

17. Bayreuther 3D-Konstrukteurstag



Technische Hochschule
Ingolstadt

Zukunft in
Bewegung

Berechnung von Vierpunkt- Wälzlagern mittels Simulation

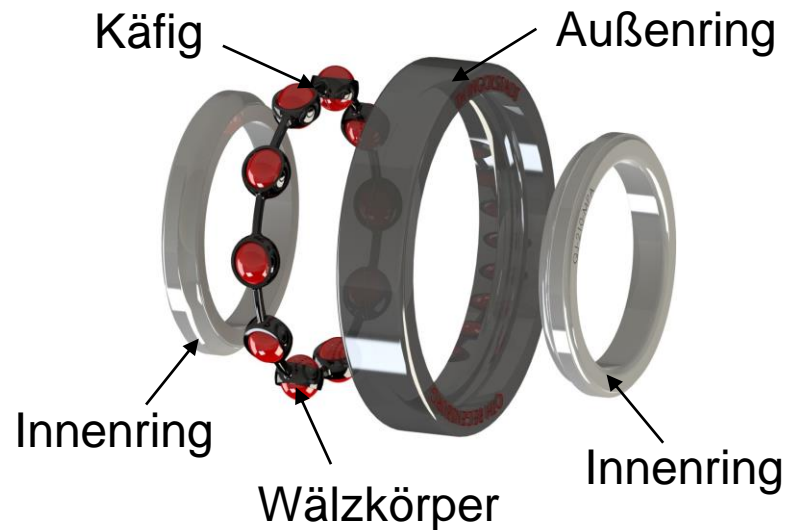
M.-Eng. Ritzer Stephan



■ Standard Vierpunkt-Wälzlager

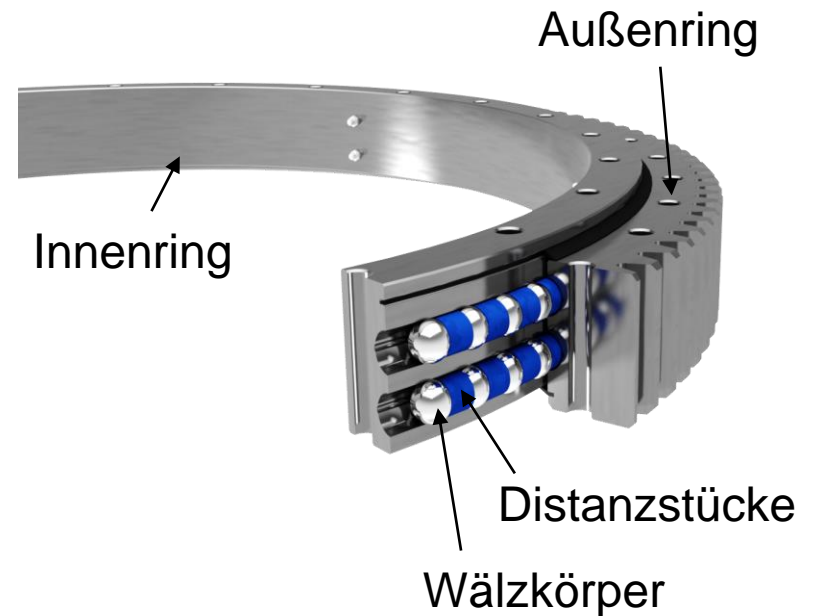


[Quelle: www.ina.de]



