

## Tutorial Series

# Wellenberechnung - Starter Basics

## Einfache Welle

### Inhaltsverzeichnis

1. Software Version .....	2
2. MESYS Wellenberechnungspaket - Stärken und Möglichkeiten .....	2
3. Software Handbuch .....	2
3.1 Handbuch unter F1 .....	2
3.2 Handbuch als PDF .....	3
4. Welle .....	3
4.1 Beschreibung einer Welle .....	3
4.1.1 Balkenmodell .....	3
4.1.2 Grenzen und Annahmen .....	3
4.1.3 Einstellungen .....	3
4.2 Projekt einer Wellenberechnung .....	3
4.2.1 Basisdaten einer Welle .....	3
4.2.2 Eingabedaten für Welle .....	4
4.2.3 Position im Raum .....	6
5. Belastung .....	7
5.1 Allgemein .....	7
5.2 Kraft-Vektoren .....	7
6. Lager .....	9
6.1 Allgemein .....	9
6.2 Wälzlager .....	9
6.2.1 Aufsetzen eines Wälzlagers .....	9
6.2.2 Wälzlager-Art und -Bezeichnung .....	10
6.2.3 Positionierung von Wälzlager .....	11
6.2.4 Anwendungsbedingungen für Wälzlager .....	12
7. Querschnitte .....	14
7.1 Allgemein .....	14
7.2 Wellenfestigkeit .....	14
8. Schmierung .....	15
9. Schnittstellen .....	16
9.1 Wälzlagerberechnung und Wellenberechnung .....	16
9.2 Geometrie .....	17
9.3 Werkstoff .....	17
9.4 Temperatur .....	17
9.5 Schmierstoff .....	17
10. Berechnungsschritt .....	17
10.1 Starten .....	17
10.2 Resultate .....	18
10.3 Protokoll .....	19
10.3.1 Standard Protokoll .....	19
10.3.2 Protokoll Optionen .....	20
10.3.3 Protokoll Format .....	20
10.3.4 Resultatetabellen .....	20
10.3.5 Toleranzreport .....	21
11. Analyse .....	22
11.1 Unteres Resultate-Fenster .....	22
11.2 Mittleres Resultate-Fenster .....	22
11.3 Grafiken .....	23
11.4 Lastkollektiv .....	23
11.5 Parametervariation .....	24

## 1. Software Version

Dieses Tutorial wurde mit MESYS Wellenberechnung Version 12-2024 vom 07.12.2024 erstellt.

## 2. MESYS Wellenberechnungspaket - Stärken und Möglichkeiten

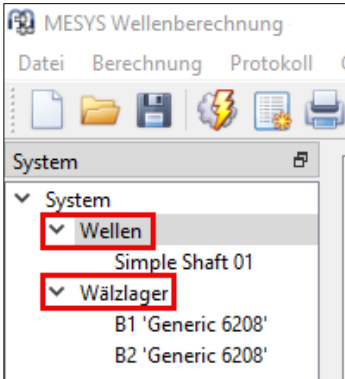


Bild 1

Die Basisversion dieser Software besteht im Wesentlichen aus dem MESYS Wellenberechnungstool mit der Integration der MESYS Wälzlagerberechnung, siehe Beispielbild 1.

Um sich ein Bild von den Möglichkeiten der MESYS Wellenberechnung zu machen, laden wir Sie herzlich ein, die MESYS-Website an der [spezifischen Adresse für Wellenberechnung](#) zu besuchen.

Bitte schauen Sie sich auch die entsprechenden Artikel für Wellen unter [Home/Downloads/Kategorien/Wellen](#) gemäss Bild 2 an:



Bild 2

## 3. Software Handbuch

### 3.1 Handbuch unter F1

Das Software-Handbuch ist über die Benutzeroberfläche abrufbar, indem das Menü „Hilfe“ unter dem Punkt „Handbuch F1“ angewählt wird:

Sie können das Software-Handbuch jederzeit lokal mit positionsspezifischen Inhalten direkt über Ihre Tastatur F1 öffnen.

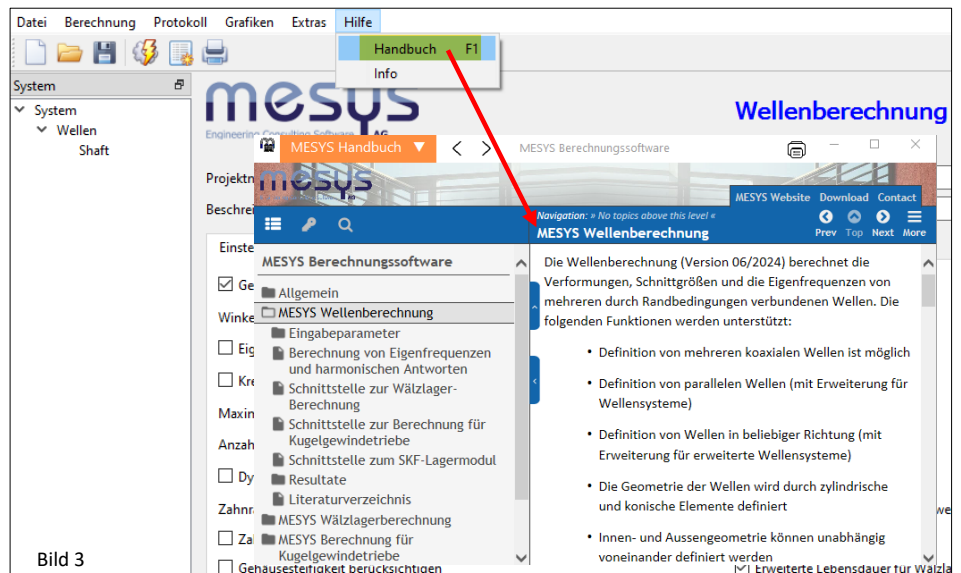
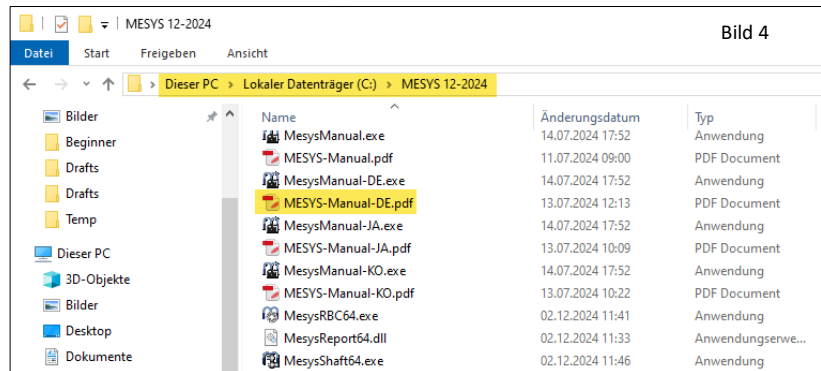


Bild 3

### 3.2 Handbuch als PDF

Das Software-Handbuch finden Sie in den Hauptsprachen auch als PDF-Format im MESYS-Installationsverzeichnis (Abbildung 4).



## 4. Welle

### 4.1 Beschreibung einer Welle

#### 4.1.1 Balkenmodell

Für die Berechnung wird das Timoshenko- Balkenmodell verwendet, welches gegenüber der klassischen Euler-Bernoulli-Theorie durch die Berücksichtigung von Scherverformungen und Rotationsträgheitseffekten realistischere Betrachtung bietet.

#### 4.1.2 Grenzen und Annahmen

Das Timoshenko-Modell ist zwar realistischer, vereinfacht aber dennoch das tatsächliche Verhalten einer Welle. So berücksichtigt es beispielsweise keine 3D-Effekte wie lokale Spannungskonzentrationen oder nichtlineare Materialeigenschaften, was eine komplexere FEM-Analyse erfordern würden.

#### 4.1.3 Einstellungen

Es kann ein nichtlineares Modell der Welle berücksichtigt werden. Das nichtlineare Modell berechnet das Gleichgewicht der Lasten im verformten Zustand. Weiterführende Informationen finden Sie im [Handbuch](#) unter Kap. 2.1.1.2.14.

### 4.2 Projekt einer Wellenberechnung

#### 4.2.1 Basisdaten einer Welle

Eine Welle benötigt in der MESYS-Wellenberechnung für die Entwicklung der Simulation eine Mindestbeschreibung. Lassen Sie uns diesen Prozess gemeinsam sequentiell durchlaufen.

➔ Starten Sie die MESYS Wellenberechnung oder öffnen Sie eine neue Datei über das Symbol „Neu“ oder den Menüpunkt „Datei“ und wählen Sie „Neu“:



Bild 5

MESYS stellt standardmässig einen Platzhalter für eine Welle im 'System'-Baum unter 'Wellen' zur Verfügung. Diese Welle ('Shaft') kann nun im Hauptfenster weiter definiert werden.

Das Projekt für die Wellenberechnung kann unter 'System' mit einem Namen und einer Beschreibung versehen werden.

➔ Vergeben Sie dem Projekt einen Beispielnamen.

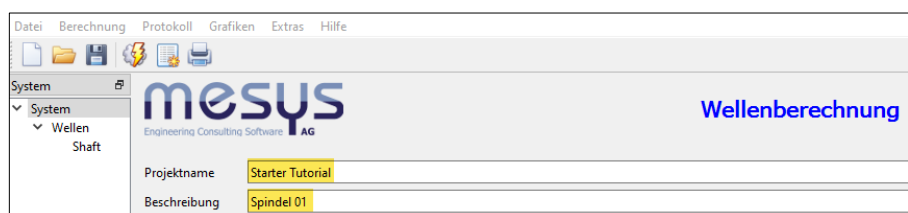


Bild 6

Für den Moment dürfen wir die weiteren Inhalte von 'System', namentlich die Registerkarten 'Einstellungen', 'Schmierung' und 'Einstellungen für Darstellung' unberührt lassen.

#### 4.2.2 Eingabedaten für Welle

Die folgenden Eingabedaten definieren unsere Welle:

- Länge der äusseren Segmente
- Länge der Segmente der Hohlwelle
- Durchmesser der Segmente
- Durchmesser der Segmente der Hohlwelle
- Werkstoff für Welle

Optional und hier rein informativ:

- Temperatur für äussere Segmente

Für den Zweck dieses Dokuments soll eine horizontale Spindelwelle als Beispiel dienen, wie in Bild 7 unterhalb dargestellt:

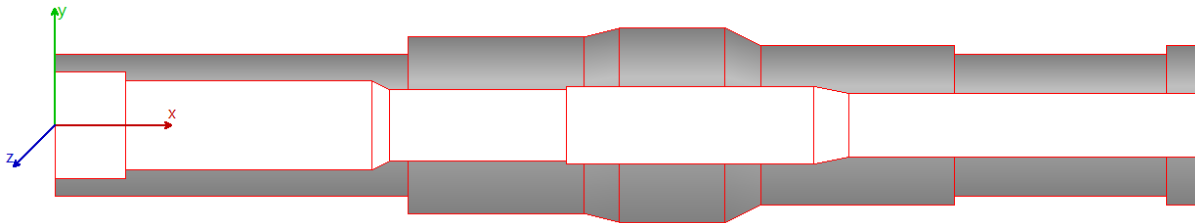


Bild 7

Bitte gehen Sie wie folgend beschrieben vor.

- ➔ Wählen Sie im 'System'-Baum links 'Shaft', um die Eingabefelder für die Welle im Hauptfenster anzuzeigen. Beginnen Sie mit der Registerkarte „Allgemein“.
- ➔ Wählen Sie einen einfachen Namen für Ihre Welle, z. B. „Welle“.
- ➔ Bestätigen Sie, dass Ihre Welle einer Drehzahl ausgesetzt werden soll, indem Sie das Kästchen „rpm“ markieren.
- ➔ Ausserdem geben Sie bitte die gewünschte Drehzahl ein, die hier 1000 U/min betragen soll.

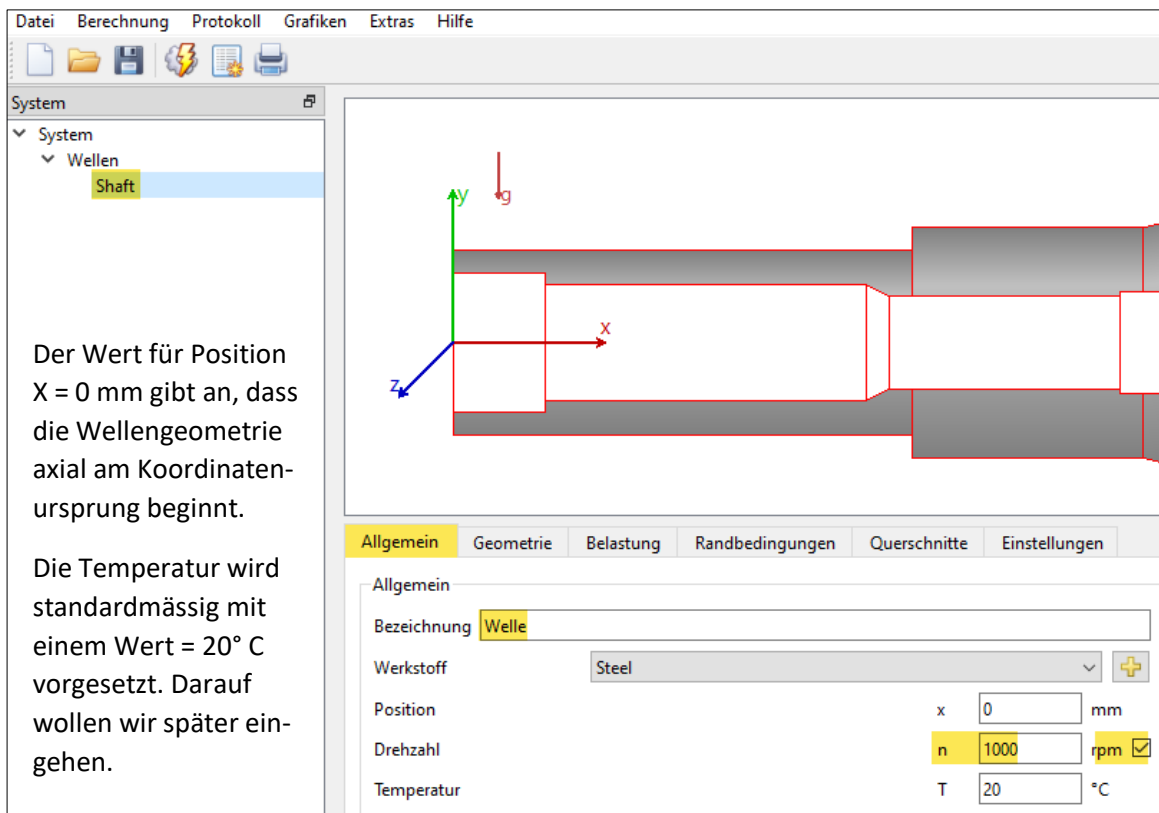
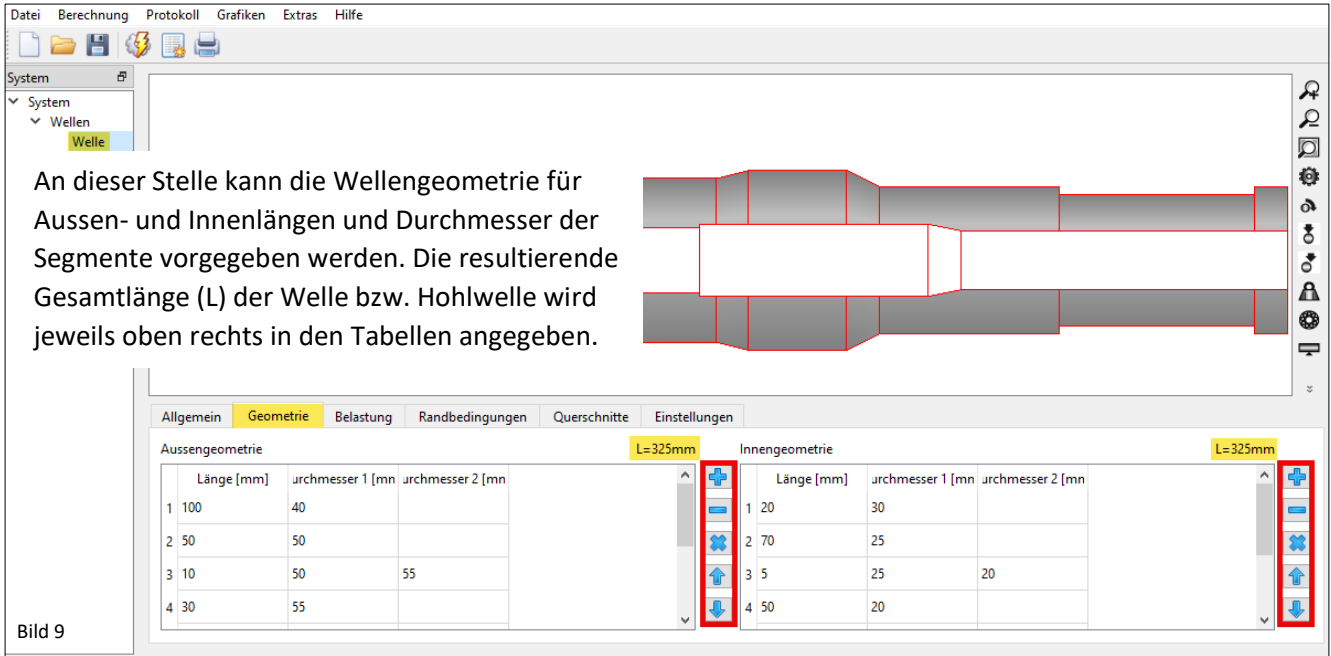


Bild 8

Der Wert für Position X = 0 mm gibt an, dass die Wellengeometrie axial am Koordinatenursprung beginnt.

