

Tutorial Series

Wellenberechnung - Starter Scope 3D-elastische Bauteile - Achsschenkel

Inhalt

Dieses Tutorial zeigt am Beispiel eines Achsschenkels, wie sich 3D-elastische Bauteile in die MESYS Wellenberechnung integrieren lassen. Die folgenden Arbeitsschritte gehen vom Import der 3D-Geometrie über die Ausrichtung im Koordinatensystem bis hin zur Definition von Lager- und Kontaktflächen. Anschliessend werden die Komponenten gemäss den Vorgaben der Anwendung zu einem Gesamtmodell zusammengeführt und die Lastfälle der Radaufhängung eingerichtet. Dabei werden sinnvolle Vereinfachungen aufgezeigt und Prüfschritte zur Plausibilisierung genannt. Ziel ist ein reproduzierbarer Ablauf, der eine effiziente Einbindung von 3D-Bauteilen und belastbare Ergebnisse für die Systembewertung ermöglicht.

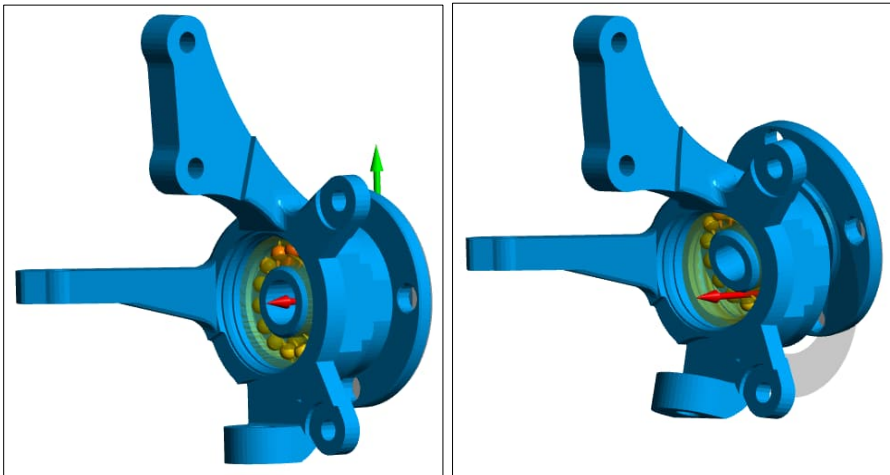


Bild 1

Für die Durchführung werden die vorbereiteten 3D-Daten und die zugehörige Berechnungsdatei benötigt; beide sind im [MESYS Download-Bereich](#) verfügbar. Die verwendete MESYS Version ist 12-2024.

Elastische Welle zufügen

Über das Kontextmenü zu 'Wellen' oder zu 'Gruppen' lässt sich unkompliziert ein 3D-elastisches Bauteil als Welle bzw. Gehäuse einfügen. Nach der Auswahl erscheint das neue Bauteil unmittelbar im Wellen- oder Gruppenbaum und kann in der Folge in Namen, Ausrichtung und Eigenschaften frei angepasst werden.

- ➡ Öffnen Sie in der MESYS Wellenberechnung ein neues File.
- ➡ Fügen Sie eine 'Elastische Welle' gemäss Bild 2 zu.

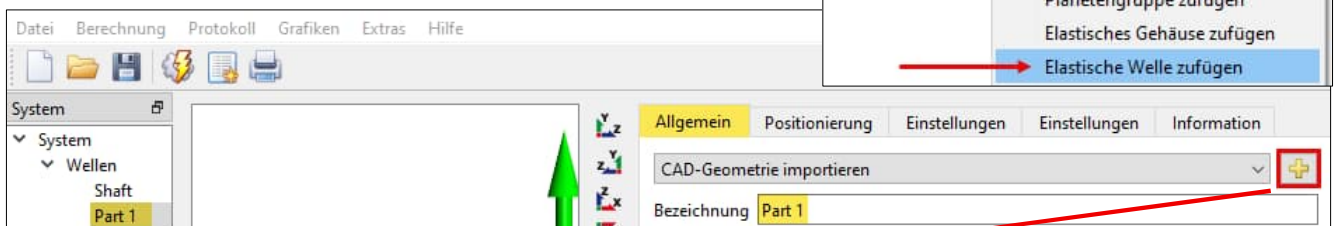


Bild 2

- ➡ Aktivieren Sie über die + – Schaltfläche den Import des STEP - Files für die Radlager-Spindel (Bild 3/4).

