

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

KISSsoft Tutorial: Auslegung eines Planetengetriebe für die Feinwerktechnik

1 Aufgabenstellung

Es soll ein Planetengetriebe mit einem Antriebsmoment von 450 Nmm (0,45 Nm) bei 10000 U/min ausgelegt werden. Das Nennübersetzungsverhältnis beträgt 4,25. Die benötigte Lebensdauer beträgt 20000 Stunden, mit einem Anwendungsfaktor von $K_A=1,25$. Die Paketgrösse (Außendurchmesser des Zahnkranzes) beträgt 35 mm, einschließlich 3 mm Werkstoff zwischen Fusskreis und Außendurchmesser. Die Zahnräder sind aus Pulvermetall gesintert. Das Modul muss größer als 0,5 mm sein (aufgrund der Produktionsanforderungen). Die Zahnform ist zu optimieren, um die Tatsache voll auszunutzen, dass die Zahnräder nicht abwälzend gefertigt werden. Als Berechnungsmethode wird die Methode gemäß AGMA 2101-D04 verwendet.

2 KISSsoft starten

2.1 Software starten

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:

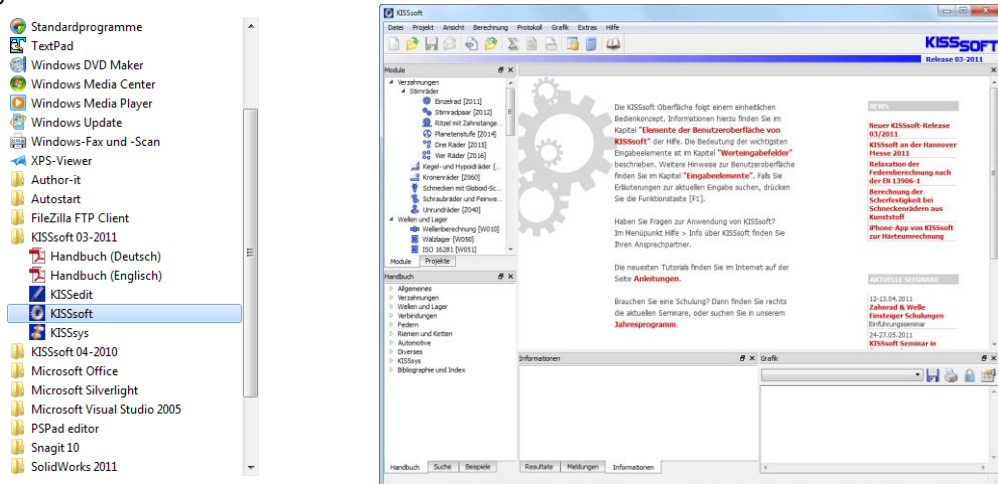


Abbildung 2.1 KISSsoft Hauptfenster

2.2 Starten des Berechnungsmoduls "Planetenstufe"

Über das „Modulbaumfenster“ im Tab „Module“ mit einem Doppelklick wird die Berechnung für eine "Planetenstufe" aufgerufen, siehe Abbildung 2.2.

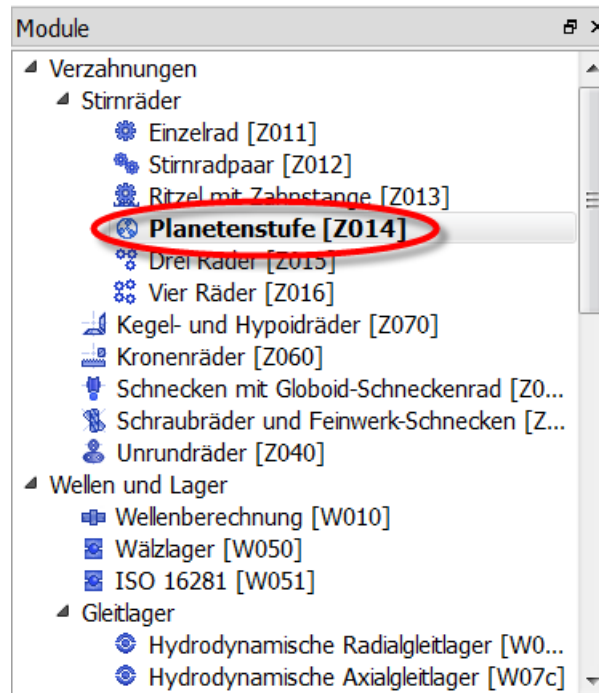
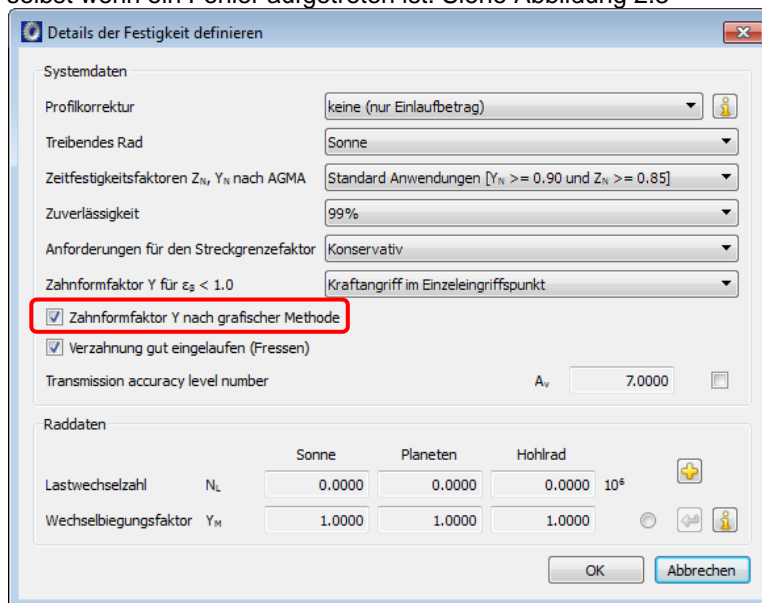


Abbildung 2.2 Berechnungsmodul "Planetenstufe" aus dem Fenster "Module" auswählen

2.3 Grundeinstellungen

Wenn die AGMA 2101-Methode für ein Planetengetriebe eingesetzt wird, ist es sinnvoll, die graphische Methode für den Faktor Y zu aktivieren (dies beeinflusst die Berechnung der Fussspannung). Zum Tab "Festigkeit" gehen und "Details" im Bereich: 'Paardaten' anklicken. Die graphische Methode aktivieren und definieren, wo die Kraft aufgetragen werden soll. Da in der ersten Entwurfsphase einige der gefundenen Lösungen geometrische Fehler aufweisen (die KISSsoft automatisch veranlassen, die Berechnung abzubrechen), wird empfohlen, zu den modulspezifischen Einstellungen zu gehen, und "Grosse Profilverschiebung zulassen" und "Bei Geometriefehlern weiterrechnen" zu aktivieren. Dies veranlasst KISSsoft mit einer Berechnung fortzufahren, selbst wenn ein Fehler aufgetreten ist. Siehe Abbildung 2.3