Die Temperatur wird standardmässig mit einem Wert = 20° C vorgesetzt. Darauf wollen wir später eingehen.

- ➔ Wählen Sie 'Shaft' im 'System'-Baum, um die Eingabefelder für die Welle im Hauptfenster anzuzeigen. Fahren Sie mit der Registerkarte 'Geometrie' fort.



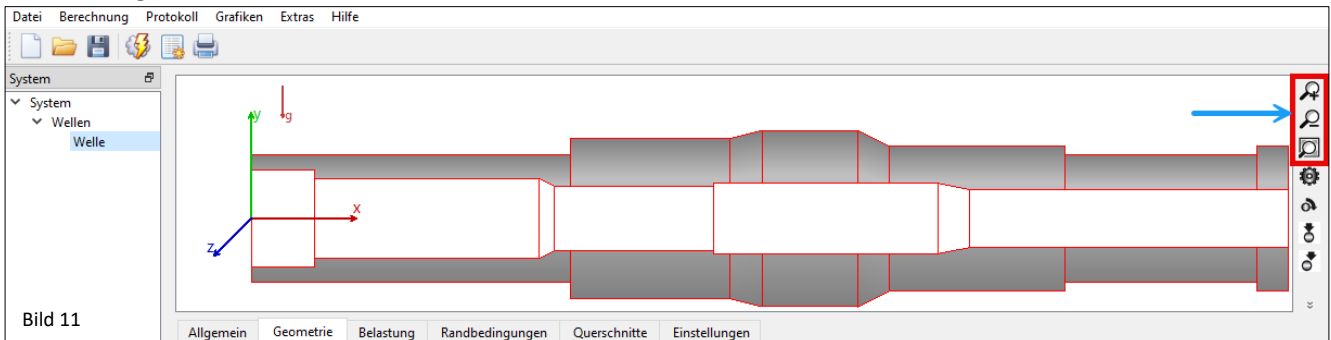
Mit den blauen Steuertasten jeweils am rechten Rand können Zeilen hinzugefügt, sortiert oder gelöscht werden, wobei mit 'X' die gesamte Tabelle gelöscht wird.

Die Beispiel-Wellengeometrie soll wie in Abbildung 7 beschrieben und wie folgt aussehen:

Aussengeometrie				Innengeometrie			
	Länge [mm]	Durchmesser 1 [mm]	Durchmesser 2 [mm]		Länge [mm]	Durchmesser 1 [mm]	Durchmesser 2 [mm]
1	100	40		1	20	30	
2	50	50		2	70	25	
3	10	50	55	3	5	25	20
4	30	55		4	50	20	
5	10	55	45	5	70	22	
6	55	45		6	10	22	18
7	60	40		7	100	18	
8	10	45					

Bild 10

Diese Eingaben sollten zu einer Wellengeometrie führen, wie in [Abbildung 7](#) gezeigt und in Abbildung 11 nun korrekt dargestellt ist:

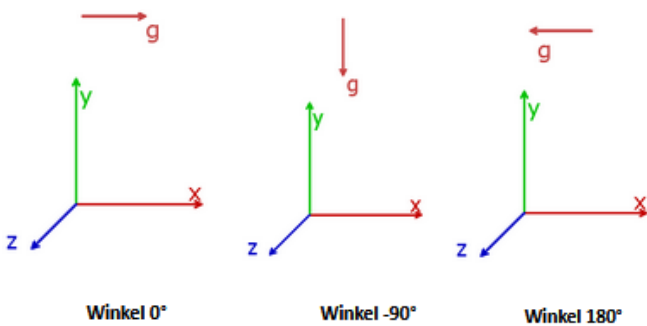
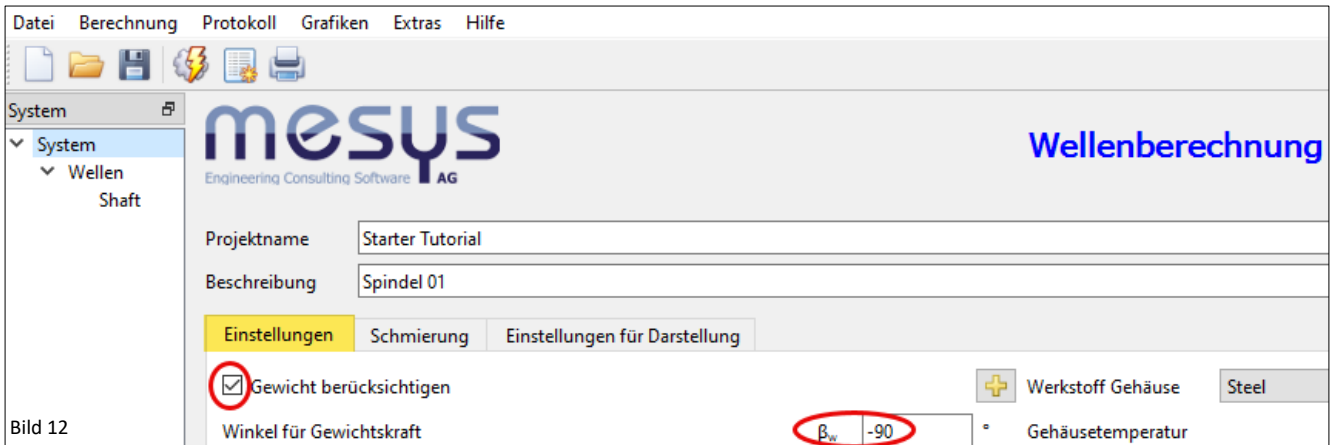


Auf der rechten Seite des grafischen Fensters befinden sich 'Lupen', mit denen die Darstellung der Welle angepasst werden kann. Weitere Schaltflächen ermöglichen es dem Benutzer, Komponenten wie Kupplungen, Zahnräder, Stützen oder Wälzlager dieser grafischen Umgebung hinzuzufügen.

### 4.2.3 Position im Raum

Bevor mit den Eingaben fortzufahren ist, bedarf es der Definition der Lage im Raum. Damit wird die Konfiguration auch den entsprechenden Gewichtskräften ausgesetzt.

➔ Wählen Sie im linken Baum 'System', um die Eingabefelder in der Registerkarte 'Einstellungen' anzuzeigen. Weisen Sie hier Ihrer Welle die Position im Raum zu, indem Sie die Berücksichtigung einer Gewichtskraft markieren und deren Richtung ( $\beta_w$ ) angeben.



Der Winkel liegt in der x-y-Ebene und ist eine Rotation um die z-Achse. Ein Wert von Null ergibt ein Gewicht in Richtung der Achse der Welle. Die Richtung des Gewichtes wird auch in der Grafik der Welle als Pfeil dargestellt und kann innerhalb des Lastkollektivs variiert werden.

Bild 13

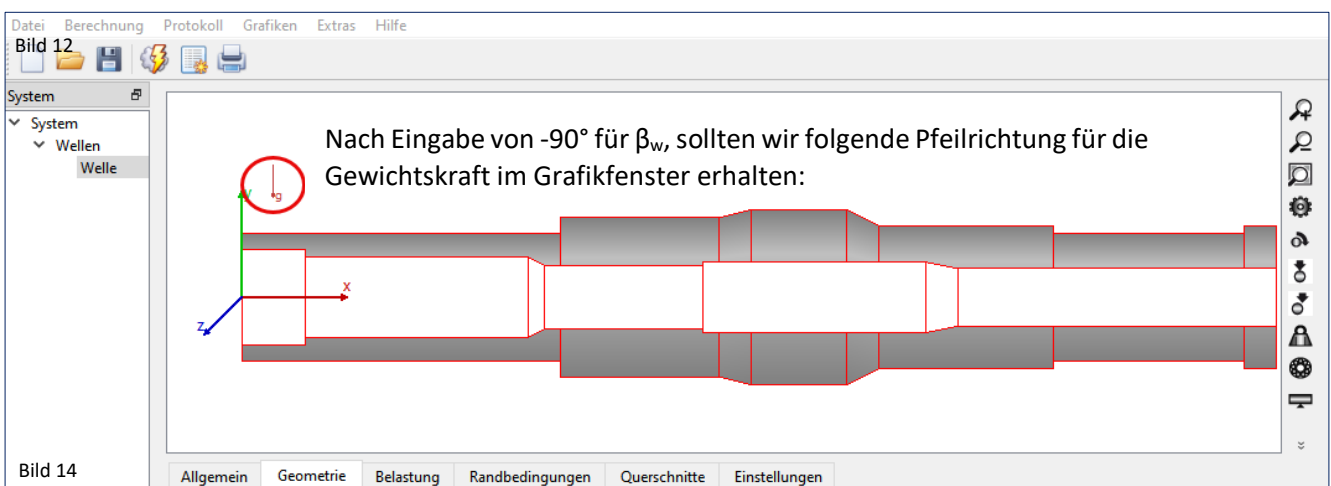
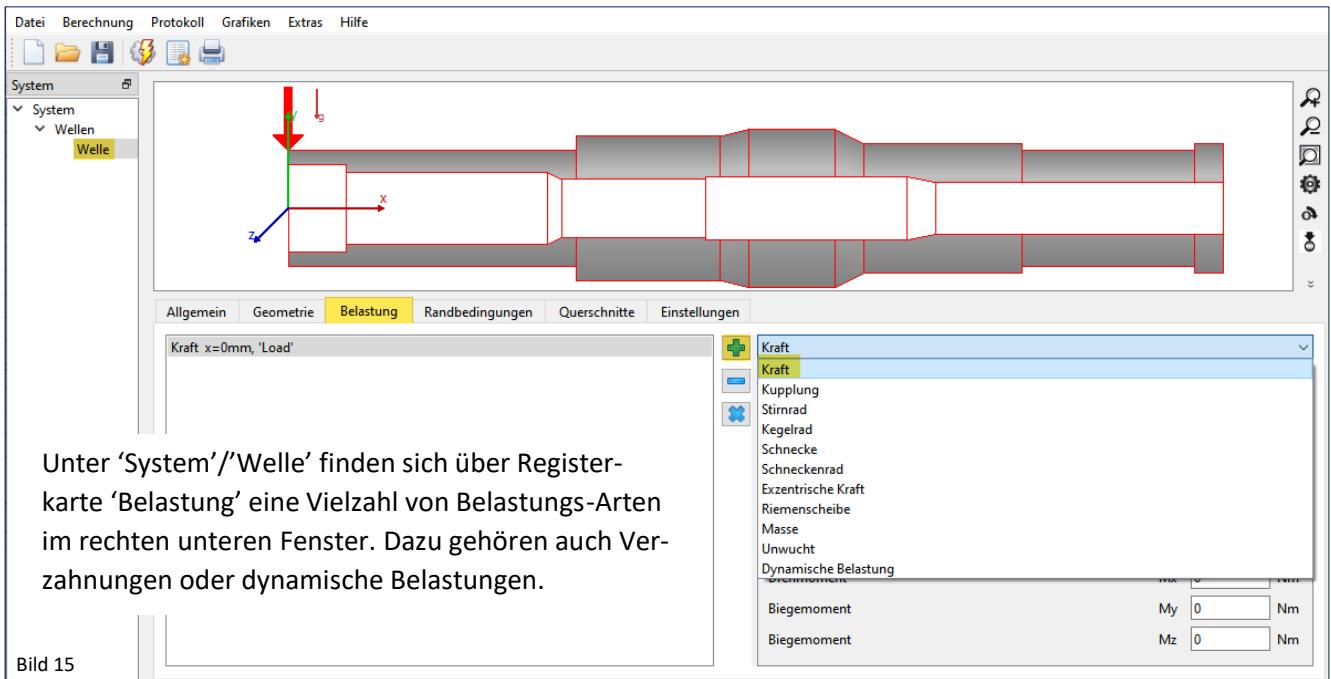


Bild 14

## 5. Belastung

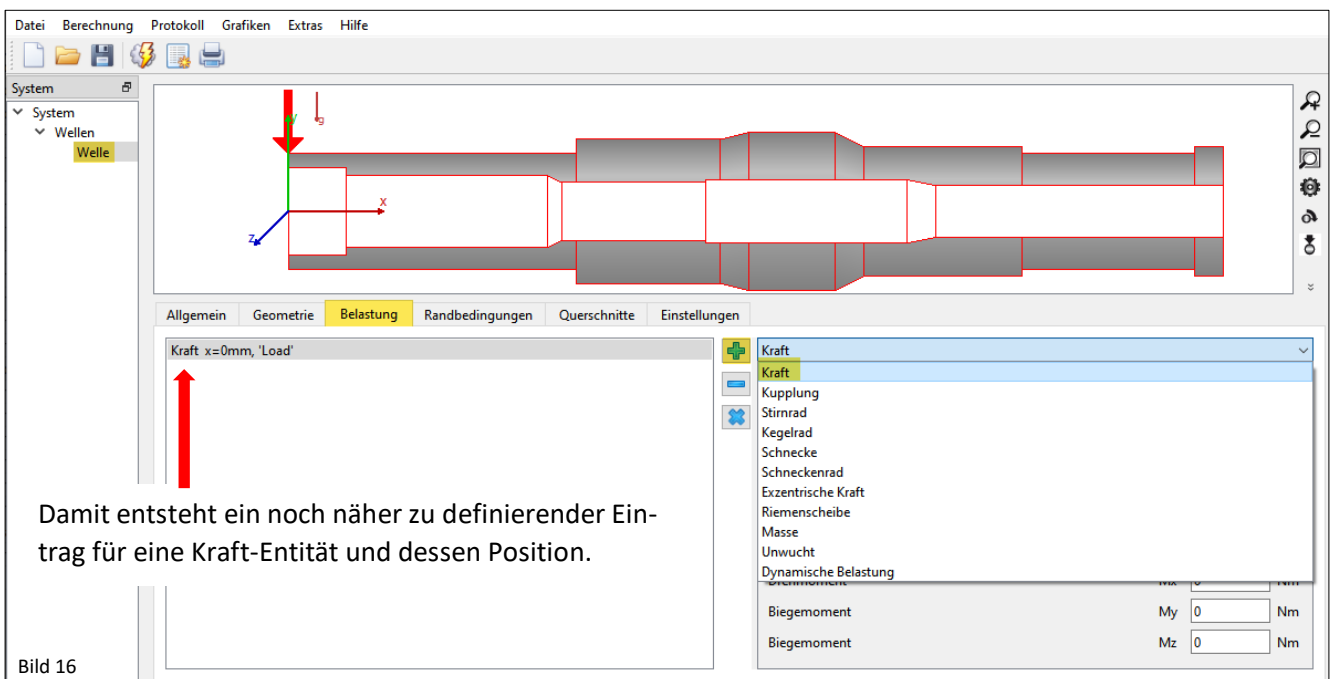
### 5.1 Allgemein

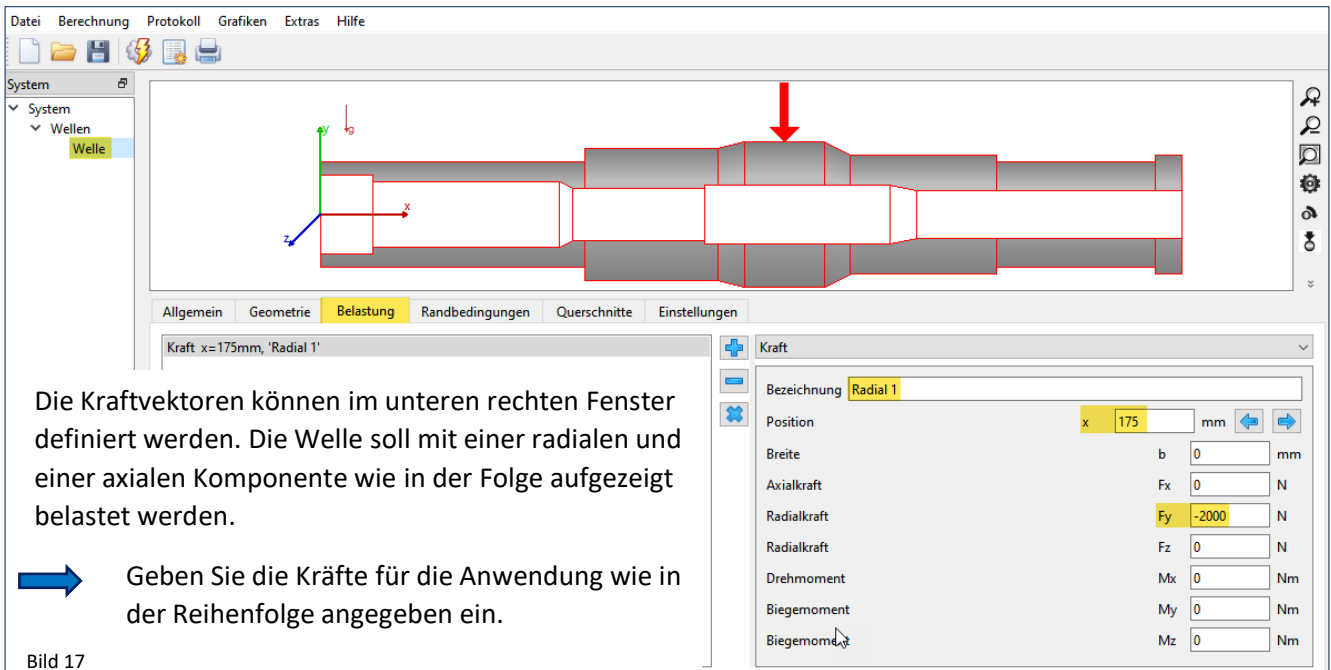


### 5.2 Kraft-Vektoren

Um einen Eintrag für Kraft zu setzen gehen Sie bitte wie folgt vor:

➡ Weisen Sie mit '+' eine Last zu und wählen Sie in der Dropdown-Liste rechts den Typ 'Kraft' aus.





