

Tutorial Series

Wellenberechnung - Starter Scope Spindellager-Sätze

Inhalt

In diesem Tutorial werden 3 Möglichkeiten zur Modellierung von Schrägkugellager-Sätzen auf einer Welle aufgezeigt. Dabei werden die Hauptunterschiede sowie die Vor- und Nachteile der einzelnen Möglichkeiten erläutert. Für die Durchführung wird die entsprechende Berechnungs-Datei benötigt, die im [MESYS Download-Bereich](#) verfügbar ist. Die verwendete MESYS Version ist 12-2024.

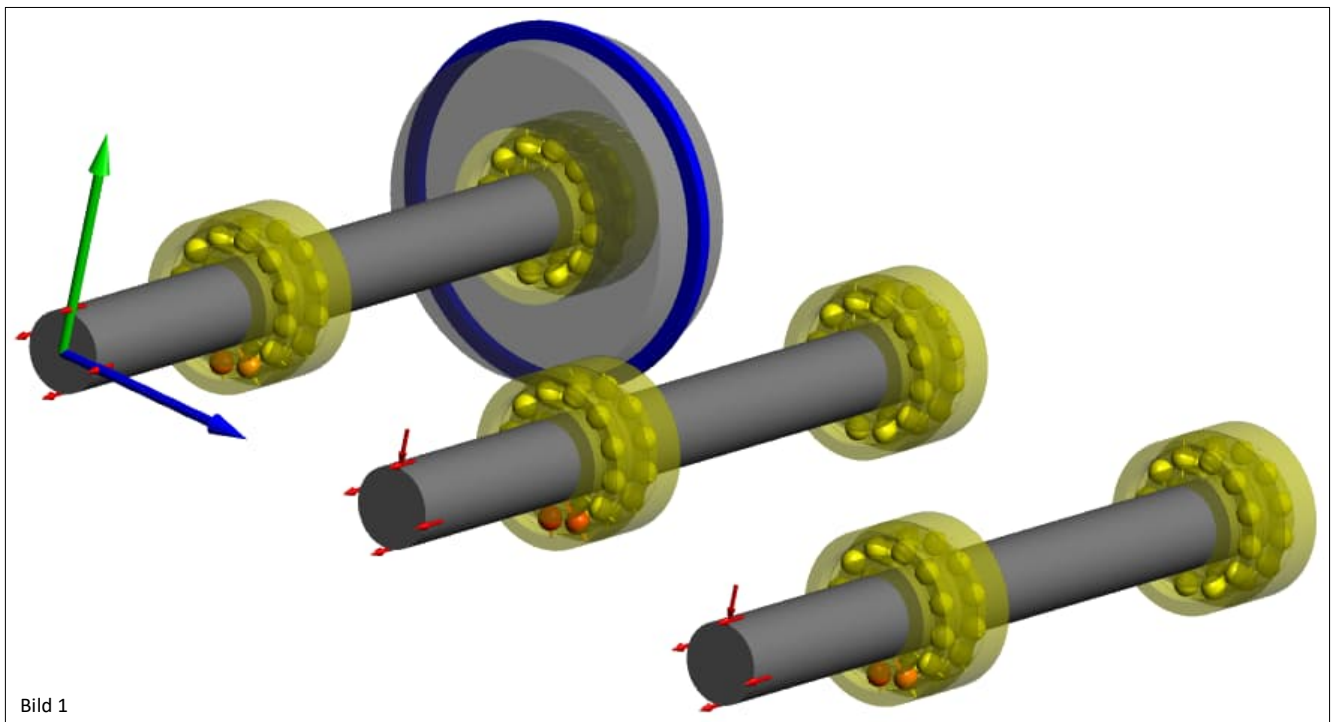


Bild 1

Wie in Abbildung 1 zu erkennen ist, wurden drei unabhängige Wellenmodelle erstellt, um selbe Paarungsarten mit verschiedener Umsetzung (Konzepte) innerhalb derselben Berechnungsdatei miteinander zu vergleichen. An der Spindelnase jeder Spindelwelle, die jeweils durch zwei in O-Anordnung gepaarte Schrägkugellager abgestützt wird, befindet sich ein Kräftelement mit den Komponenten F_x und F_y .

