

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: Wellenberechnung

1 Starten von KISSsoft

1.1 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:

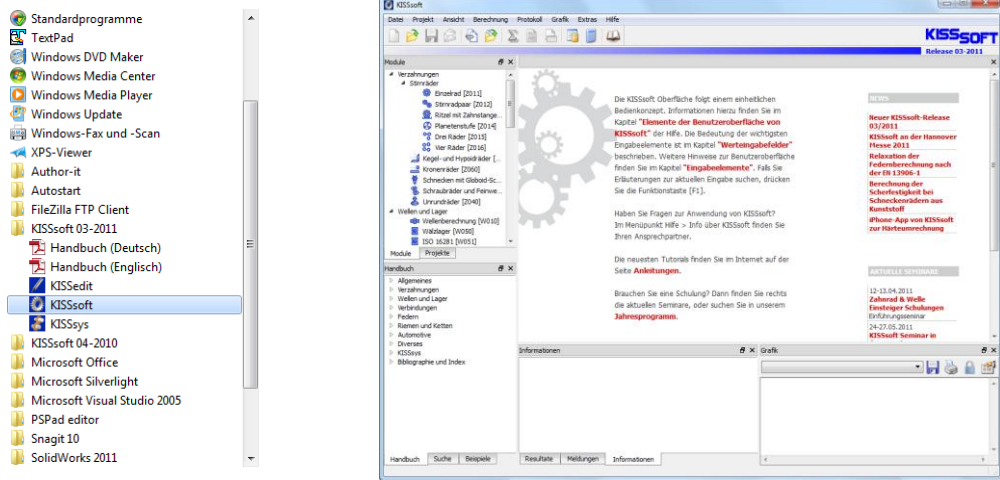
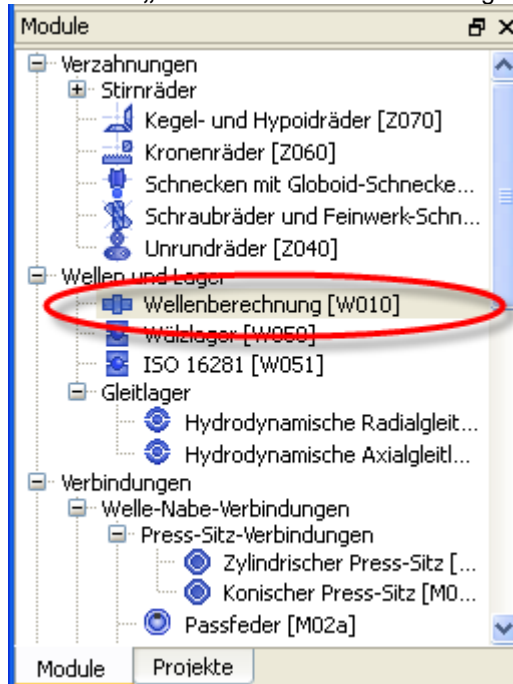


Abbildung 1.1 Starten von KISSsoft, Startfenster

1.2 Auswahl der Berechnung

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



2 Berechnung einer Welle

2.1 Aufgabenstellung, öffnen der Beispielberechnung

Es soll eine bereits modellierte Welle, siehe Abbildung 2.1, rechnerisch untersucht werden. Die folgenden Kriterien seien dabei relevant:

- Deformation der Welle
- Biegekritische Drehzahlen
- Statische Festigkeit und Ermüdungsfestigkeit

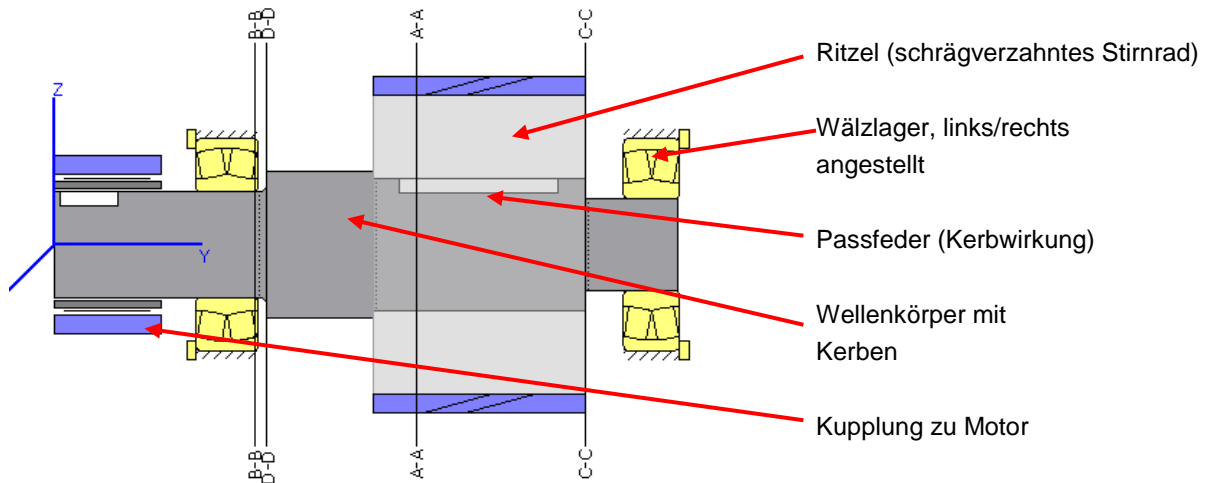


Abbildung 2.1 Untersuchte Ritzelwelle

Die Welle wird von einem an der Kupplung angeflanschten Motor angetrieben, die Leistung beträgt 75kW, bei einer Drehzahl von 980Upm. Diese Leistung wird am schrägverzahnten Zahnrad dem System wieder entnommen.

Diese Welle ist bereits als Beispieldatei **Shafts 1.W10** in KISSsoft enthalten. Man kann diese Datei wahlweise direkt im Hilfeindexfenster Tab „**Beispiele**“ durch einen Doppelklick mit der linken Maustaste öffnen oder über „**Datei**“ → „**Öffnen**“ durch Auswahl der Datei im entsprechenden KISSsoft-Unterverzeichnis ...example mit „**Öffnen**“.

