

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 von KISSsoft als Test- oder lizenzierte Version wird KISSsoft wie folgt aufgerufen. Der Programmstart erfolgt über „Start/Programme/KISSsoft 08-2009/KISSsoft“. Es erscheint die folgende KISSsoft Benutzeroberfläche:

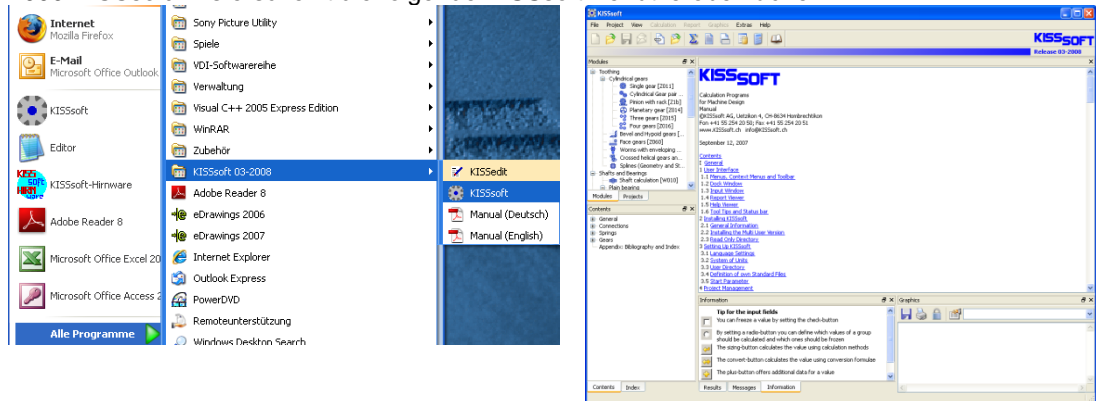


Abbildung 1.1 Starten von KISSsoft, Startfenster.

#### 1.2 Auswahl der Berechnung

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



Abbildung 1.2 Auswahl Berechnungsmodul „Wellenberechnung“.

## 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

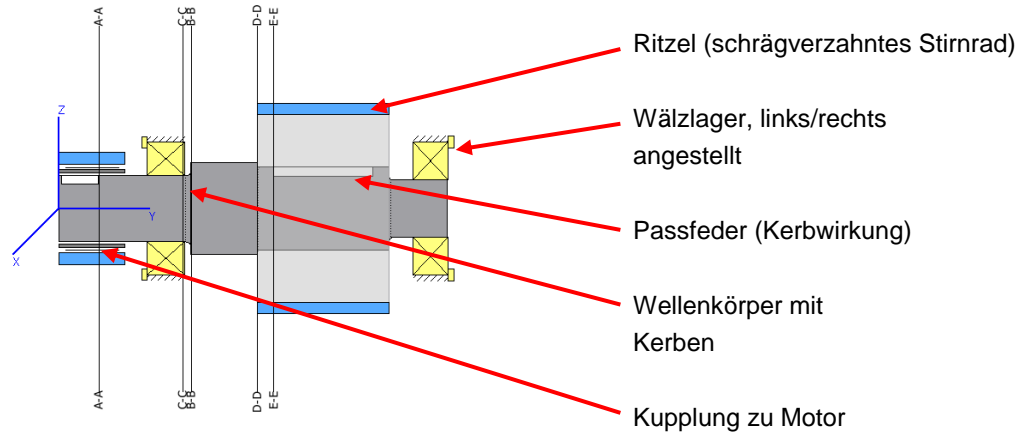


Abbildung 2.1 Untersuchte Ritzelwelle.

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 in KISSsoft enthalten, sie kann über „Datei → Öffnen“ und Auswahl von „Shafts 1.W10“ und bestätigen mit „Ok“ geöffnet werden.