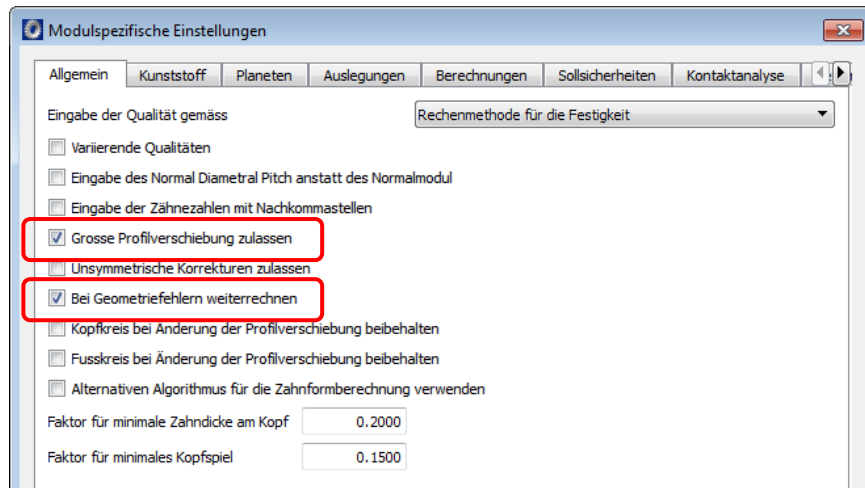
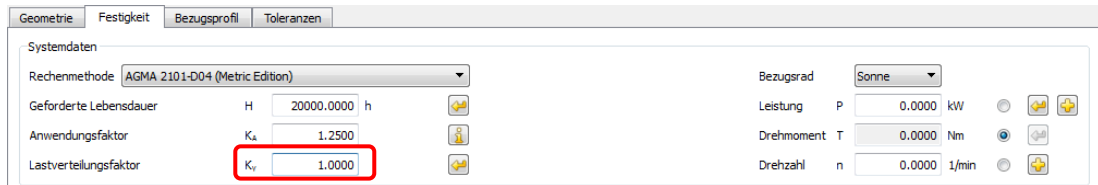


Abbildung 2.3 "Details der Festigkeit definieren" und "Modulspezifische Einstellungen" für dieses Beispiel

2.4 Die Randbedingungen einstellen

Zum Hauptdialog mit [OK] zurückkehren. Auf den Tab "Geometrie" gehen und die gewünschte Anzahl Planeten einstellen (Abbildung 2.4). Der Lastverteilungsfaktor K_v erhöht die auf einen Planeten aufgebrauchte Last. In diesem Fall wird er auf 1,0 eingestellt.

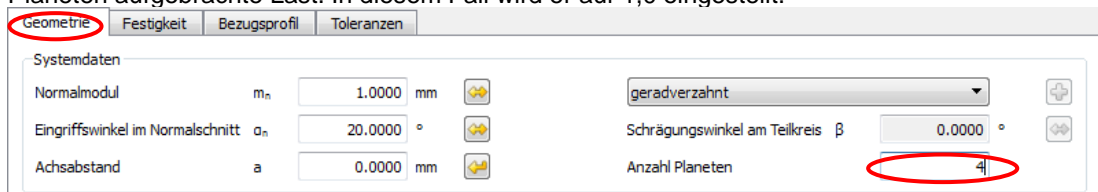


Abbildung 2.4 Anzahl der Planeten definieren

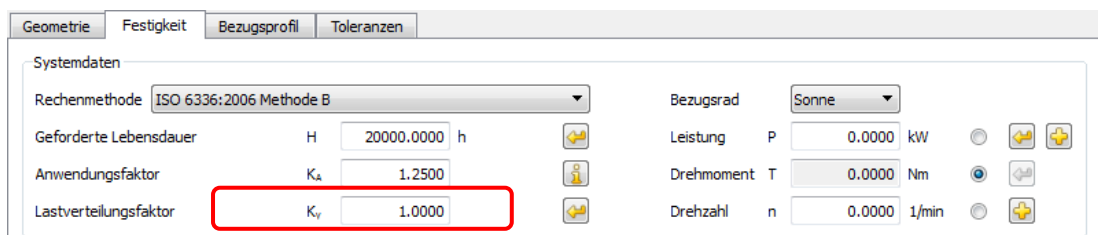


Abbildung 2.5 Den Lastverteilungsfaktor definieren

2.5 Grobauslegung

Grobplanung öffnen und die gewünschte Berechnungsmethode (1) und den Werkstoff (2) einstellen. Den Anwendungsfaktor (3) und die Lebensdauer (4) eintragen. Den Radio-Button neben dem Leistungsfeld anklicken, um die Last (5) zu definieren, siehe Abbildung 2.7.