Die Kraftvektoren können im unteren rechten Fenster definiert werden. Die Welle soll mit einer radialen und einer axialen Komponente wie in der Folge aufgezeigt belastet werden.

→ Geben Sie die Kräfte für die Anwendung wie in der Reihenfolge angegeben ein.

Bild 17

Kraft	
Bezeichnung	Radial 1
Position	x 175 mm
Breite	b 0 mm
Axialkraft	Fx 0 N
Radialkraft	Fy -2000 N
Radialkraft	Fz 0 N
Drehmoment	Mx 0 Nm
Biegemoment	My 0 Nm
Biegemoment	Mz 0 Nm

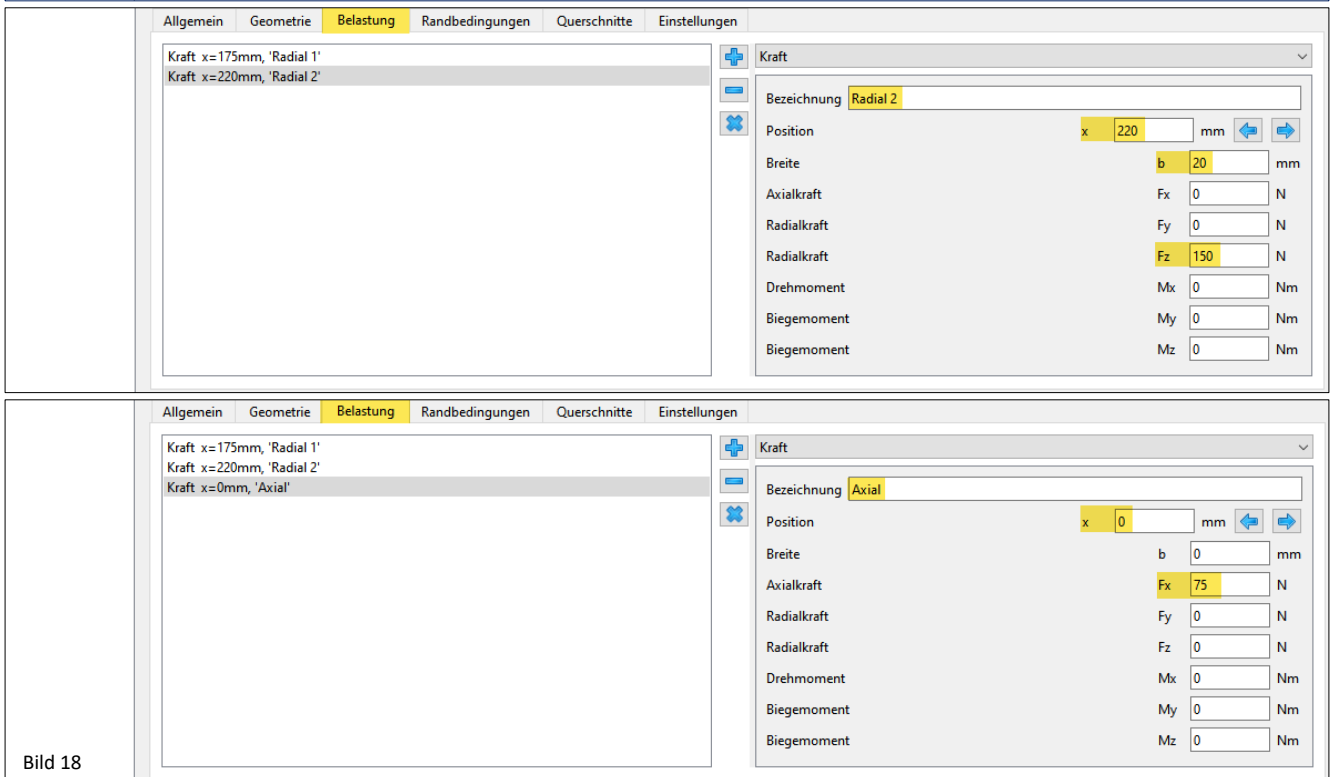


Bild 18

Kraft	
Bezeichnung	Radial 2
Position	x 220 mm
Breite	b 20 mm
Axialkraft	Fx 0 N
Radialkraft	Fy 0 N
Radialkraft	Fz 150 N
Drehmoment	Mx 0 Nm
Biegemoment	My 0 Nm
Biegemoment	Mz 0 Nm

Kraft	
Bezeichnung	Axial
Position	x 0 mm
Breite	b 0 mm
Axialkraft	Fx 75 N
Radialkraft	Fy 0 N
Radialkraft	Fz 0 N
Drehmoment	Mx 0 Nm
Biegemoment	My 0 Nm
Biegemoment	Mz 0 Nm

Die Welle sollte sich uns nun wie auf folgendem Bild 19 gezeigt darstellen:



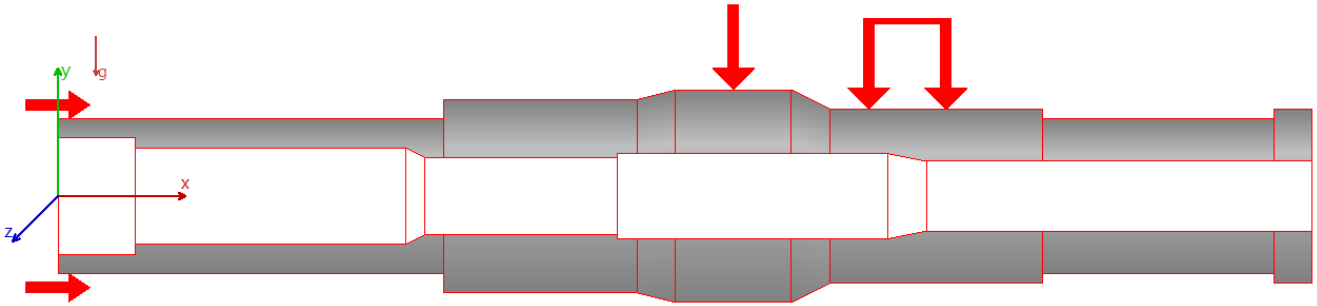


Bild 19

Durch Anwählen von 'Wellen' im Systembaum, kann die Darstellung der Kraftvektoren auch auf 3D umgestellt werden:

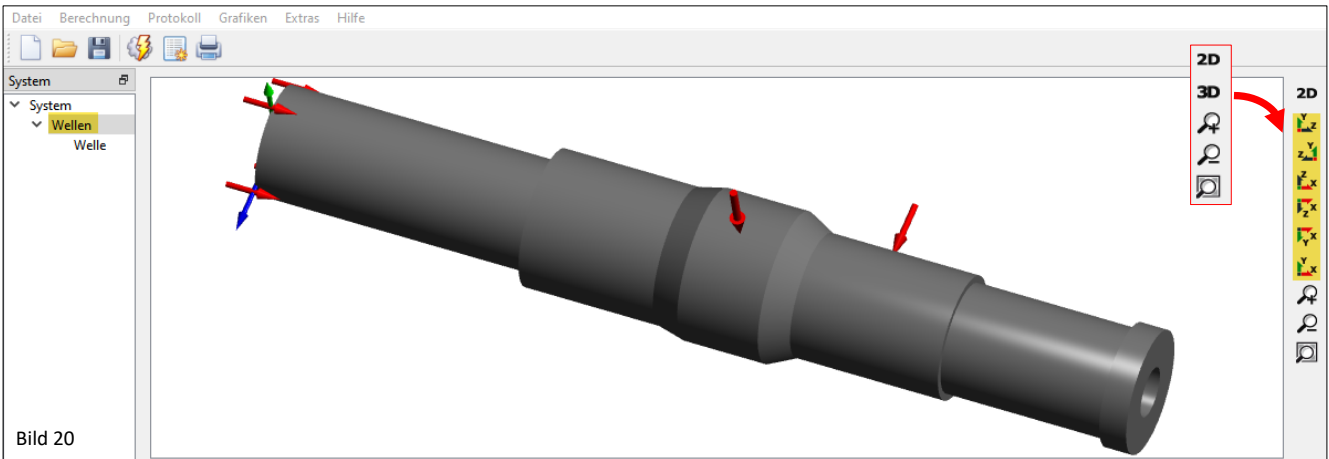


Bild 20

## 6. Lager

### 6.1 Allgemein

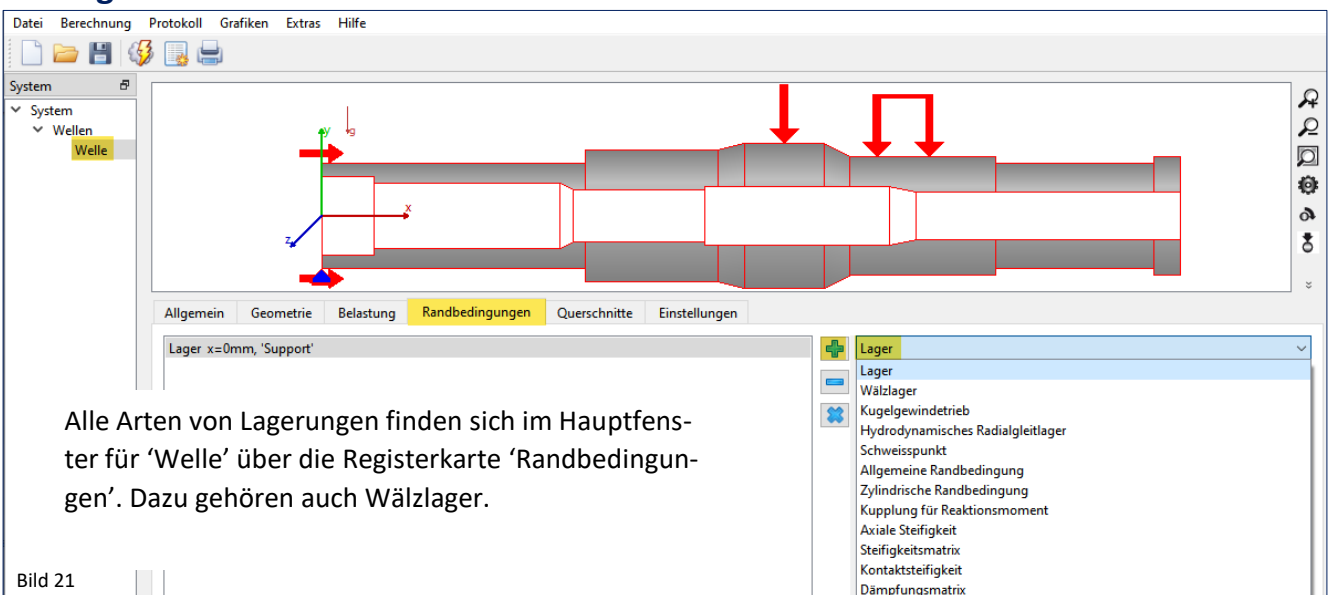
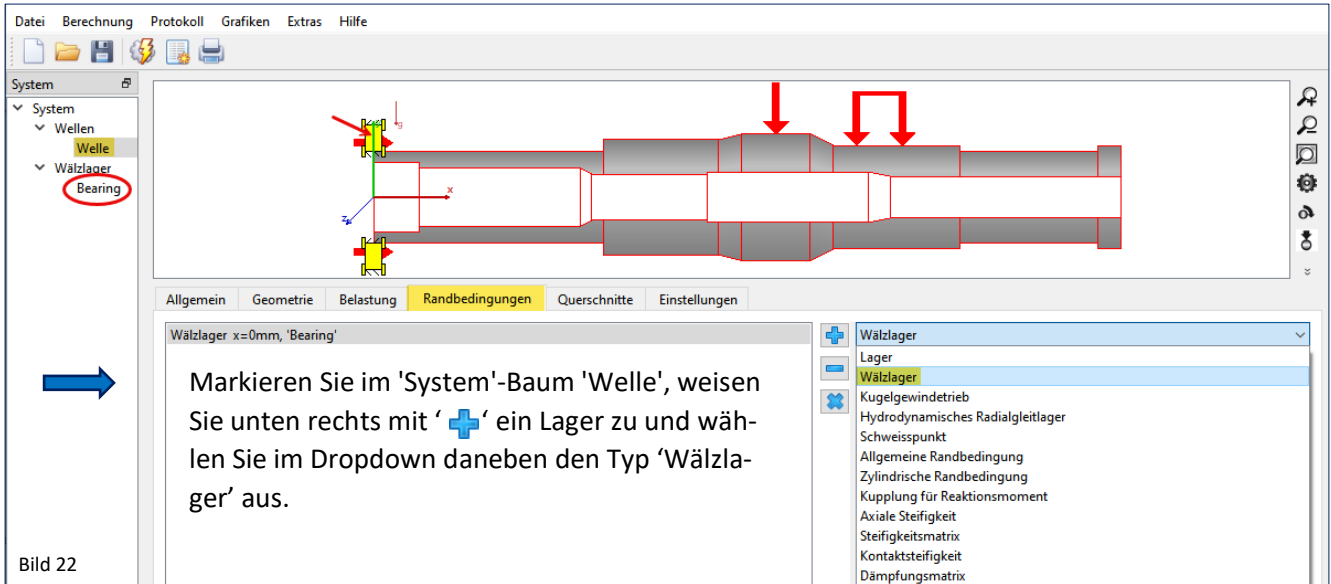


Bild 21

### 6.2 Wälzlager

#### 6.2.1 Aufsetzen eines Wälzlagers

Nach Zuweisung der Lagerungsart, in diesem Fall Wälzlager, setzt MESYS standardmässig ein Rillenkugellager auf.

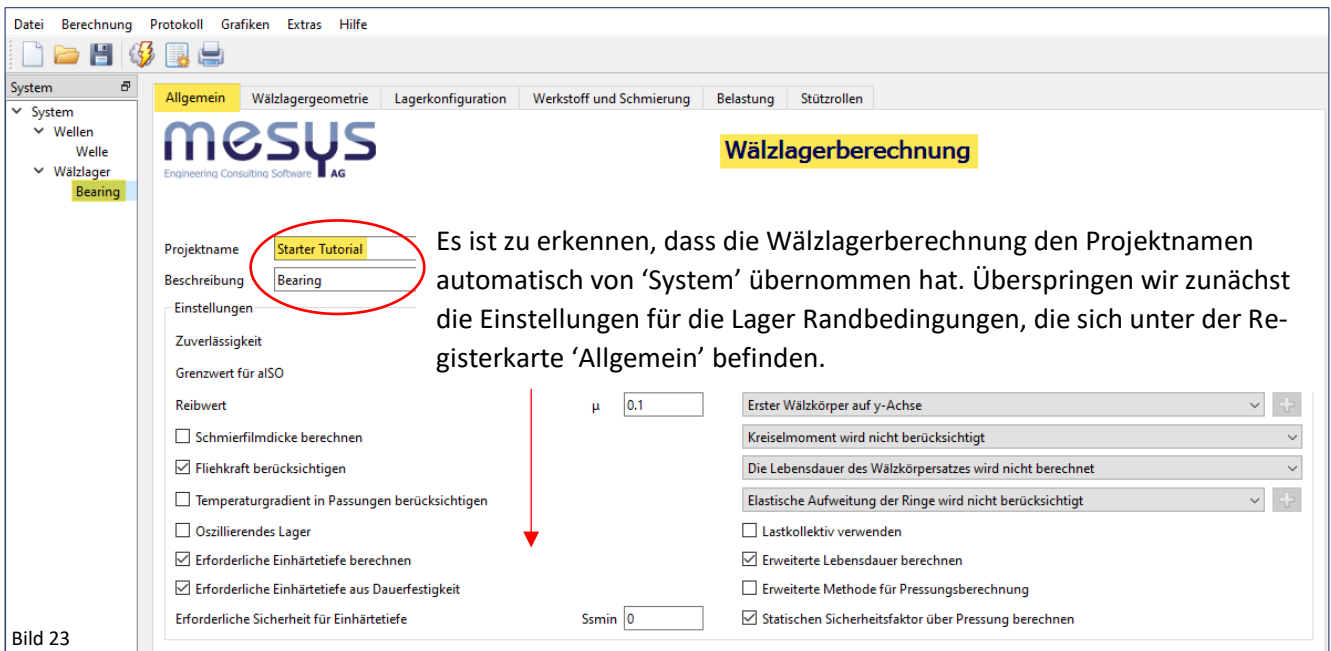


### 6.2.2 Wälzlager-Art und -Bezeichnung

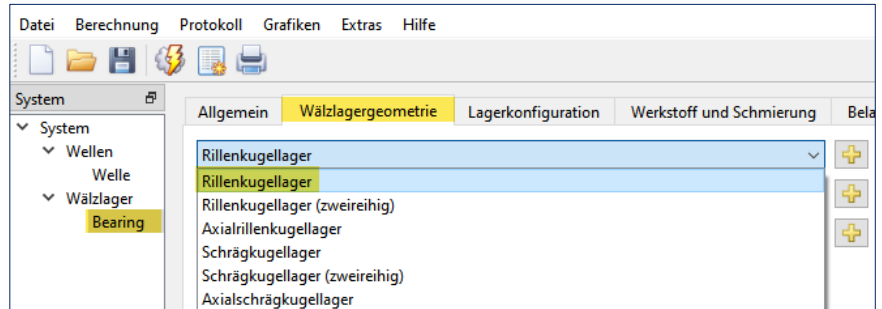
Das Einfügen eines Wälzlagers hat folgende Auswirkungen auf den Inhalt der Simulation:

- Erstellung einer Gruppe 'Lager' im 'System'-Baum
- Eintrag 'Wälzlager' unter der Registerkarte 'Randbedingungen'
- Positionierung eines Wälzlagers an der axialen Stelle  $x = 0$

Die Schnittstelle zur MESYS Wälzlagerberechnung wird durch die Zuordnung eines Wälzlagers 'aktiviert'. Um ein Wälzlager auszuwählen oder in allen Eigenschaften zu definieren, wählen Sie bitte im Systembaum 'Bearing'.