Der arbeitsseitige Lagersatz wird als vollständig fixiert angenommen, während der am anderen Ende positionierte Lagersatz die Welle lediglich radial abstützt. Die aus der Umsetzung dieser drei Lageranordnungen resultierenden Randbedingungen werden zunächst als äquivalent betrachtet.

Im Folgenden werden die einzelnen Konzepte näher erläutert.

Konzept 1 (Schiebebüchse)

In dieser Variante werden vier einreihige Schrägkugellager vorgesehen und entlang der Welle so positioniert, dass die Lager jedes Lagersatzes unmittelbar nebeneinander in O-Anstellung angeordnet sind.

Bauteile	Welle:	Länge = 200 mm;	\varnothing aussen = 20 mm
	Hohlwelle:	Länge = 24 mm;	\varnothing aussen = 80 mm; \varnothing innen = 42 mm
	Wälzlager:	Schrägkugellager	7004D generisch

Erstellen Sie eine Gruppe und benennen Sie diese "Konzept 1". Belassen Sie diese Gruppe im Koordinatenursprung.

Erstellen Sie darin die 2 Wellen wie in Bild 2 gezeigt und vergeben Sie die Geometrien gemäss Angaben auf S. 1.

Länge [mm]	Durchmesser 1 [mm]	Durchmesser 2 [mm]
1 200	20	

Länge [mm]	Durchmesser 1 [mm]	Durchmesser 2 [mm]
1 24	80	

Länge [mm]	Durchmesser 1 [mm]	Durchmesser 2 [mm]
1 24	42	

Bild 2

Kraftelement

Dokumentationspunkt

B1.1 B1.2

B1.3 B1.4

Hohlwelle ("Schiebebüchse") Aufnahme der Aussenringe

'Lager' axial frei

Bilden Sie die Spindel ab und bringen sie die Lager gemäss Bild 5 in Position.

Bild 3

Dokumentationspunkt x=0mm, 'Nose 1'