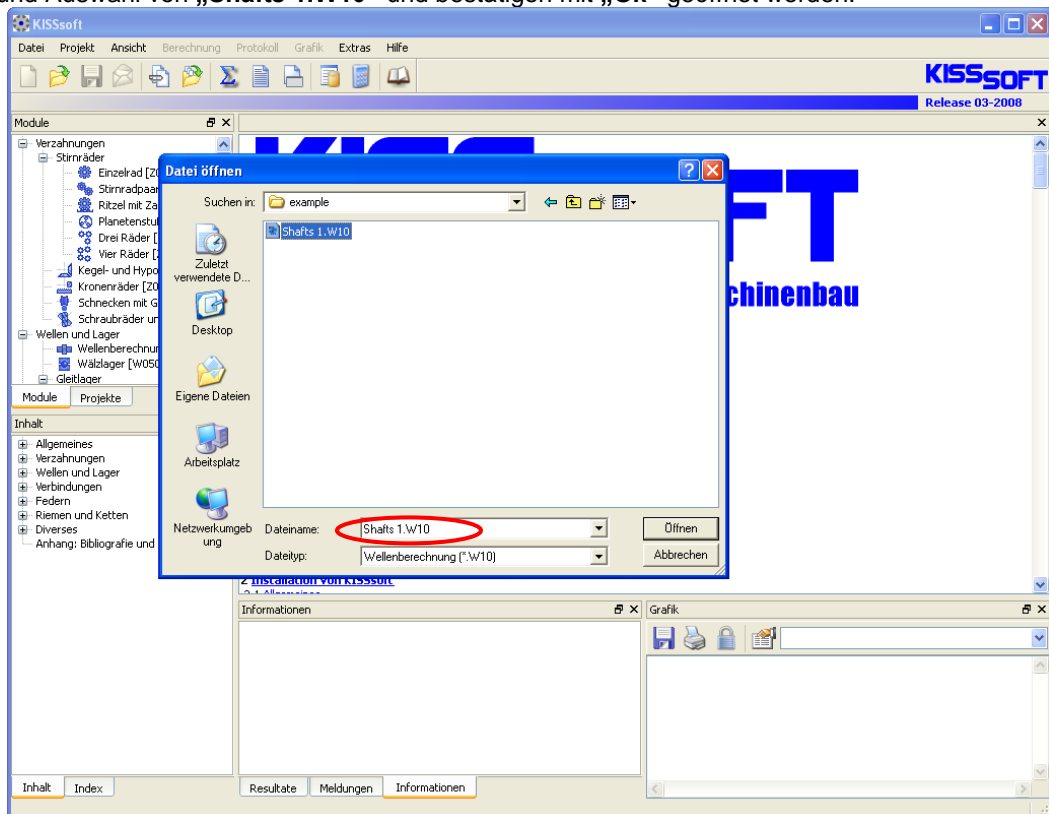


Abbildung 2.2 Öffnen der Beispielberechnung.