➔ Gehen Sie zu 'System'/'Bearing' und öffnen Sie den Reiter 'Wälzlagergeometrie'. Über das linke Dropdown wählen Sie aus dem breiten Sortiment an Lagertypen 'Rillenkugellager'.



Die äussere und innere Geometrie des Wälzlagers, wie in Abbildung 25 unter dem linken Dropdown-Menü zur Auswahl des Lagertyps dargestellt ist, kann manuell eingegeben werden. An dieser Stelle wählen wir jedoch ein bereits definiertes Wälzlager aus der Datenbank aus.

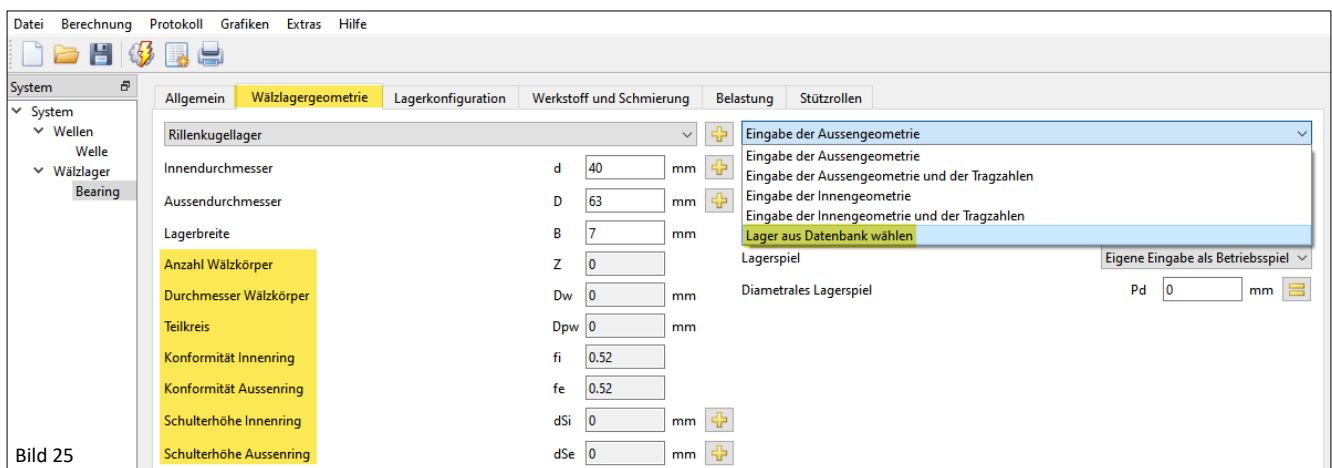


Bild 25

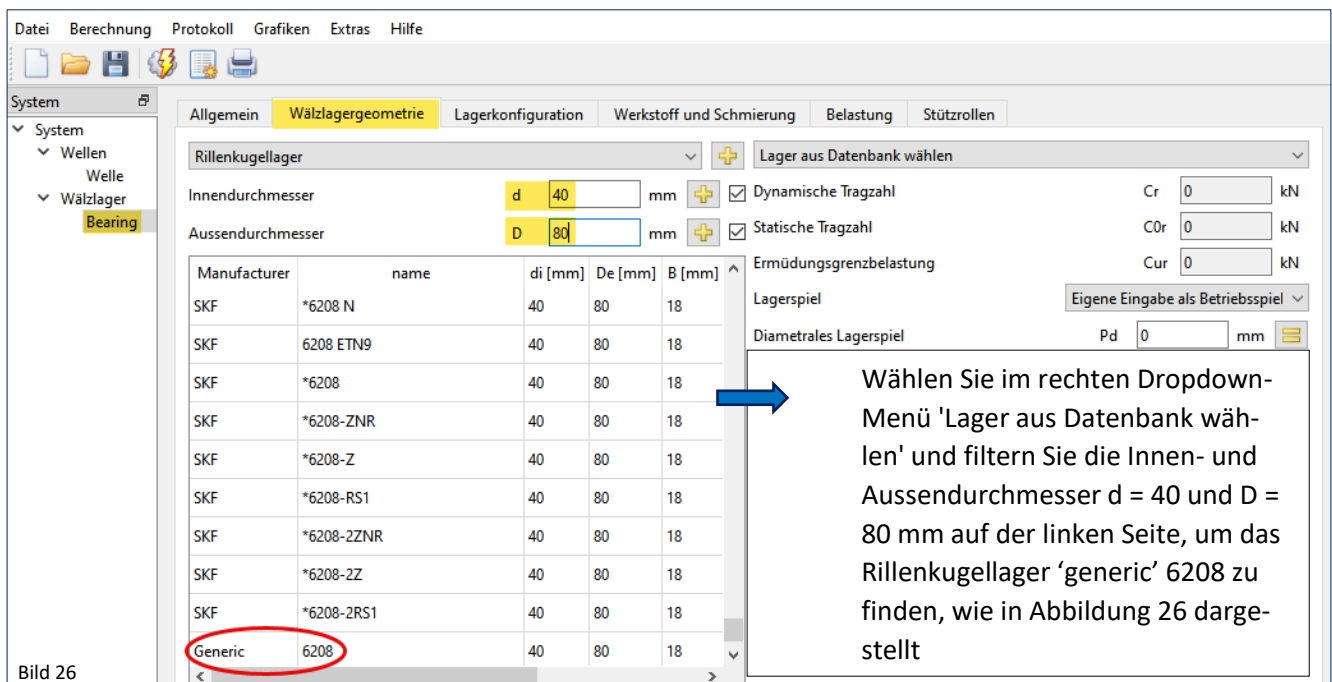
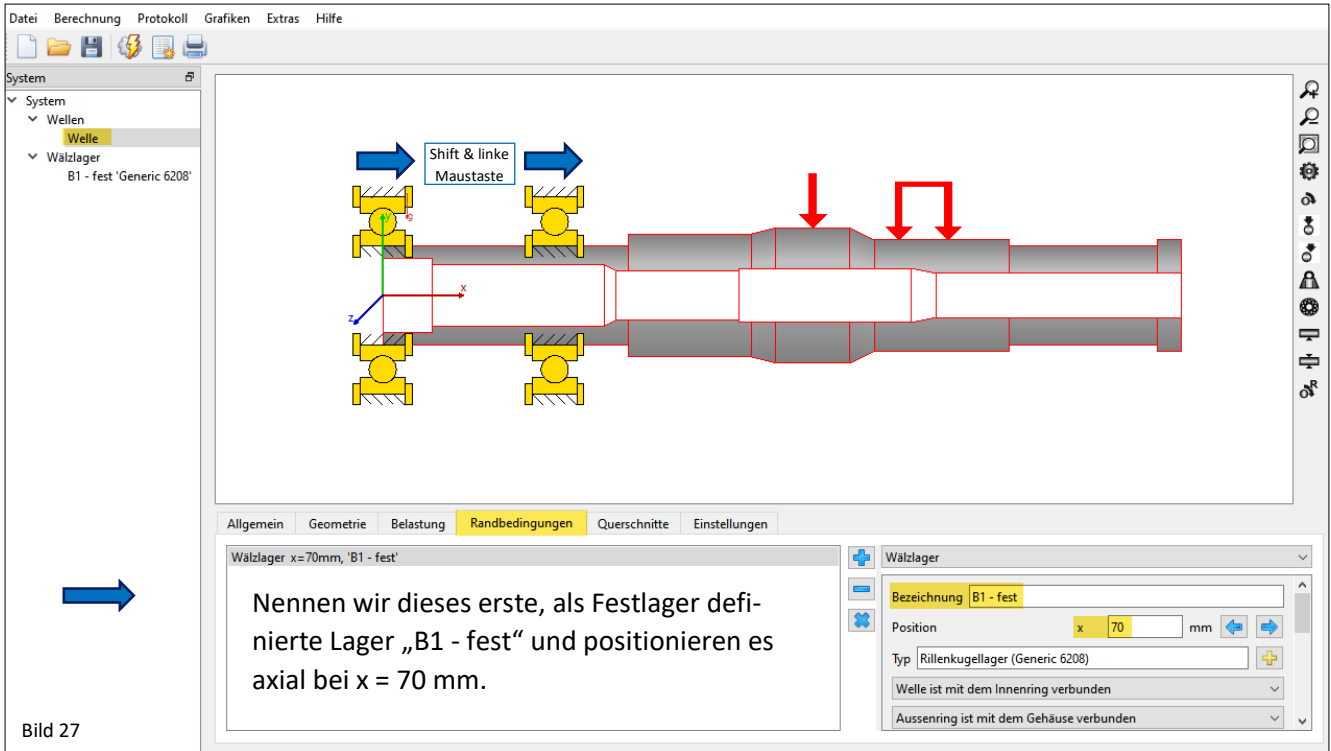


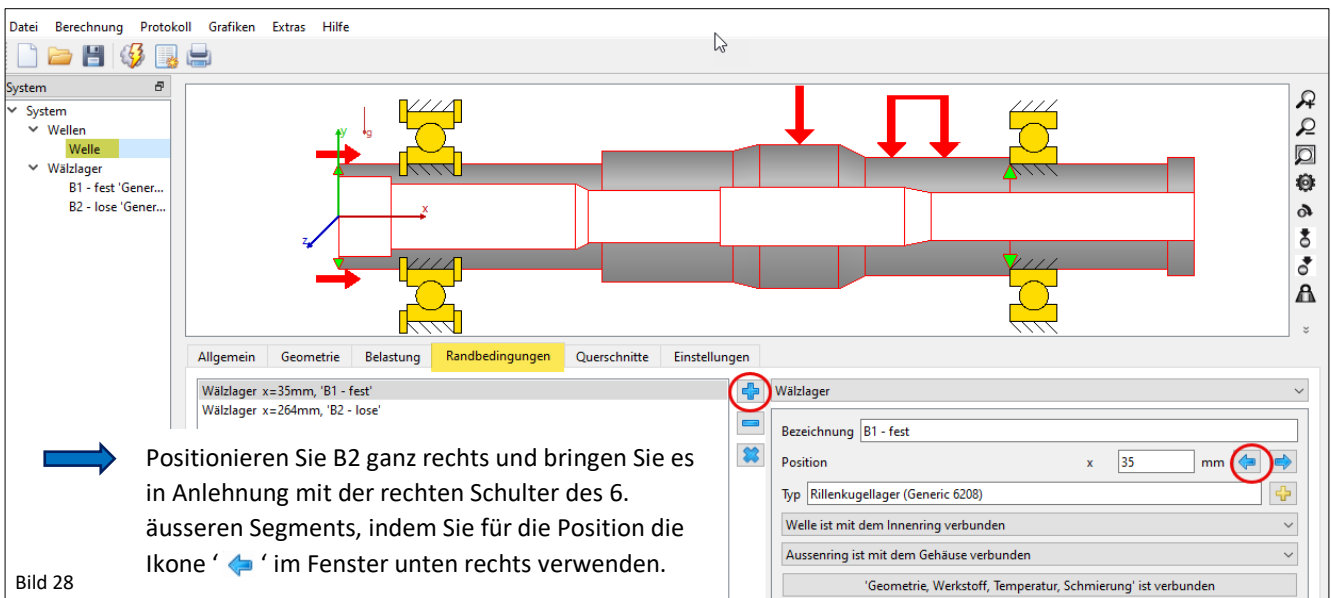
Bild 26

### 6.2.3 Positionierung von Wälzlager

Die Positionierung des Wälzlagers erfolgt durch numerische Eingabe der axialen Position auf X. Dies kann durch Zurückgehen auf 'System'/'Wellen'/'Welle' im unteren rechten Fenster oder durch Kombination von Umschalt+linke Maustaste durch Schieben auf die grafische Darstellung des Lagers selbst geschehen.



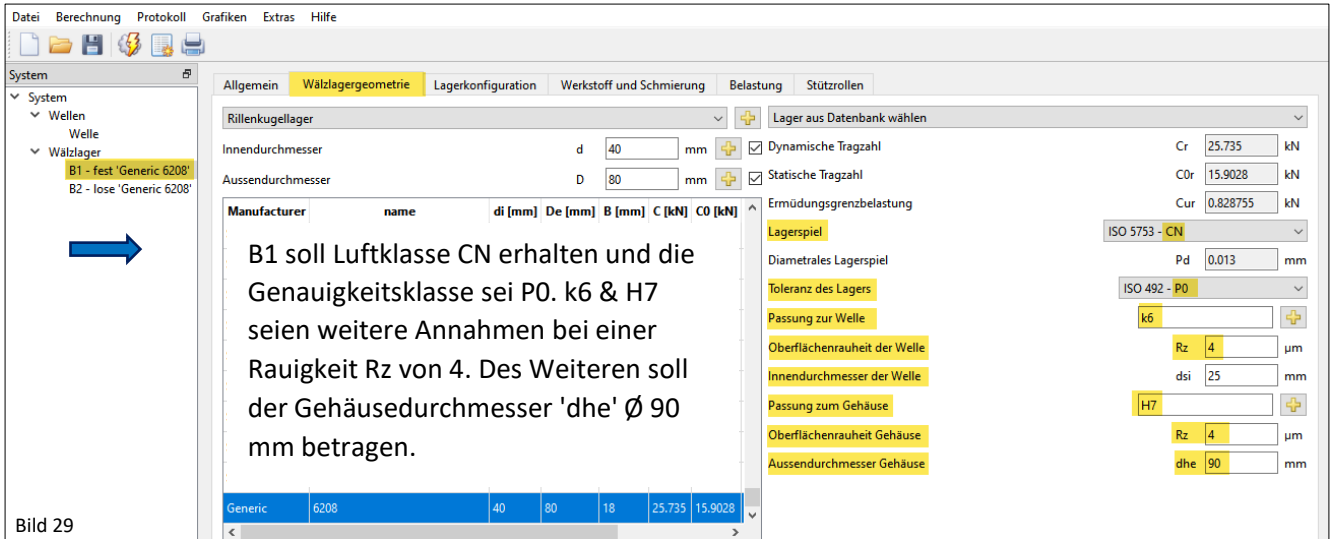
Fügen Sie ein zweites Wälzlager hinzu, indem Sie auf der unteren Fensterhälfte die blaue '+'-Schaltfläche klicken, wodurch eine Kopie des obigen Lagers erstellt wird. Wir wollen dieses Wälzlager, welches als Loslager dargestellt werden soll, 'B2 - lose' nennen.




#### 6.2.4 Anwendungsbedingungen für Wälzlager

Bestimmen wir nun die Anwendungsbedingungen für die Wälzlager. Grob bewertet und im Rahmen dieses Tutorials, könnten dies die gewünschten Freiheitsgrade, die Passungen, die Eigenschaften der Lagersitze und z.B. die Genauigkeitsklasse sein.

Gehen wir also zurück zu 'System'/'Wälzlager', in die Registerkarte 'Wälzlagergeometrie' (Bild 29) und geben diese Basis-Randbedingungen für beide Wälzlager ein. Das Lagerspiel (CN) betrachten wir zunächst noch nicht im Detail.



Oben dargestellte Wälzlager-Bearbeitungsfenster (Bild 29), kann alternativ auch über den  - Button in 'System'/'Wellen'/'Welle' unter Reiter 'Randbedingungen' (Bild 30), oder über das KontextMenü mit der rechten Maustaste direkt auf der grafischen Ausgabe (Bild 32) aufgerufen werden.