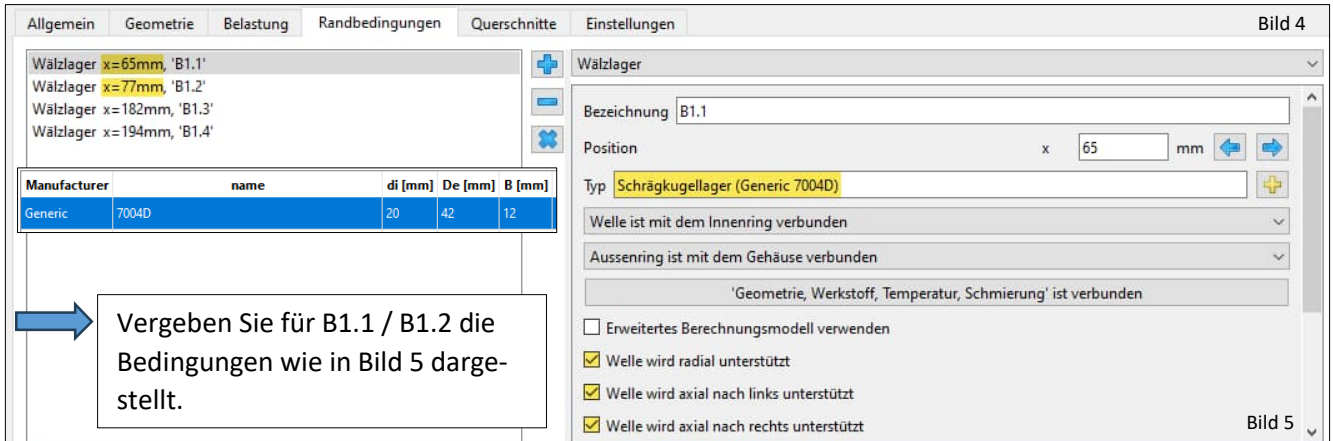
Dokumentationspunkt

Bezeichnung Nose 1

Position x 0 mm

Steifigkeit berechnen

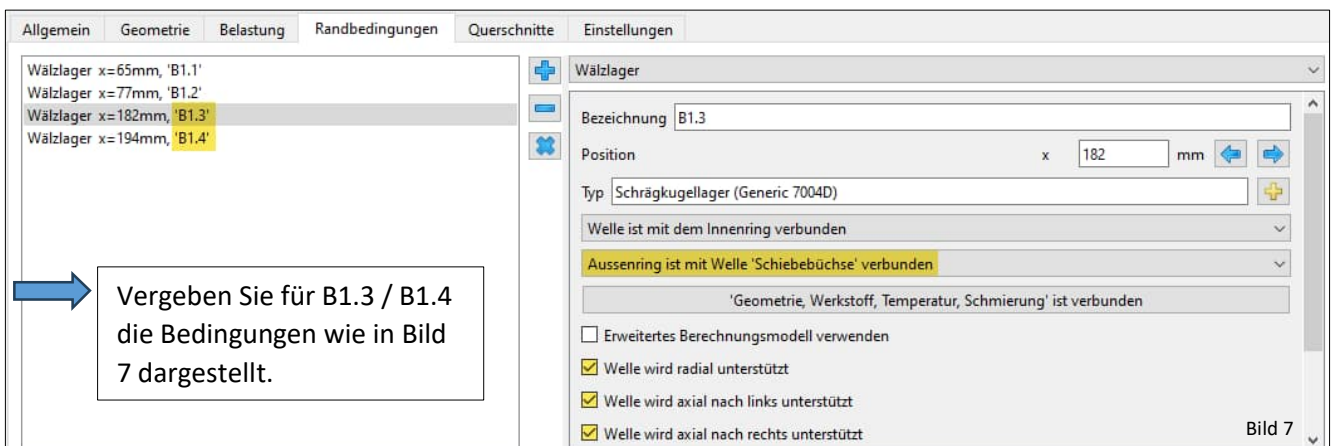
Setzen Sie einen Dokumentationspunkt an der Spindelnase, gemäss Bilder 3 & 4.



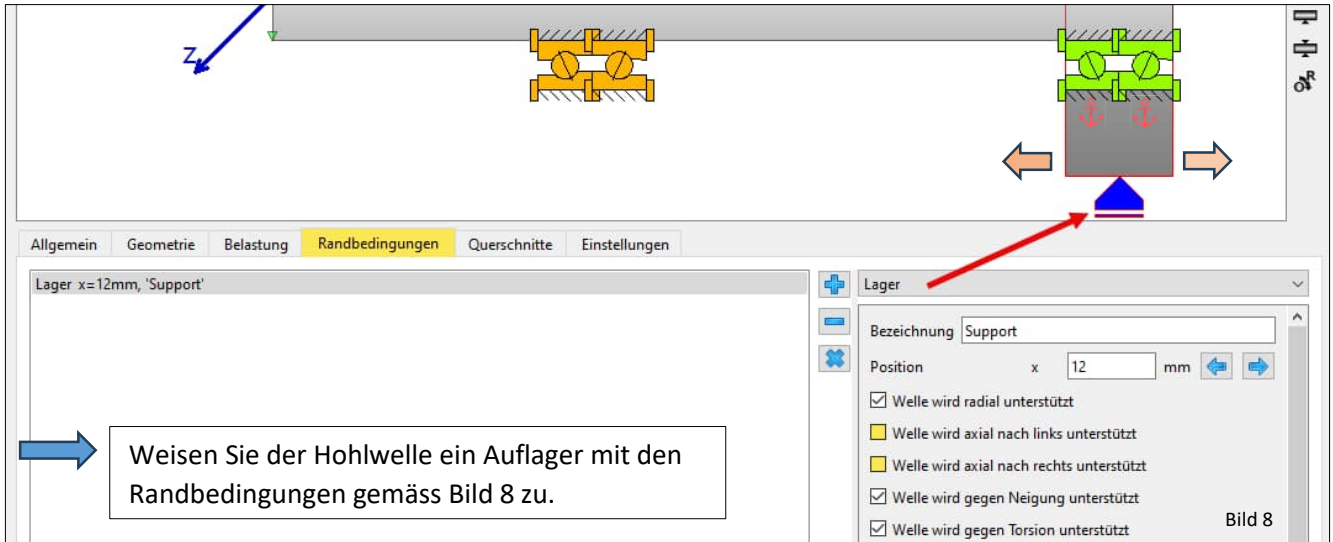
→ Durch die Anbindung der Aussenringe B1.1 / B1.2 an das "Gehäuse" (starre Umgebung) und das Setzen aller zugehörigen Randbedingungen, verhält sich der vordere Lagersatz wie ein Festlager.