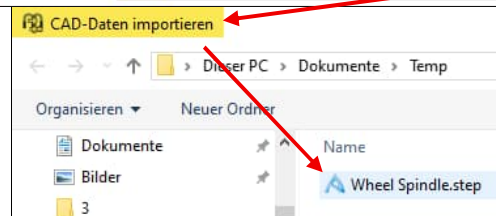
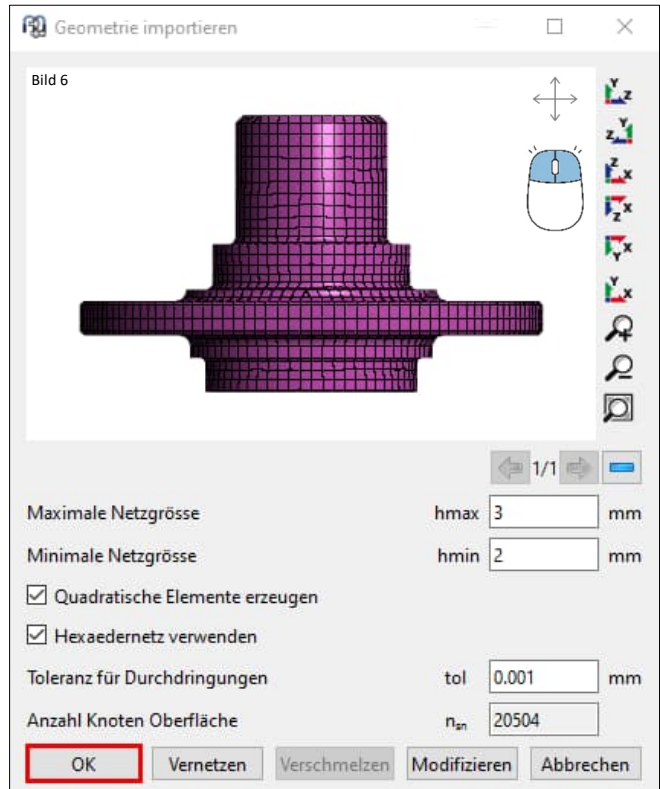
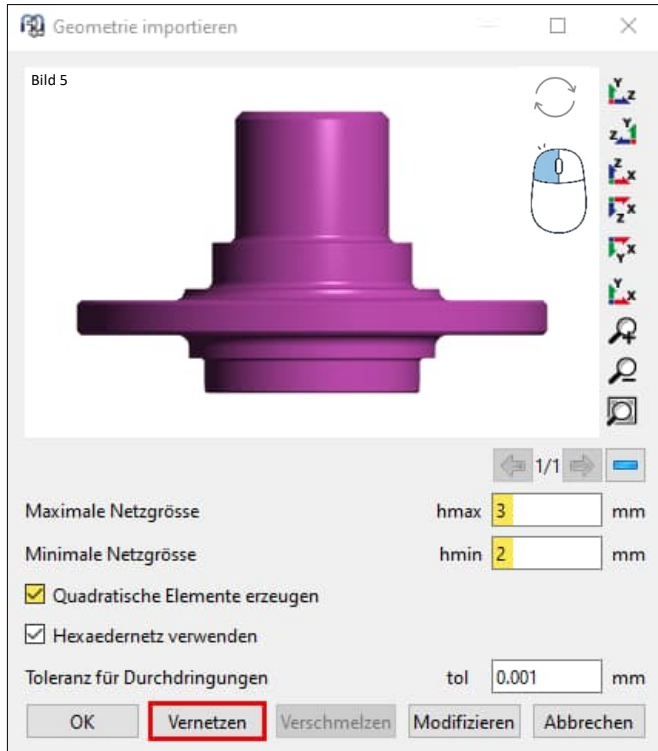
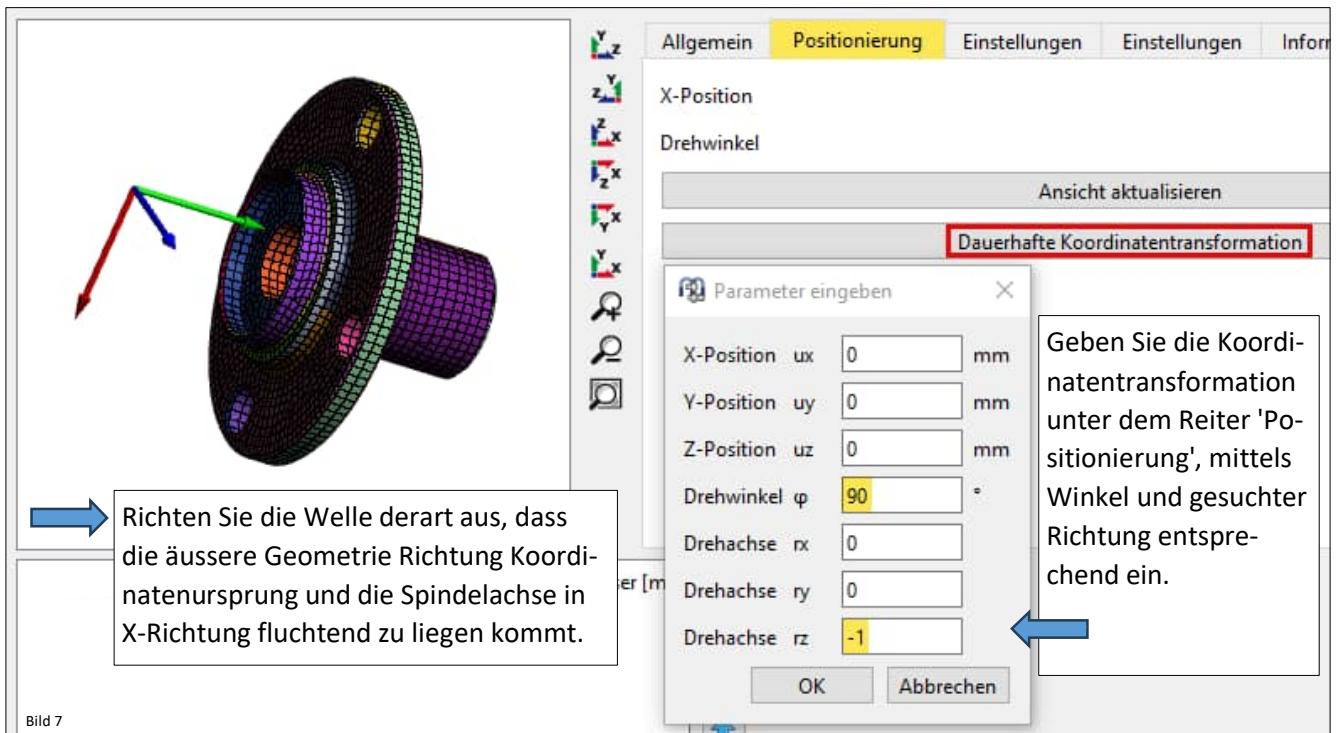