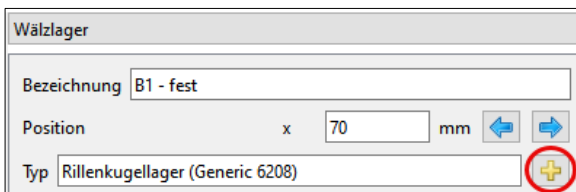


Bild 30

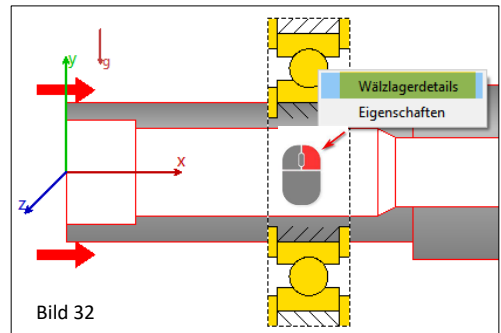


Bild 32

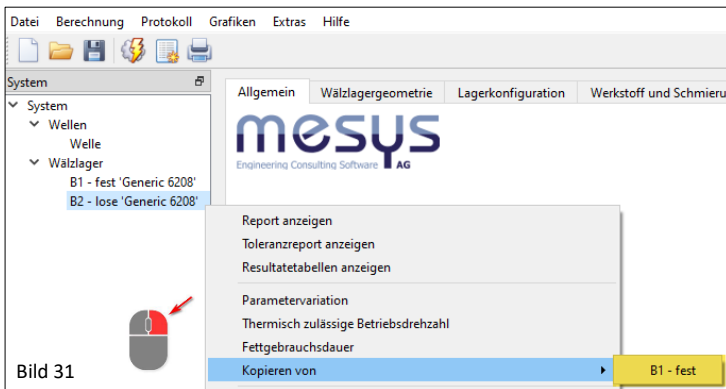

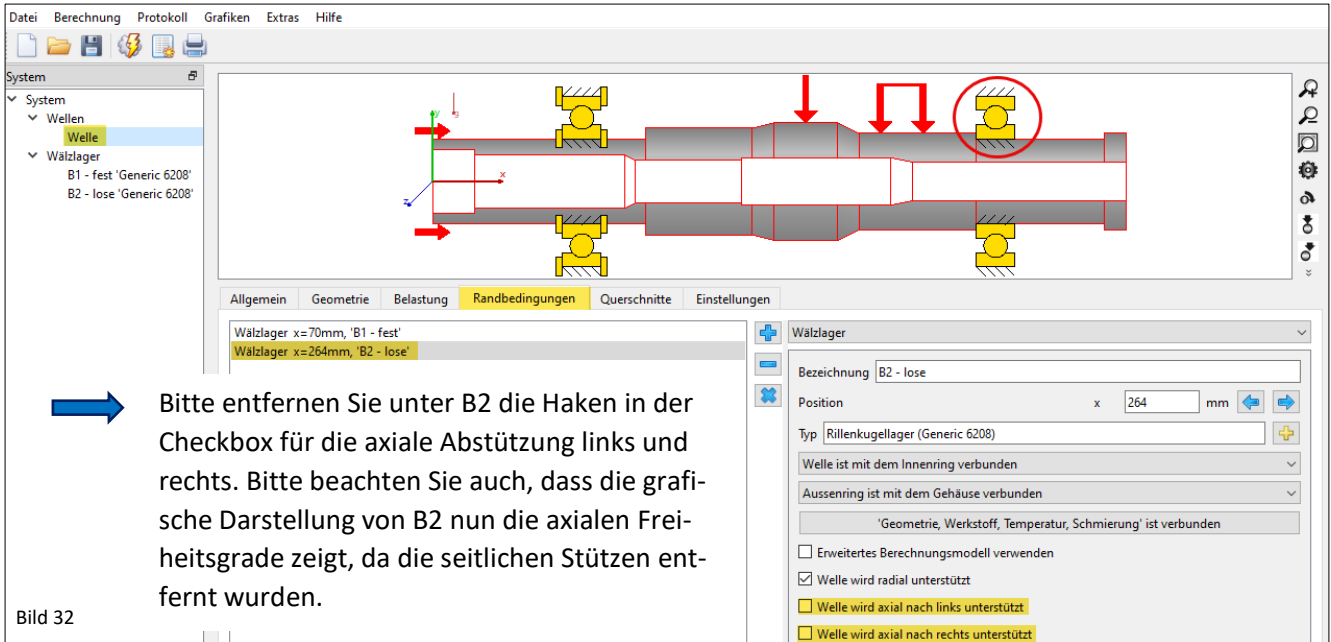


Bild 31

 Geben Sie B2 die gleichen Einstellungen wie für B1, oder wählen Sie alternativ die Übernahme der Einstellungen aus dem bereits konfigurierten B1, wie in Bild 31 gezeigt.

Für B2 ist an dieser Stelle aber noch eine zusätzliche Einstellung hinsichtlich seiner Funktion erforderlich. Das Loslager soll keine Axialkräfte aufnehmen und daher axial freigestellt werden. Dazu gehen wir zurück zu 'System'/'Wellen'/'Welle' im Register 'Randbedingungen' für B2 - wie in [Abbildung 28](#) dargestellt.



## 7. Querschnitte

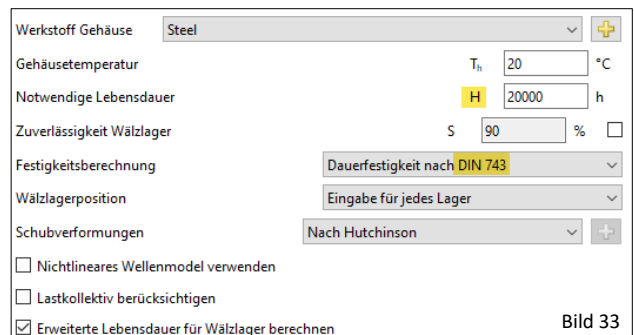
### 7.1 Allgemein

Für eine korrekte Berechnung von Wellen müssen Spannungskonzentrationen, Belastungsarten und -größen oder notwendige Sicherheitsfaktoren berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck bietet die Software die Möglichkeit, auf der Registerkarte „Schnitte“ für jede Welle unterschiedliche Kerbfälle zu definieren.

### 7.2 Wellenfestigkeit

Hinweis: Diese Analyse benötigt die Erweiterung für DIN 743.

Die Methode zur Berechnung der Wellenfestigkeit kann unter System, im Reiter 'Einstellungen' auf der rechten Seite, ausgewählt werden. Zurzeit ist die DIN 743 (2012) verfügbar. Es kann ausgewählt werden, ob die Berechnung unter Berücksichtigung 'Dauerfestigkeit' oder 'Zugfestigkeit' erfolgen soll. Bei 'Zugfestigkeit' wird die Anzahl der Zyklen über die Eingabe der „Erforderlichen Lebensdauer“ berechnet.



Für mehr Informationen über Querschnitte beachten Sie bitte den spezifischen Inhalt des [Software-Handbuchs](#), Kapitel 2.1.1.2.11.

In unserem Beispiel konzentrieren wir die Analyse auf einen Punkt, an dem sich der Durchmesser deutlich ändert. Wir setzen daher einen „Schnitt“ bei „Simple Shaft 01“ auf einen definierten Punkt, d.h. auf die axiale Position der rechten Schulter des 6. äusseren Segments, wie nebenstehend gezeigt.

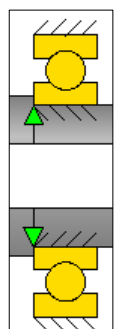
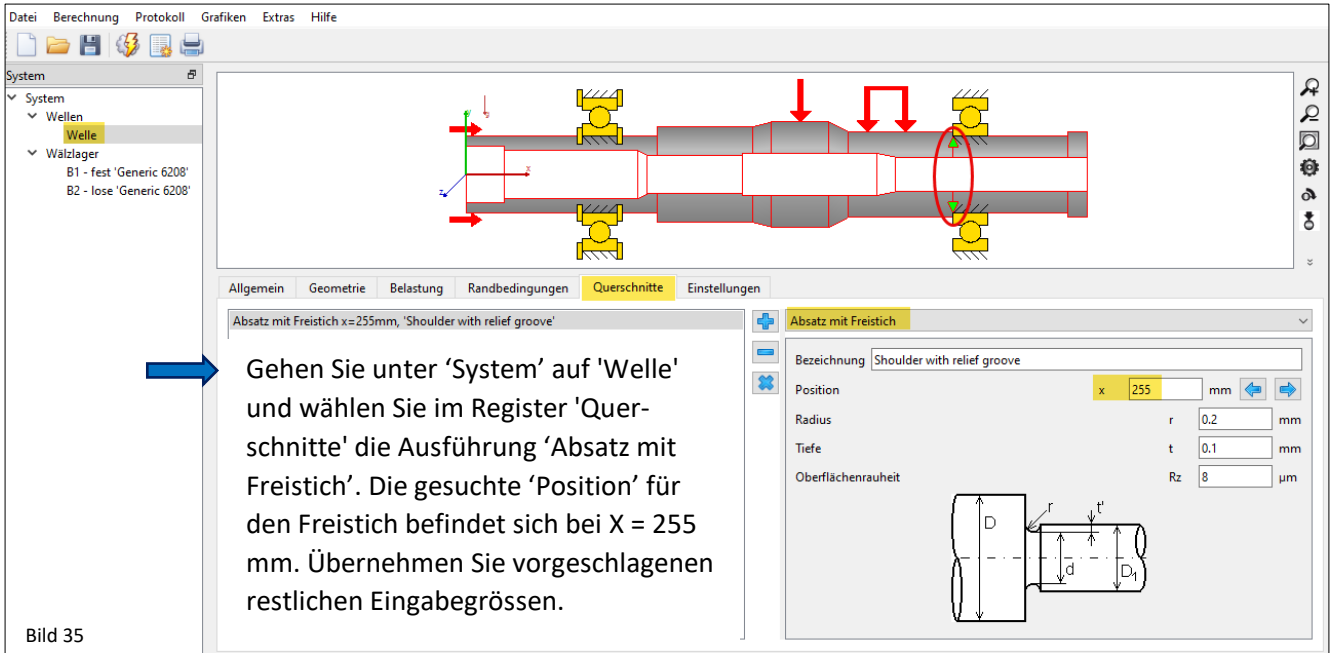
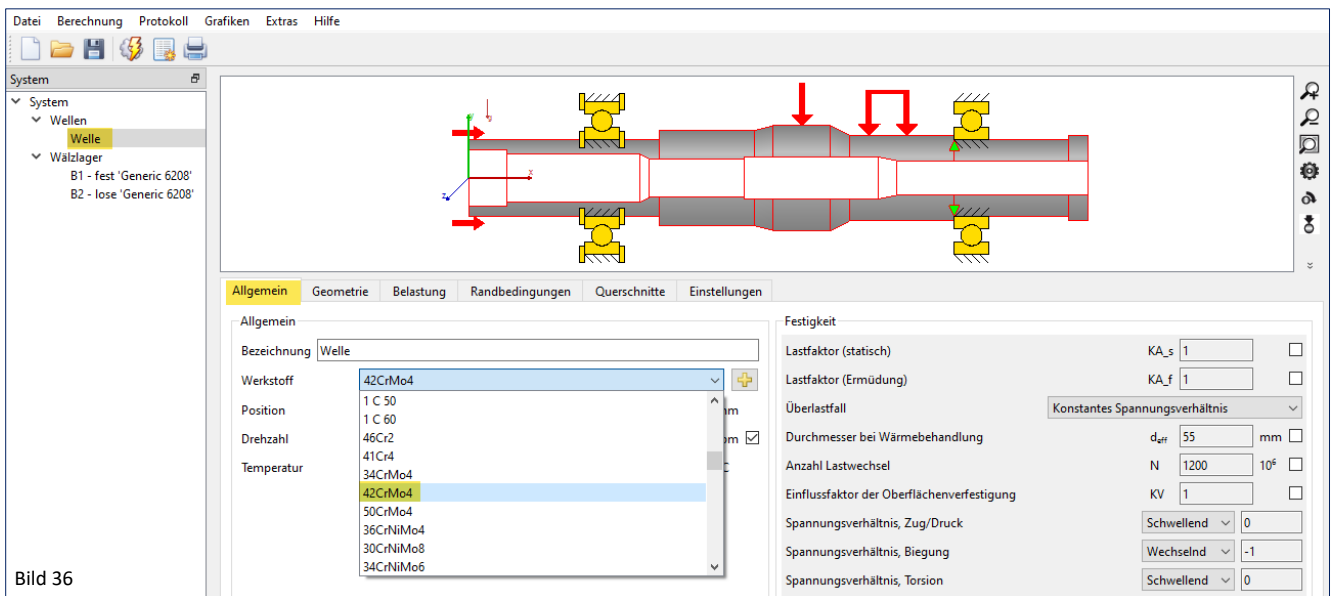


Bild 34



Da die Festigkeitsberechnung eine eindeutige Materialdefinition erfordert, wählen wir diese aus der Datenbank aus (Bild 36).

➔ Gehen Sie daher zu 'System/Wellen/Welle' und weisen Sie der Welle unter dem Register 'Allgemein' als Annahme den Werkstoff 42CrMo4 zu.



## 8. Schmierung

Wir möchten im Rahmen dieses Tutorials weiter annehmen, dass es sich um abgedichtete DGBBs handeln soll und dass sie mit einem Standardschmierstoff der Klasse ISO VG 46 Mineralöl ausgestattet sind. Ausserdem sei die Anwendung einer normalen Verschmutzung ausgesetzt.

➔ Wählen Sie das Schmierfett auf Mineralölbasis der Klasse ISO VG 46 unter normaler Sauberkeit.

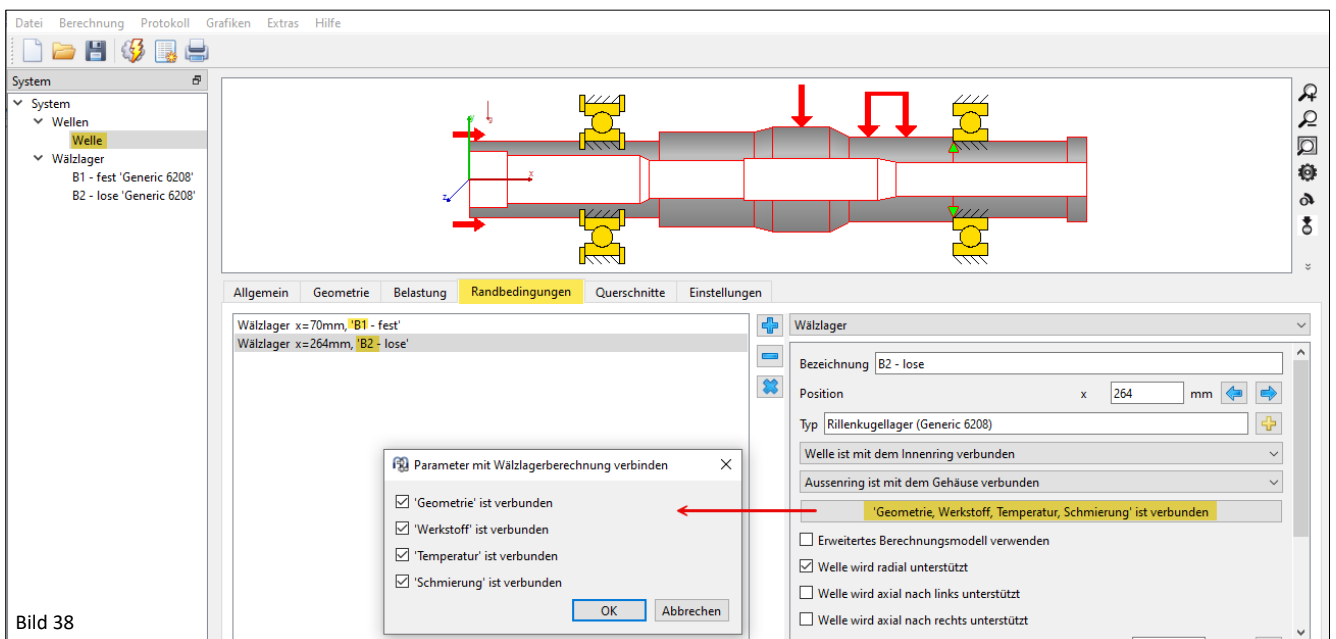


Eine der Serie abweichende Schmierfettwahl für Massenprodukte wie Rillenkugellager ist unter Einhaltung der Kosten meist nicht praktikabel. Eine Gegenüberstellung von Bezugsviskosität und Betriebsviskosität unter Verwendung des eingesetzten ISO VG-Werts ist empfehlenswert. Ein in der breiten Masse eingesetzter Schmierstoff sollte jedoch über die üblichen Viskositätsbezüge hinaus auch im Hinblick auf seine Eignung hinsichtlich Schmierstoffmenge, Schmierstoffverdrängungsraum, effektiver Kontaktspannungen oder -Reibungen und der damit verbundenen potenziellen Temperaturen im Kontakt bewertet werden.

