

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: Stirnrad Festigkeitsrechnung

1 Aufgabenstellung

1.1 Aufgabenstellung

Es soll ein Stirnradpaar bezüglich Festigkeit nach ISO6336, Methode B, nachgerechnet werden. Dabei ist ein Lastkollektiv zu verwenden. Es sollen Sicherheiten, Lebensdauern und übertragbare Momente berechnet werden.

Die Daten des Stirnradpaares seien wie folgt vorgegeben:

	Rad 1	Rad 2
Modul [mm]	6	6
Schrägungswinkel [Grad]	5	5
Eingriffswinkel [Grad]	20	20
Zähnezahl [-]	25	76
Breite [mm]	44	43
Material	18CrNiMo7-6 einsatzgehärtet	18CrNiMo7-6 einsatzgehärtet
Drehmoment [Nm]	3360	folgt
Drehzahl [Rpm]	440	folgt
Anwendungsfaktor [-]	1.25	1.25
Geforderte Lebensdauer [h]	20'000	20'000

Das Lastkollektiv ist wie folgt definiert:

Häufigkeit [%]	Drehzahlfaktor [%]	Drehmomentfaktor [%]
10	20	20
20	50	30
40	80	90
30	100	100

2 Programmaufruf

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:

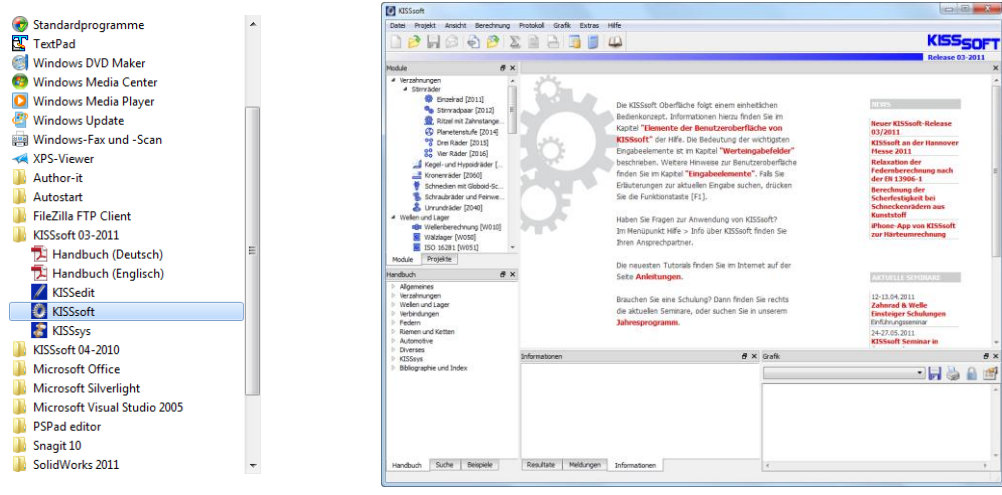


Abbildung 2.1 Starten von KISSsoft, Startfenster

3 Eingabe der Daten

3.1 Eingabe des Lastkollektives

Die Eingabe von Lastkollektiven kann in KISSsoft durch unterschiedliche Möglichkeiten erfolgen. Wird das Lastkollektiv in der Datenbank abgespeichert, steht es auch anderen Berechnung zur Verfügung. Wird das Lastkollektiv über ‚Eigene Eingabe‘ definiert steht es nur der aktuellen Berechnung zur Verfügung.

3.1.1 Datenbank - Direkteingabe

Nachdem wie in Abbildung 3.1 gezeigt das Datenbanktool schreibberechtigt geöffnet wurde (KISSsoft muss evtl. als Administrator ausgeführt werden), gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, wie die Lastkollektive in der Datenbank definiert werden können. Über Auswahl von „Lastkollektiv“ aus der Liste und Klick auf „Bearbeiten“ wird die entsprechende Tabelle aufgerufen.

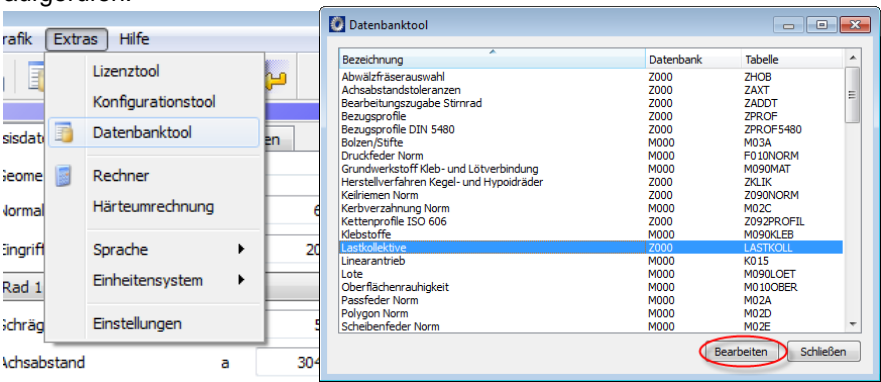


Abbildung 3.1 Aufrufen der Lastkollektivdatenbank

ID	Reihenfolge	Bezeichnung	N	Eingabe	Häufigkeit Element 1	Häufigkeit Element 2
10050	1	Einstufenbeanspruchung (kein Kollektiv)	1	Drehmoment	1.0000	0.0000
10060	2	Normkollektiv, binominalverteilt, p=1/1	8	Drehmoment	0.0000	0.0000
10070	3	Normkollektiv, binominalverteilt, p=5/6	8	Drehmoment	0.0000	0.0000
10080	4	Normkollektiv, binominalverteilt, p=2/3	8	Drehmoment	0.0000	0.0000
10090	5	Normkollektiv, binominalverteilt, p=1/2	8	Drehmoment	0.0000	0.0000
10100	6	Normkollektiv, binominalverteilt, p=1/3	8	Drehmoment	0.0000	0.0000
10110	7	Normkollektiv, binominalverteilt, p=1/6	8	Drehmoment	0.0000	0.0000
10120	8	Normkollektiv, binominalverteilt, p=0/1	8	Drehmoment	0.0000	0.0000
10130	9	Normkollektiv, exponentialverteilt, p=1/1	8	Drehmoment	0.0000	0.0000
10140	10	Normkollektiv, exponentialverteilt, p=5/6	8	Drehmoment	0.0000	0.0000
10150	11	Normkollektiv, exponentialverteilt, p=2/3	8	Drehmoment	0.0000	0.0000
10160	12	Normkollektiv, exponentialverteilt, p=1/2	8	Drehmoment	0.0000	0.0000
10170	13	Normkollektiv, exponentialverteilt, p=1/3	8	Drehmoment	0.0000	0.0000
10180	14	Normkollektiv, exponentialverteilt, p=1/6	8	Drehmoment	0.0000	0.0000
10190	15	Normkollektiv, exponentialverteilt, p=0/1	8	Drehmoment	0.0000	0.0000
10010	16	Belastungskollektiv 1 nach DIN 15020	3	Drehmoment	0.1000	0.4000
10020	17	Belastungskollektiv 2 nach DIN 15020	4	Drehmoment	0.1667	0.1667
10030	18	Belastungskollektiv 3 nach DIN 15020	2	Drehmoment	0.5000	0.5000
10040	19	Belastungskollektiv KISSsoft	2	Drehmoment	0.4000	0.6000
10200	20	Beispiel mit Datei	10	Drehmoment	0.0000	0.0000

Abbildung 3.2 Erstellen eines neuen Datensatzes

Ein neuer Datensatz wird über das Symbol „+“ angelegt. Ist ein Datensatz markiert, werden dessen Daten übernommen und an seine Bezeichnung _NEW angehängt, ansonsten wird ein neuer Datensatz erstellt. Eine Bezeichnung wird eingegeben und für die entsprechenden Laststufenelemente erfolgt noch die Angaben zu „Häufigkeit, Leistungs- bzw. Drehmomenten- und Drehzahlfaktoren. Weiter ist zu definieren, ob sich das Lastkollektiv auf das Drehmoment oder die übertragene Leistung bezieht. Die Eingabe der Einträge für das Lastkollektiv wird mit „OK“ beendet und der Datensatz wird mit „Speichern“ abgespeichert. Das Datenbanktool wird nun über „Schliessen“ verlassen und man gelangt wieder in die Startmaske von KISSsoft. Das Lastkollektiv steht nun für Berechnungen zur Verfügung.