Bild 3

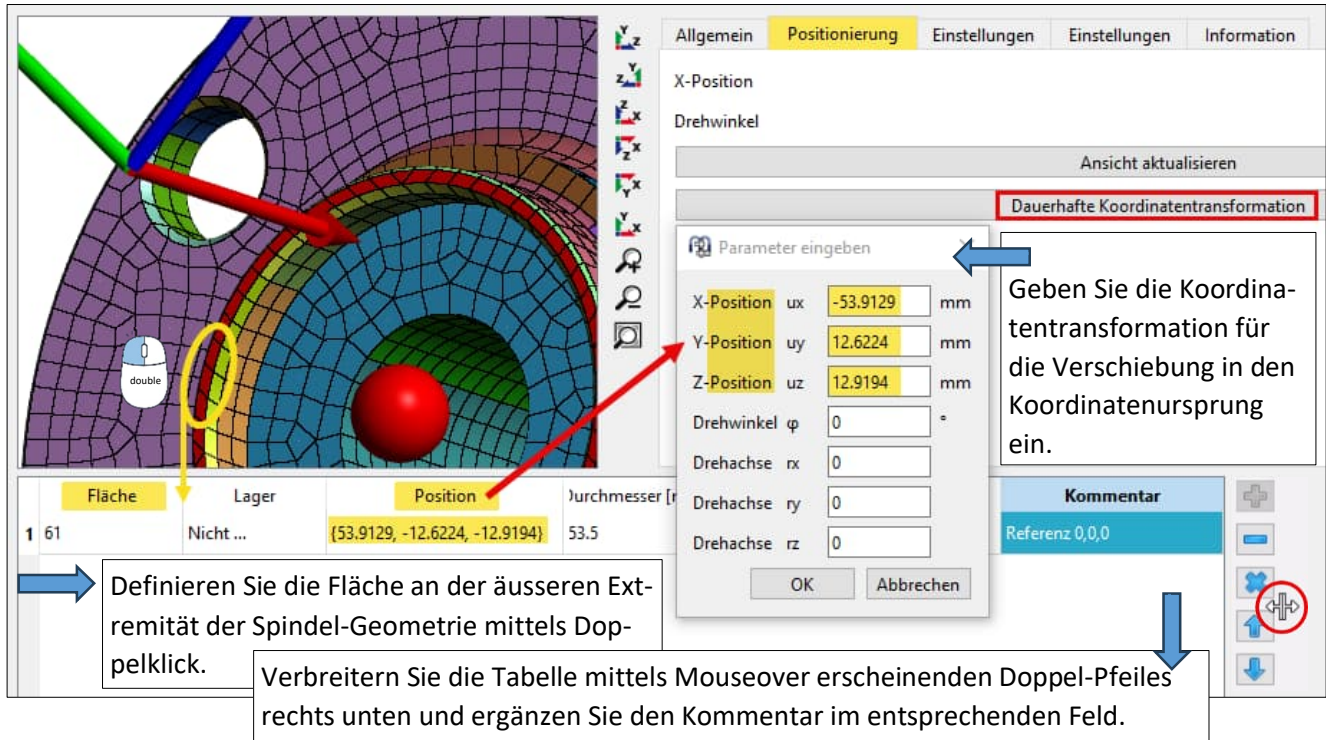
Bild 4



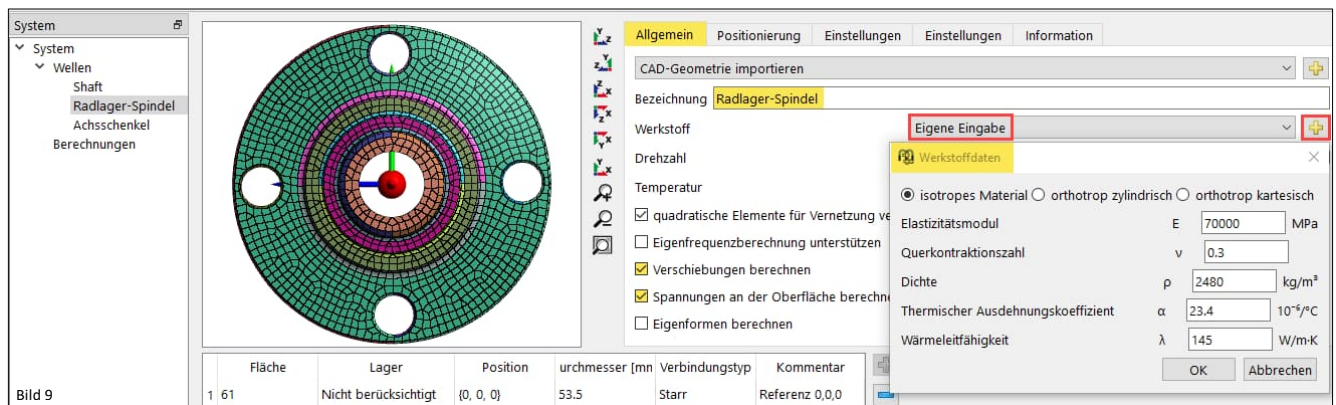
- ➡ Aktivieren Sie für eine höher Qualität der Geometriedarstellung durch quadratische Formfunktionen, die Option 'Quadratische Elemente erzeugen' (Bild 5).
- ➡ Vergeben Sie vernünftige Netzgrössen und aktivieren Sie die Vernetzung zur Erzeugung der entsprechenden reduzierten Steifigkeitsmatrix (Bild 5/6).