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

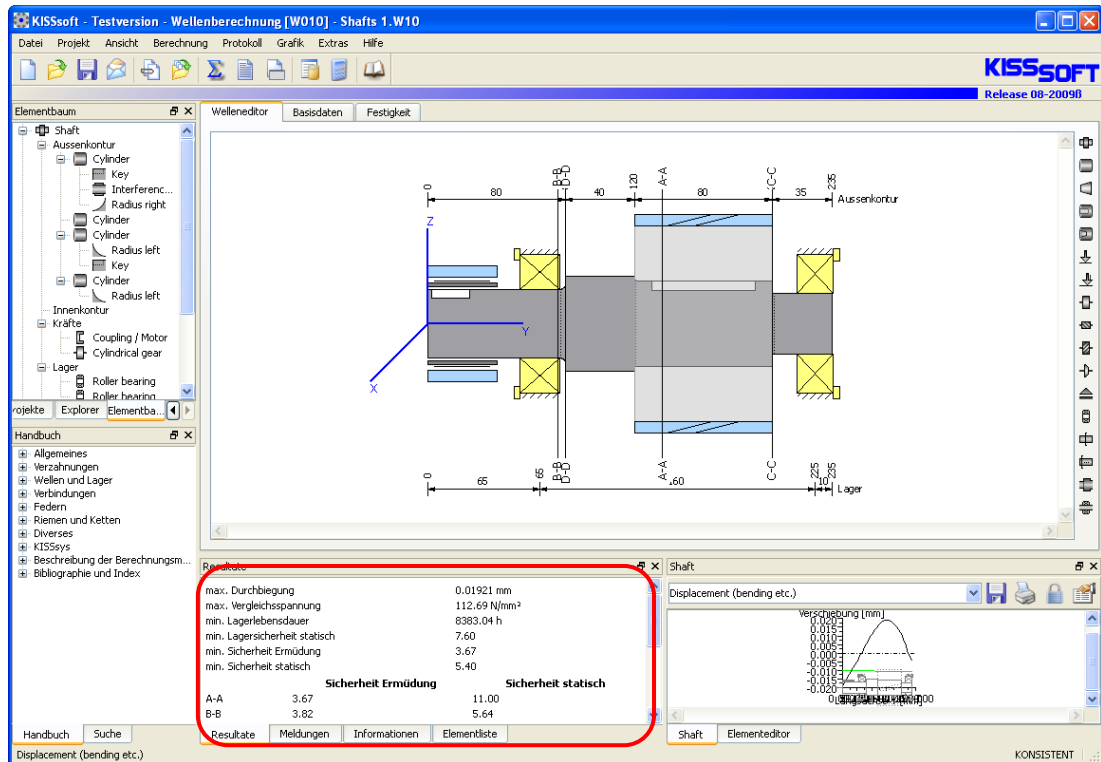




Abbildung 2.3 Geöffnete Wellenberechnung.

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.

Lagerlebensdauern		S0	Lnh	Lnmh		
Roller bearing	7.60	6266 h	8383 h			
Roller bearing	10.18	29923 h	65804 h			
Lagerreaktionskraft		Komponente	X	Y	Z	R
Roller bearing	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	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

Sicherheit Ermüdung		Sicherheit statisch	
A-A	3.67	11.00	
B-B	3.82	5.64	
C-C	3.98	13.80	
D-D	4.12	5.40	

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)

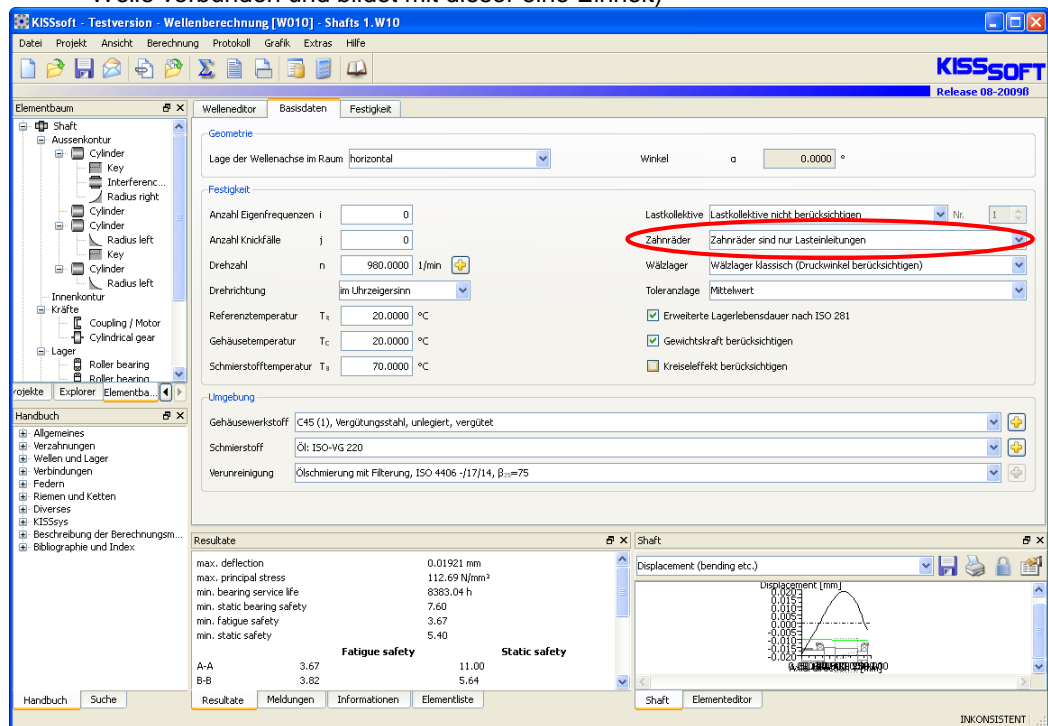



Abbildung 2.5 Art der Berücksichtigung der Zahnräder.

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.