■ Sonderfall Vierpunkt-Großwälzlager „Drehverbindung“

Zweireihiges Vierpunkt-Großwälzlager



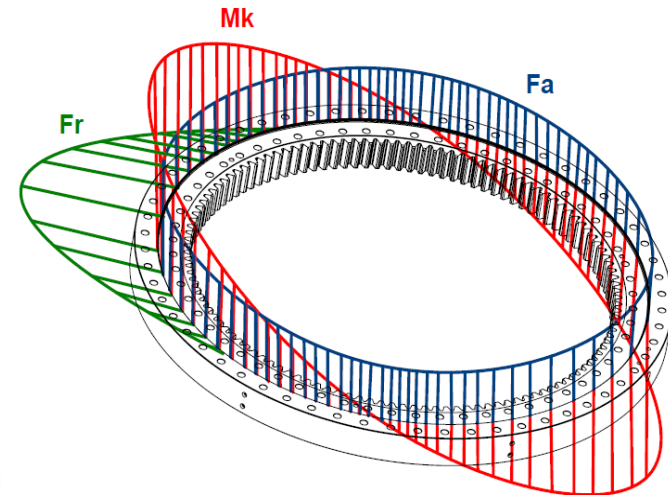
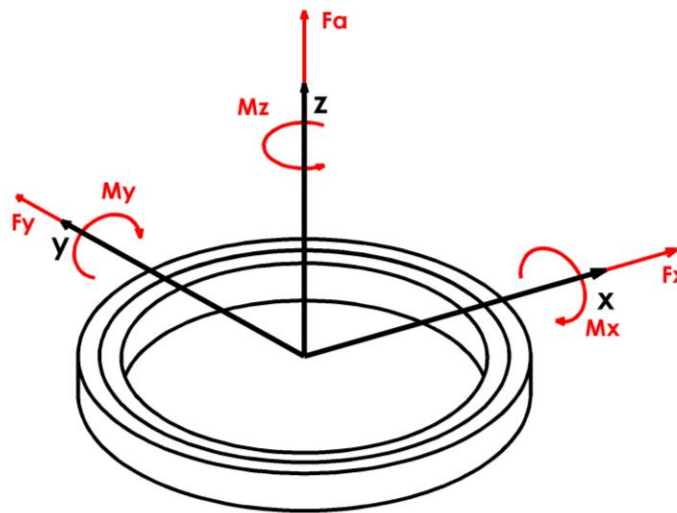
[Quelle: www.wmh-herion.de]

Arten der Wälzlager-Belastungen und deren Wirkweisen im Lagerinneren



■ Belastungen und Belastungsverteilung

Kräfte u. Momente, die auf ein Vierpunkt-Großwälzlager wirken



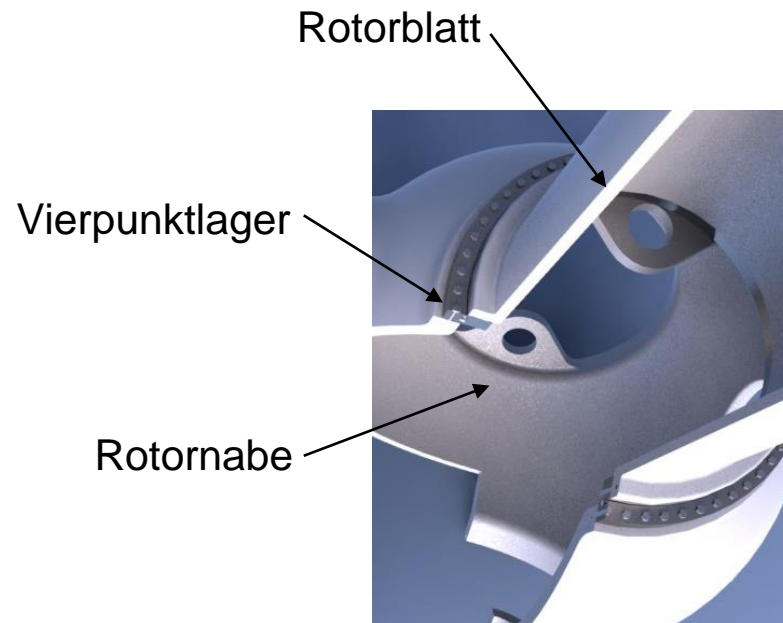
Belastungsverteilung im Lagerinneren

Statisch unbestimmtes System, nicht geschlossen analytisch lösbar

⇒ **Simulation erforderlich**

■ Typische Anwendung und dessen Herausforderungen

Einsatz eines Vierpunkt-Großwälzlagers als Blattlager in Windkraftanlagen



Probleme mit Steifigkeit
„Lagerringe verbiegen sich“

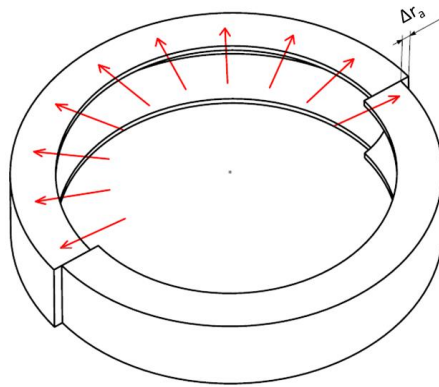
Zusammenspiel aus:

- Steifigkeit Anschlusskonstruktion
- Steifigkeit Befestigungsschrauben
- Steifigkeit Lagerringe

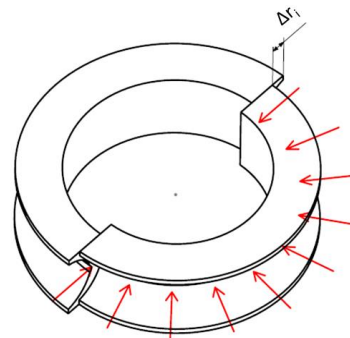
=> Einfluss auf Kugelbelastung

Simulationsmodell mit flexiblen Bauteilen erforderlich

■ Verformung der Lagerringe aufgrund der inneren Kugelkräfte



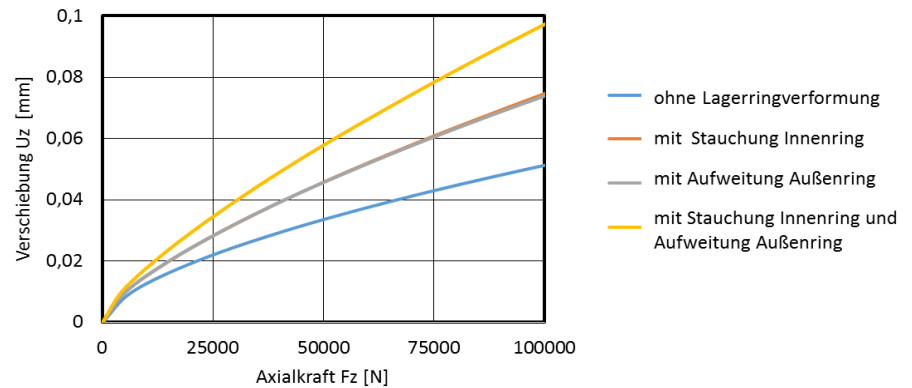
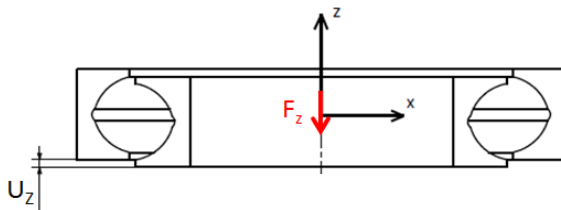
Außenring



Innenring

Kugelkräfte verursachen eine Aufweitung bzw. Stauchung der Lagerringe

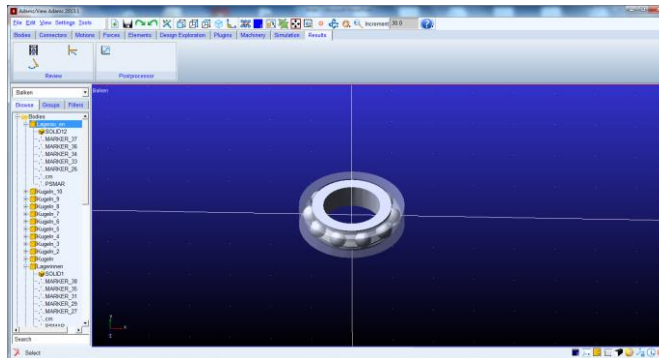
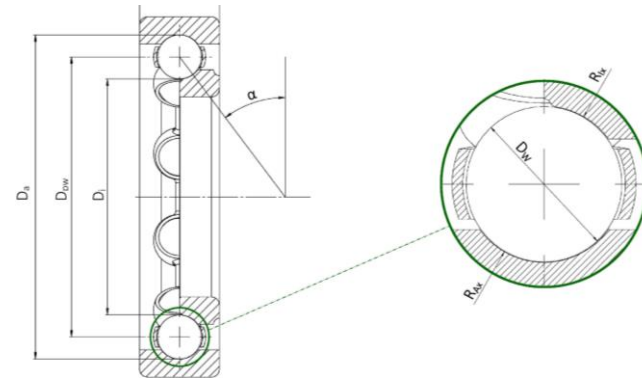
Einfluss der Aufweitung und Stauchung der Lagerringe auf die axiale Nachgiebigkeit