- ➡ Der nächste Schritt beinhaltet die Aktivierung einer Referenz-Fläche im Raum, um diese in der Folge auf den Koordinatenursprung zu setzen.



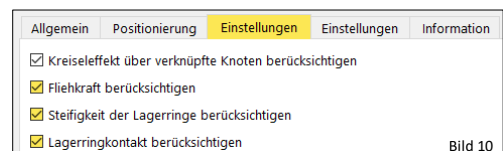
→ Vergeben Sie dem Bauteil eine Bezeichnung (Bild 9).



→ Wählen Sie für den Werkstoff ein isotropes NE-Metall mittels eigener Eingabe, um aus Krafteinwirkung eine akzentuierte Verformung hervorzuheben (Bild 9).

→ Aktivieren Sie die Option 'Verschiebungen berechnen' und weiter 'Spannungen an der Oberfläche berechnen', um für eine Auswertung unter Menü 'Grafiken' in der Folge Resultate einsehen zu können (Bild 9).

→ Aktivieren Sie des Weiteren unter dem 1. Reiter für 'Einstellungen' die Optionen für Fliehkraft, Steifigkeit und Kontakt (Bild 10).



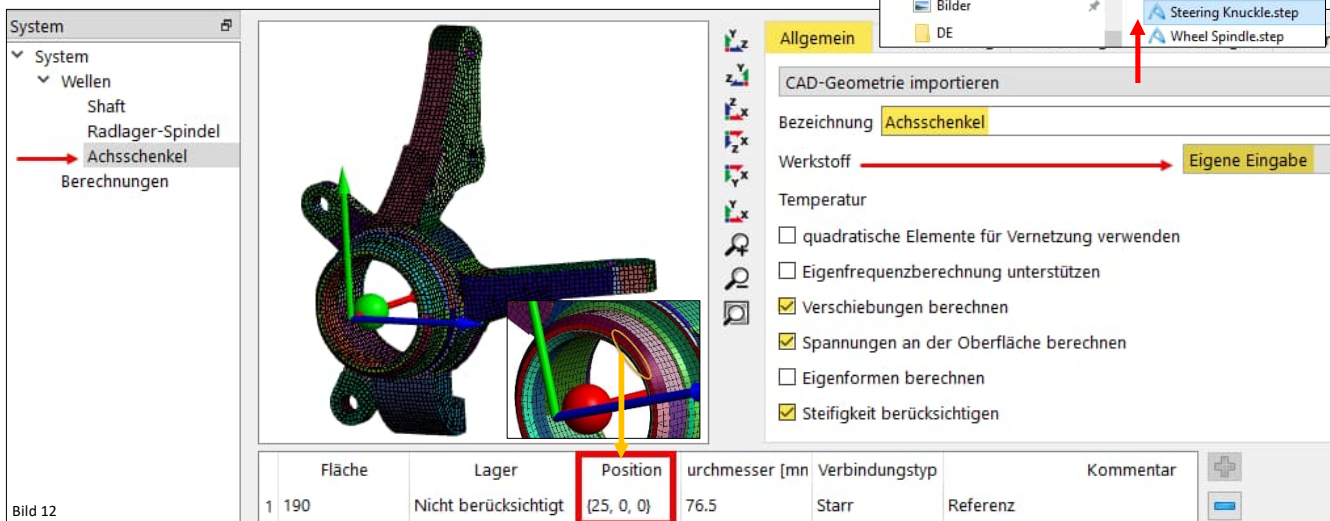
Die Option 'Steifigkeit der Lagerringe berücksichtigen' fügt die Steifigkeit der Lagerringe zu der elastischen Lagerung hinzu. ←

Mit 'Ringkontakt berücksichtigen' wird ein Kontaktmodell zwischen Lagerring und Bauteil aktiviert. Die Passungsberechnung setzt das Betriebslagerspiel dann nicht direkt, sondern es ergibt sich unter Berücksichtigung von Ausdehnung/Einengung der elastischen Teile. Bei ungleichmässiger Bauteilsteifigkeit ist der Lagerring bereits nach der Montage verformt. ←

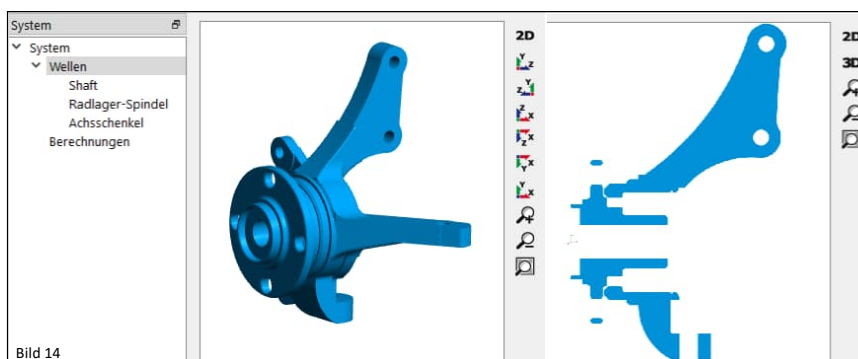
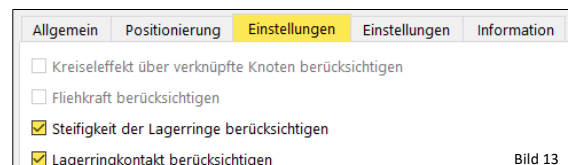
Elastisches Gehäuse zufügen

Über das Kontextmenü zu 'Wellen' oder zu Gruppen lässt sich das 3D-elastische Bauteil als 'Elastisches Gehäuse' zufügen (Bild 11). Nach der Auswahl erscheint das neue Bauteil unmittelbar im Wellen- oder Gruppenbaum und kann in der Folge in Namen, Ausrichtung und Eigenschaften frei angepasst werden.