## 9. Schnittstellen

### 9.1 Wälzlagerberechnung und Wellenberechnung

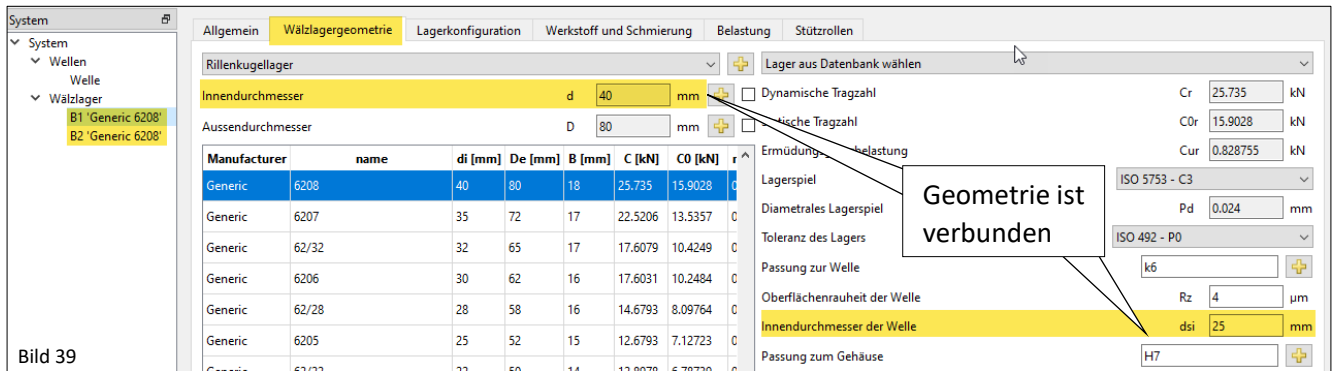
Betrachten wir die Wälzlagerberechnung als ein Plug-In für die Wellenberechnung, so können wir davon ausgehen, dass die entsprechenden Hauptschnittstellen zu definieren sind. Die Standardverbindung der Parameter finden wir unter 'System'/'Wellen'/'Welle'/'B1 oder B2, wie in der folgenden Abbildung 38 dargestellt:



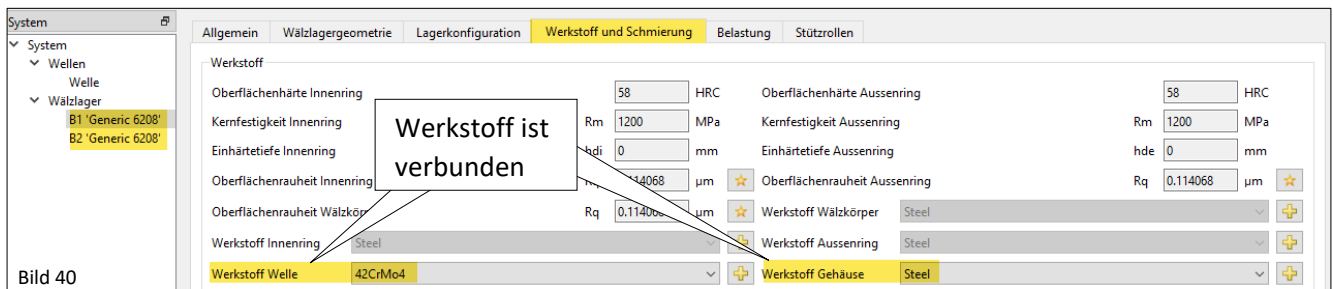
Lassen Sie uns diese Schnittstellen in der Folge auf der Programmoberfläche auffinden und abgleichen. Dieser Schritt ist nicht notwendig, wenn alle 4 Checkboxes aus Bild 38 oberhalb belegt sind (Standard)!



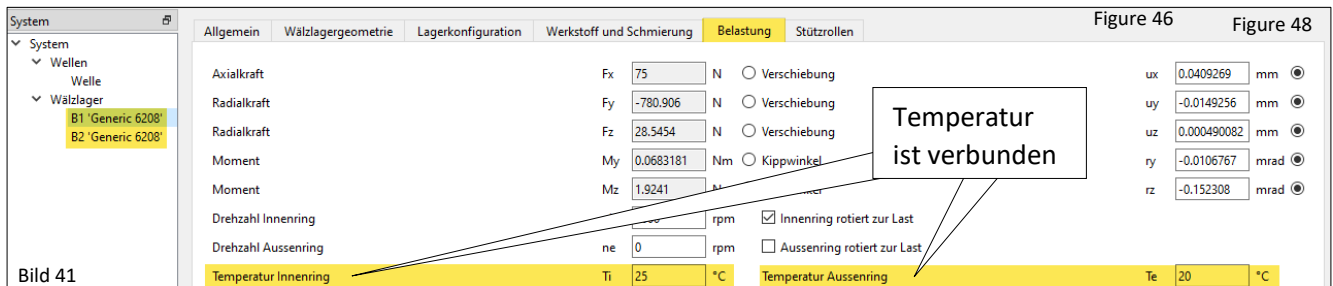
## 9.2 Geometrie



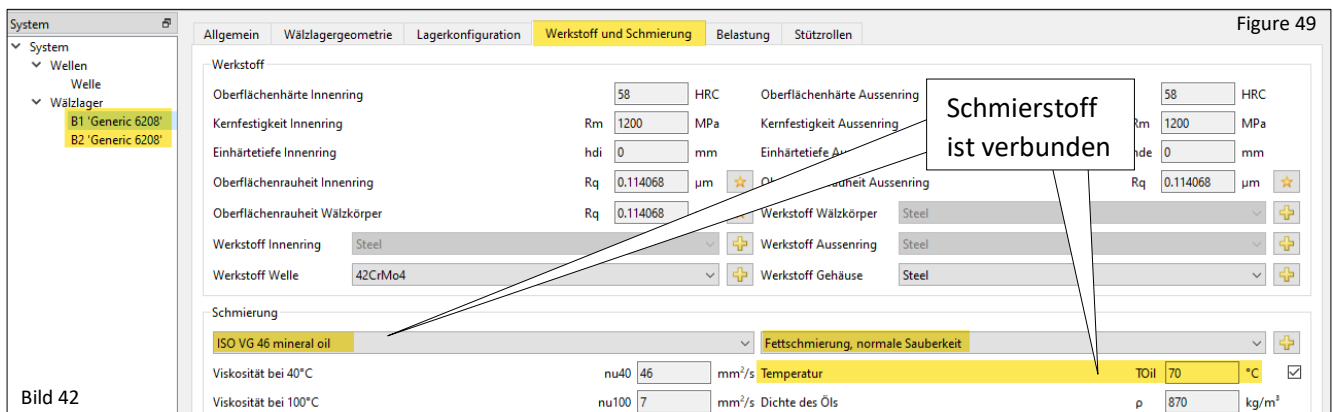
## 9.3 Werkstoff



## 9.4 Temperatur



## 9.5 Schmierstoff

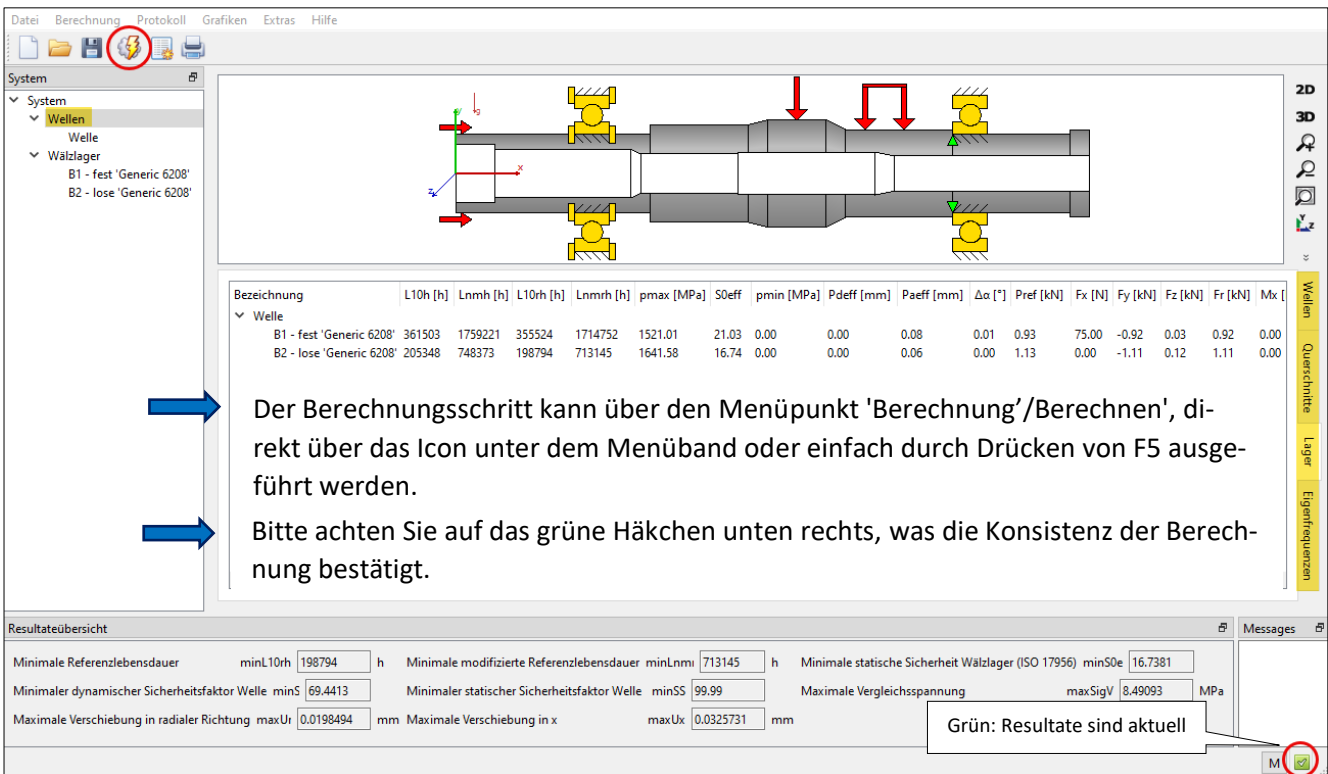


## 10. Berechnungsschritt

### 10.1 Starten

Nach der Eingabe und Einstellung aller in obigen Kapiteln erwähnte Punkte und Durchgänge ist das resultierende Wellenmodell bereit, um den ersten Berechnungsschritt zu starten.

Mit 'System'/'Wellen' befinden wir uns in der Ergebnisübersicht, die über die vertikalen Reiter am unteren rechten Rand thematisch gegliedert ist:



Der Berechnungsschritt kann über den Menüpunkt 'Berechnung'/Berechnen', direkt über das Icon unter dem Menüband oder einfach durch Drücken von F5 ausgeführt werden.

Bitte achten Sie auf das grüne Häkchen unten rechts, was die Konsistenz der Berechnung bestätigt.

Bezeichnung	L10h [h]	Lnmh [h]	L10rh [h]	Lnmrh [h]	pmax [MPa]	S0eff	pmin [MPa]	Pdeff [mm]	Paeff [mm]	Δα [°]	Pref [kN]	Fx [N]	Fy [kN]	Fz [kN]	Fr [kN]	Mx [Nmm]
Welle																
B1 - fest 'Generic 6208'	361503	1759221	355524	1714752	1521.01	21.03	0.00	0.00	0.08	0.01	0.93	75.00	-0.92	0.03	0.92	0.00
B2 - lose 'Generic 6208'	205348	748373	198794	713145	1641.58	16.74	0.00	0.00	0.06	0.00	1.13	0.00	-1.11	0.12	1.11	0.00

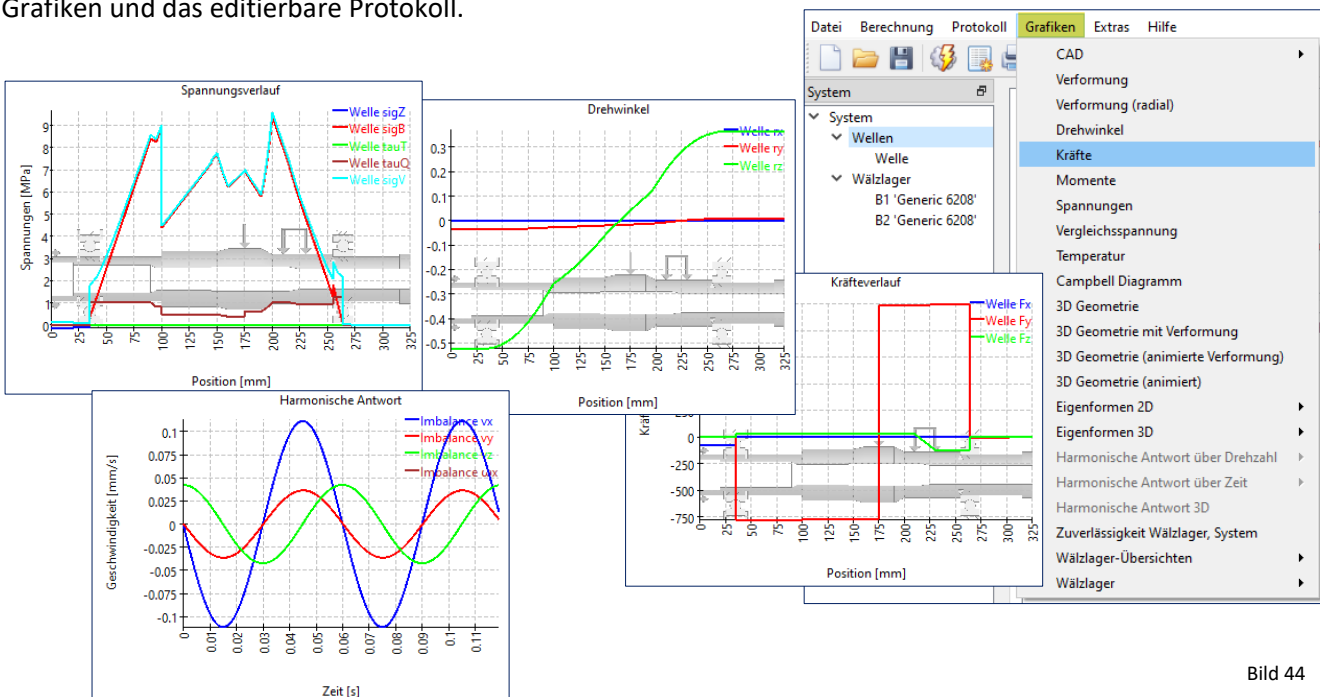
Resultateübersicht  
 Minimale Referenzlebensdauer minL10h 198794 h Minimale modifizierte Referenzlebensdauer minLnmi 713145 h Minimale statische Sicherheit Wälzlager (ISO 17956) minS0e 16.7381  
 Minimaler dynamischer Sicherheitsfaktor Welle minS 69.4413 Minimaler statischer Sicherheitsfaktor Welle minSS 99.99 Maximale Vergleichsspannung maxSigV 8.49093 MPa  
 Maximale Verschiebung in radialer Richtung maxUr 0.0198494 mm Maximale Verschiebung in x maxUx 0.0325731 mm

Grün: Resultate sind aktuell

Bild 43

## 10.2 Resultate

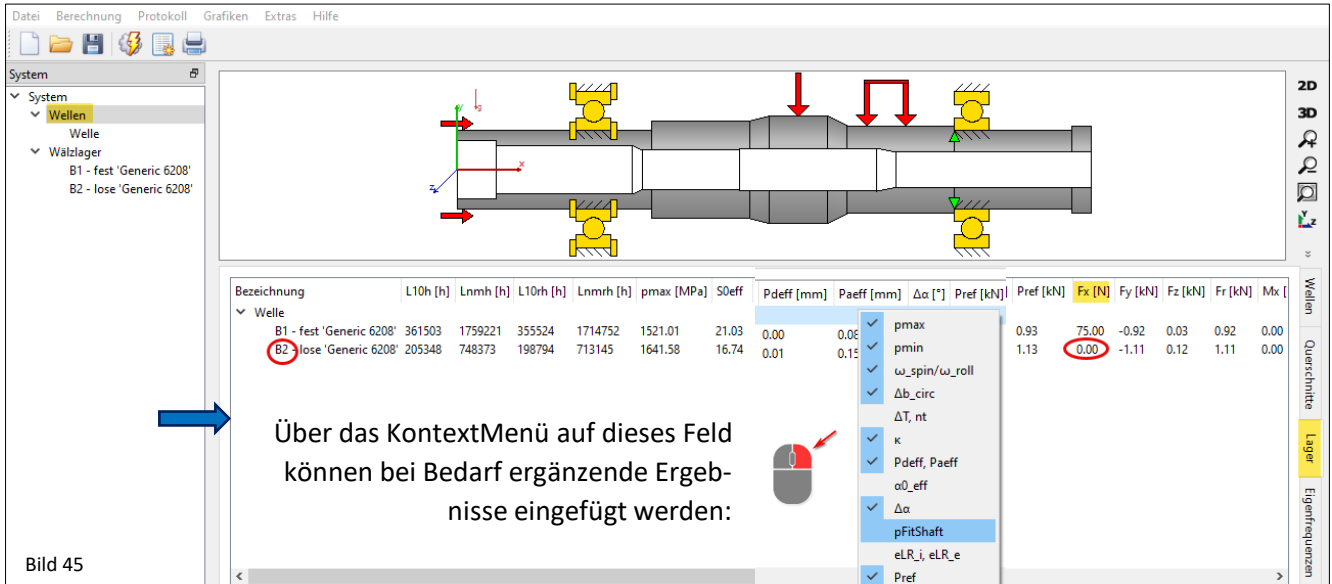
Resultate sind in verschiedenen Ausgaben verfügbar. Es gibt die Standard-Ergebnisübersicht am unteren Rand der Benutzeroberfläche (Abbildung 43), eine Übersicht der Lagerkräfte und Eigenfrequenzen, verschiedene Grafiken und das editierbare Protokoll.



Spannungsverlauf: Spannung [MPa] vs Position [mm].  
 Drehwinkel: Drehwinkel vs Position [mm].  
 Harmonische Antwort: Geschwindigkeit [mm/s] vs Zeit [s].  
 Kräfteverlauf: Kraft vs Position [mm].