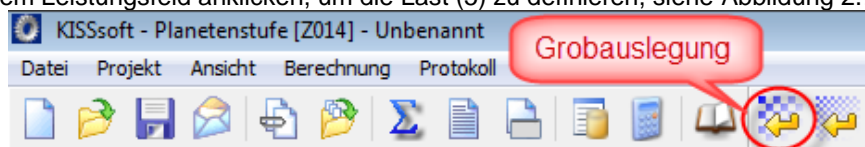


Abbildung 2.6 Die Grobauslegungsfunktion aufrufen

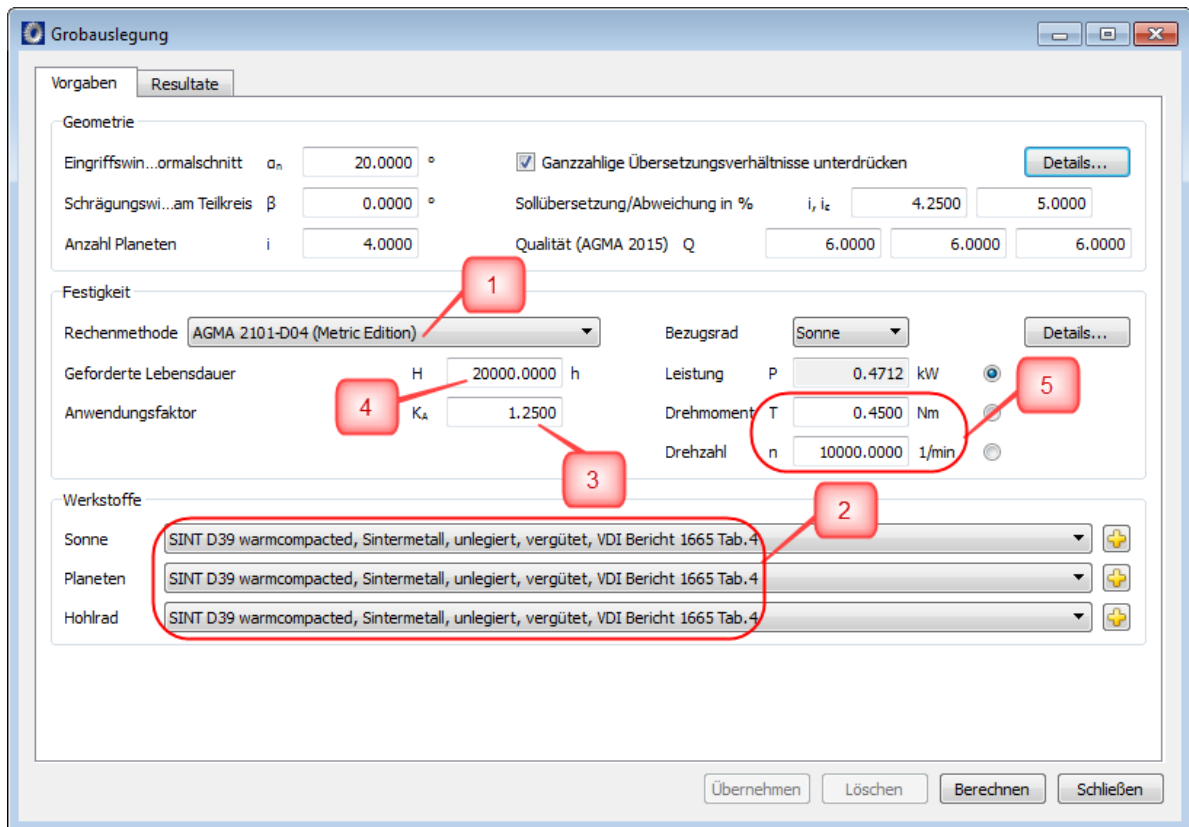


Abbildung 2.7 Einstellen von Werkstoffen, Berechnungsmethode, Anwendungsfaktor und benötigter Lebensdauer

2.5.1 Einstellen der Last

Die Einheit für das Drehmoment durch Rechtsklicken auf das entsprechende Feld (Abbildung 2.8) einstellen.

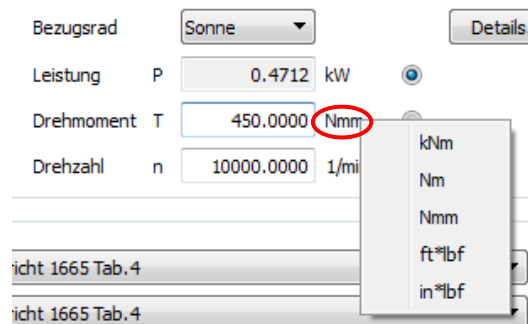


Abbildung 2.8 Die Einheit für das Drehmoment einstellen

Das Bezugsrad (1), den berechneten Wert (2) (wenn Drehmoment und Drehzahl definiert werden, wird die Leistung berechnet) definieren, und die Daten für Drehzahl und Drehmoment (3) eingeben (siehe Abbildung 2.9).

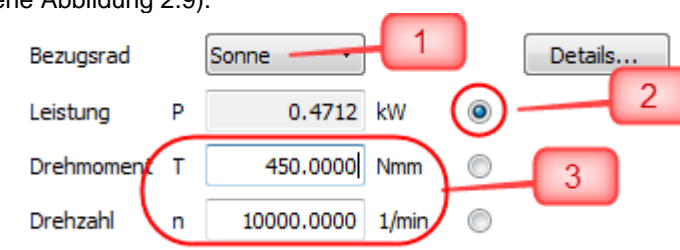


Abbildung 2.9 Einstellen der Last

Das nominale Übersetzungsverhältnis (6) eintragen.

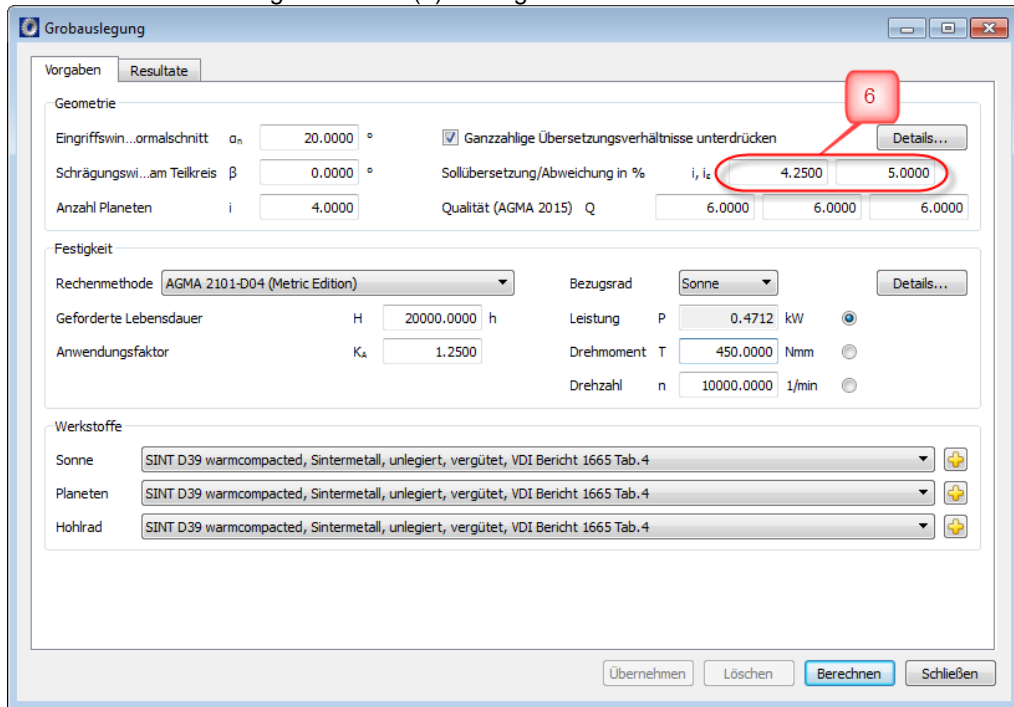


Abbildung 2.10 Grobauslegungseinstellungen

Würde KISSsoft einen Entwurf mit den Grundeinstellungen berechnen, würde dies ein sehr kleines Modul hervorbringen. Daher sollten Sie den Wertebereich für die Zähnezahl auf 9 bis 12 (7) herunterstellen, um KISSsoft zu zwingen, ein größeres Modul auszuwählen. In den meisten Fällen ist es nicht nötig, die Vorgabewerte für die Zähnezahl zu verändern. Das Eingabefenster mit "OK" schließen.

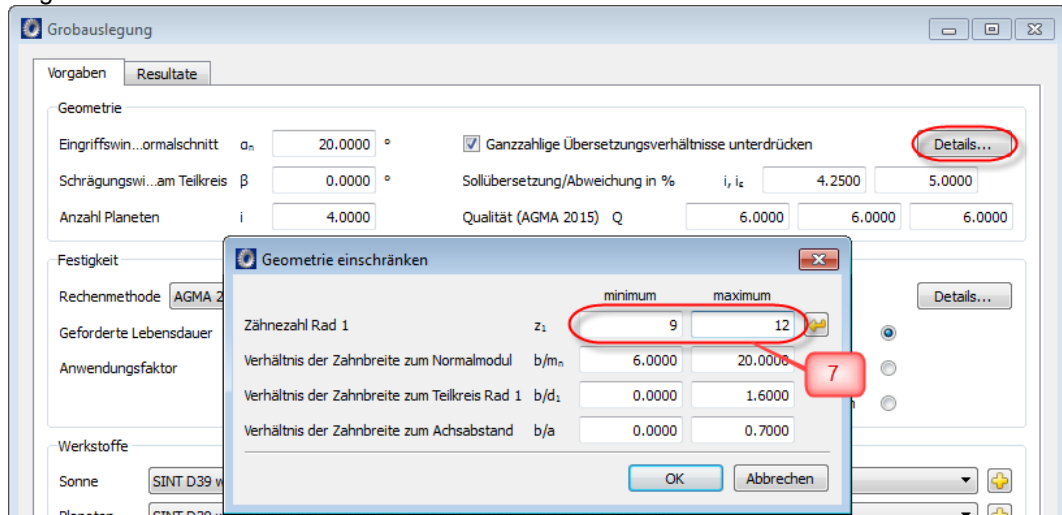


Abbildung 2.11 Grobauslegungsvorgaben "Geometrie einschränken"

[Berechnen] (8) anklicken. Schauen Sie sich die Resultate an.