- ➡ Wiederholen Sie das Import-Prozedere wie unter '[Elastische Welle zufügen](#)' beschrieben, inkl. Werkstoffzuweisung auch für den Achsschenkel.
- ➡ Vergeben Sie dem Bauteil eine Bezeichnung gemäss Bild 12.



- ➡ Vergeben Sie auch diesem Bauteil Materialeigenschaften gemäss [Bild 9](#).
- ➡ Aktivieren Sie die Option 'Verschiebungen berechnen' und weiter 'Spannungen an der Oberfläche berechnen', um für eine Auswertung unter Menü 'Grafiken' in der Folge Resultate einsehen zu können (Bild 12).
- ➡ Richten Sie das Bauteil gemäss den Koordinaten in Bild 12 gezeigt aus, indem Sie eine Fläche als Positionreferenz an der äusseren Extremität der Geometrie bestimmen.
- ➡ Aktivieren Sie des Weiteren unter dem 1. Reiter für 'Einstellungen' die Optionen für Steifigkeit und Kontakt (Bild 13).



- ➡ Damit sind der Import und die Positionierung der elastischen Bauteile abgeschlossen.
- ➡ Beide Komponenten erscheinen nun in der 2D und 3D Ansicht.

Aufsetzen des Radlagers

Konzept

Die Radlagerung soll aus einem Satz zweier Schrägkugellager in den Dimensionen von je 40 x 74 x 15 mm bestehen (Bild 15). Im folgenden Arbeitsschritt möchten wir die inneren und äusseren Kontaktflächen bestimmen.

Spindel

Die axiale Lage der Wälzlager kann aus der vermashten Darstellung der Radlager-Spindel rechts entnommen werden.

➔ Wählen Sie mittels Kontextmenü im unteren Fenster für die tabellarische Darstellung der Flächen für die Radlager-Spindel den Befehl 'Fläche zufügen' (Bild 17).

Bild 17

Fläche	Lager	Position	Durchmesser
1	Nicht berücksichtigt	{0, 0, 0}	53.5

Fläche zufügen

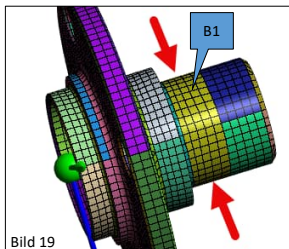
Bild 18

Fläche über Zylinder wählen

Position	x	48.5	mm
Position	y	0	mm
Position	z	0	mm
Achse	ax	1	
Achse	ay	0	
Achse	az	0	
Länge	L	15	mm
Durchmesser	D	40	mm
Position des Flächenschwerpunktes	xF	48.1764	mm
Position des Flächenschwerpunktes	yF	-0.0439655	mm
Position des Flächenschwerpunktes	zF	-0.0102003	mm

OK Abbrechen Anwenden

➔ Vergeben Sie hier die 'Position' gemäss Axiallage für das 1. Lager gemäss Bild 18 und die Lagerbreite als 'L', sowie den Lagerinnendurchmesser als D.



➔ Damit wird nun eine integrale Fläche für den Lagersitz B1 erstellt (Bild 19).

➔ Wiederholen Sie den Schritt für das Zufügen einer Fläche auch für den Lagersitz B2 (Bild 20).

Bild 20

Wählen Sie ggf. die Flächen a, b und fassen sie diese gemäss Bild unterhalb zusammen. Wiederholen Sie diesen Schritt, um a/b mit der Fläche B2 zu verbinden.

Fläche	Lager	Position	Durchmesser	ngstyp	Kommentar
1	21	Nicht berücksichtigt	{56.9759,	Flächen zusammenfassen	a
2	22	Nicht berücksichtigt	{56.9814,		b

➔ Sollte der Grad der Vernetzung dazu führen, dass die beiden Flächen nicht exakt selbe Breiten aufweisen, können diese mittels Kontextmenü vereint werden (Bild 20).

Bild 21

Wählen Sie für die beiden Lagerstellen in der Spalte 'Lager' den entsprechenden Begriff und setzen sie im Fenster unten rechts ein Schrägkugellager mit den Dimensionen aus [Konzept](#).

Wählen Sie für den 'Verbindungstyp' die Option 'elastisches Lager'

Öffnen Sie den Dialog zur Wälzlager-Auswahl über die + – Schaltfläche, wie auf Bild 22 gezeigt.

Bild 22

Die Option 'elastisches Lager' berücksichtigt die elastischen Verformungen des Bauteils in der Lastverteilung des Lagers.

Markieren Sie die jeweiligen Zeilen für die Lagersitze ...

... und setzen Sie die Lager B1 und B2 auf. Starten Sie anschliessend im Wälzlagerdialog die Berechnung.

Achsschenkel

Wählen Sie mittels Kontextmenü im unteren Fenster der tabellarische Darstellung der Flächen, für den Achsschenkel den Kontext-Befehl 'Fläche zufügen' (Bild 24) und geben Sie für den Lagersitz B1 ein $x = 25 + 15.023 + (50.011 - 15.023)/4 = 48.77 \text{ mm}$ ein (Bild 23).