Häufigkeit	Drehmomentfaktor	Drehzahlfaktor
1	0.1000000	0.2000
2	0.2000000	0.3000
3	0.4000000	0.9000
4	0.3000000	1.0000

Name des Kollektives

Wirkend auf

Anzahl Stufen

Stufen hinzu „+“, löschen „-“, alle löschen „x“

Eintrag speichern

Abbildung 3.3 Eingabe des Lastkollektives

3.1.2 Datenbank - Dateieingabe

Ein Lastkollektiv kann auch mit Hilfe einer Datei in die Datenbank übernommen werden. Dazu wird das gewünschte Lastkollektiv in einem Texteditor wie folgt eingegeben:

Häufigkeit Drehmoment/Leistung/ Drehzahl

Beispielsweise:

0.1 0.2 0.2

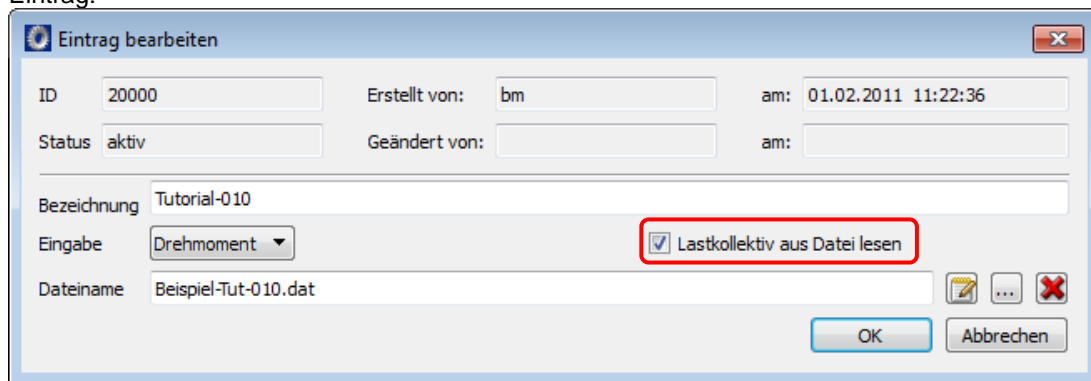
0.2 0.3 0.5

0.4 0.9 0.8

0.3 1.0 1.0

Diese Datei wird als Datei mit der Endung *.dat gespeichert (in dieser Anwendung „Beispiel-Tut-010.dat“, vorzugsweise im Ordner ...\\KISSsoft 03-2011\\ext\\DAT (siehe dazu Abbildung 3.4) oder in einem beliebigen anderen Ordner (siehe dazu Abbildung 3.5).

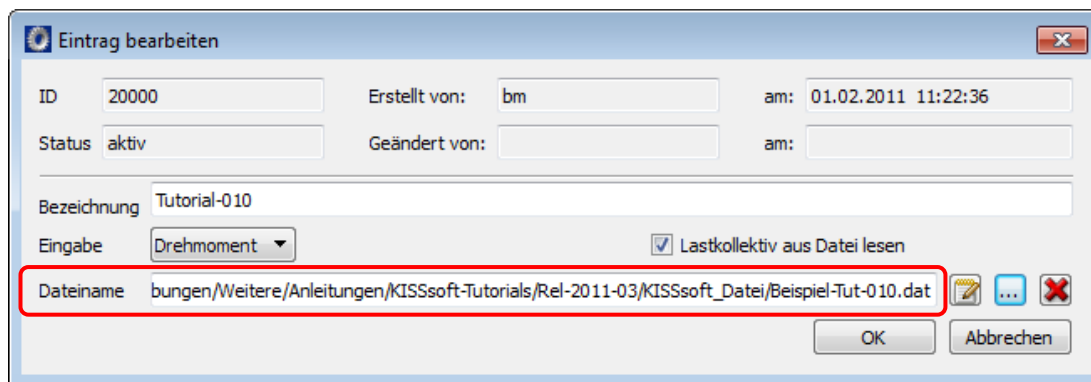
Im Installationsverzeichnis von KISSsoft befindet sich ein Ordner C:\\Programme\\KISSsoft 03-2011\\ext\\DAT. In diesem Ordner können Dateien mit der Endung *.dat abgelegt werden und werden dort auch von KISSsoft automatisch gefunden. In diesem Fall reicht der folgende Eintrag:



The screenshot shows a dialog box titled 'Eintrag bearbeiten'. It contains several input fields: ID (20000), Erstellt von (bm), am (01.02.2011 11:22:36), Status (aktiv), Geändert von, am, Bezeichnung (Tutorial-010), Eingabe (Drehmoment), and Dateiname (Beispiel-Tut-010.dat). A red box highlights the checkbox 'Lastkollektiv aus Datei lesen' which is checked. There are also buttons for OK and Abbrechen.

Abbildung 3.4 Angabe der File - Bezeichnung, in welchem das Lastkollektiv gespeichert wurde



Wird die Datei mit dem Lastkollektiv in einem beliebigen Ordner abgelegt, so muss im Feld „Dateiname“ der gesamte Pfad + Dateiname abgelegt werden (unter Umständen ist der Pfadnamen zu lang, dann ist wie oben beschrieben vorzugehen:



The screenshot shows the same dialog box as in Figure 3.4, but the 'Dateiname' field now contains the full path: 'bungen/Weitere/Anleitungen/KISSsoft-Tutorials/Rel-2011-03/KISSsoft_Datei/Beispiel-Tut-010.dat'. A red box highlights the entire 'Dateiname' field. The checkbox 'Lastkollektiv aus Datei lesen' is still checked.

Abbildung 3.5 Angabe des gesamten Pfades inklusive der File – Bezeichnung

3.1.3 Eigene Eingabe

Nachdem wie in Abbildung 3.6 gezeigt der Plus Button  gedrückt wird, gibt es die Möglichkeiten, Lastkollektive über „**Eigene Eingabe**“ zu definieren. Über den Plus Button  wird das Fenster „**Lastkollektiv eingeben**“ aufgerufen. Dort kann man direkt oder über eine Datei das Lastkollektiv bestimmen. Nach Bestätigung „**Ok**“ ist das Lastkollektiv der Berechnung zugeordnet.

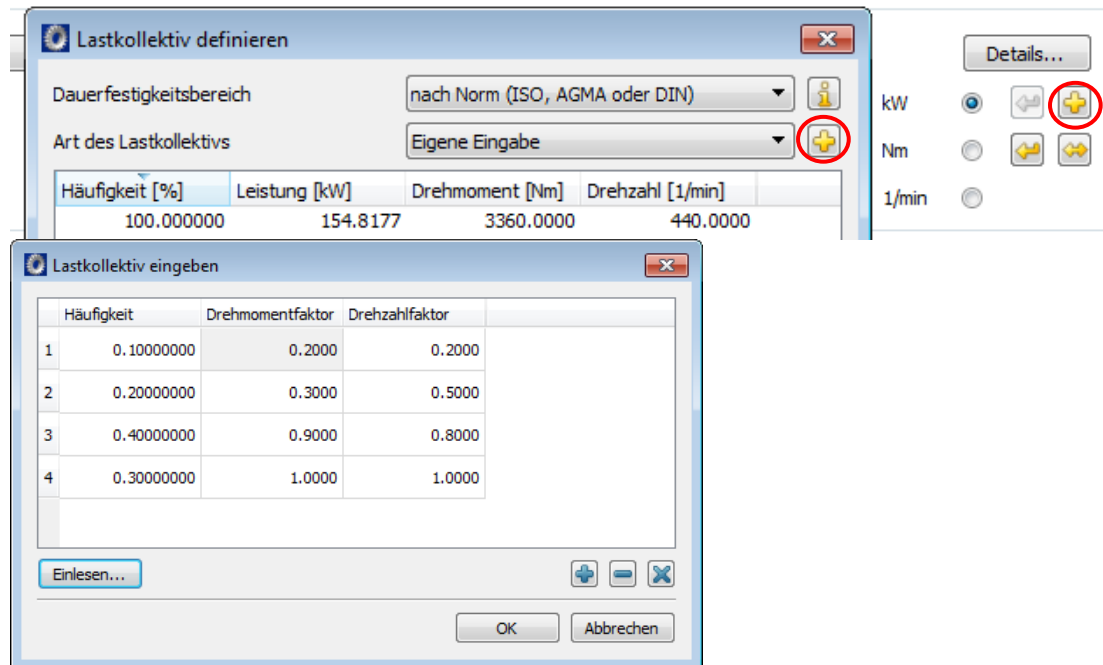


Abbildung 3.6 Aufrufen Lastkollektiv „Eigene Eingabe“

3.2 Eingabe der Verzahnungsdaten

Die Stirnradberechnung wird in der KISSsoft Hauptmaske im Modulbaumfenster im Tab „**Module**“ über „**Stirradpaar [Z012]**“ aufgerufen. Die oben angegebenen Verzahnungsdaten werden nun wie folgt eingegeben:

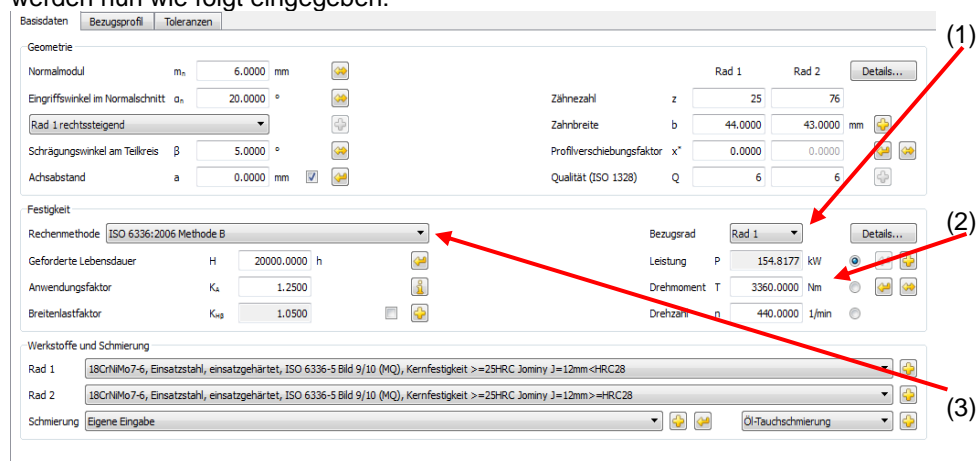



Abbildung 3.7 Eingabe der Verzahnungs- und Belastungsdaten

- (1) Bezugsrad
- (2) Belastung, es müssen zwei der drei Werte (Drehzahl, Moment, Leistung) vorgegeben werden
- (3) Rechenmethode

3.3 Bestimmen weiterer Grössen

3.3.1 Achsabstand

Der Achsabstand wird über den Auslegen Button  rechts des Eingabefeldes für den Achsabstand bestimmt. Zurzeit ist noch kein Profilverchiebungsfaktor definiert, die Profilverchiebungssumme ist demnach Null. Der Achsabstand wird über „Berechnen“ berechnet und anschliessend mit „Übernehmen“ in die Hauptmaske übergeben.

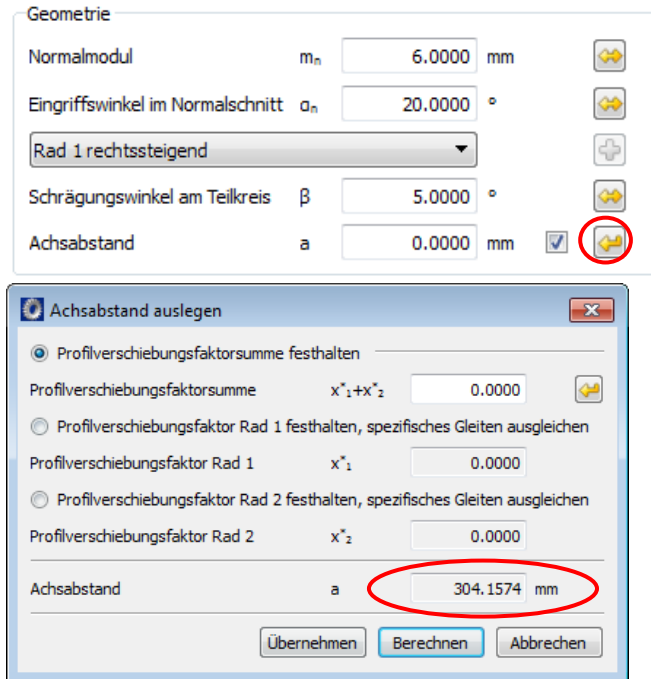



Abbildung 3.8 Berechnung des Achsabstandes bei vorgegebener Profilverchiebungsfaktorsumme (hier Null)

3.3.2 Profilverchiebungsfaktor

Die Profilverchiebungsfaktoren sollen so gewählt werden, dass ein ausgeglichenes und damit minimales spezifisches Gleiten resultiert. Dazu wird der Auslegen Button  neben der Profilverchiebung verwendet.

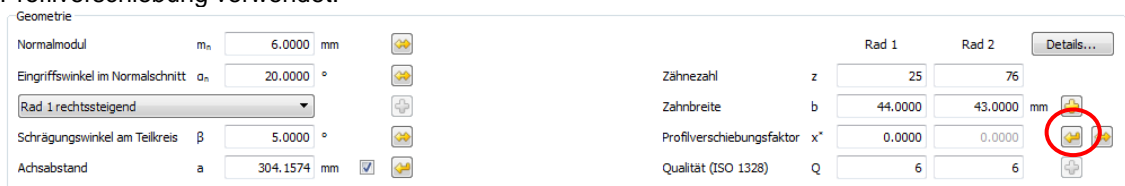


Abbildung 3.9 „Auslegen Button“ für den Profilverchiebungsfaktor

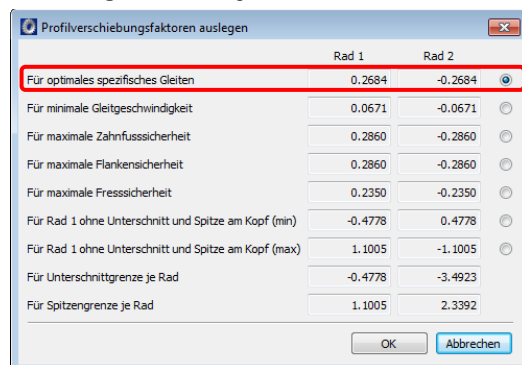


Abbildung 3.10 Auslegung der Profilverchiebungsfaktoren

Resultierende Profilverchiebungsfaktoren für verschiedene Kriterien, in diesem Beispiel sollen die Profilverchiebungsfaktoren für das Kriterium „Für optimales spezifisches Gleiten“ gewählt werden.

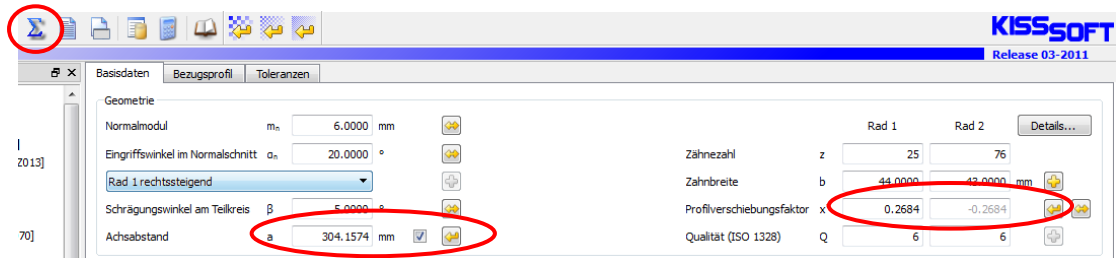


Abbildung 3.11 Berechnete Profilverschiebungsfaktoren

Der Achsabstand ist ein theoretischer Wert. Er wird auf 304.2mm gesetzt (Wert direkt in der Maske überschreiben). Die dafür notwendige Änderung der Profilverschiebungsfaktoren wird über „Σ“ (Berechnen) bestimmt, sie ist klein und beeinflusst das spezifische Gleiten nur unwesentlich. Gleichzeitig wird mit der Ausführung der Berechnung, die Sicherheiten unter der gegebenen Nennbelastung bestimmt. Die Resultate werden im unteren Teil des Fensters angezeigt.