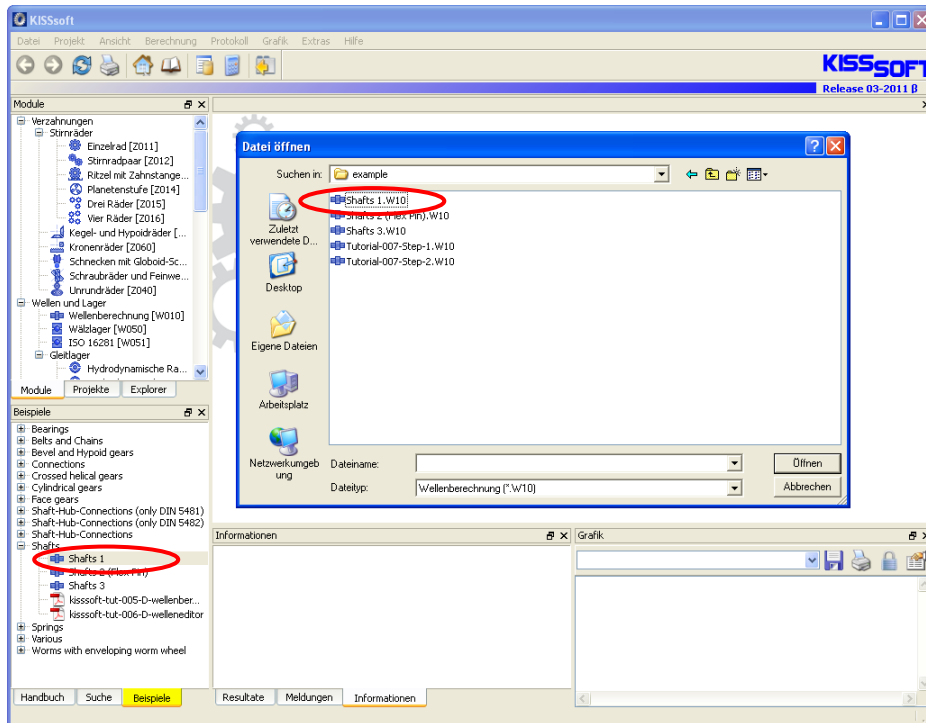


Abbildung 2.2 Öffnen der Beispielberechnung

Über den Tab „Welleneditor“ kann die Welle, wie in Abbildung 2.1 dargestellt, betrachtet werden.

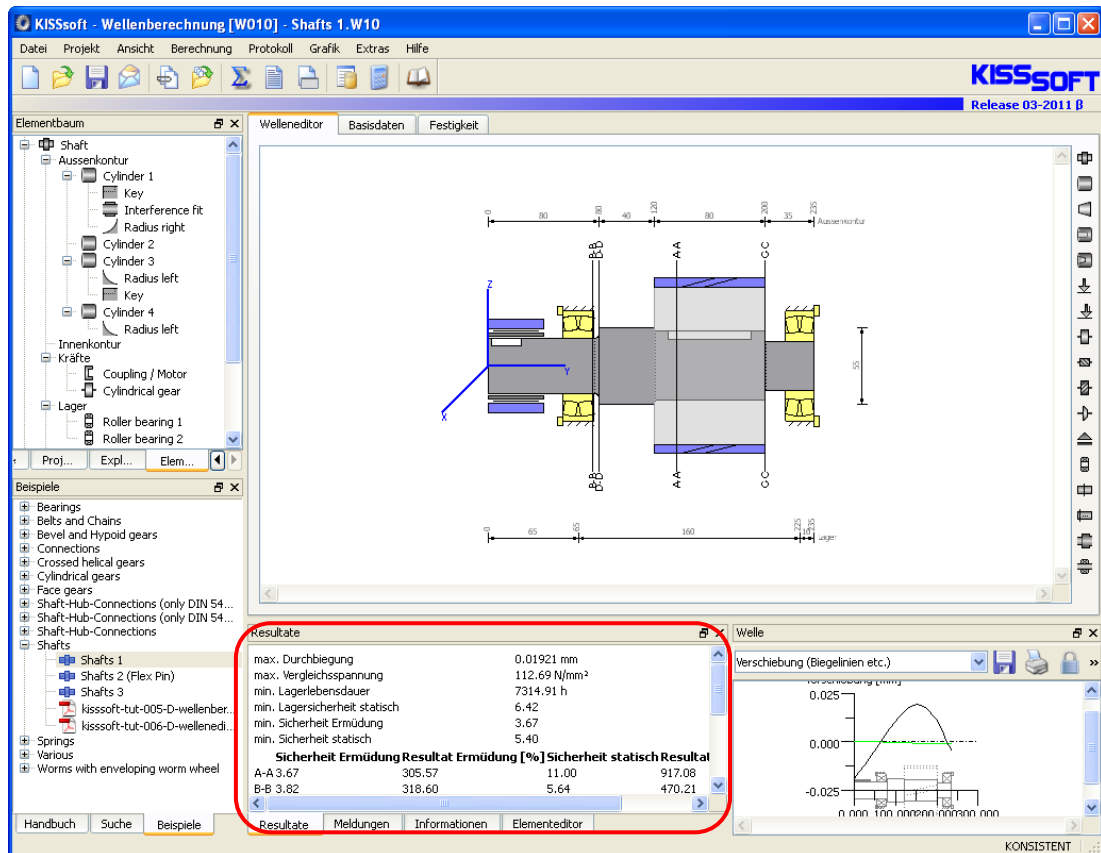




Abbildung 2.3 Geöffnete Wellenberechnung

Das Erstellen eines Wellenmodells mit Hilfe der grafischen Welleneingabe wird im KISSsoft-Tutorial Nr. 006 separat beschrieben.

Beim Öffnen der Wellendatei erfolgt eine erste Berechnung gemäss den getroffenen Einstellungen. Nach erfolgter Wellendefinition können Sie mittels  in der Menüleiste (oder F5-Buttons) alle wellenrelevanten Grössen berechnen lassen. Die Resultate stehen Ihnen dann in grafischer und tabellarischer Form zur Verfügung.