■ Aufbau eines Mehrkörpersimulationsmodells mit der Software MSC Adams

1. Erstellen eines CAD-Modells mit den Grunddaten:

- Laufkreisdurchmesser
- Wälzkörpergröße u. -anzahl
- Schmiegung
- Spiel (Vorspannung)



2. Modellierung der Kontaktbedingung:

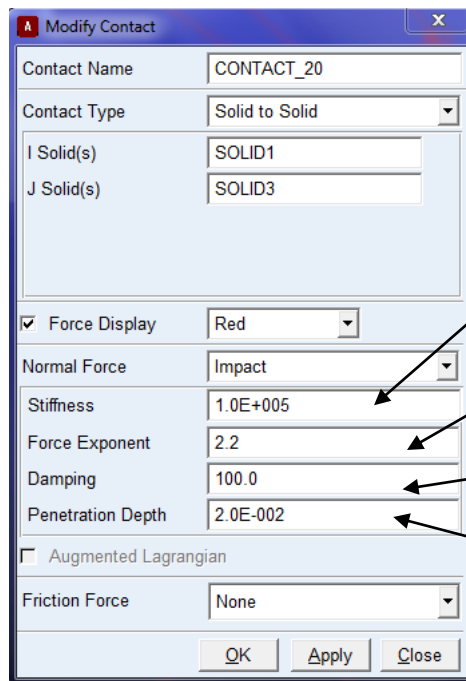
- Steifigkeit am Wälzkontakt
- Freiheitsgrade festlegen

3. Aufbringen der Belastungen:

- Axialkräfte
- Radialkräfte
- Kippmomente

Kontaktkraft in Adams

Einfache mathematische Beschreibung des Kontaktverhaltens



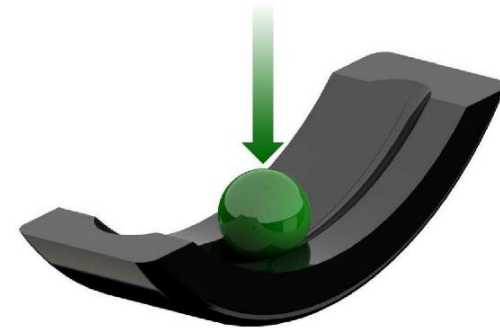
Steifigkeit K_A

Kraftexponent e

Dämpfungskoeffizient C_{max}

Eindringtiefe d

$$F = K_A * (x_0 - x)^e - S * \dot{x} * c_{max}$$



Vorteil gegenüber FEM => geringere Rechenzeiten

■ Flexible Körper

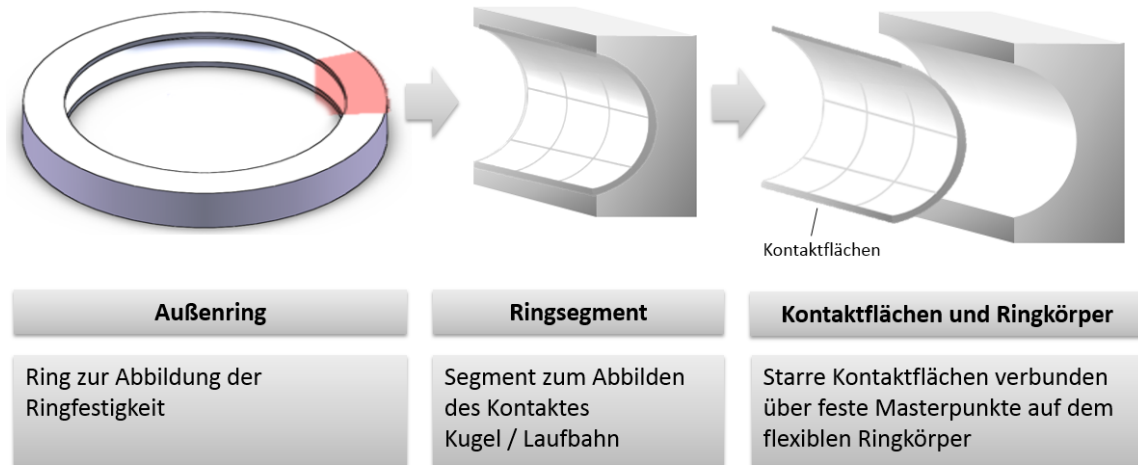
Mathematische Beschreibung der Flexibilität von Bauteilen durch modale Ansatzfunktionen