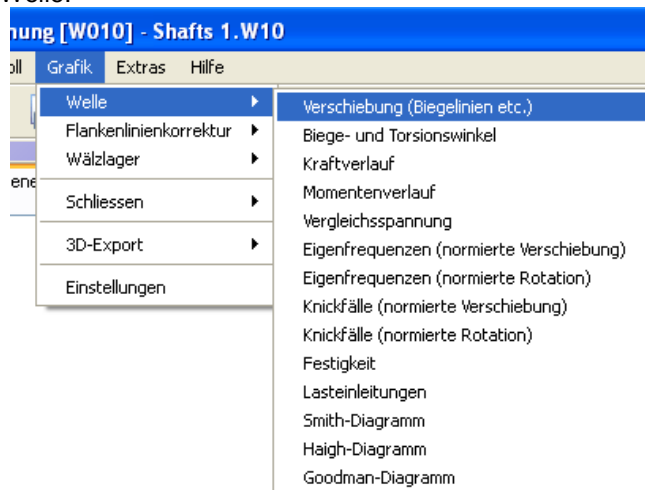


Abbildung 2.6 Möglichkeiten für die Grafikanzeige bei der Wellenberechnung.

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

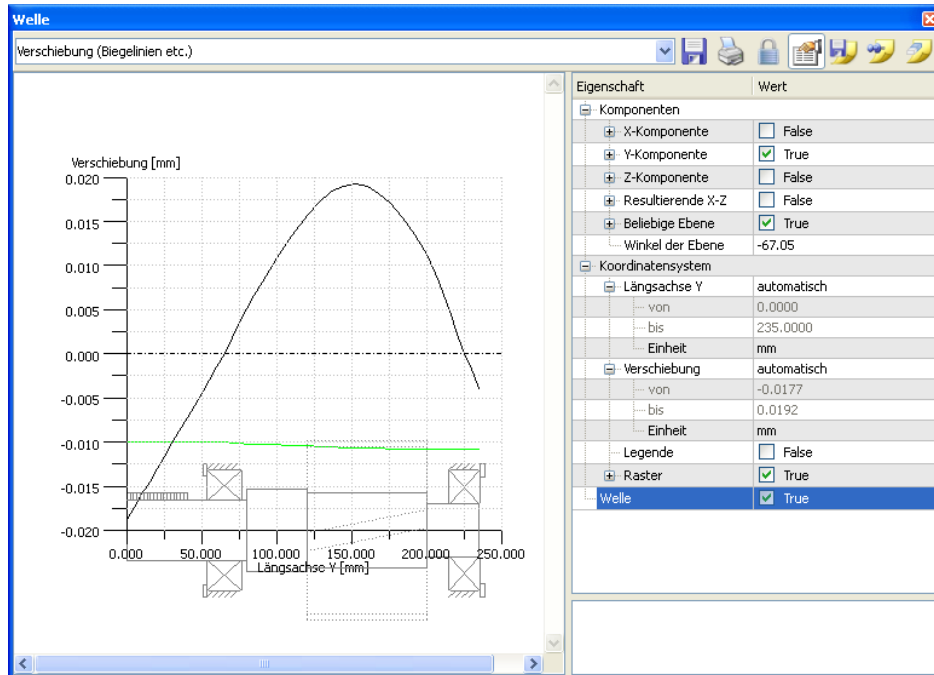


Abbildung 2.7 Auswahl Option Verschiebung und entsprechende Anzeige.

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.

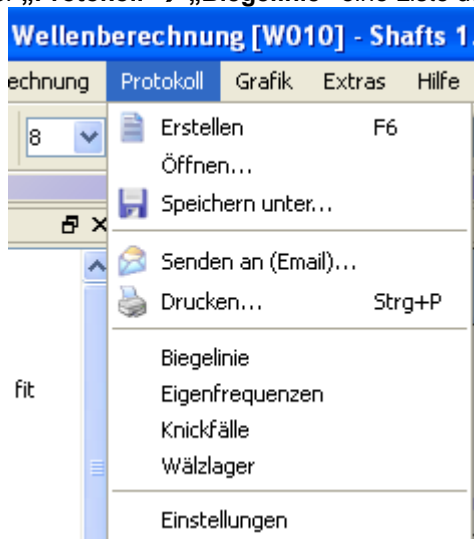



Abbildung 2.8 Aufruf Protokoll zur Biegelinie.