2.2 Resultate

Im Tab Resultate sind alle wichtigen Ergebnisse aufgelistet. Dieses Fenster kann über das Symbol in der rechten oberen Ecke  herausgelöst und entsprechend vergrössert werden.

Resultate					
max. Durchbiegung					0.01921 mm
max. Vergleichsspannung					112.69 N/mm ²
min. Lagerlebensdauer					7314.91 h
min. Lagersicherheit statisch					6.42
min. Sicherheit Ermüdung					3.67
min. Sicherheit statisch					5.40
	Sicherheit Ermüdung	Resultat Ermüdung [%]	Sicherheit statisch	Resultat statisch [%]	
A-A	3.67	305.57	11.00	917.08	
B-B	3.82	318.60	5.64	470.21	
C-C	3.98	331.45	13.80	1150.15	
D-D	4.12	343.58	5.40	449.90	
Lagerlebensdauern		S0	Lnh	Lnmh	
Roller bearing 1		6.42	7283 h	7315 h	
Roller bearing 2		9.74	24565 h	45444 h	
Lagerreaktionskraft	Komponente	X	Y	Z	R
Roller bearing 1	F	-3.088 kN	3.264 kN	4.968 kN	5.850 kN
	M	0.000 Nm	0.000 Nm	0.000 Nm	0.000 Nm
Roller bearing 2	F	-1.501 kN	0.000 kN	7.242 kN	7.396 kN
	M	0.000 Nm	0.000 Nm	0.000 Nm	0.000 Nm

Abbildung 2.4 Vergrösserte Darstellung der Resultate

2.3 Deformationsberechnung

Im Tab „Basisdaten“ Bereich ‚Festigkeit‘ über die ‚Dropdownliste‘ ist anzugeben, auf welche Art die auf der Welle modellierten Zahnräder in der Berechnung zu berücksichtigen sind:

- Masse und Steifigkeit der Zahnräder auf der Welle vernachlässigen
- nur als Masse berücksichtigen (das Zahnrad sitzt lose auf der Welle und überträgt neben den Antriebskräften auch sein Gewicht auf die Welle, versteift diese aber nicht)
- als Masse und als Steifigkeit berücksichtigen (das Zahnrad ist ausserdem fest mit der Welle verbunden und bildet mit dieser eine Einheit)

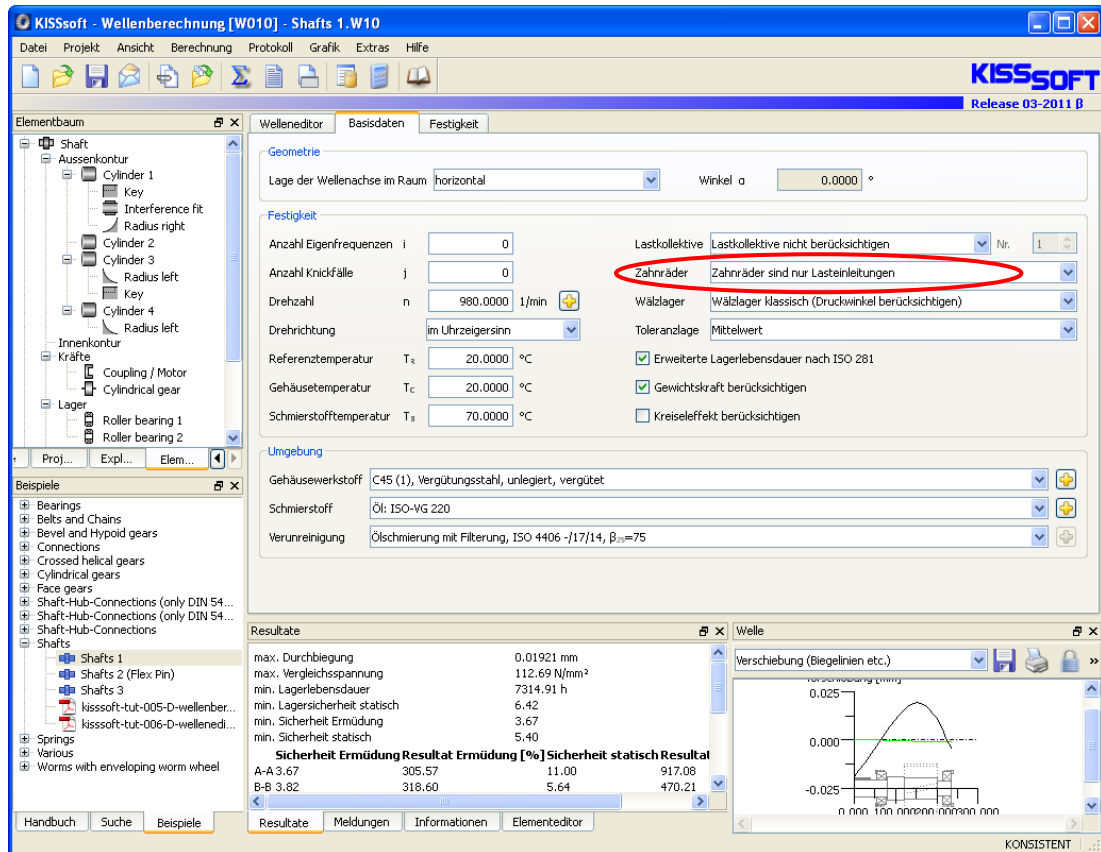



Abbildung 2.5 Art der Berücksichtigung der Zahnräder

Nach dieser Auswahl kann die Berechnung über „**Berechnen**“ durch Drücken auf  in der Menüleiste oder der Taste „F5“ ausgeführt werden. Die grafische Darstellung der Durchbiegung erhalten Sie wahlweise über das Menü „**Grafik**“ → „**Welle**“ → „**Verschiebung (Biegelinie etc.)**“ oder durch Auswahl der Option „**Verschiebung (Biegelinien etc.)**“ in der Dropdownliste des Dockfensters Welle.