-> Verhalten einzelner ausgewählter Punkte untereinander
Bsp.: Kugelkräfte

Problematik:

Einleitung der Kugelkräfte nicht an konstanten Punkten
Änderung des Druckwinkels

Lösung:



■ 4-Kugel-Modell

Aufbau des Simulationsmodells:

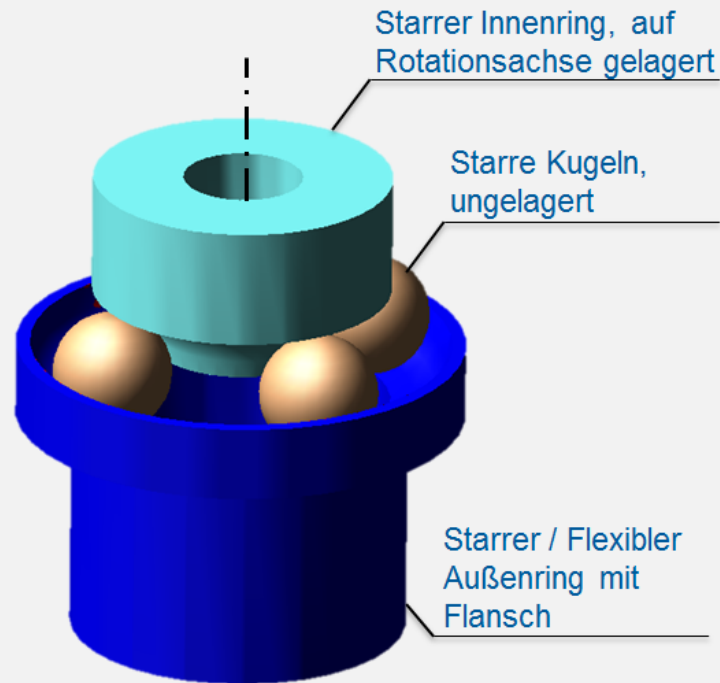
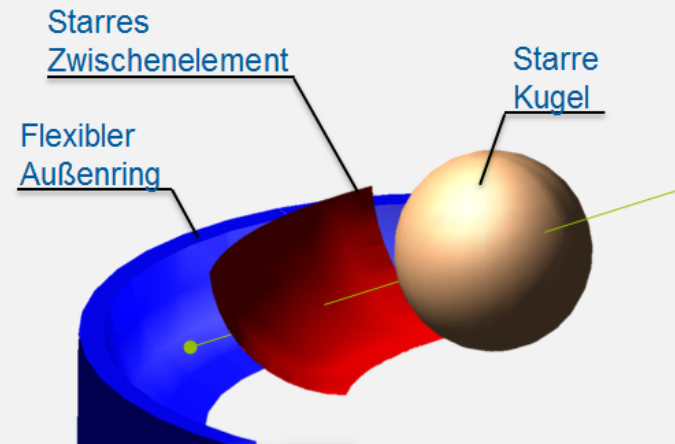