Bild 24

Bild 23

GCS (0,0,0)

Schnitt A-A

15.023

50.011

17.494

B1: 48.77 mm

B2: 66.264 mm

Wählen Sie mittels Kontextmenü im unteren Fenster der tabellarische Darstellung der Flächen, für die Radlager-Spindel den Kontext-Befehl 'Fläche zufügen' (Bild 24) und geben Sie für den Lagersitz B2 eine Position $x = 25 + 15.023 + (50.011 - 15.023) \cdot 3/4 = 66.264 \text{ mm}$ ein (Bild 24).

Die einzelne Lagersitzbreite von 17.494 mm ergibt sich aus der halben Gesamt-Lagersitzbreite $(50.011 - 15.023) / 2$ (Bild 23).

Wählen sie unter der Spalte 'Lager' für die entsprechenden Lagersitzflächen die Lager B1/B2 aus (Bild 24).

Vergeben Sie den Lagersitzflächen in der Spalte 'Verbindungstyp' die Option 'elastisches Lager' für beide Wälzlager B1 / B2 (Bild 24).

Ändern Sie in der 2D-Ansicht die Orientierung von B2 zu einer O-Anstellung (Bild rechts).

Die Wälzlager erscheinen nun in der 2D und 3D Ansicht (Bild 26).

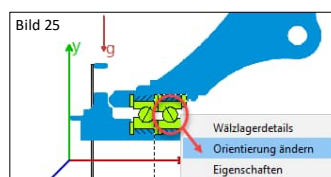
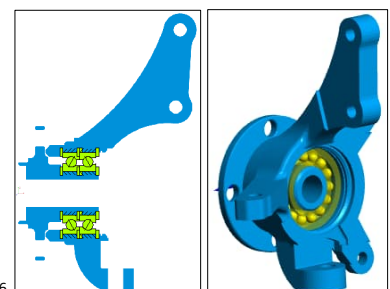


Bild 26



Einstellen der Wälzlager

Setzen Sie für ein nicht montiertes Axialspiel Pa 'Eigene Eingabe' und ergänzen Sie die Toleranzklasse, Passungen, Rauheit und Innendurchmesser Welle sowie Aussendurchmesser Gehäuse an beiden Lagern (Bild 27).

1D-Welle zufügen

An der Radlager-Spindel soll ein 1D-Wellenabschnitt gekoppelt werden. Dieser wird zur Definition einer exzentrischen Kraft verwendet. Mittels entsprechender Vorgabe soll die Software über diese 6-DOF-Schnittstelle die Lasten physikalisch konsistent in Lager und Achsschenkel übertragen.

System

- System
 - Wellen
 - Last-Schnittstelle
 - Radlager-Spindel**
 - Achsschenkel
 - Wälzlager

Definieren Sie an dieser Stelle noch, über welche Fläche die Verbindung des 1D Elementes (Last-Schnittstelle) mit der Spindel bestehen soll.

Allgemein | Positionierung | Einstellungen | Einstellungen | Inform

Wählen Sie für die Lagerart in der Spalte 'Lager' das 1D Element. Vergeben Sie für den Verbindungstyp 'Mittelwert'.

Unter der Option Mittelwert wird die Reaktionskraft auf alle Knoten der Fläche verteilt und es wird ein Mittelwert der Verschiebung der Fläche verwendet. Damit wird das Bauteil nicht versteift.

	Fläche	Lager	Position	Durchmesser [mm]	Verbindungstyp	Kommentar
1	21	Lager	{63.1738, 0.0401883, 0.0099236}	40	elastisches Lager	Lager 2
2	60	Nicht berücksichtigt	{0, 0, 0}	53.5	Starr	Referenz 0,0,0
3	65	Lager	{48.1764, -0.0439655, -0.0102003}	40	elastisches Lager	Lager 1
4	45	Welle: 'Last-Schnittstelle'	{15, 9.66269e-06, 3.24119e-05}	0	Mittelwert	Last

Schnittstellen zur Kopplung an die Umgebung

Wie oben schon gesehen, bestimmen Sie unter der Spalte 'Lager' die physikalische Anbindung der ausgewählten Fläche an die Umgebung, während der 'Verbindungstyp' anschliessend festlegt, wie diese Fläche auf einen reduzierten Knoten abgebildet wird und wie Kräfte sowie Ver-

4	63	Nicht berücksichtigt	{147, 151.656, 0}	Flächen zusammenfassen
5	64	Nicht berücksichtigt	{147, 144.115, 0}	Unzusammenhängende Flächen zusammenfassen
Bild 31		Fläche zufügen		

formungen übertragen werden. Lassen Sie uns an diesem Punkt alle restlichen Schnittstellen des Achsschenkels in diesem Sinne definieren.

Markieren Sie die beiden Teile der zylindrischen Bohrungs-Innenfläche und verbinden Sie diese jeweils.



Bild 32

Aktivieren Sie für die Verbindung zur Spurstange im rechten Fenster eine 'Steifigkeitsmatrix' hypothetischen Inhaltes gemäss Bild 33:

	Fläche	Lager	Position	Durchmesser [mm]	Verbindungstyp	Kommentar
1	61	Fest eingespannt	{143, 78, 0}	0	Mittelwert	Federbein unten
2	62	Fest eingespannt	{147, 147.886, 0}	0	Mittelwert	Federbein oben
3	170	Lager	{128, 9, 118}	0	Mittelwert	Spurstange
4	187	Nicht berücksichtigt	{25, 0, 0}	76.5	Mittelwert	Referenz
5	210	Lager	{88.5, -78, 0}	0	Mittelwert	Querlenker
6	232	B1 {48.1764, -0.0439655, -0.0102003}	{48.5924, 0, 0}	74	elastisches Lager	B1
7	233	B2 {63.1738, 0.0401883, 0.0099236}	{67.5736, 0, 0}	74	elastisches Lager	B2