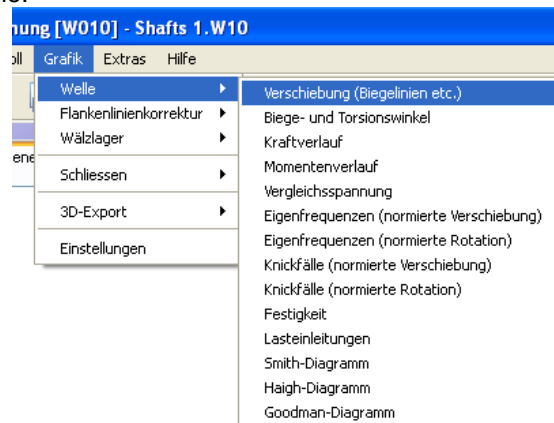


Abbildung 2.6 Möglichkeiten für die Grafikanzeige bei der Wellenberechnung

Beachten Sie, dass sich in der Benutzeroberfläche unten rechts bereits ein geöffnetes Grafikenfenster befindet. Mit Anwahl „**Verschiebung (Biegelinie etc.)**“ wird die Biegelinie angezeigt.

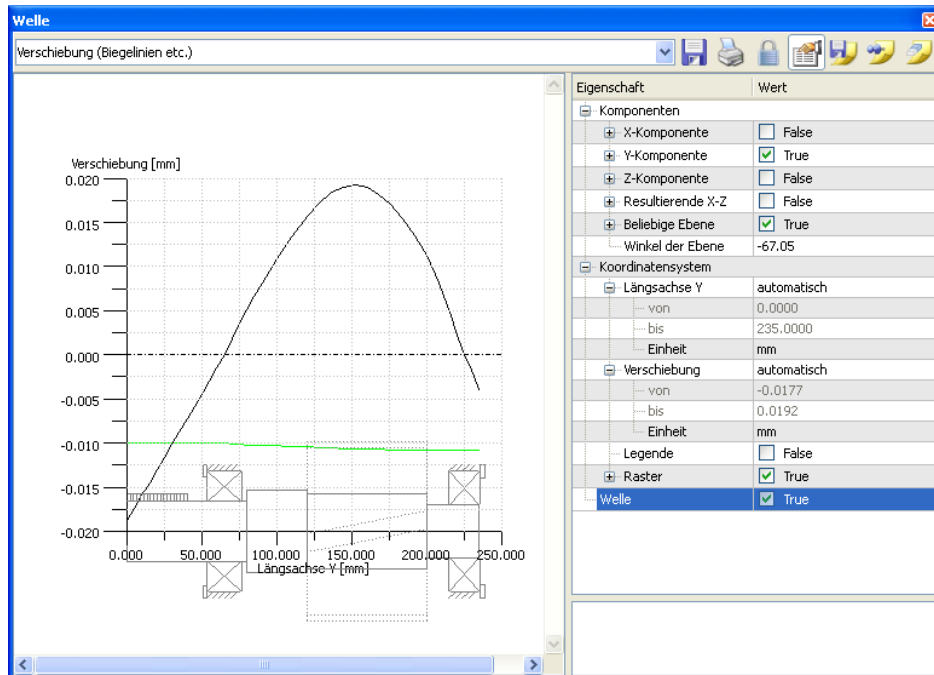


Abbildung 2.7 Auswahl Option Verschiebung und entsprechende Anzeige

Die maximale Durchbiegung im Resultatefenster, infolge der Schrägverzahnung und damit verbundenen Momenten um die x- und z-Achse, ergeben eine Verkippung, sodass die max. Verschiebung in Ebene $\alpha=-67,05^\circ$ $u_{x'}=19,2 \mu\text{m}$ beträgt. Es ist der grösste Wert aus allen möglichen Ebenen.

Alternativ erhalten Sie über „Protokoll“→ „Biegelinie“ eine Liste der berechneten Größen.

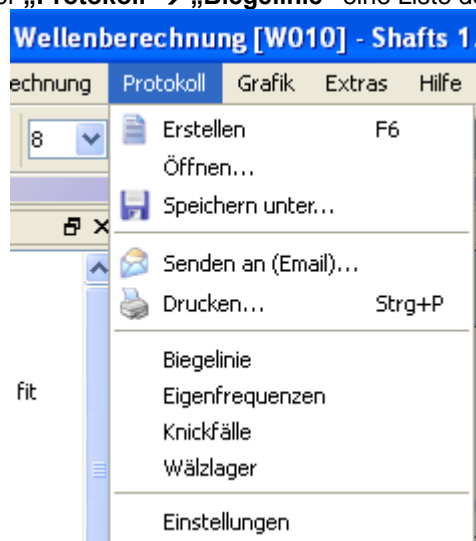



Abbildung 2.8 Aufruf Protokoll zur Biegelinie

2.4 Eigenmoden bestimmen

Es sollen in diesem Beispiel die Eigenmoden der ersten drei kritischen Frequenzen bestimmt werden. Wiederum ist im Tab „Basisdaten“ zuerst zu wählen in welcher Art die Zahnräder zu berücksichtigen sind (hier nur als Massen, konservative Annahme). Nach Angabe der Anzahl der zu errechnenden Eigenfrequenzen (drei) wird die Berechnung über „Berechnen“  ausgeführt. (Weitere Informationen zur Berechnung können mit „F1“ aufgerufen werden.)