## 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.)

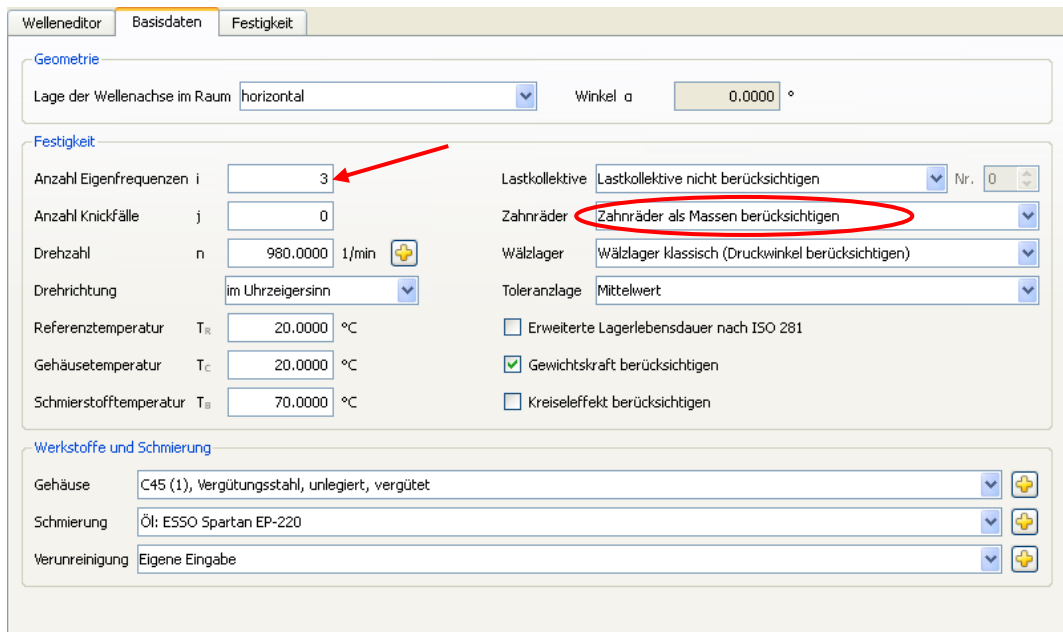


Abbildung 2.9 Eingabe Anzahl der Eigenfrequenzen.

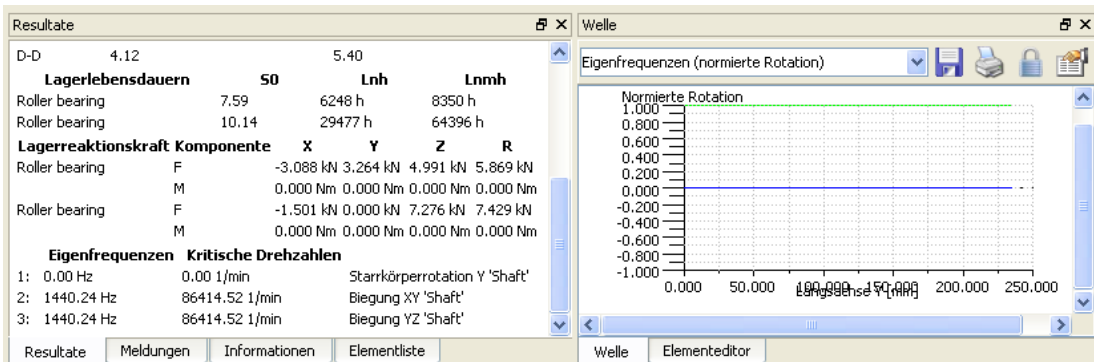


Abbildung 2.10 Ergebnis für die Berechnung der Drehzahlen.