Bild 33

Steifigkeitsmatrix

Bezeichnung: **SM Spurstange**

Position: Δx 0 mm

Mit Gehäuse verbinden

	ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	rx [mrad]	ry [mrad]	rz [mrad]
Fx [N]	20	0	0	0	0	0
Fy [N]		40	0	0	0	0
Fz [N]			400	0	0	0
Mx [Nm]				45	0	0
My [Nm]					2	0
Mz [Nm]						45

Aktivieren Sie für die Verbindung zum Querlenker im rechten Fenster eine 'Allgemeine Randbedingung' gemäss Bild 34:

Fläche	Lager	Position	hmesser [	Verbindungstyp	Kommentar
1 61	Fest eingespannt	{143, 78, 0}	0	Mittelwert	Federbein unten
2 62	Fest eingespannt	{147, 147.886, 0}	0	Mittelwert	Federbein oben
3 170	Lager	{128, 9, 118}	0	Mittelwert	Spurstange
4 187	Nicht berücksichtigt	{25, 0, 0}	76.5	Mittelwert	Referenz
5 210	Lager	{88.5, -78, 0}	0	Mittelwert	Querlenker

Ihre Matrix sollte sich in der Folge wie folgt darstellen:

Bild 35

Fläche	Lager	Position	Durchmesser [mm]	Verbindungstyp	Kommentar
1 61	Fest eingespannt	{143, 78, 0}	0	Mittelwert	Federbein unten
2 62	Fest eingespannt	{147, 147.886, 0}	0	Mittelwert	Federbein oben
3 170	Lager	{128, 9, 118}	0	Mittelwert	Spurstange
4 187	Nicht berücksichtigt	{25, 0, 0}	76.5	Mittelwert	Referenz
5 210	Lager	{88.5, -78, 0}	0	Mittelwert	Querlenker
6 232	B1 {48.1764, -0.0439655, -0.0102003}	{48.5924, 0, 0}	74	elastisches Lager	B1
7 233	B2 {63.1738, 0.0401883, 0.0099236}	{67.5736, 0, 0}	74	elastisches Lager	B2

➡ Löschen Sie die Fläche 187 für die Referenz bezüglich Positionierung des Achsschenkel (Bild 35).

Bild 36

Fläche	Lager	Position	hmesser [r	Verbindungstyp	Kommentar
1 21	Lager	{63.1738, 0.0401883, 0.0099236}	40	elastisches Lager	B2
2 45	Welle: 'Last-Schnittstelle'	{15, 9.66269e-06, 3.24119e-05}	0	Mittelwert	Last
3 60	Nicht berücksichtigt	{0, 0, 0}	53.5	Starr	Referenz 0,0,0
4 65	Lager	{48.1764, -0.0439655, -0.0102003}	40	elastisches Lager	B1

➡ Löschen Sie nun auch an der Spindel die Fläche 60 für die Referenz bezüglich Positionierung der Spindel (Bild 36).

➡ Starten Sie nun die Berechnung:



Allgemeine Randbedingung

Bezeichnung: AR Querlenker

Position: Δx 0 mm

Mit Gehäuse verbinden

Verschiebung in x-Richtung

Typ: Fest

Versatz: δ_x 0 mm

Spiel: Δ_x 0 mm

Verschiebung in y-Richtung

Typ: Fest nach links

Versatz: δ_y 0 mm

Verschiebung in z-Richtung

Typ: Steifigkeit

Steifigkeit: cz 4000 N/mm

Versatz: δ_z 0 mm

Spiel: Δ_z 0 mm

Rotation um die x-Achse

Typ: Steifigkeit

Steifigkeit: crx 45 Nm/rad

Versatz: δ_{rx} 0 rad

Spiel: Δ_{rx} 0 rad

Rotation um die y-Achse

Typ: Steifigkeit

Steifigkeit: cry 2 Nm/rad

Versatz: δ_{ry} 0 rad

Spiel: Δ_{ry} 0 rad

Rotation um die z-Achse

Typ: Steifigkeit

Steifigkeit: crz 45 Nm/rad

Versatz: δ_{rz} 0 rad

Spiel: Δ_{rz} 0 rad

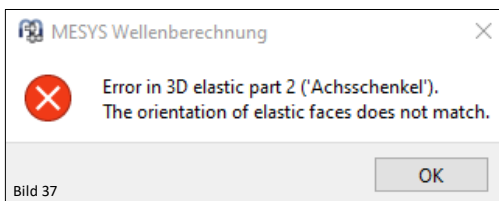


Bild 37

Sollten Sie in der Folge die Fehler-Meldung links erhalten, bedarf es einer Berichtigung der lokalen Koordinaten für die äusseren Lager-sitze.

➡ Stellen Sie die Richtung gemäss Bild 38 um.

4 210	Lager	{88.5, -78, 0}	Auf Wellenachse ausrichten
5 232	B1 {48.1764, -0.0439655, ...}	{48.5924, 0, 0}	Richtung umkehren
6 233	B2 {63.1738, 0.0401883, ...}	{67.5736, 0, 0}	Fläche zufügen
			Ordnung für Approximation definieren

Bild 38

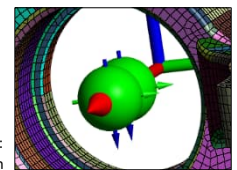


Bild 39: Falsch

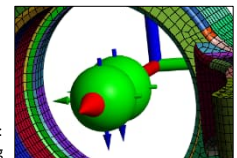


Bild 40: Richtig

➡ Nun sollte der Berechnungsschritt ohne Fehlermeldung durchlaufen und als Bestätigung unten rechts das entsprechende Symbol für erfolgreich durchlaufene Berechnung erscheinen.