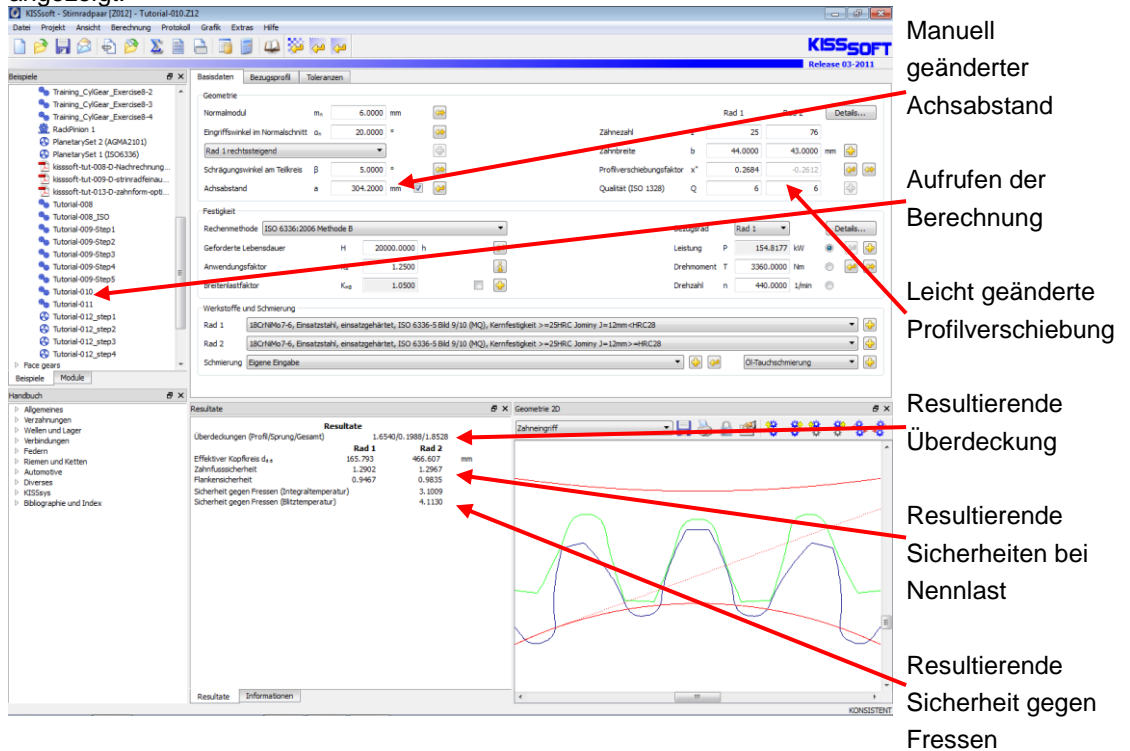


Abbildung 3.12 Zahnradpaar mit sinnvollem Achsabstand, Profilverschiebungsfaktoren und ersten Resultaten unter Nennlast

Das spezifische Gleiten kann nun über „Grafik“ → „Auswertung“ → „Spezifisches Gleiten“ betrachtet werden:

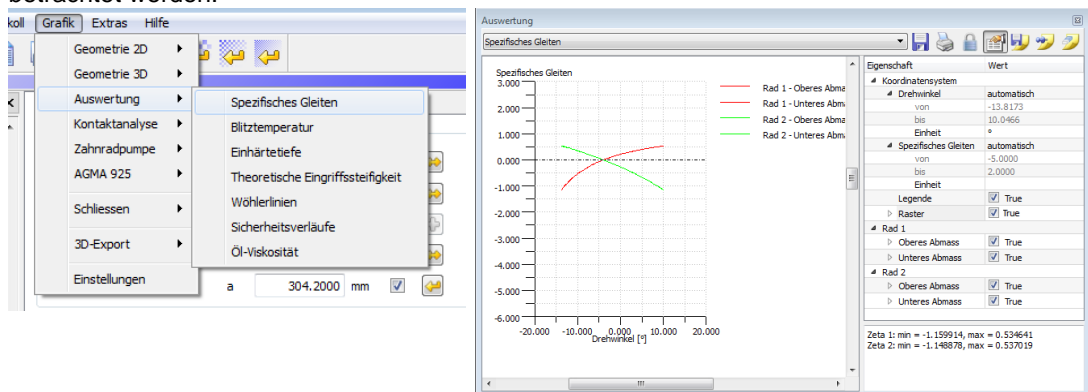



Abbildung 3.13 Aufruf zur Veranschaulichung des spezifischen Gleitens, Grafik

3.3.3 Schmierung

Die Schmierungsart und das Schmiermittel kann direkt in der Hauptmaske gewählt werden. Die Schmierstofftemperatur wird über den Plus Button  rechts der Schmierungsart definiert. Eingaben zu den Umgebungstemperaturen können über den Reiter „Betriebsflankenspiel“ eingegeben werden.

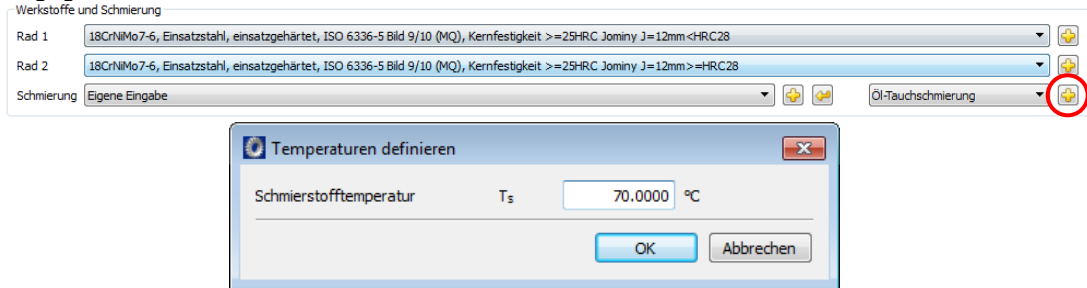


Abbildung 3.14 Angaben zur Schmierung

4 Festigkeitsberechnung mit Lastkollektiven

4.1 Resultierende Lebensdauer bei geforderter Sicherheit

In einem ersten Schritt soll die Lebensdauer in Stunden unter Berücksichtigung einer Sollsicherheit bestimmt werden. Die erforderlichen Sicherheiten werden von der Software in Abhängigkeit von den Einstellungen und dem Modul automatisch interpoliert. In den Modulspezifischen Einstellungen sind diese Sicherheiten in Abhängigkeit vom Modul vorgegeben, je nach Anwendung unterschiedlich für Metall (nach DIN, ISO und AGMA) und Kunststoff.

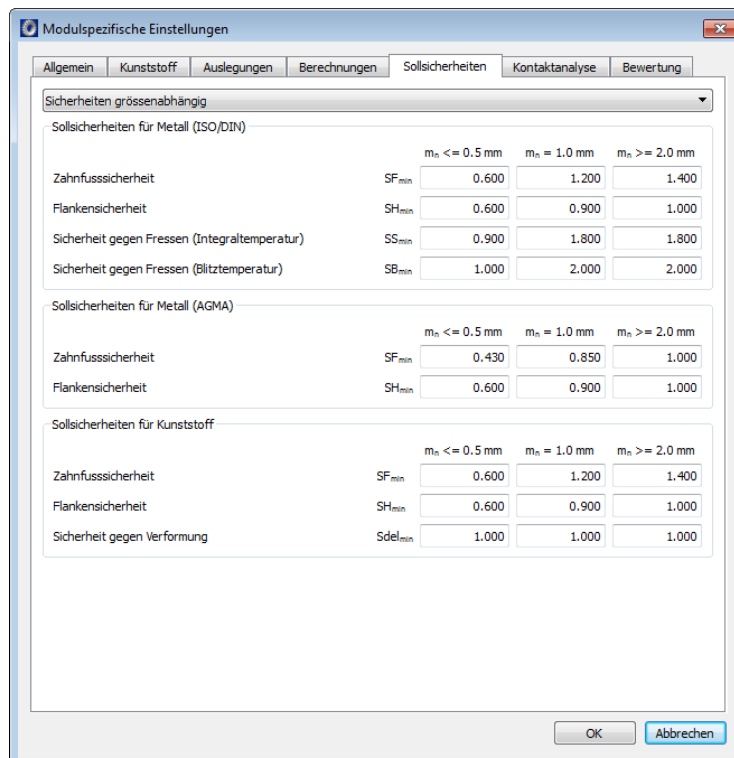


Abbildung 4.1 vordefinierte Einstellung der geforderten Sicherheiten

Eigene Vorgaben dazu sind auch möglich und können im Tab „Sollsicherheiten“ festgelegt werden