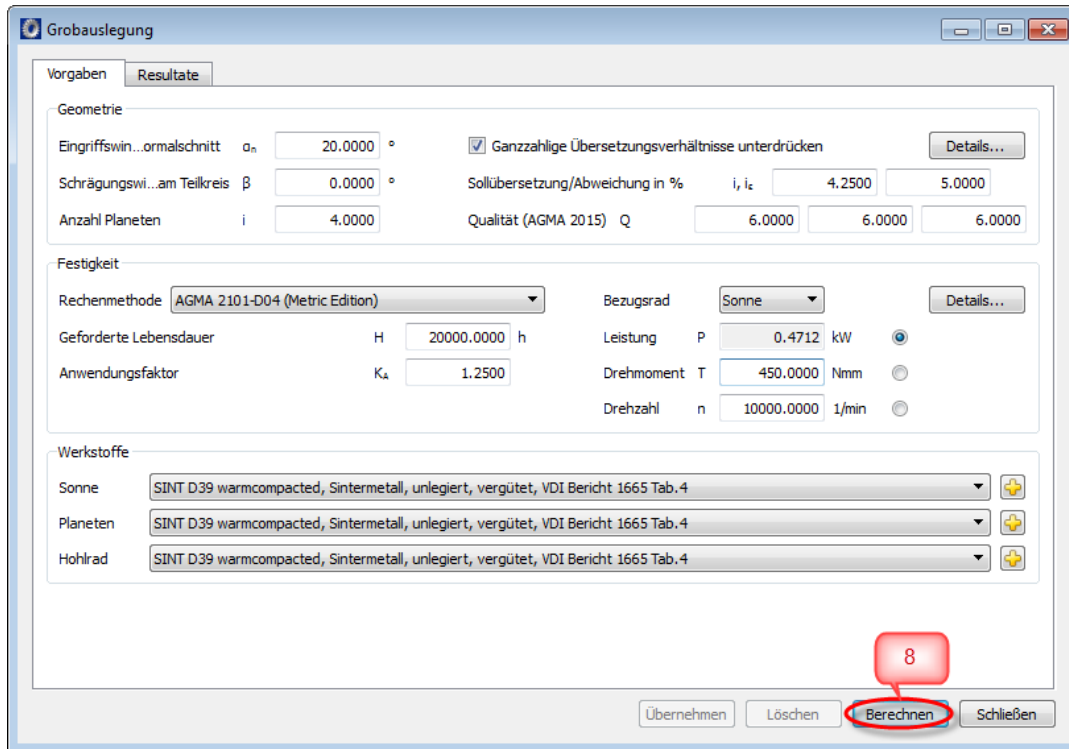


Abbildung 2.12 Berechnen der Grobauslegung

Falls Sie zufrieden sind, gehen Sie zurück zum Dialog, indem Sie den Editor schließen und auf [Übernehmen] (9) klicken, siehe Abbildung 2.13.

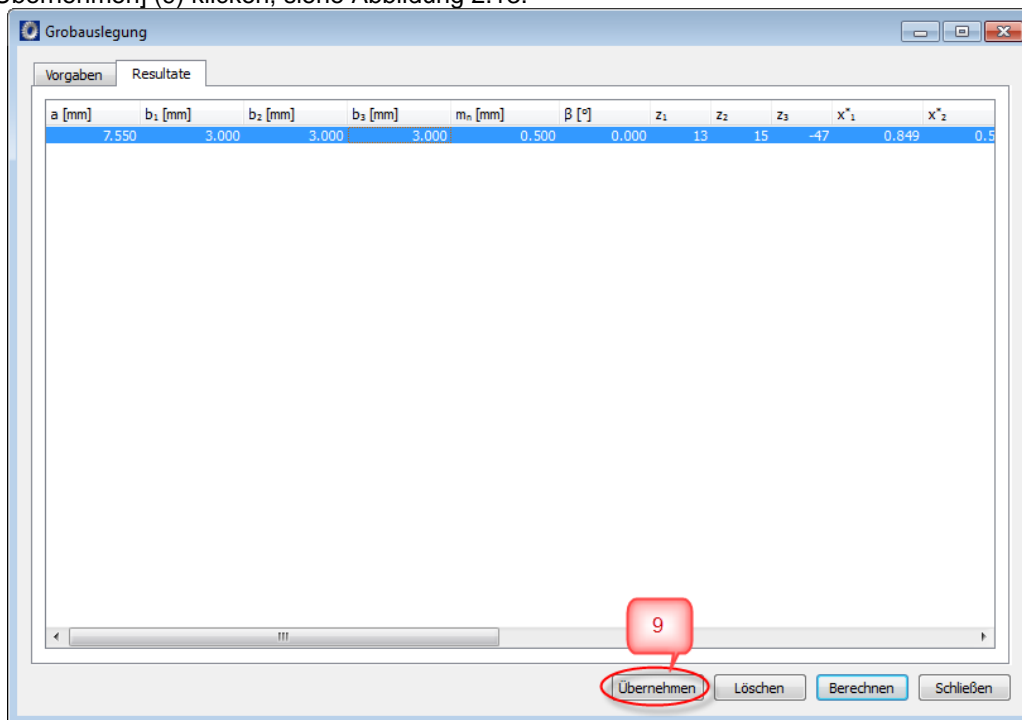


Abbildung 2.13 Resultat der Grobauslegung

Der Hauptdialog wird nun mit den Daten der von der Grobauslegungsfunktion erzeugten Lösung gefüllt. Da der Modul kleiner als 1.0 ist, wird empfohlen, für die Toleranzen zu einer anderen Norm zu wechseln. Auf den Tab 'Toleranzen' gehen. Im Dialog Toleranzen für jedes Zahnrad die Zahndickentoleranz "DIN 58405 10e" auswählen, Abbildung 2.14. Die 10 entspricht der Qualität (Breite des Intervalls), wobei 10 "niedrige Qualität" bedeutet. Der Buchstabe "e" steht für die Definition der Intervallgrenze, und definiert daher das Flankenspiel.

Auf den „Auslegen-Button“ für Achsabstand (4) klicken, wodurch Sie den möglichen Wertebereich für diesen Wert erhalten. Um den Fusskreis des Zahnkranzes genügend klein zu erzwingen, so dass ausreichend Material unterhalb des Zahnfusses bleibt, einen passenden Wert in das entsprechende Feld eingeben (hier: $35-2 \cdot 3\text{mm} = 29\text{mm}$) (5), siehe Abbildung 2.16.