Im Resultatefenster 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 Starkkörperrotation 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:

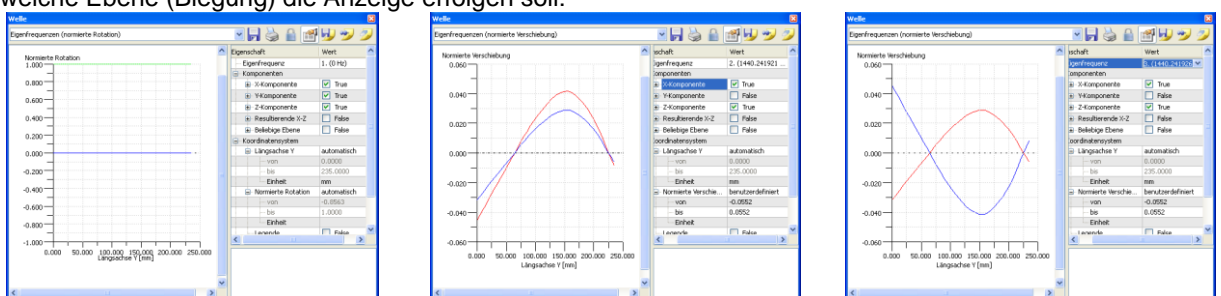


Abbildung 2.11 Die 3 resultierenden Eigenmoden.

## 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.

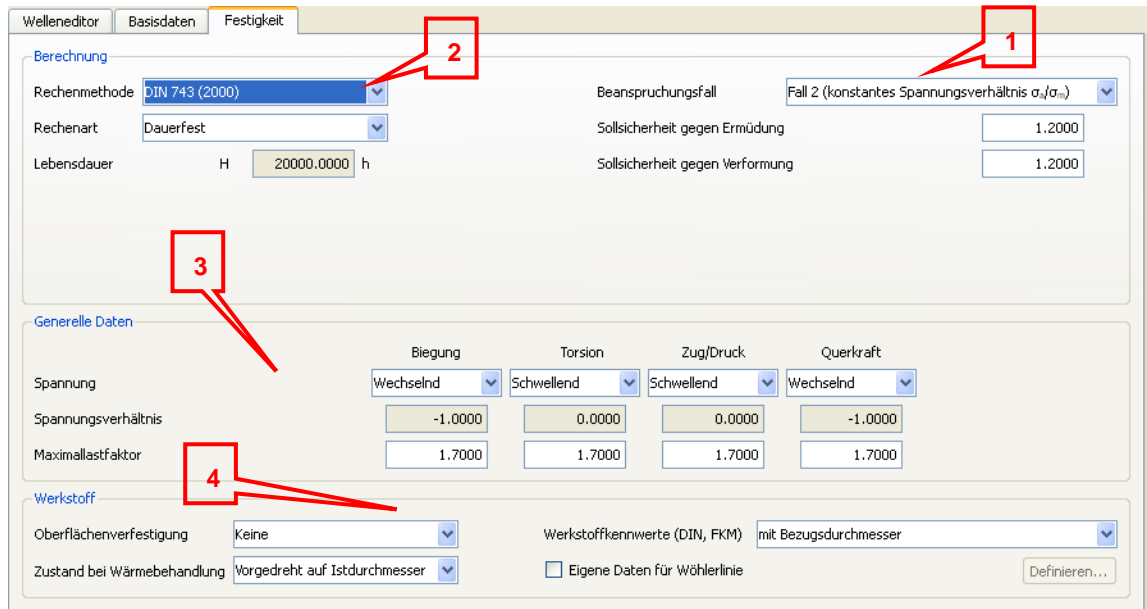


Abbildung 2.12 Bedienelemente in der Festigkeitsberechnung.

- (1) Beanspruchungsfall
- (2) Auswahl der Rechenmethode/-Art
- (3) Generelle Daten
- (4) Angaben zum Werkstoff

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.

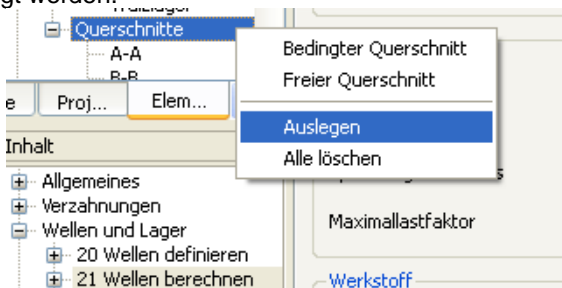


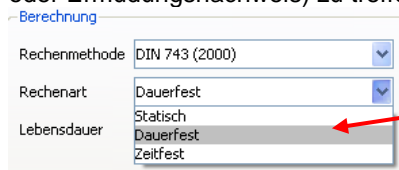
Abbildung 2.13 Aufruf der nachzuweisenden Querschnitte - automatische Auslegung.