→ Die Aussenringe für B1.3 / B1.4 werden mit der Hohlwelle ("Schiebebüchse") verbunden, welche als gemeinsames Gehäuse der Wälzlager dient. Sie begrenzt die axiale Relativbewegung der Lager zueinander und übernimmt gleichzeitig die Kraftweiterleitung. Aus diesem Grund müssen die beiden axialen Randbedingungen für den Loslagersatz B1.3 / B1.4 'unterstützt' gesetzt werden (Bild 7).



→ Für diese spezielle Umsetzung des Loslagersatz B1.3 / B1.4 sind zwei zusätzliche Elemente erforderlich: Die oben bereits erwähnte Hohlwelle ("Schiebebüchse") und eine Auflagerbedingung, die an ihrem Ausendurchmesser axial freigestellt (axial nicht-'unterstützt') wird.



Konzept 2 (Lagersatz)

Unter dieser Art der Umsetzung einer Lagerpaarung müssen zunächst nur zwei einreihige Schrägkugellager definiert werden. Anschliessend wird über die Software-Option „Lagerkonfiguration“ jeweils ein Lagersatz erzeugt.

- ➔ Ergänzen Sie bitte eine Gruppe und nennen Sie diese "Konzept 2". Vergeben Sie dieser Gruppe eine Position in Z von 100 mm.
- ➔ Kopieren Sie nur "Welle 1" und verschieben Sie diese in die Gruppe "Konzept 2".
- ➔ Passen Sie die Bezeichnungen aller Elemente entsprechend an.

Für die Umsetzung dieses Konzeptes, bei welchem es sich um den Einsatz von 2 Lagersätzen handelt, brauchen wir lediglich mit 2 Schrägkugellager zu starten.

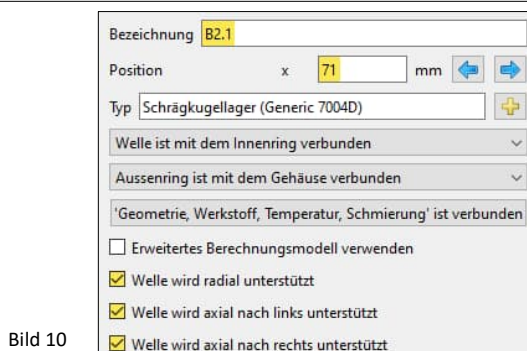
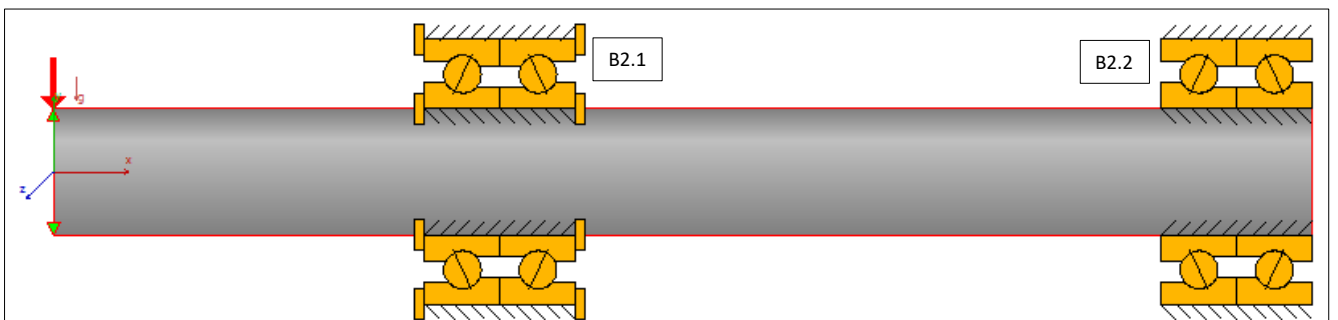
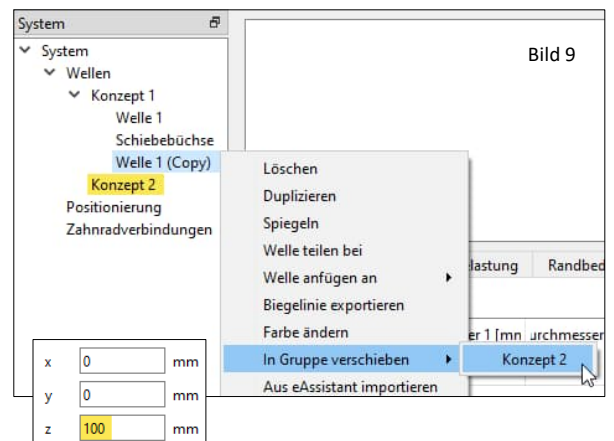
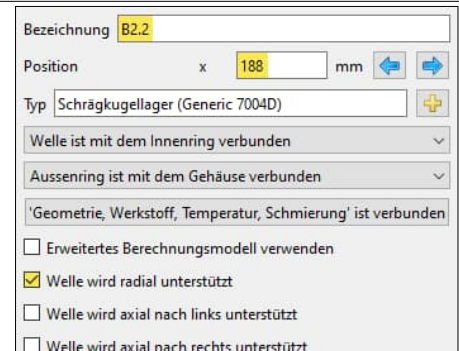