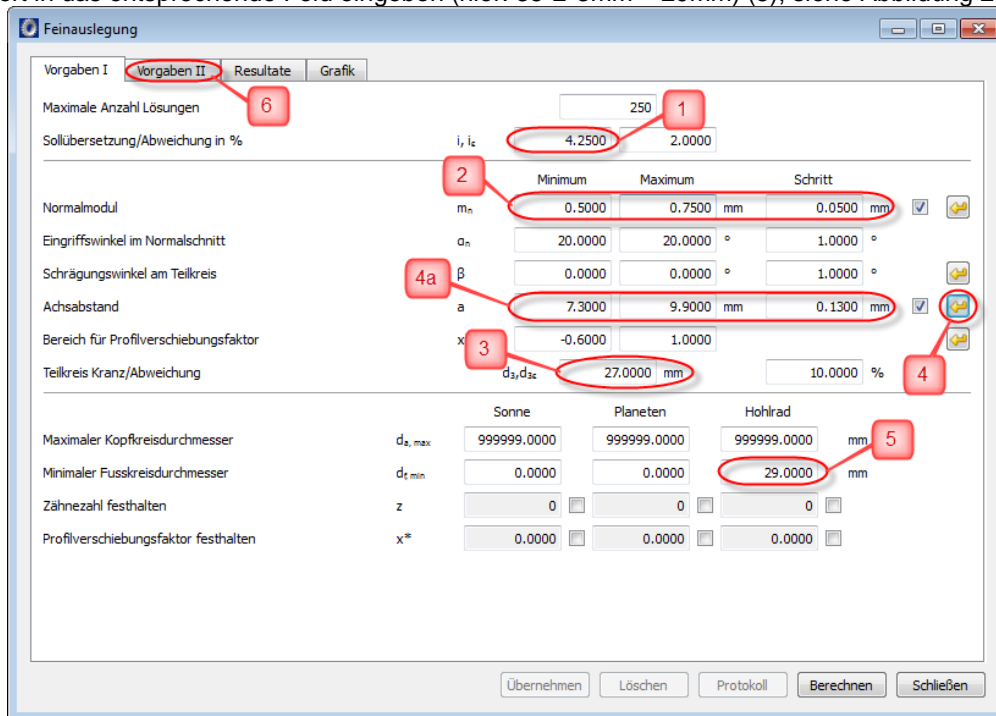


Abbildung 2.16 Einstellungen für die Feinauslegung

Da die graphische Methode für die Ermittlung der Fussspannung verwendet wird, ist die Berechnung der Zahnform für jede gefundene Lösung zu aktivieren. Dazu [Vorgaben II] (6) anklicken.

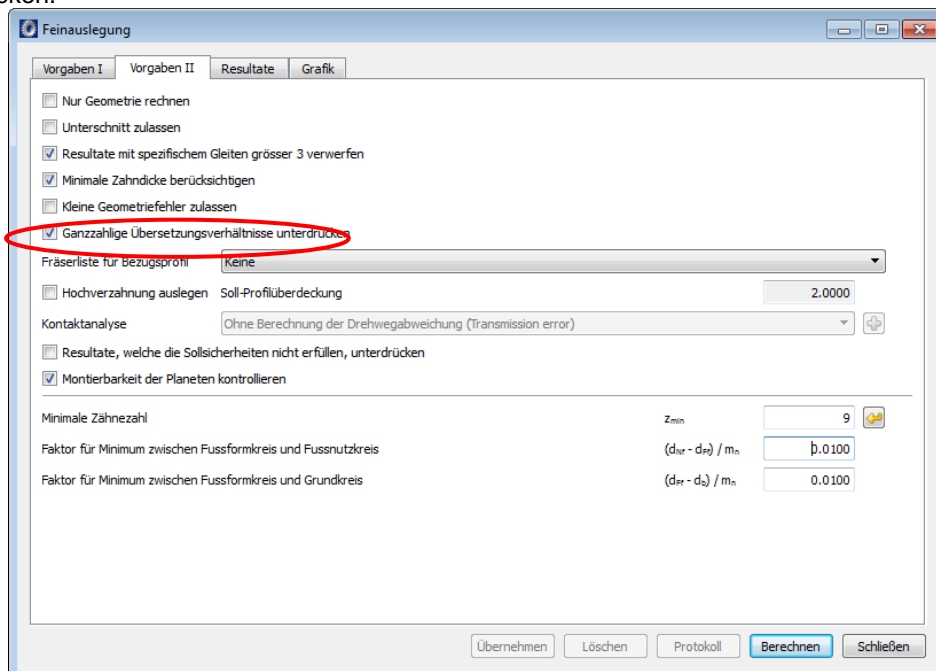


Abbildung 2.17 Eingriffssteifigkeit berechnen

[Berechnen] anklicken, um die Feinauslegung zu starten. Wenn Lösungen gefunden werden (andernfalls erscheint eine Meldung, dass keine Lösungen gefunden werden konnten), den Tab 'Grafik' anklicken.

Wenn man jetzt nur die Sicherheitsfaktoren berücksichtigt, sieht Lösung 18 viel versprechend aus: der Sicherheitsfaktor für den Fuss ist groß genug, die Flankensicherheit bei weitem

ausreichend. Die Zahnfussicherheit kann normalerweise durch eine Änderung der Fussgeometrie verbessert werden, daher ist die Flankensicherheit wichtiger.

Normalerweise würde man die übrigen Kriterien (wie z.B. Profilüberdeckung, spezifisches Gleiten,...) ebenfalls überprüfen. Da dies stark von dem behandelten Problem abhängt, werden wir diesen Teil in diesem Tutorial überspringen und Lösung 18 annehmen. Siehe die Liste der Tutorials am Ende dieses Dokuments, um mehr über die Feinauslegungsfunktion zu erfahren.

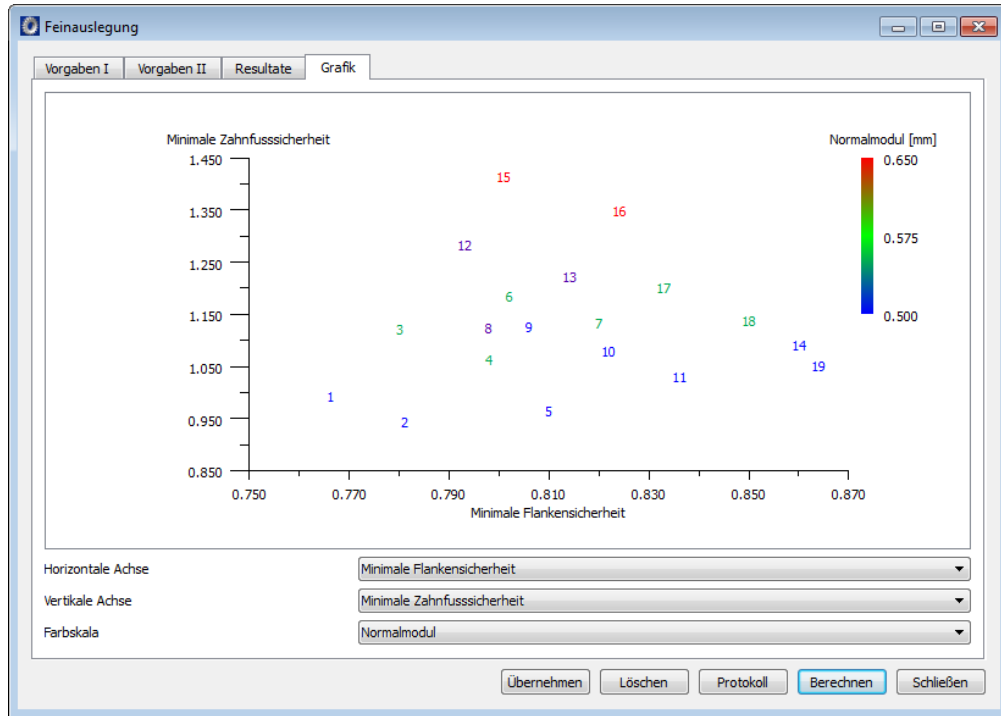


Abbildung 2.18 Grafische Darstellung der Resultate

Zum Feinauslegungsreiter "Resultate" gehen und eine Variante durch Doppelklicken von Variante 18 auswählen oder den Button [Annehmen] (Abbildung 2.19) anklicken.