Wählen Sie dazu aus der Drop-Downliste „Sicherheiten nicht grössenabhängig“ und geben die Eigenen Vorgaben ein:

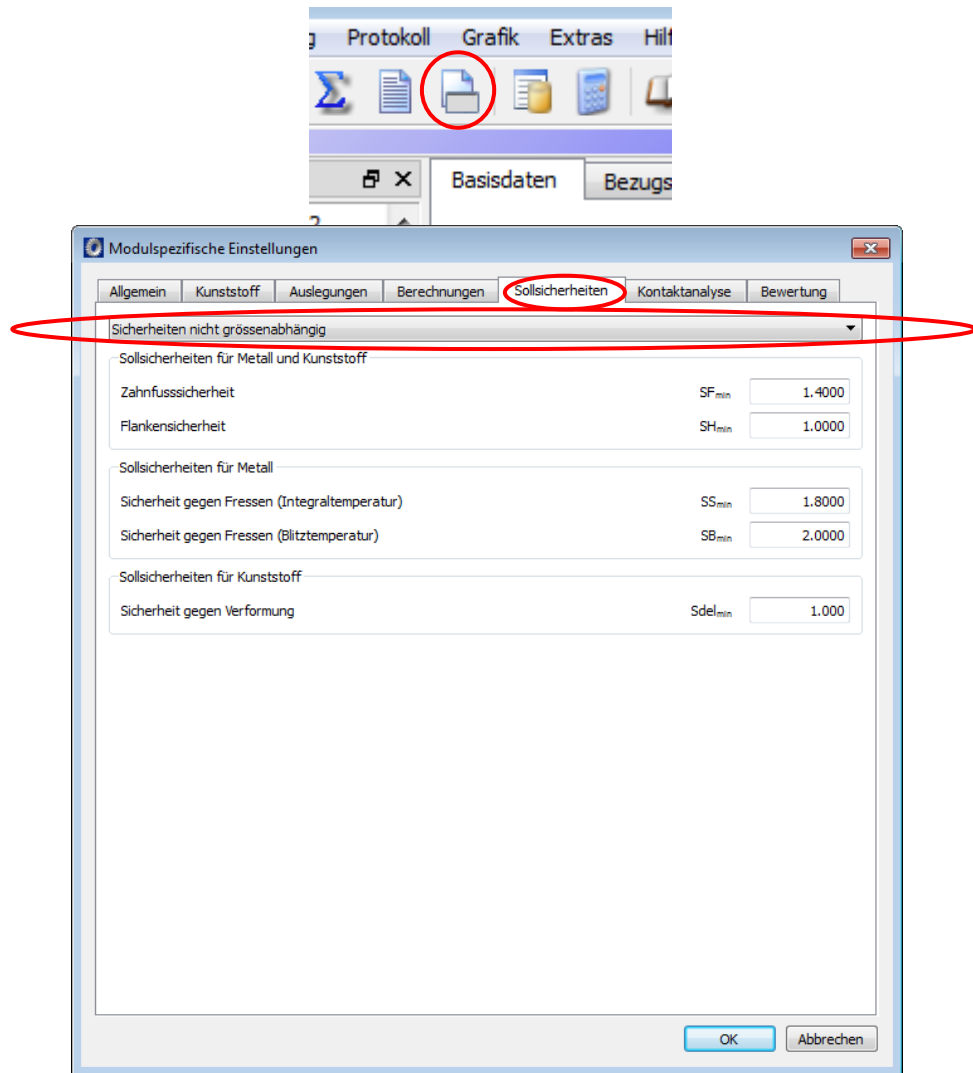



Abbildung 4.2 Einstellen der geforderten Sicherheiten

Für die Berechnung der resultierenden Lebensdauer wird nun über den Plus Button  neben der Eingabe der Leistung das Lastkollektiv definiert:

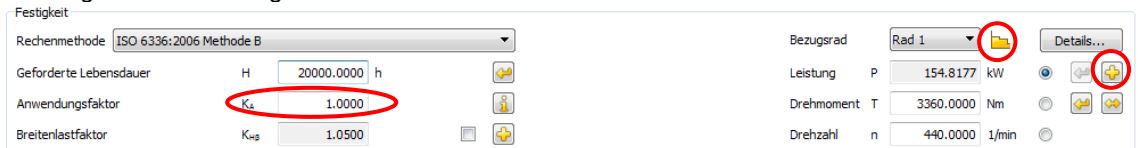


Abbildung 4.3 Aufrufen der Lebensdauerberechnung mit Lastkollektiven

In der folgenden Maske „**Lastkollektiv definieren**“ wird nun aus der Dropdown-Liste das entsprechende Lastkollektiv zugeordnet, siehe dazu Abbildung 4.4. Ist ein Lastkollektiv ausgewählt, so erscheint ein kleines Symbol neben dem Bezugsrad (obere Markierung in Abbildung 4.3). Der Anwendungsfaktor sollte auf 1.00 gesetzt werden, dies ist bei Verwendung von Lastkollektiven üblich (kann je nach Anwendung/Vorgabe auch grösser als 1.00 sein). Weiter kann ein unterschiedliches Verhalten für den Dauerfestigkeitsbereich angewendet werden, mehr Informationen dazu über „F1“, Online Hilfe. Die Berechnung wird ausgeführt mit “**Σ**” (Berechnen F5).

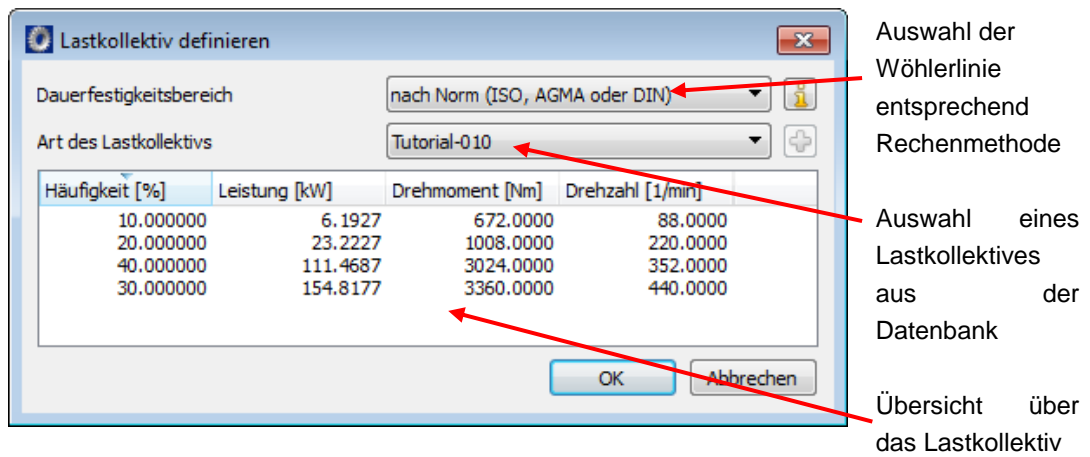


Abbildung 4.4 Auswahl und Anzeige des in Abschnitt 3.1 definierten Lastkollektivs

Führen Sie die Berechnung mit **200 KW** durch. Über „Protokoll“→ „Lebensdauer“ erfolgt die Anzeige der Resultate in einem Protokoll.

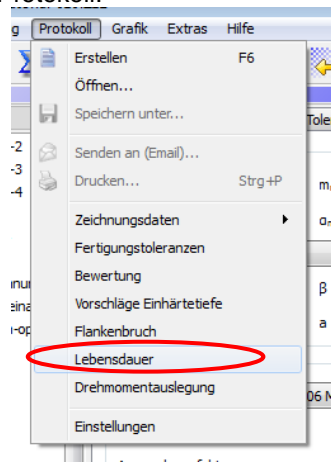


Abbildung 4.5 Protokollierung der Lebensdauer

KISSsoft - Release 03-2011

KISSsoft Calculation programs for machine design

Datei

Name : Tutorial-010
 Beschreibung: KISSsoft Tutorial
 Geändert von: bm am: 01.02.2011 um: 13:14:02

Berechnung der Lebensdauer

Lastkollektiv

Nenn-Leistung [P] 200.0000 kW
 Anwendungsfaktor [KA] 1.00

Lastkollektiv : Tutorial-010
 Anzahl Lastkollektiv-Elemente : 4
 Bezugsrad: 1

Element	Häufigkeit(%)	Leistung(kW)	Bezugs-Drehzahl(1/min)	Drehmoment (Nm)
1	10.00000	8.00	88.00	868.12
2	20.00000	30.00	220.00	1302.18
3	40.00000	144.00	352.00	3906.53
4	30.00000	200.00	440.00	4340.59

Wöhlerlinie im Dauerfestigkeitsbereich nach: Miner

Hinweis:
 Rechenmethode nach:
 - ISO 6336, part 6
 Bei der Berechnung werden alle Lastfaktoren (ISO6336: KV, KHb, KFb; AGMA2001: Knu, Km, ..) für jedes Lastkollektiv-Element einzeln berechnet.