## 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
<b>Generelle Daten</b>	
	Biegung      Torsion      Zug/Druck      Querkraft
Spannung	Wechsellnd      Schwellend      Schwellend      Wechsellnd
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 schwelldenden 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.

<b>Werkstoff</b>			
Oberflächenverfestigung	Keine	Werkstoffkennwerte (DIN, FKM)	mit Bezugsdurchmesser
Zustand bei Wärmebehandlung	Rohdurchmesser	<input type="checkbox"/> Eigene Daten für Wählerlinie	Definieren...

Abbildung 2.17 Tab „Festigkeit“, Bereich: ‚Werkstoff‘.

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  $K_{1,deff}$  wird für jeden Querschnitt basierend auf dem für den Querschnitt gültigen Durchmesser neu berechnet.
- **Rohdurchmesser:**  $K_{1,deff}$  wird einmal aus dem Rohdurchmesser bestimmt und für alle Querschnitte verwendet.

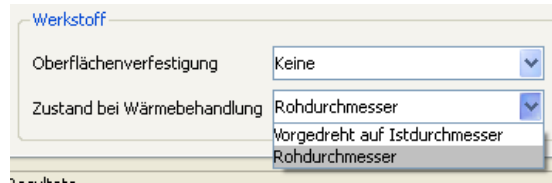


Abbildung 2.18 Erweiterte Angaben zum Werkstoff – Wärmebehandlung.

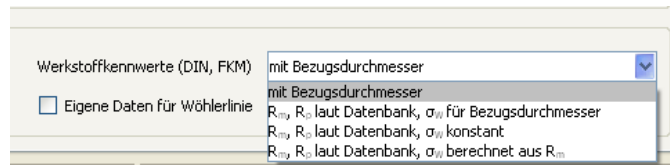


Abbildung 2.19 Erweiterte Angaben zum Werkstoff – wie KISSsoft die festigkeitsrelevanten Werkstoffkenngrößen ermitteln soll.

- **mit Bezugsdurchmesser:** Werte aus Datenbank (bei Bezugsdurchmesser) übernommen und mit  $K_1$  beaufschlagt
- **$R_p$ ,  $R_m$  laut Datenbank,  $\sigma_w$  für Bezugsdurchmesser:** Die Größen  $R_p$  und  $R_m$  werden grössenabhängig (ohne  $K_1$ ), die Wechselfestigkeit  $\sigma_w$  für den in der Datenbank angegebenen Bezugsdurchmesser ermittelt und mit  $K_1$  beaufschlagt.
- **$R_p$ ,  $R_m$  laut Datenbank,  $\sigma_w$  konstant:** Die Größen  $R_p$  und  $R_m$  werden grössenabhängig, die Wechselfestigkeit  $\sigma_w$  ohne Einfluss des geometrischen Grössenfaktors aus der Datenbank entnommen. Der Grössenfaktor  $K_1$  wird hier nicht berücksichtigt.
- **$R_p$ ,  $R_m$  laut Datenbank,  $\sigma_w$  berechnet aus  $R_m$ :** Die Größen  $R_p$  und  $R_m$  werden grössenabhängig der Datenbank entnommen,  $\sigma_w$  wird 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.