Lastkollektiv

➡ Aktivieren Sie die Option 'Lastkollektiv berücksichtigen'.

☒ Lastkollektiv berücksichtigen

Bild 41

➔ Setzen Sie nebenstehendes, einfaches, hypothetisches Lastkollektiv auf und analysieren Sie die Resultate.

➔ Arbeiten Sie optional mit 'Resultate für Element'.

Welle	Comment	Frequency	n [rpm]	Fx [N]	Fr [N]	Ft [N]
Element			Last-Schnittstelle	Last-Schnittstelle	Last-Schnittstelle	Last-Schnittstelle
			Allgemein	Belastung	Belastung	Belastung
1	Fahren	0.75	815	0	-4500	0
2	Kurven	0.25	815	200	-5130	0

☒ Berechnung nur für gewähltes Element durchführen Resultate für Element **2**

Resultate Hauptfenster

➔ In der 3D Ansicht des Hauptfensters kann über das Kontextmenü eine Verformung mit Animation ausgegeben werden (Bild rechts).

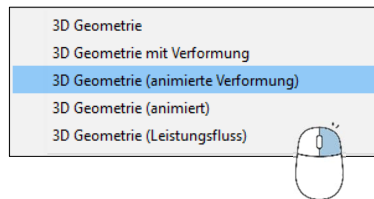
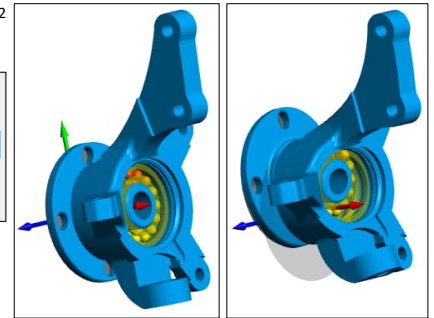


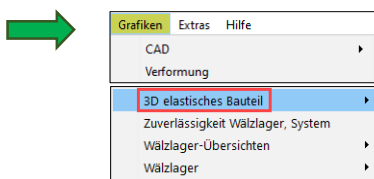
Bild 42



Resultateübersicht

➔ Die Inhalte der Resultateübersicht im untersten Bildschirmfenster können über das Menü Extras => Resultateübersicht editiert werden.

Grafiken Menü



Nebst den üblichen Möglichkeiten an Grafischen Ausgaben zur Analyse, stehen eine Reihe von 3D-Betrachtungen zu Verfügung:

Bild 43

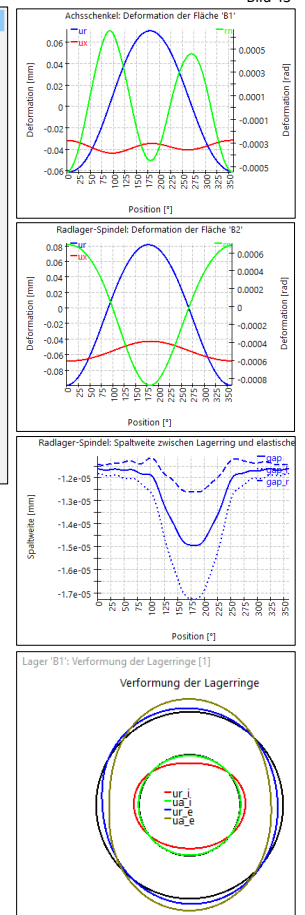
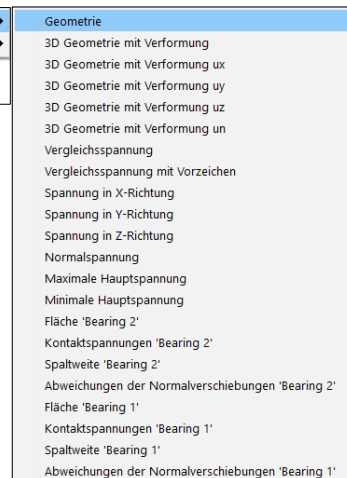
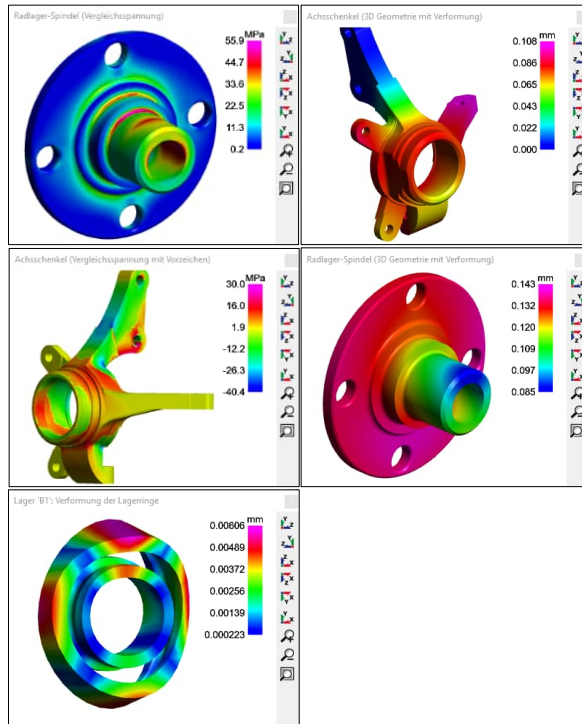


Bild 44



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.