Hinweis:
 Bei den Methoden ISO6336 und AGMA2001 ergibt sich eine Verminderung der Festigkeit im Dauerfestigkeitsbereich (von circa 10^7 bis 10^{10} Zyklen mit einer Verminderung von circa 15 %). Dies wird bei der Lebensdauerberechnung berücksichtigt, auch bei Wahl einer Wöhlerkurve nach Miner!

Soll-Sicherheit Fuss: 1.400
 Soll-Sicherheit Flanke: 1.000

Resultate

	Rad 1	Rad 2
Lebensdauer (h) Fuss	346.125	895.807
Lebensdauer (h) Flanke	5411.706	18750.234

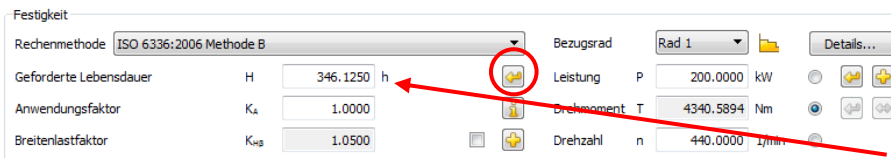
Lebensdauer (h) System: 346.125

Element no.	Damage(%)
1	0.0000e+000
2	0.0000e+000
3	0.7249
4	99.2751

Sicherheit Fressen (Integral) 3.06
 Sicherheit Fressen (Blitz) 3.99
 (Sicherheit für Fressen/Mikropitting wird für das ungünstigste Element des Kollektivs angegeben.)

Ende Report Zeilen: 65

Abbildung 4.6 Berechnungsprotokoll für Lastkollektivberechnung



Lebensdauer des Systems (Minimum der erreichten Lebensdauern)

Abbildung 4.7 Anzeige der minimalen Lebensdauer

Die Zwischenwerte für z.B. K.Hb werden in der Datei Z18-H1.tmp im beispielsweise in Verzeichnis C:\Dokumente und Einstellungen\user\Lokale Einstellungen\TMP\KISS_??? abgelegt.

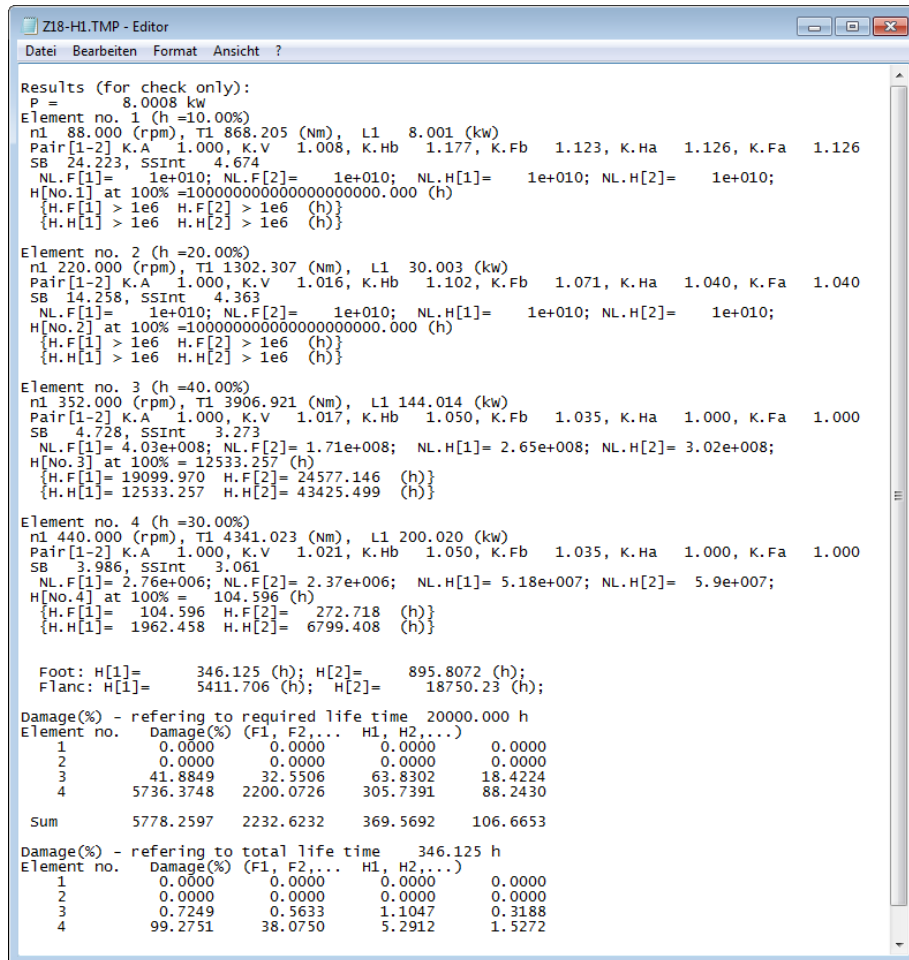


Abbildung 4.8 Anzeige der Zwischenberechnungen für die einzelnen Schritte etc.

4.2 Resultierende Sicherheiten bei geforderter Lebensdauer

Nach Eingabe der erforderlichen Lebensdauer im Bereich ‚Festigkeit‘ wird diese Berechnung gleichzeitig beim Ausführen der „Berechnungen mit Lastkollektiven“ mit durchgeführt. Die Berechnung erfolgt über eine Iteration. Die Ergebnisse werden im Fenster „Resultate“ angezeigt.

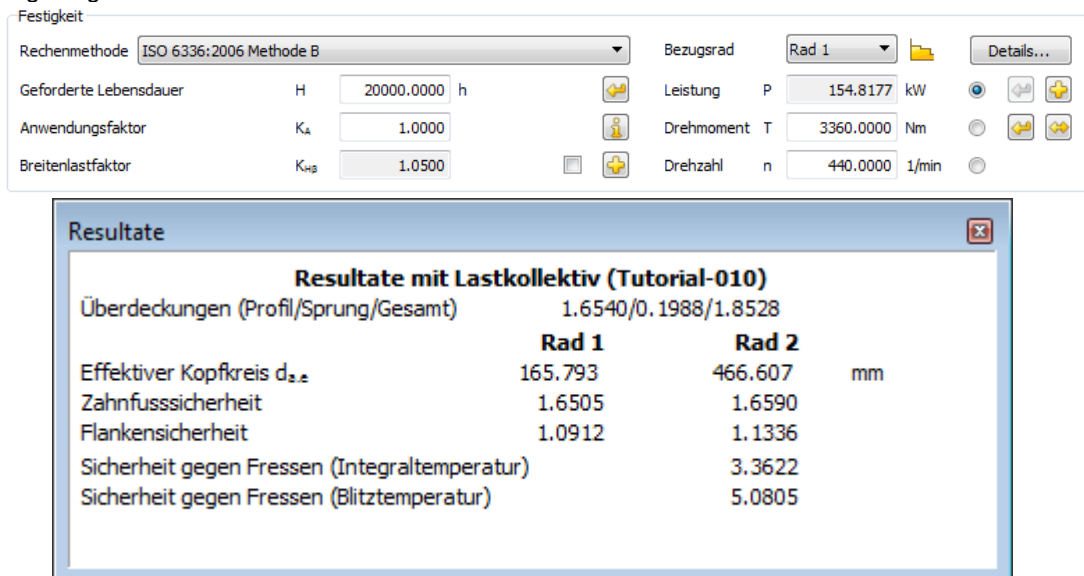



Abbildung 4.9 Resultate der Sicherheiten mit Lastkollektiv bei geforderter Lebensdauer

4.3 Berechnung des maximal übertragbaren Drehmomentes

In gleicher Weise kann über den Auslegen Button  die maximal übertragbare Leistung bestimmt werden. Dabei werden die vorgegebene Drehzahl, die verlangte Lebensdauer und die geforderten Sicherheiten berücksichtigt.