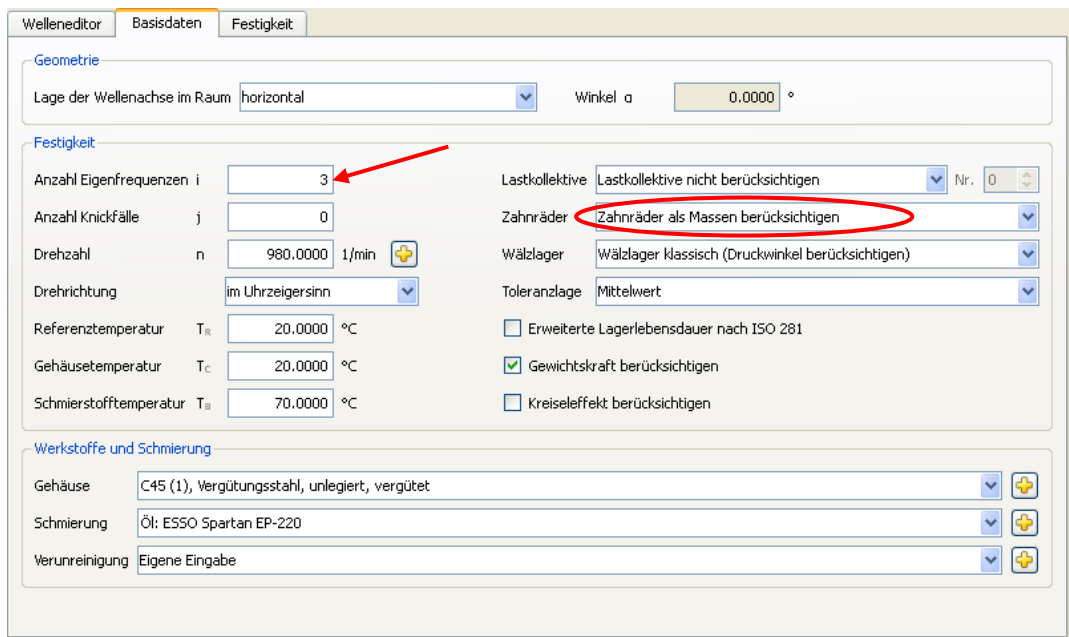


Abbildung 2.9 Eingabe Anzahl der Eigenfrequenzen

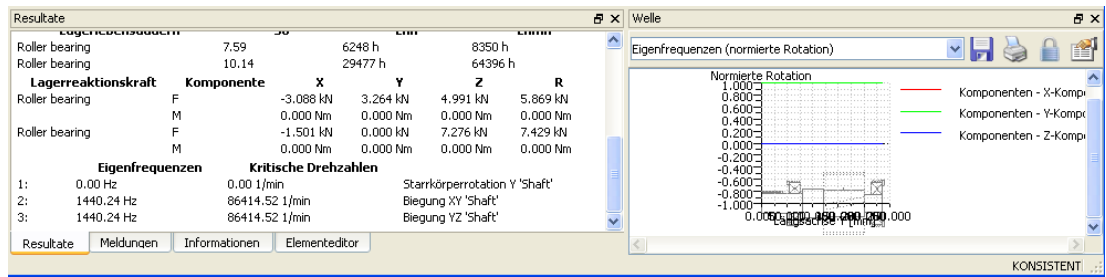


Abbildung 2.10 Ergebnis für die Berechnung der Drehzahlen

Im Resultatfenster werden die ersten 3 resultierenden Eigenmoden mit ihren Frequenzen berechnet. Um welche Art der Eigenmode es sich handelt wird entsprechend ausgewiesen. Bei der ersten Eigenform handelt es sich um die Starrkörperrotation bei 0Hz. Über den „Property Browser“ können verschiedenen Einstellungen vorgenommen werden. Es ist möglich auszuwählen, welche Eigenform dargestellt werden soll und für welchen Winkel (Torsion) bzw. welche Ebene (Biegung) die Anzeige erfolgen soll:

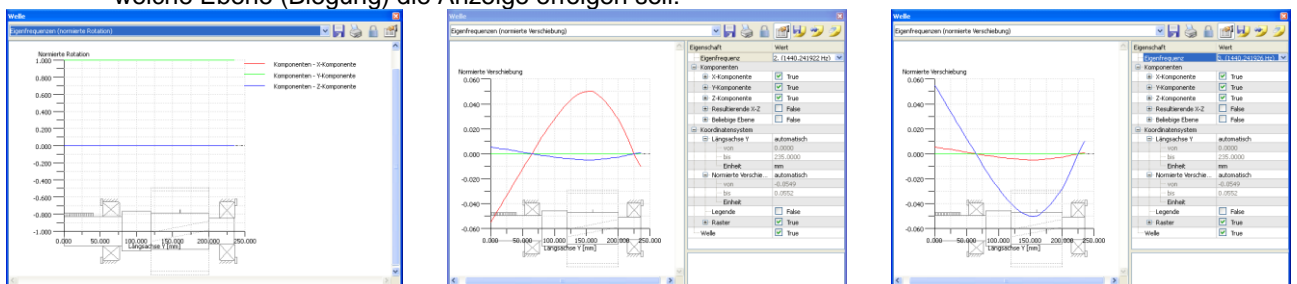


Abbildung 2.11 Die 3 resultierenden Eigenmoden

2.5 Wellenfestigkeit berechnen

Im Tab „Festigkeit“ (siehe Abbildung 2.12) werden die Einstellungen zur Festigkeitsrechnung festgelegt. Es stehen in KISSsoft zurzeit drei Methoden für die Festigkeitsberechnung zur Verfügung: nach Hänchen und Decker, DIN 743 sowie der FKM Richtlinie. Es soll in diesem Beispiel nach der DIN 743 gearbeitet werden.