Bild 10

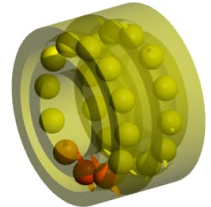


➔ Aktivieren Sie die Option 'Lagersatz berücksichtigen' für beide Lagersätze und benennen Sie die Lager wie in Bild 10 dargestellt.

➔ Aufgrund dieser Konfiguration verhalten sich die Lageranordnungen wie ein zweireihiges Schrägkugellager.

➔ Der Hauptvorteil liegt in der einfachen Implementierung. Im Gegensatz dazu ist es jedoch unter bestimmten Lastbedingungen nicht möglich, detaillierte numerische Ergebnisse zu erhalten, wenn eine der Reihen nicht belastet wird. Dies lässt sich lediglich anhand der verschiedenen Grafiken für Lastverteilung erkennen.

Allgemein		Wälzlagergeometrie	Lagerkonfiguration	Werkstoff un
<input checked="" type="checkbox"/> Lagersatz berücksichtigen				
	Position [mm]	Axialer Versatz [mm]	Lage des Druckmittelpunktes	
1	-6	0	links	
2	6	0	rechts	



Konzept 3 (Erweitertes Berechnungsmodell)

Unter dieser Art der Umsetzung einer Lagerpaarung soll die Option 'Erweitertes Berechnungsmodell' aktiviert werden. Diese komplexere Betrachtungsweise erlaubt es, Wälzlager-Umbauteile in axialen und radialen Kontakten zu den Wälzlager-Ringen in ihren Zuständen definieren. Im Sinne einer Vergleichbarkeit zu den vorhergehenden Konzepten, soll für das Loslager die Einstellung 'Zusatzwelle für den Aussenring mit axialem Kontakt ohne Radialspiel' gewählt werden.

➔ Ergänzen Sie bitte eine Gruppe und nennen Sie diese "Konzept 3". Vergeben Sie dieser Gruppe eine Position in Z von 200 mm.

x	0	mm
y	0	mm
z	200	mm

➔ Kopieren Sie nur "Welle 1" und verschieben Sie diese in die Gruppe "Konzept 3".

➔ Passen Sie die Bezeichnungen aller Elemente entsprechend an.

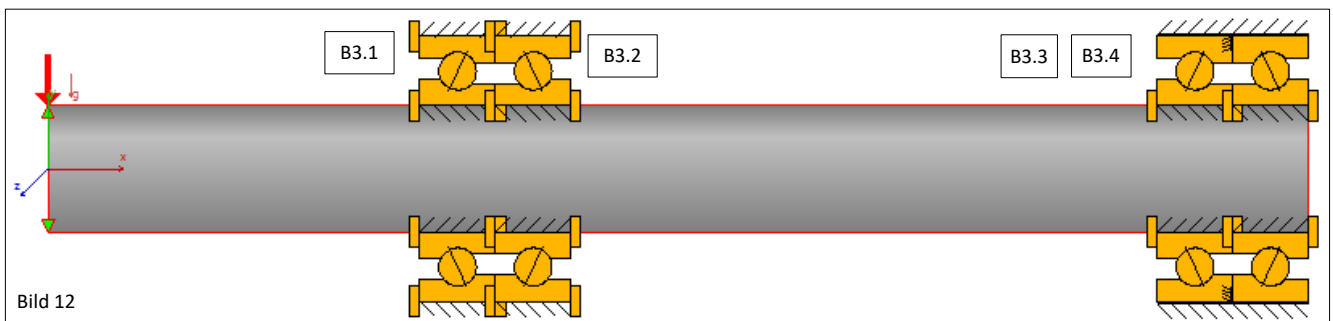


Bild 12

➔ Belassen Sie die axialen Positionen aller Wälzlager und die Randbedingungen für das Festlager genau so wie bei "Welle 1".