Menüpunkte:  
 CAD  
 Verformung  
 Verformung (radial)  
 Drehwinkel  
**Kräfte**  
 Momente  
 Spannungen  
 Vergleichsspannung  
 Temperatur  
 Campbell Diagramm  
 3D Geometrie  
 3D Geometrie mit Verformung  
 3D Geometrie (animierte Verformung)  
 3D Geometrie (animiert)  
 Eigenformen 2D  
 Eigenformen 3D  
 Harmonische Antwort über Drehzahl  
 Harmonische Antwort über Zeit  
 Harmonische Antwort 3D  
 Zuverlässigkeit Wälzlager, System  
 Wälzlager-Übersichten  
 Wälzlager

Bild 44



So ist beispielsweise zu erkennen, dass die Loslagerfunktion korrekt arbeitet, da das Lager B2 mit  $F_x = 0$  axial völlig unbelastet ist (Abbildung 45).

➡ Sehen Sie sich auch die anderen Ergebnisse und die zusätzlichen Registerkarten an, wie in Abbildung 46 dargestellt.

Name	n [rpm]	$\Sigma T$ [Nm]	$\Sigma P$ [kW]	minL10h [h]	minLnmrh [h]	pmax [MPa]	minS0eff	maxSigV [MPa]	SD	SS	maxUr [mm]	mass [kg]	centerMass [mm]	Jxx [kg m <sup>2</sup> ]	Jyy [kg m <sup>2</sup> ]	Jzz [kg m <sup>2</sup> ]
Welle 1000	-	-	-	198794	713145	1641.58	16.74	8.49	69.44	99.99	0.02	3.09	172.97	0.0010	0.0212	0.0212

Bezeichnung	Typ	x [mm]	SD	SS	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	rx [mrad]	ry [mrad]	rz [°]
Welle			69.44	99.99												
Shoulder with relief groove	Absatz mit Freistich	255	69.44	99.99	0.000	1.102	-0.116	0.000	1.051	9.760	0.0325	-0.0155	0.0016	0.0000	0.0002	0.2585

Nummer	f [Hz]	f [1/min]	D [-]	Typ
1	20.0296	1201.77	0.0419399	Torsion 'Welle'
2	143.163	8589.79	0.218533	Axial 'Welle'
3	1047.83	62869.6	0.0666211	Radial 'Welle'
4	1264.28	75856.7	0.0856523	Radial 'Welle'
5	1309.46	78567.7	0.0578778	Radial 'Welle'
6	1591.64	95498.3	0.0782232	Radial 'Welle'
7	2473.5	148410	0.059286	Radial 'Welle'
8	2517.23	151034	0.0644119	Radial 'Welle'
9	5110.1	306606	0.0978351	Radial 'Welle'
10	5153.55	309213	0.100553	Radial 'Welle'

Hinweis: Der Inhalt ist hier nur sichtbar, wenn die Untersuchung der Frequenzen ausgewählt ist.

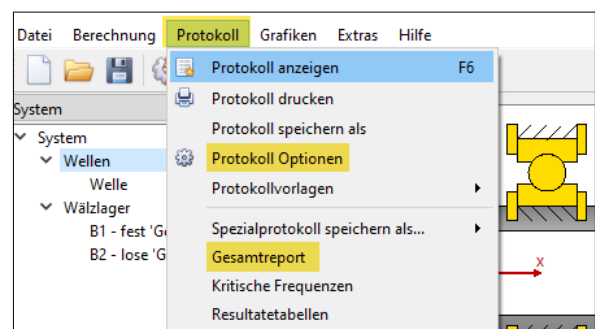
Bild 46

## 10.3 Protokoll

### 10.3.1 Standard Protokoll

Mit der Schaltfläche in der Symbolleiste oder mit 'Protokoll'/'Protokoll anzeigen' wird ein Protokoll für die Wellenberechnung erstellt, das nur einen Überblick über die Resultate für die Lagerberechnung gibt. Es findet sich hier auch 'Protokoll'/'Gesamtreport', der einen vollständiges Protokoll mit den Ergebnissen der Wellenberechnung und den vollständigen Protokollen der Lagerberechnungen erzeugt.

Bild 47



### 10.3.2 Protokoll Optionen

Im Menü 'Protokoll'/Protokoll Optionen' kann der Inhalt des Berichts konfiguriert werden. Die einzubeziehenden Grafiken können ausgewählt werden und einige Abschnitte des Berichts können verworfen werden, wenn sie nicht von Interesse sind. Die Legende für alle Tabellenparameter kann im Bericht angezeigt werden.

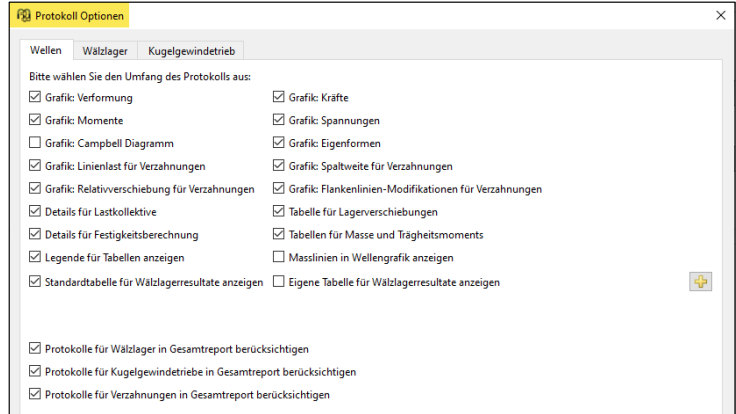


Bild 48

### 10.3.3 Protokoll Format

Der Bericht kann z. B. im .docx-Format gespeichert werden, was eine weitere Bearbeitung ermöglicht.

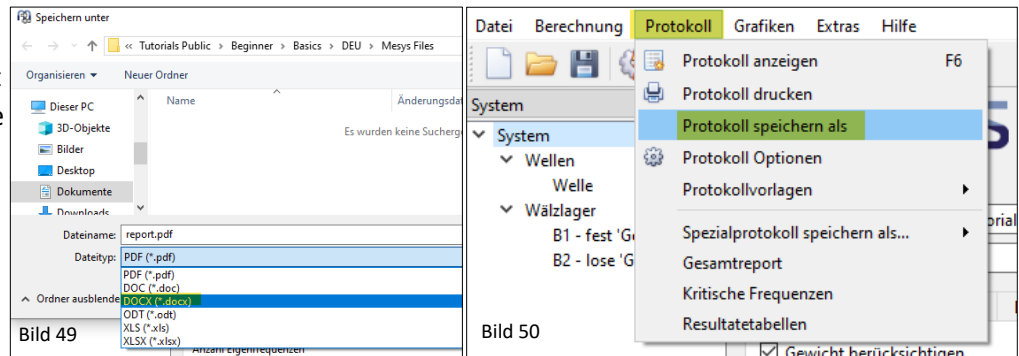


Bild 49

Bild 50

Das Logo im Bericht kann in 'mesys.ini' konfiguriert werden. Siehe Konfiguration mit INI-Datei. Weiterführende Informationen dazu finden Sie im [Handbuch](#) unter Kap. 3.5.2.2.

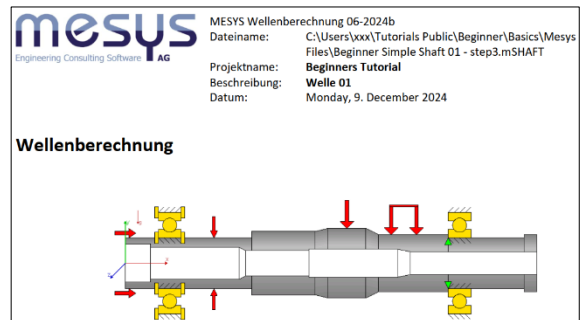


Bild 51

### 10.3.4 Resultatetabellen

	ux [µm]	uy [µm]	uz [µm]	ry [mrad]	rz [mrad]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	My [Nm]	Mz [Nm]		
1	<b>Bearing stiffness matrices</b>											
2	B1 - fest (Generic 6208)											
3												
4	Fx [N]	3.32011	-9.36438	0.13058	2.37464	79.1575	ux [µm]	4.99918	0.0244	0.00815	-5.45274	-191.114
5	Fy [N]	-9.36498	116.4	-1.45514	-2.04036	-226.458	uy [µm]	0.02488	0.01113	0.0004	-0.112	0.27242
6	Fz [N]	0.1306	-1.45514	71.6892	145.094	2.04036	uz [µm]	0.00812	0.0004	0.0204	-3.13602	-0.22788
7	My [Nm]	0.00241	-0.00208	0.14736	0.94654	0.04104	ry [mrad]	-0.00554	-0.00011	-0.00319	1.55081	0.17424
8	Mz [Nm]	0.08036	-0.23009	0.00208	0.04104	2.04061	rz [mrad]	-0.19395	0.0003	-0.00023	0.17411	8.0433
9	B2 - lose (Generic 6208)											
10												
11	Fx [N]	2.94889	0.00433	-0.00935	7.57775	72.356	ux [µm]	6.87217	-0.00184	-0.00058	-23.4483	-259.894
12	Fy [N]	0.00433	123.931	-4.60453	0.12204	-0.99832	uy [µm]	-0.00236	0.00809	0.0005	0.00774	0.09363

Bild 52

Im Menü 'Protokoll'/Resultatetabellen' ist es möglich, die Ergebnissdaten in Tabellenform auszugeben (Bild 52).

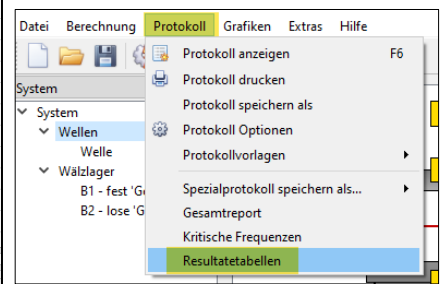


Bild 53

Resultatetabellen mit tabellarischen Detailergebnissen können auch zu Wälzlagern (Bild 54) mittels Kontext auf das Lager im Systembaum generiert werden.

LoadCase	Bearing	Row	Ball	$\psi$ [°]	$Q_j$ [N]	$Q_e$ [N]	$F_c$ [N]	$M_g$ [Nm]	$\pi_i$ [MPa]	$\pi_e$ [MPa]	$\pi_i$ Trunc [°]	$t_{ci}$ [°]		
1	1	1	1	1	0	0.308294	0.308294	0	0	115.7739	0	115.7739	1.158905	
4	1	1	1	2	40	0.308203	0.308203	0	0	115.7625	0	115.7625	0.986913	
5	1	1	1	3	80	0.308023	0.308023	0	0	115.74	0	115.74	0.591525	
6	1	1	1	4	120	229.7891	230.097	0.307909	0	1244.395	1050.17	1244.395	1050.17	0.092801
7	1	1	1	5	160	527.5244	527.8323	0.307867	0	1641.582	1385.015	1641.582	1385.015	0.033584
8	1	1	1	6	200	465.6562	465.9641	0.307875	0	1574.721	1328.638	1574.721	1328.638	0.032549
9	1	1	1	7	240	119.9481	120.256	0.30793	0	1001.95	845.9113	1001.95	845.9113	0.096278
10	1	1	1	8	280	0.308069	0.308069	0	0	115.7458	0	115.7458	0.606552	
11	1	1	1	9	320	0.308234	0.308234	0	0	115.7664	0	115.7664	1.000856	

Bild 54

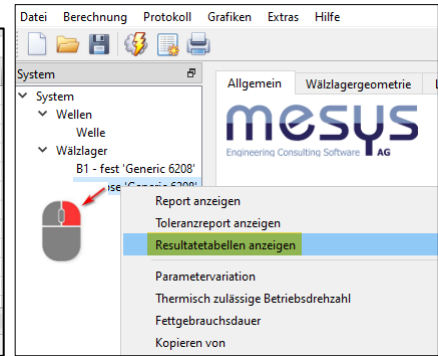


Bild 55

### 10.3.5 Toleranzreport

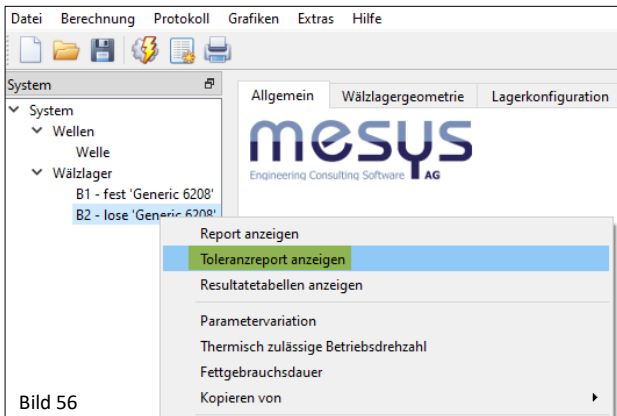


Bild 56

Kehren wir nun im Rahmen dieses Dokuments zu praktischem Inhalt. An dieser Stelle sind wir im Stande zu interpretieren, ob unsere gewählten Passungen für die vorge-sehene Drehzahl und Temperatur geeignet sind. Ein spezieller Bericht für Toleranzen kann durch Kontext-Menü auf 'B1' oder 'B2' erstellt werden (Bild 56). Sofern eine Wälzlagertoleranz, Radial- oder Axialspiel unter 'B1' oder 'B2' im Register 'Wälzlagergeometrie' zugewiesen (siehe Bild 29), können Pressungen und Übermass der Lagersitze und daraus resultierende Lagerspiele für Min, Mittel, Max und Wahrscheinlich ausgegeben werden. Wenn Sie den 'Gesamtreport' (Bild 47) ausdrucken möchten, sind die oben genannten Informationen darin bereits enthalten.

Schauen wir uns also an, wie das Übermass an den Lagersitzen aussieht und welches Restspiel unter Berücksichtigung der gewählten Passungen mit ISO-Toleranzklassen 6 / 7 (siehe Bild 29), der Fliehkraft und der Temperatur an B1 verbleibt:

➡ Drucken Sie den Toleranzreport für B1.

Tabelle 1

Eigenschaften für unterschiedliches Spiel		Minimum	Minimum erwartet	Mittelwert	Maximum erwartet	Maximum	Einheit
Nominales diametrales Lagerspiel	Pd	6.00	7.99	13.00	18.01	20.00	µm
Toleranz Welle	$\Delta_{ds}$	18.00	15.71	10.00	4.29	2.00	µm
Toleranz Lagerinnenring	$\Delta_d$	-12.00	-10.29	-6.00	-1.71	0.00	µm
Übermass Innenring	lw_i	28.40	24.40	14.40	4.40	0.40	µm
Effektives Übermass Innenring	lw_iop	28.39	24.39	14.39	4.39	0.39	µm
Flächenpressung Innenring	pFit_i	20.14	17.30	10.20	3.11	0.28	MPa
Tangentialspannung Innenring	sigt_i	101.64	87.33	51.55	15.77	1.46	MPa
Montagekraft Innenring ( $\mu fit=0.1$ )	Ffit_i	4556.3	3913.7	2308.2	704.3	63.1	N
Toleranz Lagerausserenring	$\Delta D$	0.00	-1.56	-6.50	-11.44	-13.00	µm
Toleranz Gehäuse	$\Delta Dh$	0.00	3.59	15.00	26.41	30.00	µm
Übermass Aussenring	lw_e	-1.60	-6.75	-23.10	-39.45	-44.60	µm
Effektives Übermass Aussenring	lw_eop	-1.60	-6.75	-23.10	-39.45	-44.60	µm
Flächenpressung Aussenring	pFit_e	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	MPa
Tangentialspannung Aussenring	sigt_e	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	MPa
Montagekraft Aussenring ( $\mu fit=0.1$ )	Ffit_e	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	N
Spieländerung	$\Delta Pd$	-19.24	-13.66	-9.76	-5.86	-0.28	µm
Effektives diametrales Lagerspiel	Pdeff	-13.24	-5.67	3.24	12.15	19.72	µm
Effektives axiales Lagerspiel	Paeff	-	-	75.80	146.46	186.23	µm
Effektiver freier Druckwinkel	$\alpha_{0eff}$	0.00	0.00	4.89	9.48	12.09	°

In Tabelle 1 ist zu erkennen, dass das Übermass am Innenring unter 'Effektives Übermass Innenring' selbst im ungünstigsten Fall ('Maximum') noch positiv ist. Andererseits ist die Restradialluft bei 'Minimum' nicht mehr ausreichend!

Zu berücksichtigen ist auch, dass der unter Umfangslast rotierende Innenring wahrscheinlich eine höhere Temperatur als 20°C wie am Aussenring erfährt.

➡ Ändern Sie die Temperatur am Innenring auf 25° C.

➡ Ändern Sie die Radialluft auf Klasse C3 für beide Lager.