The figure shows a table of results in the 'Feinauslegung' software. The table has the following columns: Nr., a [mm], m_n [mm], α [°], β [°], z₁, z₂, z₃, x*₁, x*₂, x*₃, and E_{v1,2}. Row 18 is highlighted in blue.

Nr.	a [mm]	m _n [mm]	α [°]	β [°]	z ₁	z ₂	z ₃	x* ₁	x* ₂	x* ₃	E _{v1,2}
1	8.210	0.500	20.000	0.000	15	16	-49	0.451	0.643	-0.564	
2	8.210	0.500	20.000	0.000	15	16	-49	0.551	0.543	-0.464	
3	8.470	0.550	20.000	0.000	14	15	-46	0.443	0.633	-0.536	
4	8.470	0.550	20.000	0.000	14	15	-46	0.543	0.533	-0.436	
5	8.600	0.500	20.000	0.000	16	17	-52	0.409	0.390	-0.110	
6	8.600	0.550	20.000	0.000	14	15	-46	0.601	0.807	-0.947	
7	8.600	0.550	20.000	0.000	14	15	-46	0.701	0.707	-0.847	
8	8.600	0.600	20.000	0.000	13	14	-43	0.507	0.489	-0.330	
9	8.730	0.500	20.000	0.000	16	17	-52	0.371	0.767	-0.727	
10	8.730	0.500	20.000	0.000	16	17	-52	0.471	0.667	-0.627	
11	8.730	0.500	20.000	0.000	16	17	-52	0.571	0.567	-0.527	
12	8.730	0.600	20.000	0.000	13	14	-43	0.521	0.777	-0.828	
13	8.730	0.600	20.000	0.000	13	14	-43	0.621	0.677	-0.728	
14	8.860	0.500	20.000	0.000	16	17	-52	0.743	0.754	-0.984	
15	8.860	0.650	20.000	0.000	12	13	-40	0.612	0.821	-0.957	
16	8.860	0.650	20.000	0.000	12	13	-40	0.712	0.721	-0.857	
17	8.990	0.550	20.000	0.000	15	16	-49	0.403	0.591	-0.442	
18	8.990	0.550	20.000	0.000	15	16	-49	0.503	0.491	-0.342	
19	9.120	0.500	20.000	0.000	17	18	-55	0.429	0.414	-0.169	

At the bottom of the window, there are buttons for 'Übernehmen', 'Löschen', 'Protokoll', 'Berechnen', and 'Schließen'.

Abbildung 2.19 Lösung auswählen

Zurück im Hauptdialog (Abbildung 2.20) verschafft das Fenster "Resultatübersicht" eine sehr kurze Übersicht, während der vollständige Datensatz zur ausgewählten Lösung im Protokoll

dargestellt wird. “F6” anklicken, um das Protokoll zu erhalten. An diesem Punkt ist die Auslegung des Planetengetriebes abgeschlossen.

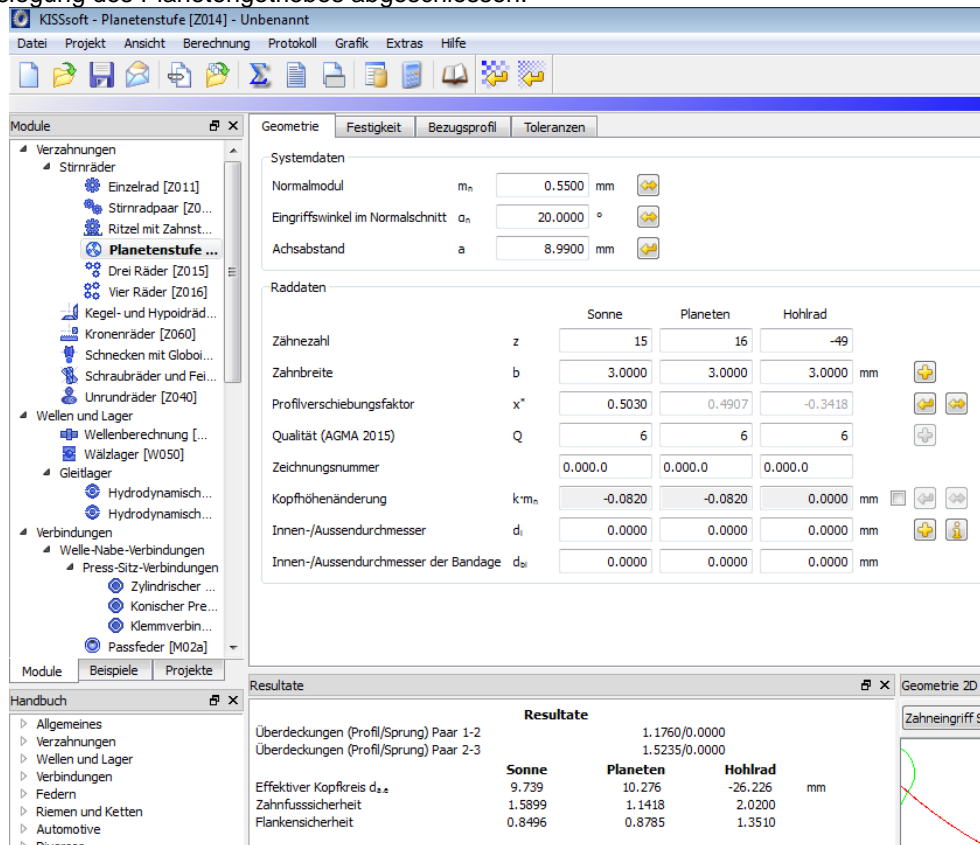


Abbildung 2.20 Übersicht Berechnungsergebnisse

2.7 Optimieren der Zahnform

Nachdem die Auslegung der Zahnräder zufriedenstellend abgeschlossen ist, besteht der nächste Schritt darin, die Zahnform zu optimieren. Aufgrund der Tatsache, dass die Zahnräder nicht abwälzend gefertigt werden (in diesem Fall gesintert), können Modifikationen ohne zusätzliche Kosten vorgenommen werden. Dieser Abschnitt befasst sich mit den gebräuchlichsten Modifikationen der Zahnform von gesinterten Zahnrädern. Für weitere Einzelheiten zu diesem Thema, siehe die Liste der Tutorials am Ende dieses Dokuments. Um die Zahnformmodifikation einzugeben, das Menü “**Berechnung**”-> “**Korrekturen**” anklicken, siehe Abbildung 2.21.