➔ Aktivieren Sie für die Wälzlager des Loslagers B3.3 & B3.4 das 'Erweitertes Berechnungsmodell' mittels entsprechendem Kontrollkästchen (Bild 13).

Wälzlager	
Bezeichnung	B3.3
Position	x 182 mm
Typ	Schrägkugellager (Generic 7004D)
Welle ist mit dem Innenring verbunden	
Aussenring ist mit dem Gehäuse verbunden	
'Geometrie, Werkstoff, Temperatur, Schmierung' ist verbunden	
<input checked="" type="checkbox"/> Erweitertes Berechnungsmodell verwenden	
Keine Zusatzwelle für den Innenring	
Zusatzwelle für den Aussenring mit axialem Kontakt ohne Radialspiel	
Linke Seite des Lageraussenringes ist nicht axial verbunden	
Rechte Seite des Lageraussenringes ist mit benachbartem Lagerring verbunden	

Wälzlager	
Bezeichnung	B3.4
Position	x 194 mm
Typ	Schrägkugellager (Generic 7004D)
Welle ist mit dem Innenring verbunden	
Aussenring ist mit dem Gehäuse verbunden	
'Geometrie, Werkstoff, Temperatur, Schmierung' ist verbunden	
<input checked="" type="checkbox"/> Erweitertes Berechnungsmodell verwenden	
Keine Zusatzwelle für den Innenring	
Zusatzwelle für den Aussenring mit axialem Kontakt ohne Radialspiel	
Linke Seite des Lageraussenringes ist mit benachbartem Lagerring verbunden	
Rechte Seite des Lageraussenringes ist nicht axial verbunden	

Bild 13

- ➔ Mit dieser Einstellung werden die Innenringe mit einem einzigen zentralen Knoten mit der Welle verbunden. Axial- und Radialkräfte werden übertragen und kein Spiel (zwischen Lagerring und Welle oder Gehäuse) wird unterstützt.
- ➔ Mit dieser Einstellung an den Aussenringen wird eine zusätzliche innere Welle für den Ring erzeugt und für vorliegenden Fall den axialen Kontakt das benachbarte Lager definiert.

Vergleich der Ergebnisse

Die vorgestellten Alternativen werden in der Praxis zu sehr ähnlichen Ergebnissen führen. Auf diese Weise ist der Lagersatz 'B2.1' das äquivalente Modell des Lagersatzes B1.1 / B1.2, resp. B3.1 / B3.2, sowie 'B2.2' dasjenige von B1.3 / B1.4, resp. B3.3 / B3.4.

Die Modellierung eines Lagersatzes mit Hilfe des Konzeptes 1 oder 3 liefert mehr detailliertere Informationen. So ist es zum Beispiel möglich, den Kippwinkel 'rz' (siehe blau umrandete Zellen in Tabelle 1) für beide Reihen des entsprechenden Lagersatzes zu kennen, während der 'rz' des mit Alternative 2 modellierten Lagersatzes einen ungefähren Wert aufweist:

Shaft	Support	Fx [N]	Fy [N]	Mz [Nm]	ux [mm]	uy [mm]	rz [mrad]	L10h [h]
Schiebebüchse	Support	0.0	301.7	-1.5	-0.011	0.000	0.000	
Welle 1	B1.1	607.6	-1'213.3	8.2	-0.015	-0.017	1.116	4'109
Welle 1	B1.2	-857.6	150.0	2.2	-0.015	-0.006	0.837	13'933
Welle 1	B1.3	111.3	212.9	-1.5	-0.004	0.006	-0.235	759'979
Welle 1	B1.4	-111.3	95.5	0.7	-0.004	0.003	-0.245	2'915'684
Welle 2	B2.1	-250.0	-1'056.6	19.1	-0.015	-0.012	0.962	3'219
Welle 2	B2.2	0.0	301.8	-1.2	-0.015	0.004	-0.224	752'878
Welle 3	B3.1	607.6	-1'213.3	8.2	-0.015	-0.017	1.116	4'108
Welle 3	B3.2	-857.6	150.2	2.2	-0.015	-0.006	0.837	13'928
Welle 3	B3.3	111.0	212.4	-1.5	-0.004	0.006	-0.233	765'857
Welle 3	B3.4	-111.0	95.9	0.7	-0.004	0.003	-0.243	2'923'451