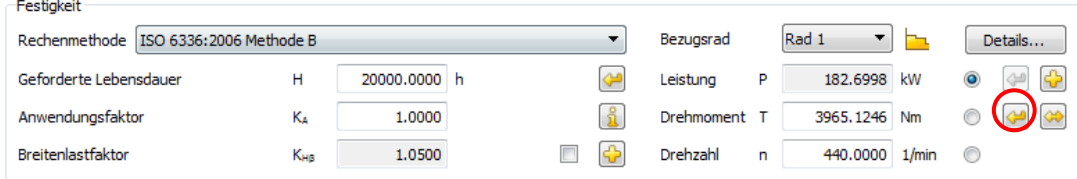
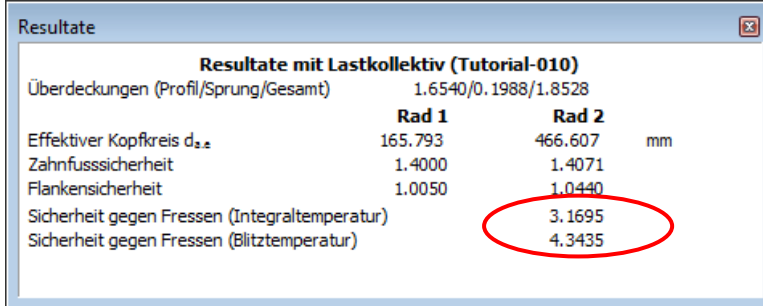


Abbildung 4.10 Berechnung des maximal übertragbaren Drehmomentes

5 Weitere Berechnungen

5.1 Sicherheit gegen Fressen

Im unteren Teil der Hauptmaske werden auch die Fressicherheiten nach Integral- und Blitztemperaturkriterium angezeigt:



Resultate mit Lastkollektiv (Tutorial-010)			
Überdeckungen (Profil/Sprung/Gesamt) 1.6540/0.1988/1.8528			
	Rad 1	Rad 2	
Effektiver Kopfkreis $d_{z,e}$	165.793	466.607	mm
Zahnfußsicherheit	1.4000	1.4071	
Flankensicherheit	1.0050	1.0440	
Sicherheit gegen Fressen (Integraltemperatur)		3.1695	
Sicherheit gegen Fressen (Blitztemperatur)		4.3435	

Abbildung 5.1 Sicherheiten gegen Fressen

Der Verlauf der Blitztemperatur über den Eingriff kann über „Grafik“ → „Auswertung“ → „Blitztemperaturverlauf“ angezeigt werden, siehe Abbildung 5.2. Wird nun über „Berechnung“ → „Korrekturen“ (siehe Abbildung 5.3) z. B. eine Kopfrücknahme ausgelegt (hier optimiert für 75% der Nennlast und 50% Fertigungsabweichung) und die geänderte Zahnform mit [Daten übernehmen] übernommen (es erscheint die in Abbildung 5.4 gezeigte Meldung), so kann der Verlauf der Blitztemperatur im Kopfbereich verändert werden.

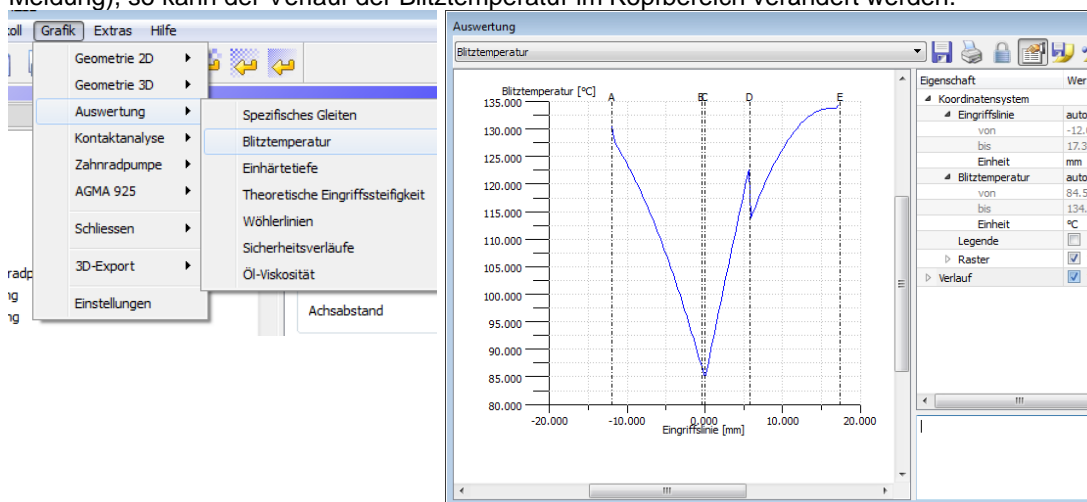


Abbildung 5.2 Blitztemperaturverlauf über die unmodifizierte Zahnform

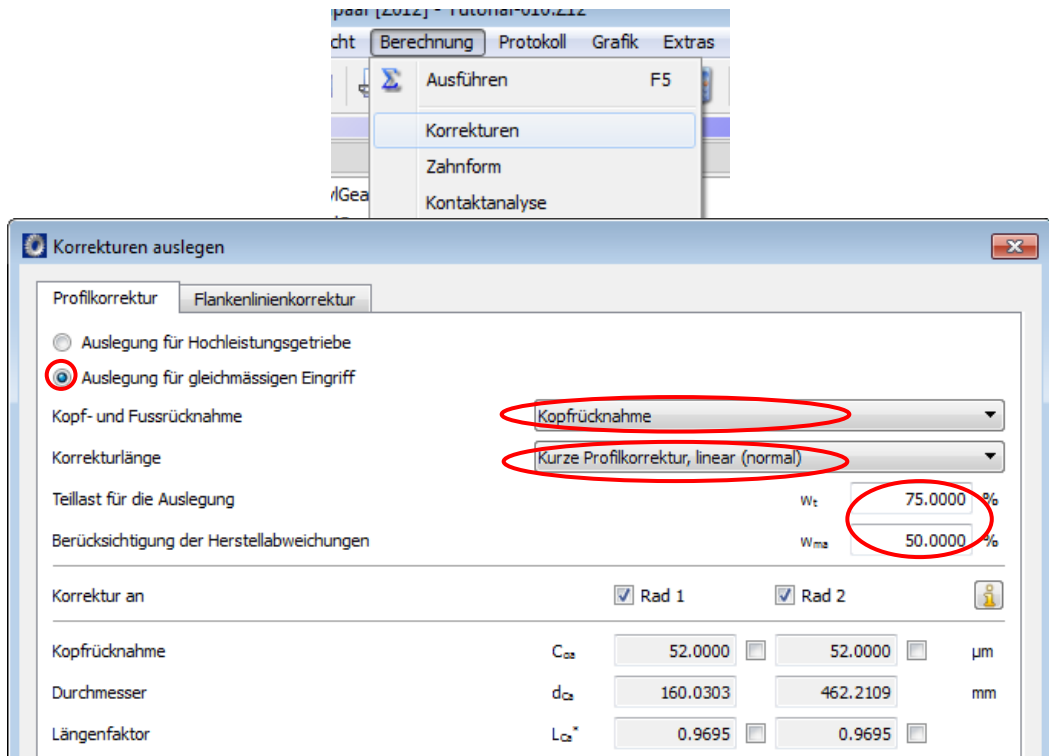


Abbildung 5.3 Aufruf der Profilkorrekturmaske, Auslegen einer Kopfrücknahme für 75% der Nennlast etc.