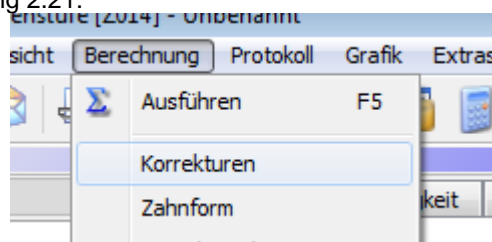


Abbildung 2.21 Den Reiter “Korrekturen” aktivieren

Zur Verbesserung des anfänglichen Zahnkontakts und aufgrund der Einschränkung, die durch die Herstellung mittels Sintern bestehen, ist es notwendig, eine Kopfrundung zu definieren. “**Rundung**” aus der “**Dropdownliste**” für “**Art der Kopfmodifikation**” auswählen, und einen beliebigen Wert (hier: 0,08 mm, bereits ziemlich groß) in das Eingabefeld für alle Zahnräder 1... 3 eingeben (siehe Abbildung 2.22).

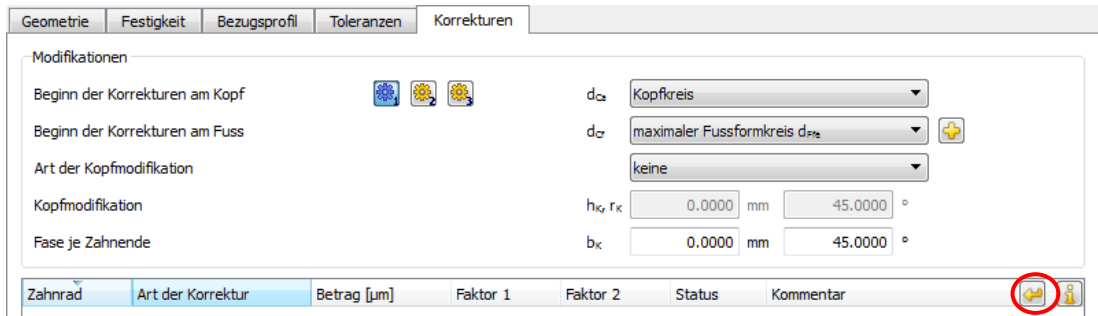


Abbildung 2.22 Kopfmodifikation "Rundung" der Zahnform

Im aktiven Tab "**Korrekturen**" ist die Eingabe von Zahnformmodifikation möglich. Den „**Auslegen-Button**“ anklicken, woraufhin das Fenster "**Korrekturen auslegen**" angezeigt wird (Abbildung 2.23).

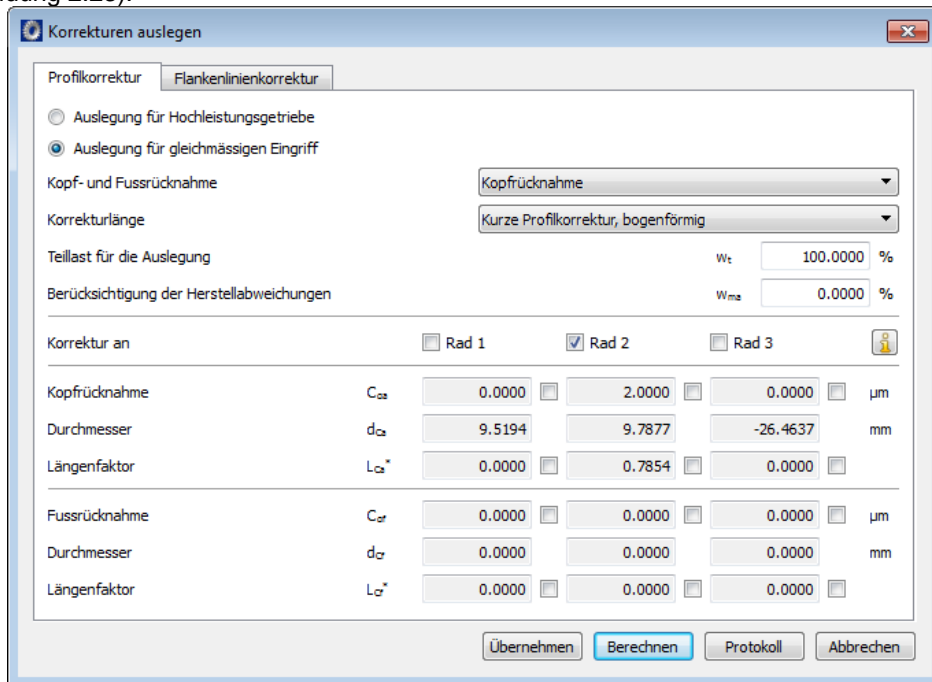


Abbildung 2.23 Definieren der Details der Profilkorrektur

Die Option "**Kurze Profilkorrektur, bogenförmig**" wird für die Kopfrücknahme ausgewählt, um den Eingriffsstoss so gering wie möglich zu halten. Dies sollte an Zahnrad 2 durchgeführt werden. "**Kurze Profilkorrektur, bogenförmig**" auswählen und den Button "**Berechnen**" anklicken. KISSsoft berechnet einen Entwurf für die Kopfrücknahme, wobei (automatisch) auf halbem Weg zwischen dem Punkt des Einzelzahneingriffs begonnen wird, mit einem Wert, der sich auf die berechnete Biegung der Zähne beruht.

Für den Fuss ist in den meisten Fällen eine Ellipse mit einem grossen Radius am Ende der Evolvente und einem kleineren Radius in der Mitte des Fussbereichs zwischen zwei Zähnen die beste Lösung. Dazu den Tab "Zahnform" aktivieren und die Option "Elliptische Fussmodifikation" hinzufügen, und den „Auslegen-Button“ anklicken, um einen Vorschlag für die elliptische Form zu erhalten.

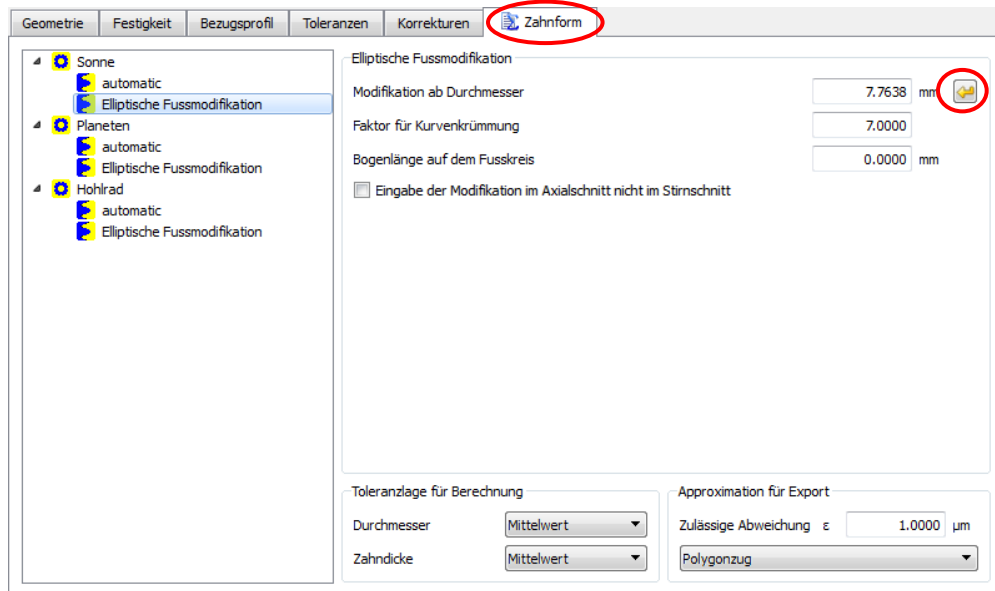


Abbildung 2.24 "Elliptische Fussmodifikation" fügt die Alternative hinzu

Nachdem diese Definition für alle Zahnräder durchgeführt wurden, das Icon "Σ" oder "F5" anklicken.

