
Radialspiel (mm)	[jr]	0.284 / 0.145	
Verdrehflankenspiel (Stirnschnitt) (mm)	[jt]	0.231 / 0.118	
Verdrehwinkel bei festgehaltenem Rad 1 (°)		0.3725 / 0.1899	
Normalflankenspiel (mm)	[jn]	0.197 / 0.100	

7. VERZÄHNUNGS-TOLERANZEN

		----- RAD 1 -----	RAD 2 --
Nach DIN 3961:			
Verzahnungsqualität	[Q-DIN3961]	8	8
Profil-Formabweichung (µm)	[ff]	12.00	12.00
Profil-Winkelabweichung (µm)	[fHa]	10.00	10.00
Profil-Gesamtabweichung (µm)	[Ff]	16.00	16.00
Flankenlinien-Formabweichung (µm)	[ffb]	8.00	8.00
Flankenlinien-Winkelabweichung (µm)	[fHb]	16.00	16.00
Flankenlinien-Gesamtabweichung (µm)	[Fb]	18.00	18.00
Eingriffsteilungsabweichung (µm)	[fpe]	13.00	14.00
Teilungs-Einzelabweichung (µm)	[fp]	13.00	14.00
Teilungssprung (µm)	[fu]	17.00	18.00
Teilungs-Gesamtabweichung (µm)	[Fp]	38.00	49.00
Teilungsspannen-Abweichung über z/8 (µm)	[Fpz/8]	24.00	31.00
Rundlaufabweichung (µm)	[Fr]	27.00	32.00
Zahndicken-Schwankung (µm)	[Rs]	15.00	19.00
Zweiflanken-Wälzabweichung (µm)	[Fi"]	33.00	40.00
Zweiflanken-Wälzsprung (µm)	[fi"]	13.00	16.00
Einflanken-Wälzabweichung (µm)	[Fi']	44.00	52.00
Einflanken-Wälzsprung (µm)	[fi']	21.00	21.00
Nach DIN 58405 (Feinwerktechnik):			
Wälzsprung (µm)	[fi"]	14.00	16.00
Wälzfehler (µm)	[Fi"]	40.00	45.00
Achsparallelitätsfehler (µm)	[fp]	13.69	13.69
Flankenrichtungsfehler (µm)	[fbeta]	9.00	9.00
Rundlaufabweichung (µm)	[Trk, Fr]	56.00	65.00
Achslagetoleranzen (Empfehlung nach ISO/TR 10064, Qualität 8)			
Maximalwert für Achsschrägung (µm)	[fSigbet]	39.62	
Maximalwert für Achsneigung (µm)	[fSigdel]	79.25	

8. ERGÄNZENDE DATEN

Maximal möglicher Achsabstand (eps_a=1.0) [aMAX]		49.577	
Verdrehsteifigkeit (MNm/rad)	[cr]	0.0	0.2
Mittlere Reibungszahl (nach Niemann)	[mum]		0.098
Verschleissgleiten nach Niemann	[zetw]		0.819
Zahnverlustleistung aus Zahnbelastung (kW) [PVZ]			0.061
(Verzahnungswirkungsgrad (%)) [etaz]		98.253)	
Gewicht - berechnet mit da (g) [Mass]		79.80	479.82
Trägheitsmoment (System bezogen auf Rad 1):			
Berechnung ohne Berücksichtigung der exakten Zahnform			
Räder einzeln ((da+df)/2...di) (kgm²) [TraeghMom]		5.684e-006	0.0002656
System ((da+df)/2...di) (kgm²) [TraeghMom]		4.246e-005	
Angabe für die Herstellung durch Drahterodieren:			
Abweichung von der theoretischen Flankenlinie (µm) [WireErr]		400.3	149.6
Zulässige Abweichung (µm) [Fb/2]		9.0	9.0

9. ZAHNFORM-BESTIMMUNG

Daten zur Zahnformberechnung:

Berechnung von Rad 1

Zahnform, Rad 1, Schritt 1 (automatic (final treatment))
 haP*= 1.071, hfP*= 1.250, rofP*= 0.300

Berechnung von Rad 2

Zahnform, Rad 2, Schritt 1 (automatic (final treatment))
haP*= 1.070, hfP*= 1.250, rofP*= 0.300

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 Report

Zeilen: 466