Tabelle 1: Auszug [Report Resultatetabellen](#)

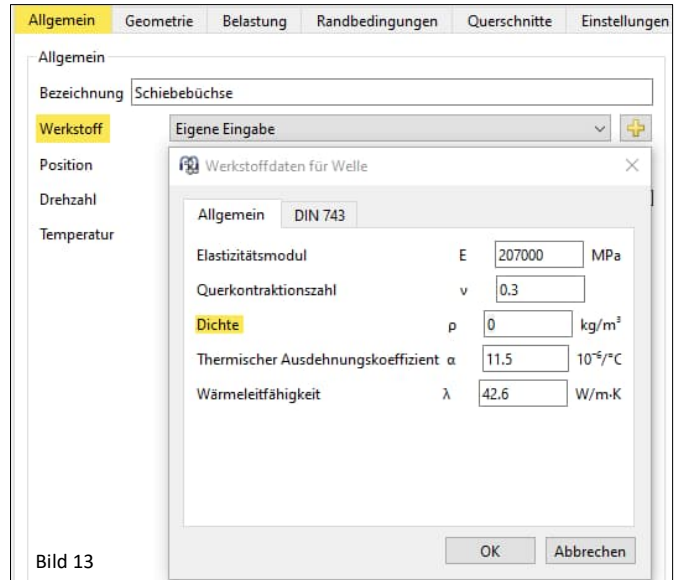
- ➔ Es ist wichtig, die Radialkräfte 'Fy' von B1.3 / B1.4 und dem Auflager (Support) der Welle 'Schiebebüchse' zu beachten (siehe grüne Einrahmung Tabelle 1). Die Summe der Radialkräfte 'Fy' von B1.3 und B1.4 sollte gleich der resultierenden Radialkraft in der Lagerung sein, in rechnerischer Betrachtung fällt sie jedoch etwas höher aus:

$$308,4 \text{ N} = F_{yB1.3} + F_{yB1.4} \neq F_{y\text{Schiebebüchse}} = 301,7 \text{ N}$$

Der Grund, warum diese Gleichung nicht erfüllt ist, liegt darin, dass das Gewicht des Aussenrings berücksichtigt wurde und seine entsprechende Kraft den Lagerkräften entgegenwirkt, so dass die richtige Gleichung wie folgt lautet:

$$F_{yB1.3} + F_{yB1.4} - F_{\text{Gewicht}} = F_{y\text{Schiebebüchse}}$$

Bei der Modellierung könnte die Berücksichtigung des Gewichts dazu führen, dass das System aus Konzept 1 wegen der "Schiebebüchse" eine zusätzliche unerwünschte modale Form in axialer Richtung aufweist. Um diesen Effekt zu vermeiden, können wir die Dichte dieser Komponente auf $\rho=0 \text{ kg/m}^3$ setzen:



➔ Zum Vergleich mit den bei Konzept 2 (B2.1 & B2.2) ermittelten Lebensdauern ist zu beachten, dass die Gesamtlebensdauer für kombinierte Lager aus den Lebensdauern der einzelnen Reihen (Konzepte 1 & 3) wie folgt berechnet werden kann:

$$L_{10h} = \left[\sum L_{10h,i}^{-\frac{10}{9}} \right]^{-\frac{9}{10}}$$

Dies bedeutet nun für die Reihen aus Konzepten 1 & 3 im Vergleich zu Konzept 2 (braun und lila eingefärbte Zellen aus Tabelle 1 wie folgt:

$$L_{10h,B1.1/B1.2} = \left[L_{10h,B1.1}^{-\frac{10}{9}} + L_{10h,B1.2}^{-\frac{10}{9}} \right]^{-\frac{9}{10}} = \left[4'109^{-\frac{10}{9}} + 13'933^{-\frac{10}{9}} \right]^{-\frac{9}{10}} = 3'343 \text{ h}$$