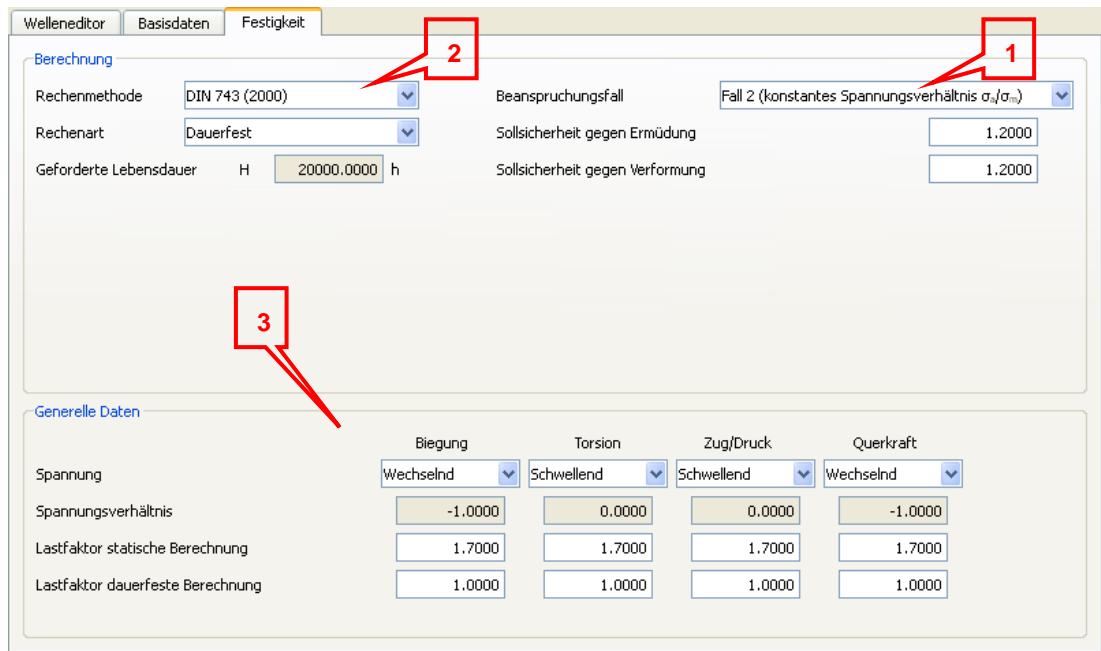


Abbildung 2.12 Bedienelemente in der Festigkeitsberechnung

- (1) Beanspruchungsfall
- (2) Auswahl der Rechenmethode/-Art
- (3) Generelle Daten

Die Festlegung der nachzuweisenden Querschnitte erfolgt durch Anwahl „**Querschnitte**“ mit rechter Maustaste im „**Elementbaum**“. Diese Querschnitte können durch die Software automatisch bestimmt werden, in Abhängigkeit von der Geometrie (Kerbstellen, Presssitze etc.) oder frei festgelegt werden.

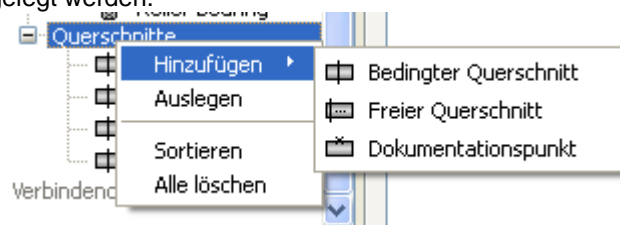


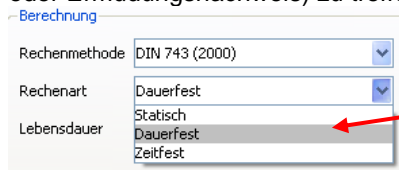
Abbildung 2.13 Aufruf der nachzuweisenden Querschnitte - automatische Auslegung

2.5.1 Daten zur Rechenmethode

Die Voreinstellungen können für dieses Beispiel übernommen werden.

2.5.2 Generelle Daten

Hier sind Angaben zur Art der Belastung sowie zum gewünschten Nachweis (nur statischer oder Ermüdungsnachweis) zu treffen.



Auswahl des Ermüdungsnachweises, hier wird ein Nachweis auf Dauerfestigkeit gewählt

Abbildung 2.14 Tab „Festigkeit“, Bereich: ‚Berechnung‘ - Angaben zum Nachweis

Art der Belastung: Umlaufbiegung, schwellendes Torsionsmoment (ergibt über den Schrägungswinkel des Zahnrades eine schwellige Zug-Druck-Belastung)	Lastfaktoren für den statischen Nachweis
Generelle Daten	
	Biegung Torsion Zug/Druck Querkraft
Spannung	Wechselnd Schwelend Schwelend Wechselnd
Spannungsverhältnis	-1.0000 0.0000 0.0000 -1.0000
Maximallastfaktor	1.7000 1.7000 1.7000 1.7000

Abbildung 2.15 Tab „Festigkeit“, Bereich: ‚Generelle Daten‘ - Angaben zur Belastungsart

Bei Wellen, die nicht mit der gleichen Frequenz auf Biegung wie auf Torsion belastet werden (z.B. schnell drehende Antriebswelle mit Ritzel, deren Antrieb gelegentlich ein- und ausgeschaltet wird), ist zu entscheiden, ob mit einer konstanten Belastung (hier für die Torsion) oder mit einer schwelenden Belastung gerechnet wird. Sicherheitshalber können beide Berechnungen durchgeführt und die kleinere Sicherheit als massgebend betrachtet werden.

2.5.3 Angaben zum Werkstoff

Im Tab „Basisdaten“ der Wellenberechnung, siehe Abbildung 2.9, ist der Gehäusewerkstoff definiert. Der Werkstoff, aus dem die Welle bestehen soll, wird bereits bei der Eingabe der Welle definiert. Mit Anwahl der Welle im Elementeditor können die Eingaben verändert werden.

Abbildung 2.16 Wellenwerkstoff

Für die Festigkeitsrechnung sind jedoch weitere Angaben notwendig, um Einflussfaktoren (z.B. technologischer Grösseneinfluss) zu bestimmen.

Abbildung 2.17 Werkstoffdetails

Zur Bestimmung des technologischen Grösseneinflussfaktors $K_{1,deff}$ können Sie hier aus zwei Optionen wählen:

- **Vorgedreht auf Ist-Durchmesser:** Der Rohdurchmesser hat keinen Einfluss auf den technologischen Grösseneinflussfaktor. Die Grösse $K_{1,def}$ wird für jeden Querschnitt basierend auf dem für den Querschnitt gültigen Durchmesser neu berechnet.
- **Rohdurchmesser:** $K_{1,def}$ wird einmal aus dem Rohdurchmesser bestimmt und für alle Querschnitte verwendet.