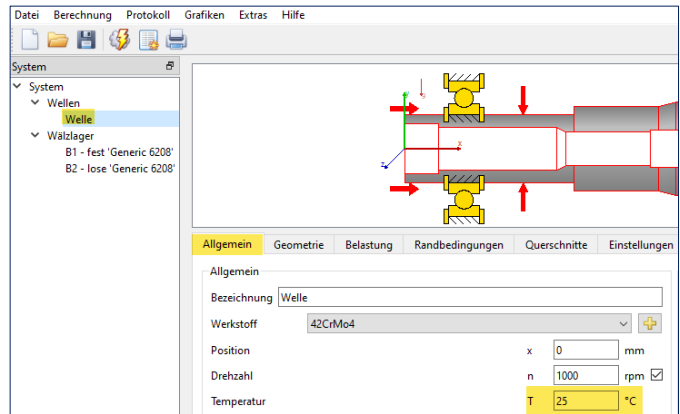


Bild 57

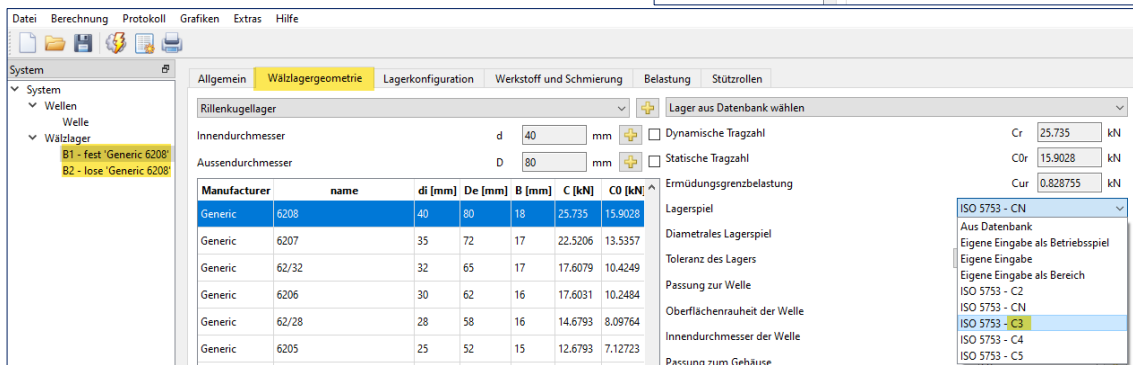


Bild 58

➡ Generieren Sie den Toleranzreport erneut.

Tabelle 2

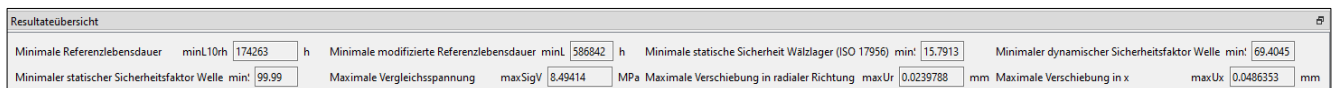
Eigenschaften für unterschiedliches Spiel		Minimum	Minimum erwartet	Mittelwert	Maximum erwartet	Maximum	Einheit
Effektives diametrales Lagerspiel	P <sub>deff</sub>	-8.33	0.34	10.15	19.96	28.64	µm
Effektives axiales Lagerspiel	P <sub>aeff</sub>	-	24.61	133.94	187.32	223.82	µm

In Tabelle 2 ist zu erkennen, dass eine Lagerluft C3 eine radiale Vorspannung verhindern könnte. Es ist jedoch zu beachten, dass der Temperaturgefälle in der Regel nicht genau bekannt ist und dass die Auslegung dieser Lagerluft in der Praxis nochmals überprüft werden sollte!

## 11. Analyse

### 11.1 Unteres Resultate-Fenster

Bild 59



Das oben abgebildete Resultate-Fenster zeigt die wichtigsten Ergebnisse der Simulation wie die minimale modifizierte Referenzlebensdauer, die Sicherheitsfaktoren für Festigkeit, die Vergleichsspannung und die maximale axiale und radiale Abweichung aus Verformung der Welle.

### 11.2 Mittleres Resultate-Fenster

Bild 60

Bezeichnung	L10h [h]	Lnmh [h]	pmax [MPa]	S <sub>0eff</sub>	pmin [MPa]	P <sub>deff</sub> [µm]	P <sub>aeff</sub> [mm]	Δα [°]	Pref [kN]	Fx [N]	Fy [kN]	Fz [kN]	Fr [kN]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]	Mr [Nm]	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	ur [mm]	rx [mrad]	ry [mrad]	rz [mrad]	rr [°]
B1 - fest 'Generic 6208'	306782	1368890	1552.84	19.76	0.00	10.15	0.13	0.01	0.97	75.00	-0.92	0.03	0.92	0.00	0.07	1.93	1.93	0.0340	-0.0167	0.0005	0.0167	-0.0098	-0.0938	0.3244	
B2 - lose 'Generic 6208'	174263	586842	1673.77	15.79	0.00	9.01	0.13	0.00	1.18	0.00	-1.11	0.12	1.11	0.00	-0.00	0.01	0.01	-0.0019	-0.0188	0.0017	0.0189	-0.0001	0.0764	0.2626	

- > Die Werte für die Hertz'sche Pressung (pmax) liegen auf einem vernünftigen Niveau.
- > Die effektive mittlere Radialluft (P<sub>deff</sub>) hat einen positiven Wert
- > Die Verkippung (rr) liegt deutlich innerhalb der von den Herstellern angegebenen zulässigen Werte
- > Die modifizierte Referenzlebensdauer (L<sub>nmr</sub>) liegt auf komfortablen Niveau

### 11.3 Grafiken

Mit Hilfe von grafischen Darstellungen zahlreicher Wellen- und Lagerungsparameter kann die Anwendung eingehend analysiert werden.

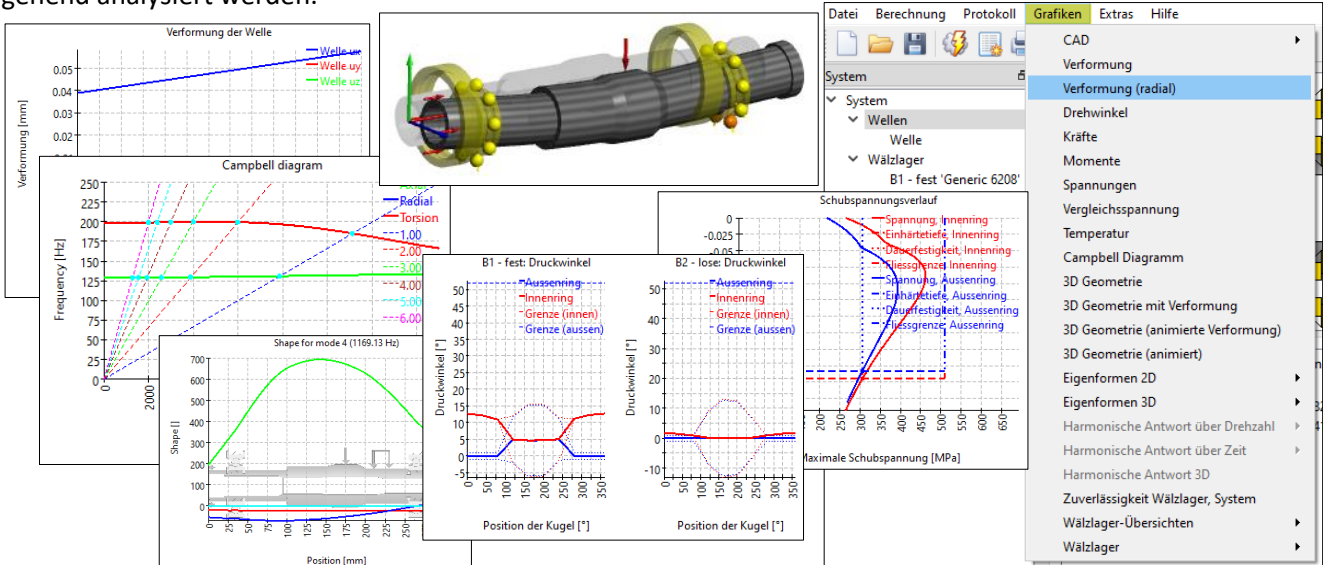


Bild 61

### 11.4 Lastkollektiv

Eine weitere Methode zur Analyse des Anwendungsverhaltens besteht darin, verschiedene Bedingungen oder Lastzustände zu berücksichtigen. Arbeiten Sie unter solchen Voraussetzungen mit Lastkollektiven. Wenn das Kontrollkästchen für 'Lastkollektiv berücksichtigen' unter 'System' gesetzt ist, wird im Systembaum ein zusätzlicher Punkt mit dem Titel 'Lastkollektiv' angezeigt.

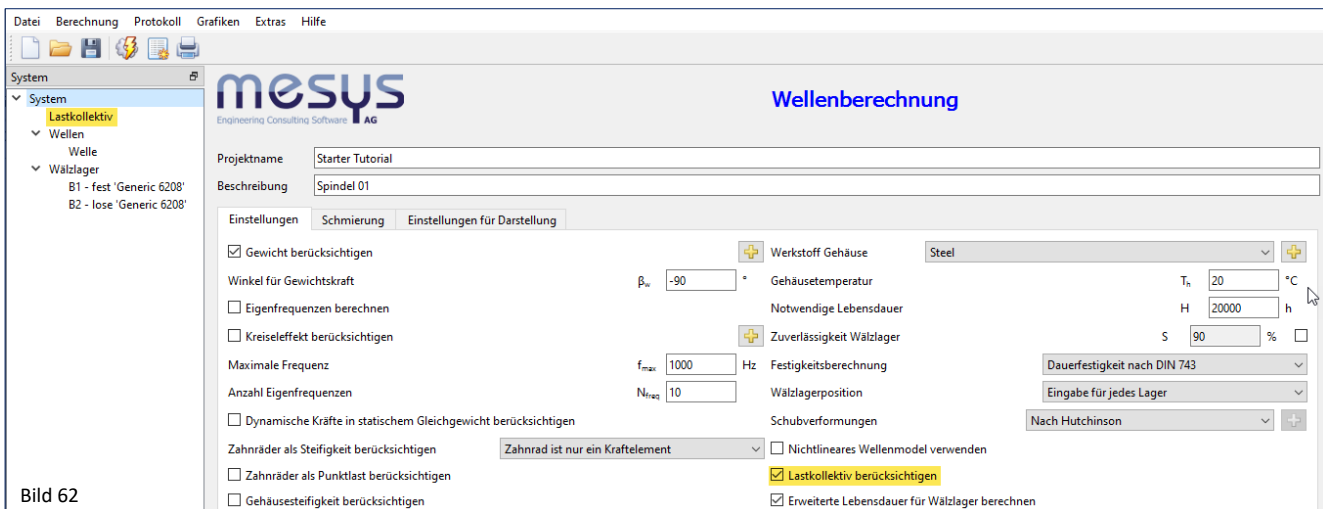


Bild 62

➡ Aktivieren sie den Modus für Lastkollektiv über das entsprechende Feld.

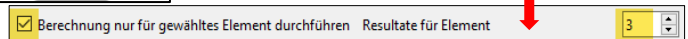
Mittels dieser Einstellung haben Sie die Möglichkeit, die variablen Parameter über das Kontextmenü in die Tabelle zu laden und ihnen dann Werte zuzuweisen, wie in der folgenden Abbildung 63 dargestellt:

Welle	Comment	Frequency	TOil [°C]	THousing [°C]	n [rpm]	T [°C]	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]
1	stop	0	20	20	0	20	0	0	0
2	idle cold	0.2	20	20	1000	20	0	0	0
3	idle	0.2	60	25	1000	30	0	0	0
4	load	0.6	70	25	1000	32	75	-2000	150

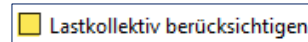
Die Zellen unter 'Comment' können frei beschrieben werden.

Darüber hinaus kann das Lastkollektivelement auch separat berechnet werden, wenn die entsprechende Auswahl am unteren Rand des Lastkollektivfensters getroffen wurde.

Bild 63



- ➡ Tragen Sie das Lastkollektiv entsprechend den Inhalten in Bild 63 ein.
- ➡ Berechnen Sie die Welle mittels entsprechender Schaltfläche.
- ➡ Bewerten Sie die Resultate im Mittleren Resultatenfenster.
- ➡ Deaktivieren Sie den Modus für Lastkollektiv.



### 11.5 Parametervariation

Über den Menüpunkt 'Berechnung'/'Parametervariation' wird ein Dialog für Parametervariationen angezeigt. Er ermöglicht es dem Anwender, Parameterstudien durchzuführen, deren Ergebnisse in Tabellen und Grafiken dargestellt werden. Typische Anwendungen sind z.B. die Visualisierung von Lebensdauer über Spiel oder Verschiebungen über Last. Eine optionale Optimierung für einen Parameter ist ebenfalls verfügbar. Weiterführende generelle Informationen zu Parametervariation finden Sie im [Handbuch](#) unter Kap. 1.6.

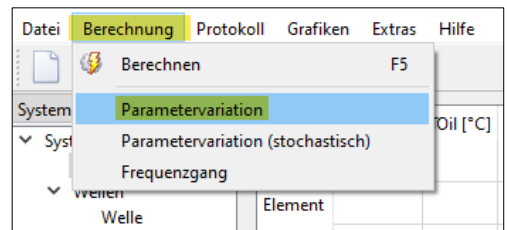
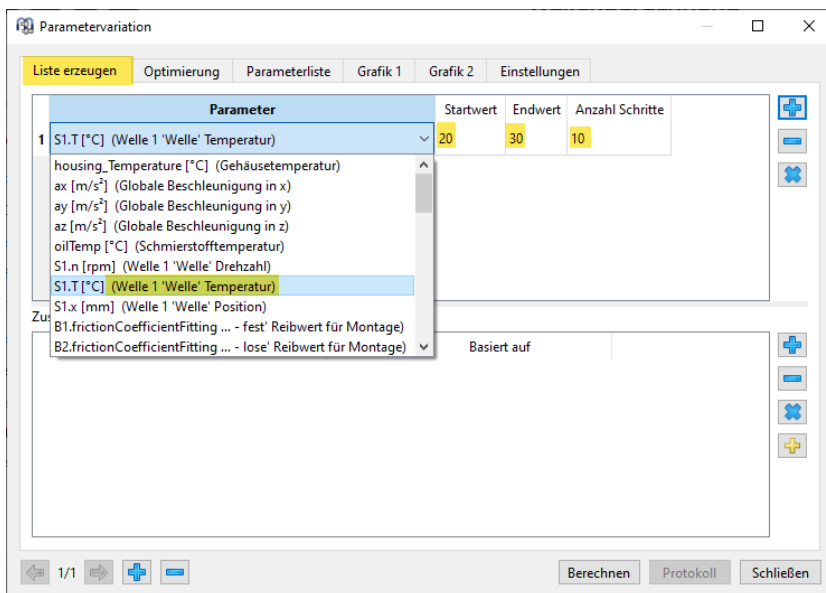


Bild 64



In 'Liste erzeugen' können ein oder mehrere Parameter aufgesetzt werden. Diese lassen sich durch 'Zusätzliche Regeln' ergänzen.

Bild 65



Parametervariation

Liste erzeugen Optimierung Parameterliste Grafik 1 Grafik 2 Einstellungen

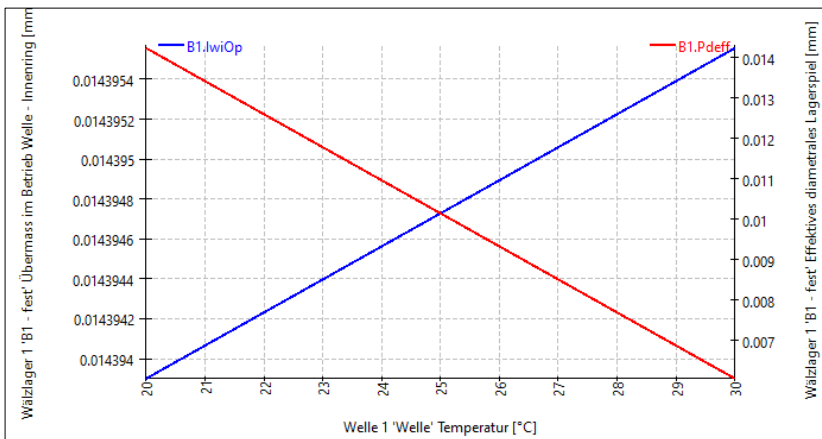
	S1.T [°C]	B1.lweOp [mm]	B1.lwiOp [mm]	B1.Pdeff [mm]
1	20	-0.0231	0.0143939	0.0142377
2	21	-0.0231	0.0143941	0.0134198
3	22	-0.0231	0.0143942	0.0126019
4	23	-0.0231	0.0143944	0.011784
5	24	-0.0231	0.0143946	0.0109661
6	25	-0.0231	0.0143947	0.0101482
7	26	-0.0231	0.0143949	0.00933026
8	27	-0.0231	0.0143951	0.00851236
9	28	-0.0231	0.0143952	0.00769445
10	29	-0.0231	0.0143954	0.00687655
11	30	-0.0231	0.0143956	0.00605864

Eingaben  
 Ergebnisse  
 Wälzlager 1 'B1 - fest'  
 Wälzlager 2 'B2 - lose'  
 Welle 1 'Welle'  
 Eingaben...  
 Ergebnisse...  
 Alle Eingaben anzeigen  
 Alle Eingaben ausblenden  
 Alle Ergebnisse anzeigen  
 Alle Ergebnisse ausblenden

1/1 Berechnen Protokoll Schließen

Unter der Registerkarte 'Parameterliste' können nun die gewünschten Parameterergebnisse auf Basis der gegebenen Parametrierung über das Kontextmenü ausgewählt werden.

Bild 66



Parametrierung der Wellentemperatur zur Analyse der Radialluft und des effektiven mittleren Interferenz Welle / Innenring.

Bild 67

➔ Führen Sie die oben gezeigt Parameterstudie aus.

MESYS wünscht Ihnen eine lehrreiche und gewinnbringende Erfahrung mit unseren Tutorials. Bitte wenden Sie sich ungehindert bei Unklarheiten, Anregungen oder Fragen, an [info@mesys.ch](mailto:info@mesys.ch).