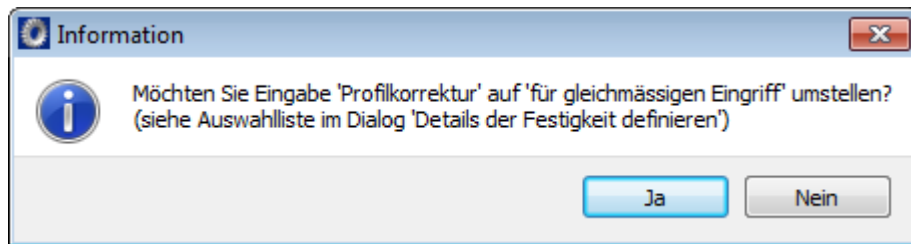


Abbildung 5.4 Meldung nach Drücken der Taste [Übernehmen]

Zahnrad	Flanke	Art der Korrektur	Betrag [µm]	Faktor 1	Faktor 2	Status
Rad 1	beide	Kopfrücknahme, linear	52.0000	0.9695		aktiv
Rad 2	beide	Kopfrücknahme, linear	52.0000	0.9695		aktiv

Abbildung 5.5 Eintrag der Korrektur.

Wird nun in der Stirnrad-Hauptmaske nochmals „Berechnen“ (F5) gedrückt, wird wiederum die Sicherheit gegen Fressen unter der angegebenen Nennlast bestimmt. Zu beachten ist, dass diese nun höher liegen als vorher, vergleiche Abbildung 5.1 dazu und Abbildung 5.6.

Resultate mit Lastkollektiv (Tutorial-010)			
Überdeckungen (Profil/Sprung/Gesamt)	1.6540/0.1988/1.8528		
	Rad 1	Rad 2	
Effektiver Kopfkreis d_{ze}	165.793	466.607	mm
Zahnfussicherheit	1.4000	1.4071	
Flankensicherheit	1.0050	1.0440	
Sicherheit gegen Fressen (Integraltemperatur)		3.7323	
Sicherheit gegen Fressen (Blitztemperatur)		4.7254	

Abbildung 5.6 Fresssicherheiten, Integral und Blitztemperaturkriterium

Wird nun die Berechnung des Blitztemperaturverlaufes erneut über „Grafik“ → „Auswertung“ → „Blitztemperaturverlauf“ aufgerufen, so ist die Blitztemperatur am Kopf auf die Massentemperatur des Zahnrades gesunken.

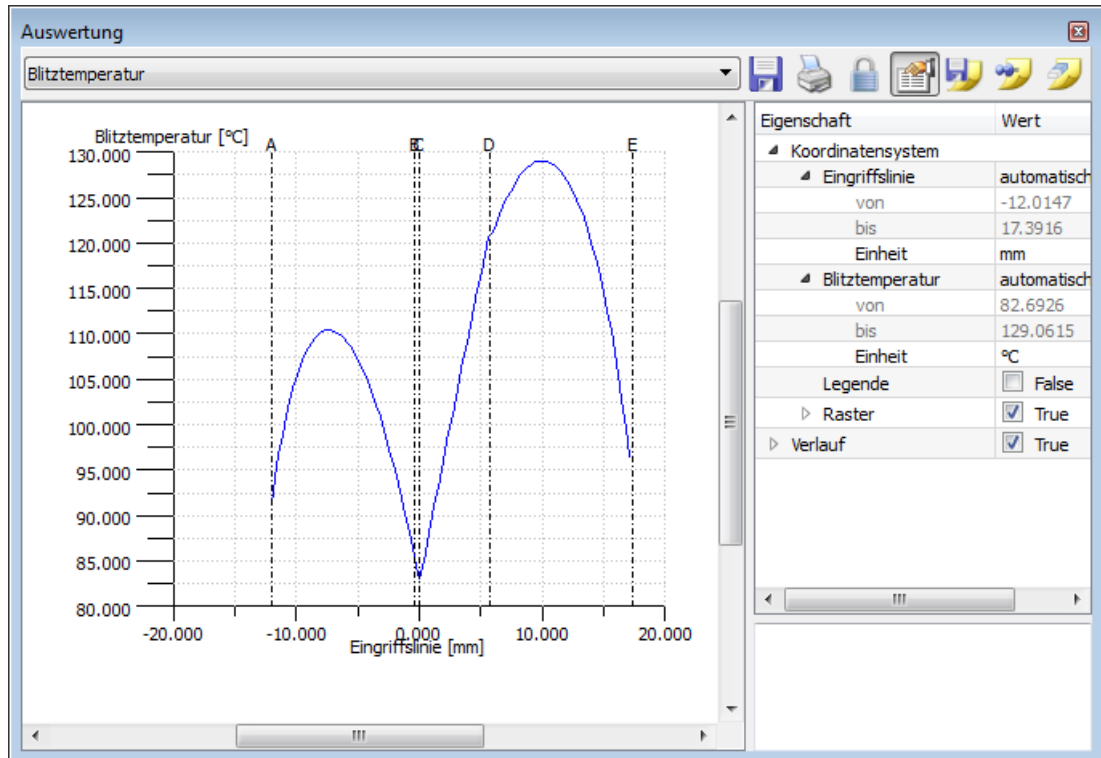


Abbildung 5.7 Verlauf Blitztemperatur nach Koprücknahme

5.2 Notwendige Einhärttiefe

Die notwendige Einhärttiefe kann über den Verlauf der Schubspannung infolge Hertzscher Pressung über „Grafik“→ „Auswertung“→ „Einhärttiefe“ abgeschätzt werden. Es wird empfohlen, eine Einhärttiefe von doppelter Tiefe des Spannungsmaximums anzustreben. Wird nach dem Einsetzen / Härten die Verzahnung geschliffen, so muss die vorgeschriebene Einhärttiefe beim Härten noch um die Schleifzugabe erhöht werden.

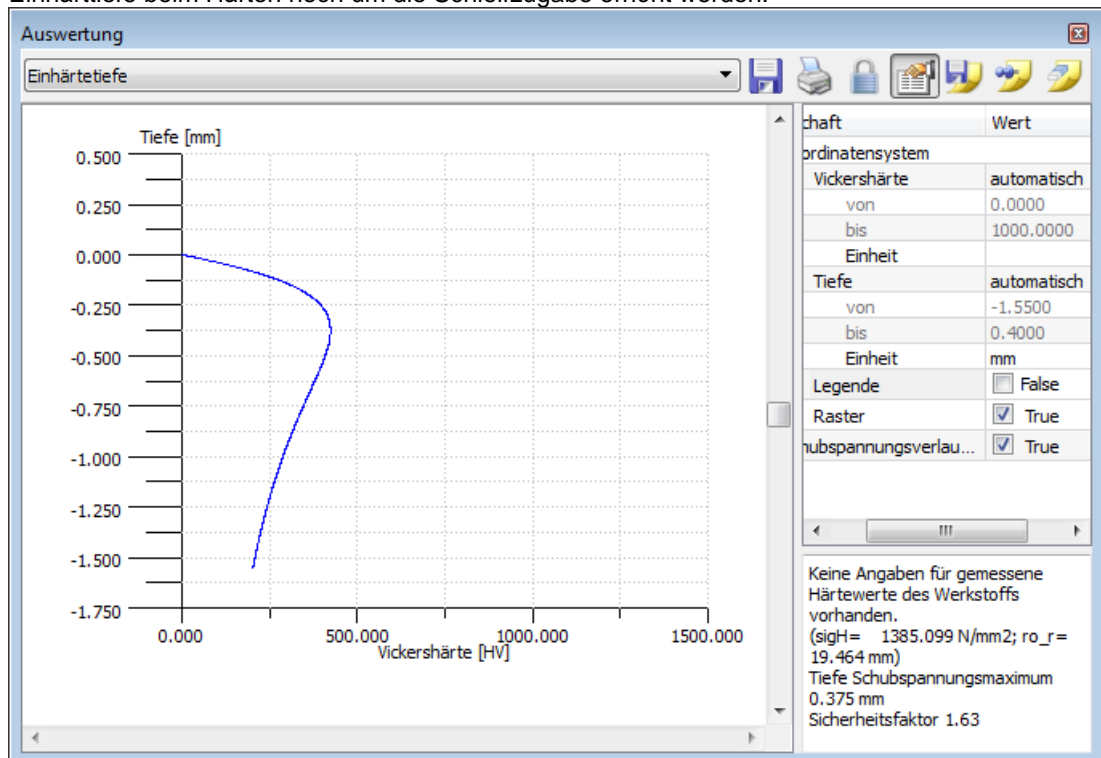


Abbildung 5.8 Darstellung der Schubspannung über die Tiefe des Zahnes, empfohlene Einhärttiefe