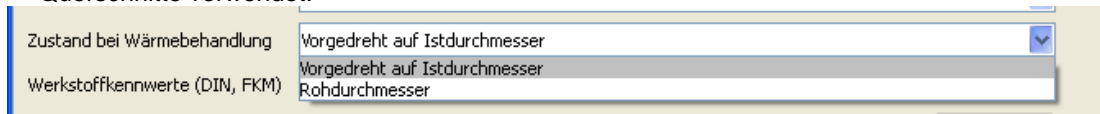


Abbildung 2.18 Erweiterte Angaben zum Werkstoff – Wärmebehandlung

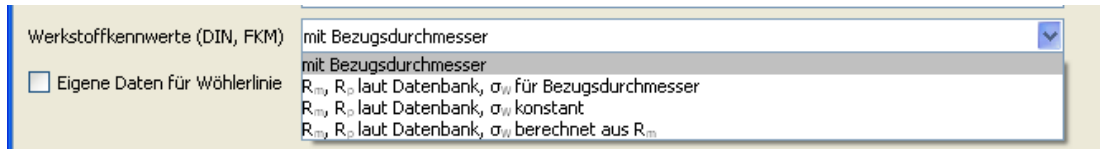


Abbildung 2.19 Erweiterte Angaben zum Werkstoff – wie KISSsoft die festigkeitsrelevanten Werkstoffkenngrössen ermitteln soll

- **mit Bezugsdurchmesser:** Werte aus Datenbank (bei Bezugsdurchmesser) übernommen und mit K_1 beaufschlagt
- **R_p , R_m laut Datenbank, σ_w für Bezugsdurchmesser:** Die Grössen R_p und R_m werden grössenabhängig (ohne K_1), die Wechselfestigkeit σ_w für den in der Datenbank angegebenen Bezugsdurchmesser ermittelt und mit K_1 beaufschlagt.
- **R_p , R_m laut Datenbank, σ_w konstant:** Die Grössen R_p und R_m werden grössenabhängig, die Wechselfestigkeit σ_w ohne Einfluss des geometrischen Grössenfaktors aus der Datenbank entnommen. Der Grössenfaktor K_1 wird hier nicht berücksichtigt.
- **R_p , R_m laut Datenbank, σ_w berechnet aus R_m :** Die Grössen R_p und R_m werden grössenabhängig der Datenbank entnommen, σ_w wird hier aus der Streckgrenze R_m gemäss Norm ermittelt. Setzen eines Hakens in die Checkbox „Eigene Daten für Wöhlerlinie“ ermöglicht die Definition einer eigenen Wöhlerlinie.

Die Definition der Oberflächenrauigkeit zur Bestimmung des Einflussfaktors für die Oberflächenrauigkeit wurde bereits in der grafischen Definition der Welle vorgenommen, siehe dazu das separate Tutorial Nr. 006.

2.5.4 Auswahl der nachzuweisenden Querschnitte

Es können in einer Berechnung maximal 20 Querschnitte nachgewiesen werden. Es werden diejenigen Querschnitte nachgewiesen, die im Elementbaum aufgeführt bzw. im Welleneditor zu sehen sind.

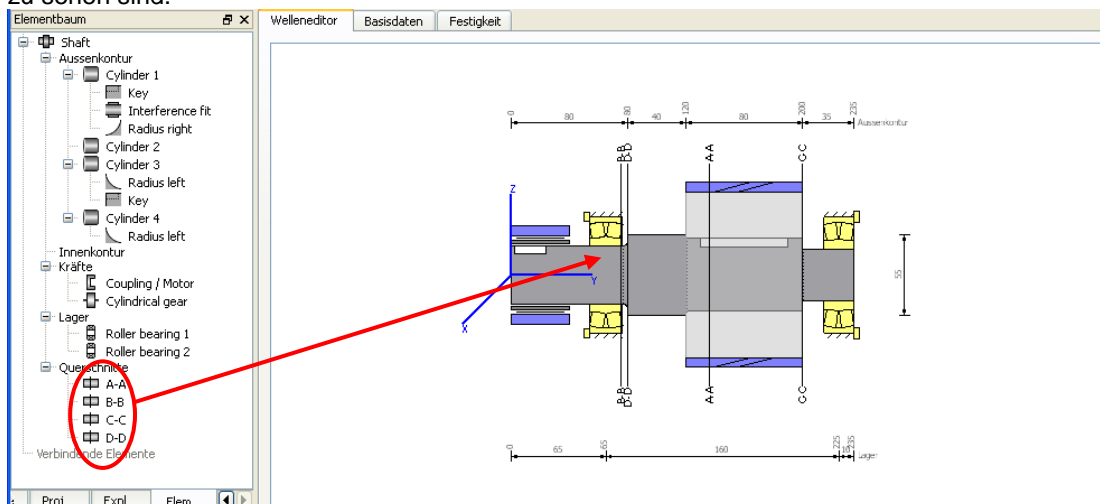


Abbildung 2.20 Nachzuweisende Querschnitte

Zu jedem Querschnitt muss die Position (y-Koordinate) sowie die Kerbe bestimmt sein. KISSsoft kann dann die nachzuweisenden Querschnitte automatisch auswählen (über die Vergleichsspannung und den Kerbfaktor). Dazu durch Anwahl „**Querschnitte**“ mit rechter

Maustaste im „Elementbaum“ und Operation „Auslegen“ anwählen (siehe Abbildung 2.13). Es werden dann die kritischen Querschnitte von KISSsoft automatisch gefunden. Es können zwei Arten von Querschnitten hinzugefügt und berechnet werden. Beim bedingten Querschnitt ist der Kerbfaktor an die eingegebene Geometrie gebunden. Der freie Querschnitt ist unabhängig von der eingegebenen Geometrie. Der Kerbfaktor kann in diesem Fall frei gewählt werden.