$$L_{10h,B1.3/B1.4} = \left[L_{10h,B1.3}^{-\frac{10}{9}} + L_{10h,B1.4}^{-\frac{10}{9}} \right]^{-\frac{9}{10}} = \left[759'979^{-\frac{10}{9}} + 2'915'684^{-\frac{10}{9}} \right]^{-\frac{9}{10}} = 633'351 \text{ h}$$

$$L_{10h,B3.1/B3.2} = \left[L_{10h,B3.1}^{-\frac{10}{9}} + L_{10h,B3.2}^{-\frac{10}{9}} \right]^{-\frac{9}{10}} = \left[4'108^{-\frac{10}{9}} + 13'928^{-\frac{10}{9}} \right]^{-\frac{9}{10}} = 3'343 \text{ h}$$

$$L_{10h,B3.3/B3.4} = \left[L_{10h,B3.3}^{-\frac{10}{9}} + L_{10h,B3.4}^{-\frac{10}{9}} \right]^{-\frac{9}{10}} = \left[765'857^{-\frac{10}{9}} + 2'923'451^{-\frac{10}{9}} \right]^{-\frac{9}{10}} = 637'659 \text{ h}$$

➔ Schliesslich können wir über das Grafikmenü einsehen, dass die Kontaktspannungen von Konzept 2 ähnliche Werte wie die der Alternative 1 aufweisen werden. Die geringfügigen Unterschiede bei den Werten sind hauptsächlich auf die unterschiedliche Lastverteilung zurückzuführen, die sich ergibt, wenn die Kippwinkel an verschiedenen Punkten der Berechnung berücksichtigt werden. Dennoch können wie hier gezeigt, beide Alternativen unabhängig voneinander ohne Probleme für den gleichen Zweck verwendet werden:

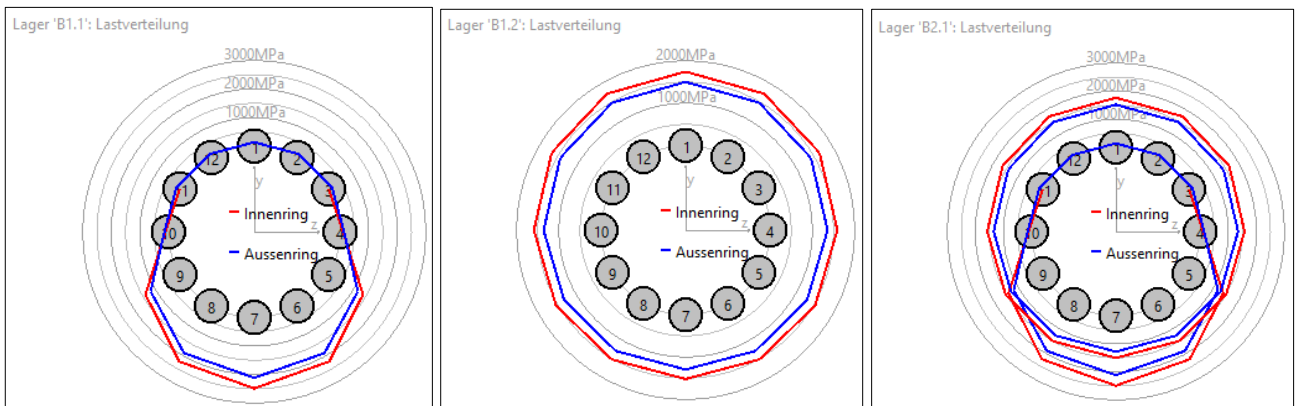


Bild 14: Vergleich Lastverteilung Festlager Konzept 1 vs. Konzept 2

In der Folge als Vergleich auch die Resultate der Steifigkeiten (Tabelle 2) aus dem Dokumentationspunkt an der Spindelnase (Bild 4) für die 3 Konzepte:

Shaft	Section	cxx [N/mm]	cyy [N/mm]	czz [N/mm]	cry [Nm/rad]	crz [Nm/rad]
Welle 1	Nose 1	92'809.9	6'700.1	5'738.3	16'965.4	17'917.7
Welle 2	Nose 2	92'846.5	6'492.5	5'560.6	16'888.4	17'851.2
Welle 3	Nose 3	92'809.4	6'699.7	5'738.2	16'965.1	17'917.1

Tabelle 2

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.