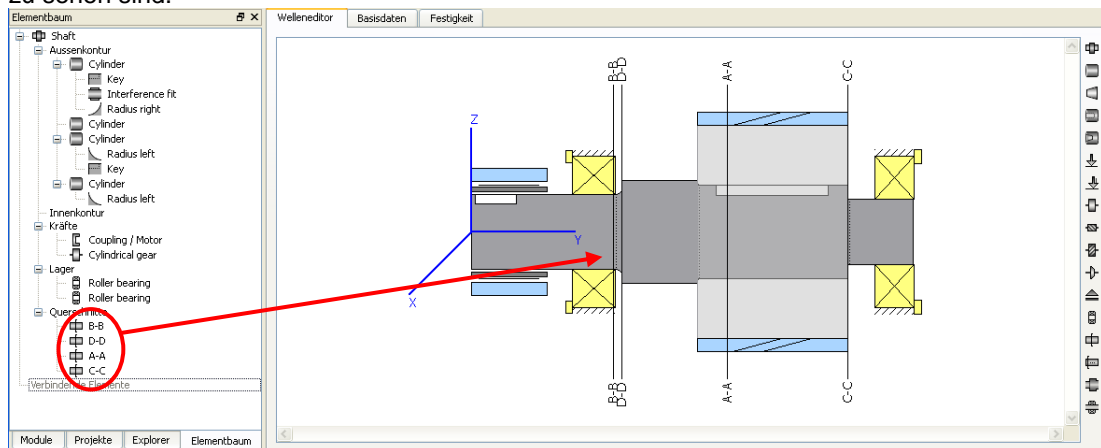


Abbildung 2.20 Nachzuweisende Querschnitte.

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 eingegeben Geometrie. Der Kerbfaktor kann in diesem Fall frei gewählt werden.

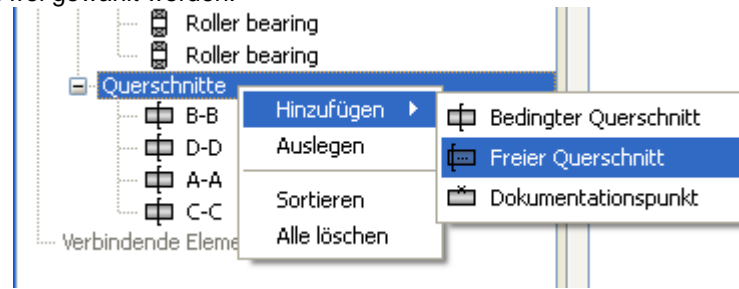


Abbildung 2.21 Zufügen eines weiteren Querschnitts.

- 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

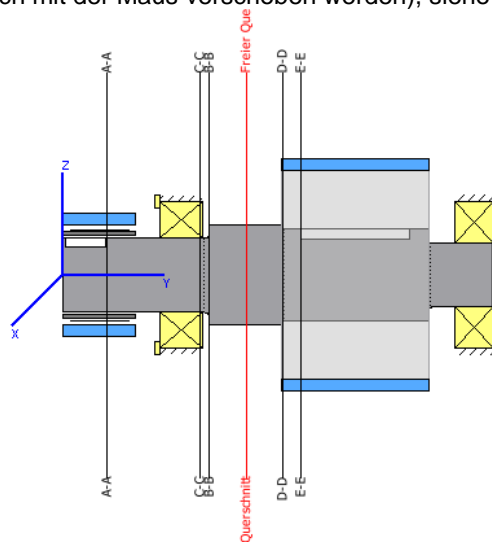



Abbildung 2.22 Grafik mit Querschnitten sowie Vergleichsspannung (aktiver Querschnitt: rot).

	Dauerfest		Statisch		
	Mittelwert	Amplitude	Maximum		
Biegemoment	$M_b$	0.0000	204.3124	347.3310 Nm	<input type="checkbox"/>
Drehmoment	$M_T$	365.4068	365.4068	1242.3830 Nm	<input type="checkbox"/>
Zug-/Druckkraft	F	-1631.8408	1631.8408	-5548.2586 N	<input type="checkbox"/>
Querkraft	Q	0.0000	5840.0653	9928.1110 N	<input type="checkbox"/>

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:

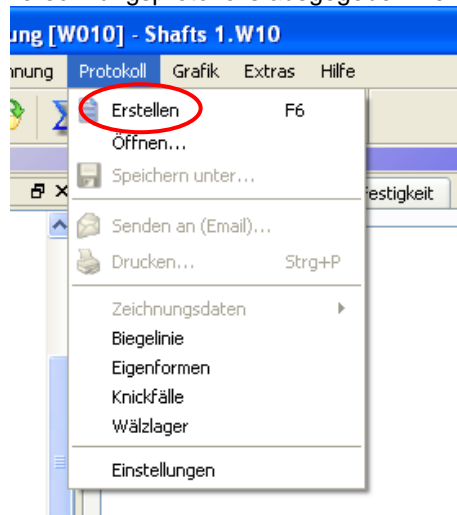


Abbildung 2.24 Auswahl der Protokolle.

# 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).