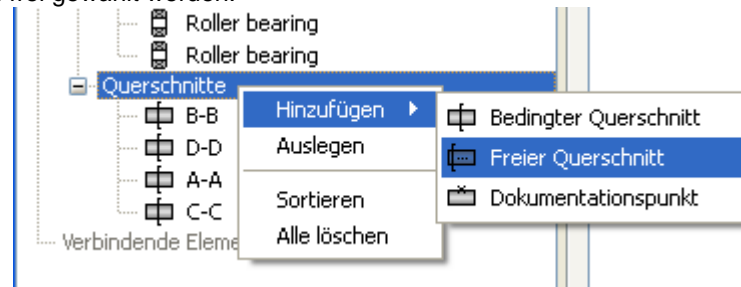


Abbildung 2.21 Zufügen eines weiteren Querschnitts

- Die y-Position kann für beide Arten frei eingeben (hier 85mm)
- Angaben zur Kerbe vervollständigen (siehe Abbildung 2.23), mit „Ok“ bestätigen (hier: Querbohrung mit 5mm Durchmesser)
- Über „Grafik“ kann die Position des neuen Querschnittes betrachtet werden (der Querschnitt kann auch mit der Maus verschoben werden), siehe Abbildung 2.22

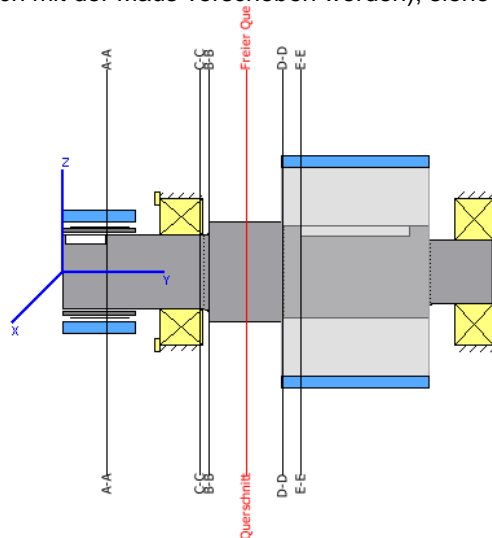


Abbildung 2.22 Grafik mit Querschnitten sowie Vergleichsspannung (aktiver Querschnitt: rot)

Elementeditor

Position y 100.0000 mm

Kerbwirkung: Querbohrung

Durchmesser der Welle d_s 55.0000 mm

Durchmesser der Bohrung d 0.0000 mm

Durchmesser der Querbohrung d 5.0000 mm

Oberflächenrauigkeit: N7 Rz=8.0 (Drehen mit Diamant)

Kerbfaktor	Dauerfest			Querkraft
	Biegung β	Torsion	Zug/Druck	
	2.2008	1.6397	2.8062	1.3067

Oberflächenverfestigung	Dauerfest			Querkraft
	Biegung K_v	Torsion	Zug/Druck	
	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000


	Dauerfest		Statisch	
	Mittelwert	Amplitude		
Biegemoment M_b	0.0000	204.3124	347.3310	Nm
Drehmoment M_T	365.4068	365.4068	1242.3830	Nm
Zug-/Druckkraft F	-1631.8408	1631.8408	-5548.2586	N
Querkraft Q	0.0000	5840.0653	9928.1110	N

Labels in image:

- Kerbtyp wählen
- Kerbgeometrie definieren
- Kerbfaktoren anzeigen lassen
- Belastung im Querschnitt (zur Information, kann aber auch beeinflusst werden)

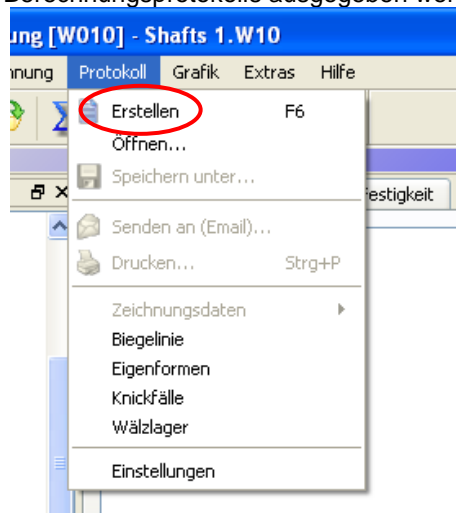
Abbildung 2.23 Definition der Kerbe am Querschnitt FF

2.5.5 Berechnung und Resultate

Sind alle nachzuweisenden Querschnitte definiert, so wird über „Berechnen“  die Festigkeitsberechnung ausgeführt und die resultierenden Sicherheiten im unteren Teil des Fensters angezeigt. Gemäss DIN 743 ist die minimal zulässige Sicherheit 1.20, dieser Wert deckt aber nur die Unsicherheit des Verfahrens ab und ist je nach möglicher Schadensfolge und Güte der Lastannahmen zu erhöhen.

2.6 Protokolle

Im Hauptfenster der Wellenberechnung wird unter „**Protokoll**“ → **„Erstellen“** ein komplettes Berechnungsprotokoll ausgegeben. Zusätzliche Informationen zu einzelnen Berechnungen können durch Anwahl des Berechnungsprotokolls ausgegeben werden:



3 Weiterführende Berechnungen

3.1 Weitere Berechnungen

- Torsionskritische Drehzahlen: siehe Kapitel 2.4 Eigenmoden bestimmen
- Knicklast: bestimmen der Knicklast (axialer Druck) oder notwendiger Lastüberhöhungsfaktor
- Berechnung der Flankenlinienkorrektur: Die Berechnung liefert einen Vorschlag für die zu schleifende Breitenballigkeit, um die Durchbiegung/Torsion einer z.B. Ritzelwelle zu kompensieren
- Berechnung mit Lastkollektiven: Es können Zeitfestigkeitsrechnungen nach verschiedenen Modifikationen der Miner-Regel (elementar, erweitert, konsequent) unter Verwendung von Lastkollektiven durchgeführt werden
- Berechnung von Wälz- und Gleitlagern, siehe Kapitel 3.2
- Berechnung mehrere Wellen

3.2 Kombination mit Wälzlagerberechnung

Die Berechnung der Wälz- und Gleitlager die auf der Welle modelliert sind, ist ebenfalls in der KISSsoft-Wellenberechnung auf benutzerfreundliche Art integriert. Die Lagerbelastungen werden dabei automatisch aufgrund der äusseren Belastungen auf die Welle bestimmt und stehen damit für eine Lebensdauerberechnung zur Verfügung (siehe dazu Tutorial 007).