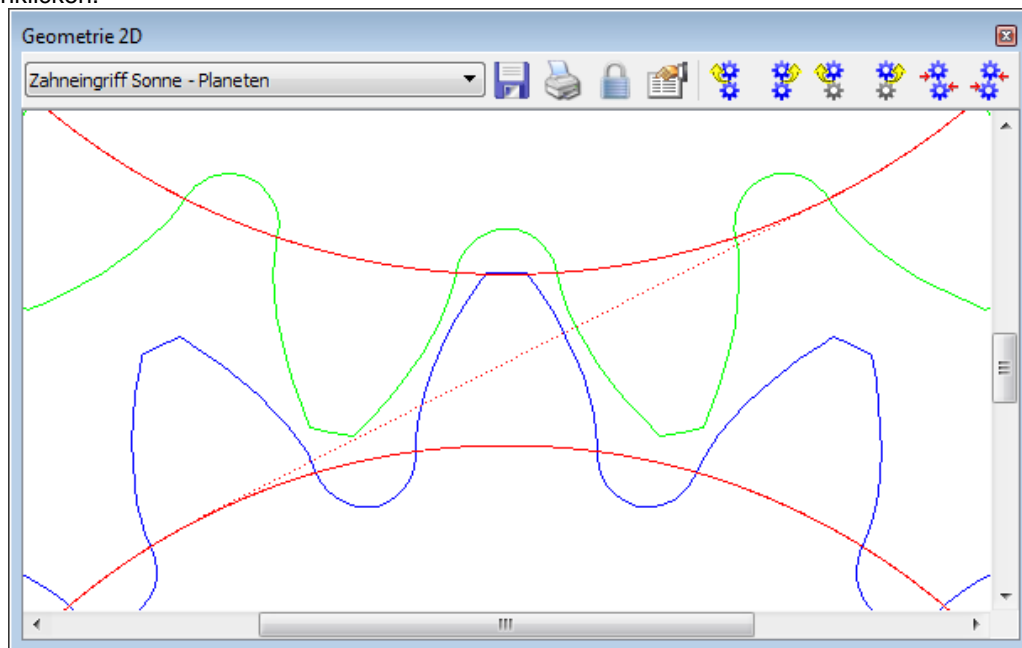


Abbildung 2.25 Berechnung und Darstellung der Zahnform
Im nächsten Dialog die Kollisionsprüfung aktivieren.

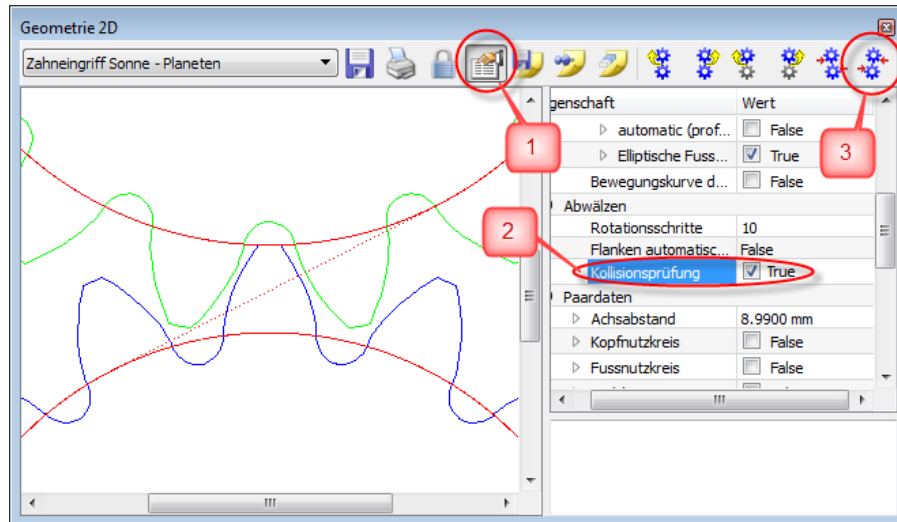



Abbildung 2.26 Kollisionsprüfung aktivieren und Paar 1 darstellen

Den Button  anklicken (2) und "Flanken anlegen (rechts)" auswählen. Sie sollten dort, wo die beiden Flanken sich im Eingriff befinden, kleine schwarze Kästchen sehen. Ein schwarzes Kästchen bedeutet "Eingriff oder Beinahe-Eingriff", rote Kästchen bedeuten "Kollision".

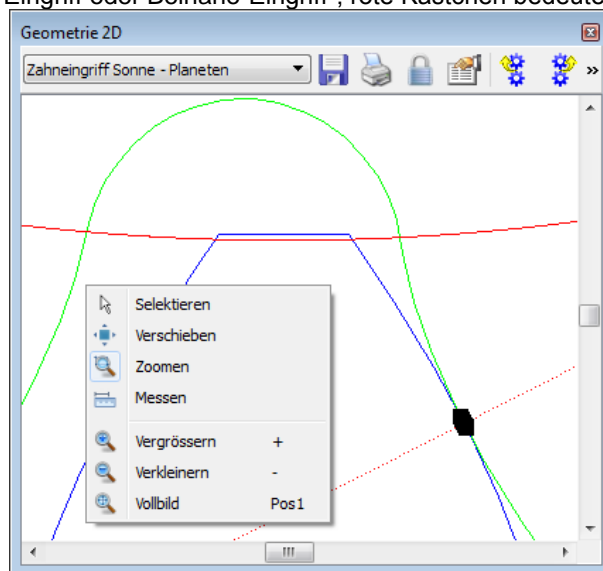




Abbildung 2.27 Automatisches Verbinden der Flanken, Zoomen und Kollisionsprüfung

Den "+" / "-" Button verwenden zum Heranzoomen/Herauszoomen, auf die rechte Maustaste klicken, um das Menü zu öffnen und schliesslich die   Buttons verwenden, um die Grafik zu animieren. Prüfen, ob irgendwelche der Modifikationen Probleme verursachen, Abbildung 2.27

Wenn Sie mit dem Resultat zufrieden sind, zum Hauptdialog zurückkehren. [Berechnung F5] anklicken, und mit Hilfe des Sicherheitsfaktors für den Fuss überprüfen, ob die Modifikationen die Fussfestigkeit verbessert haben oder nicht.

2.8 Aktuelle Tutorials

In diesen Tutorials finden Sie weitere Einzelheiten zu bestimmten Themen, die in diesem Dokument erwähnt werden:

- Tutorial 009, "Auslegung von Schrägstirnrädern"
- Tutorial 011, "Zahnformoptimierung und Zahnformmodifikationen insbesondere für Kunststoff-, Sinter-, drahterodierte und formgeschmiedete Zahnräder"