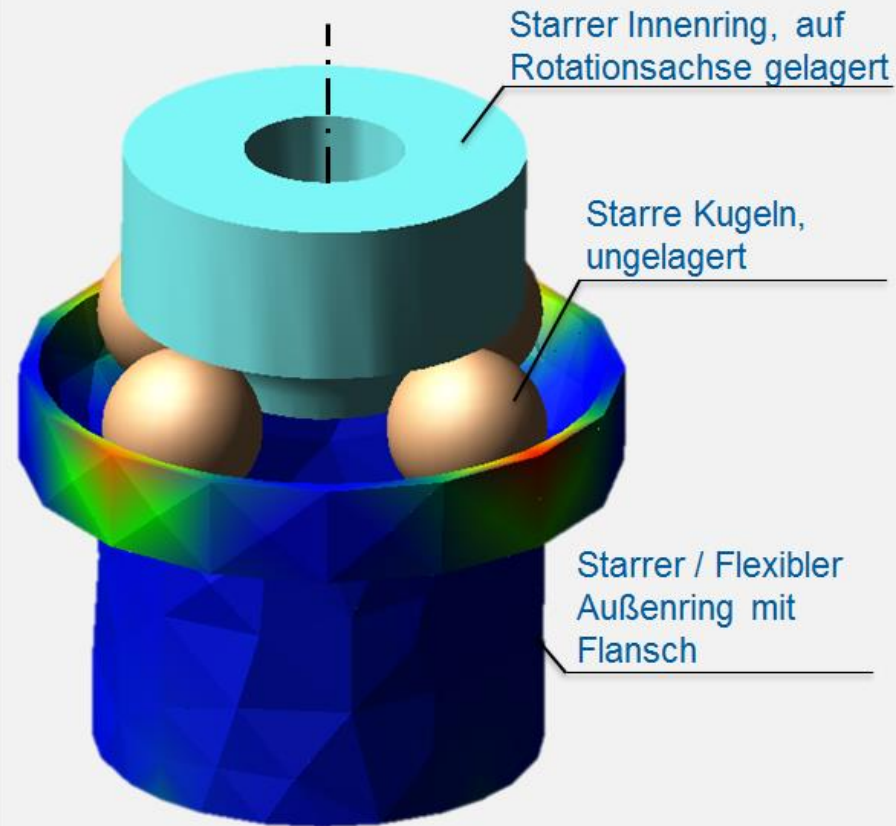
Abbildung des Kugelkontaktes auf dem flexiblen Außenring:



Zwischen Kugel und Außenring befindet sich ein Zwischenelement. Dieses starre Element ist in seinem Zentrum fest mit dem Außenring verbunden und leitet so die Krafteinwirkung der starren Kugel auf den Außenring punktförmig weiter

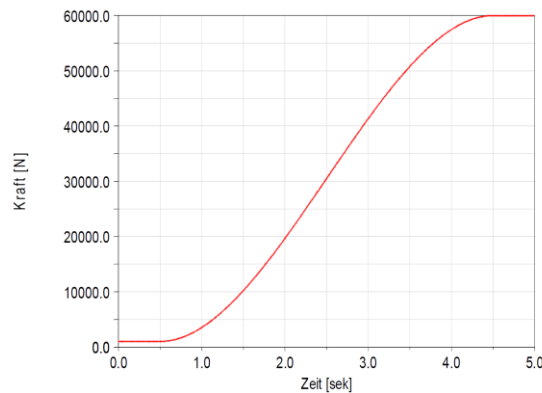
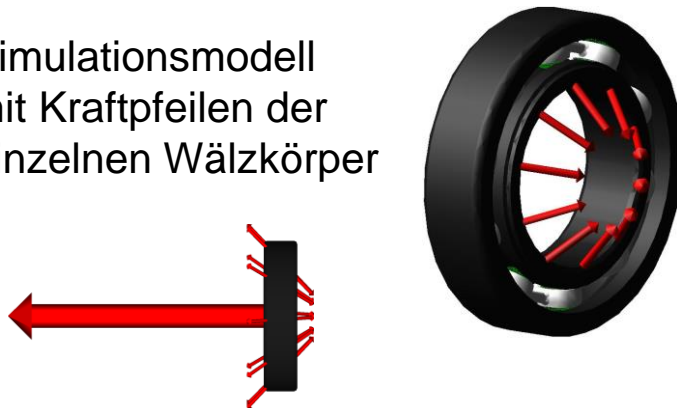
■ 4-Kugel-Modell

Aufbau des Simulationsmodells:

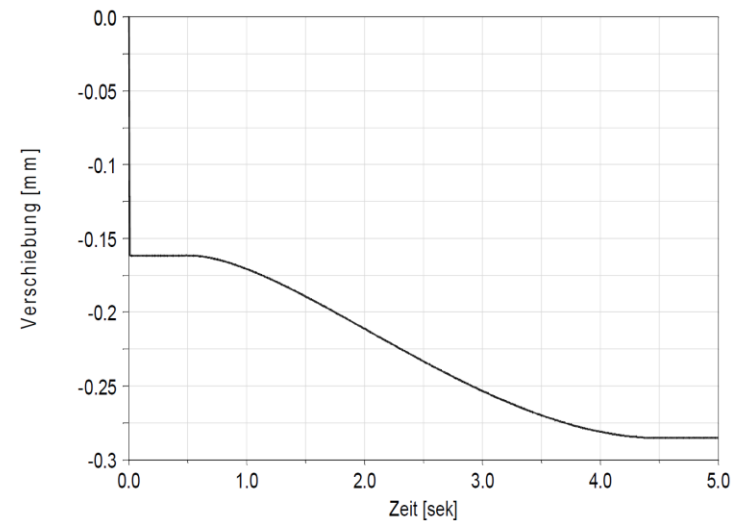


■ Axiale Belastung

Simulationsmodell
mit Kraftpfeilen der
einzelnen Wälzkörper



Lagerbelastung



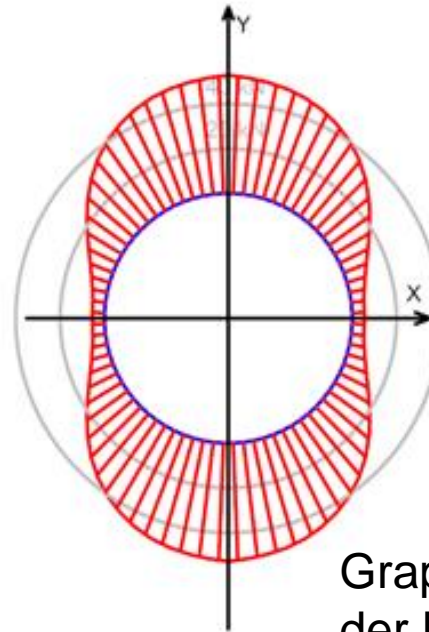
Verschiebung der Lagerringe
in axialer Richtung

■ Wertetabelle und Lastverteilung

Wertetabelle der Belastungen und Spannungen

Wälzkörper Nr.	Belastung F [kN]	F _x [kN]	F _y [kN]	F _z [kN]	Winkel [°]	Hertz'sche Pressung [N/mm ²]
1	52.8	-35.6	-39	-3.3	-48	3e+003

Wälzkörper Nr.	Belastung F [kN]	F _x [kN]	F _y [kN]	F _z [kN]	Winkel [°]	Hertz'sche Pressung [N/mm ²]
1	52.8	-35	-39	-3.3	-48	3e+003
2	53	-36	-39	-1.7	-48	3e+003
3	53	-35	-39	-3.4	-48	3e+003
4	52	-35	-38	-5.1	-48	3e+003
5	52	-34	-38	-6.8	-48	3e+003
6	51	-33	-38	-8.3	-47	3e+003
7	50	-33	-37	-9.8	-47	3e+003
8	49	-31	-36	-11	-47	2.9e+003
9	48	-30	-35	-12	-47	2.9e+003
10	47	-29	-35	-14	-47	2.9e+003



Graphische Darstellung der Kraftverteilung

■ Bestimmung der maximal zulässigen Belastung

Zur Bestimmung der maximalen Tragfähigkeit darf die maximal zulässige Hertz'sche Pressung nicht überschritten werden.

- In der DIN ISO 76:2009-01 wird für die Auslegung der statischen Tragzahl eine maximal zulässige Hertz'sche Pressung von **4200 MPa** angegeben
 - gültig für Axialkugellager aus Werkstoff 100Cr6
- Für andere Anwendungen Minderungsfaktoren erforderlich
 - Werkstofffaktor aufgrund der geringeren Härte: f_s
 - Faktor für nicht ideale Kraftverteilung: a_4
 - ...
 - Bsp. Drehverbindung aus 42CrMo4:

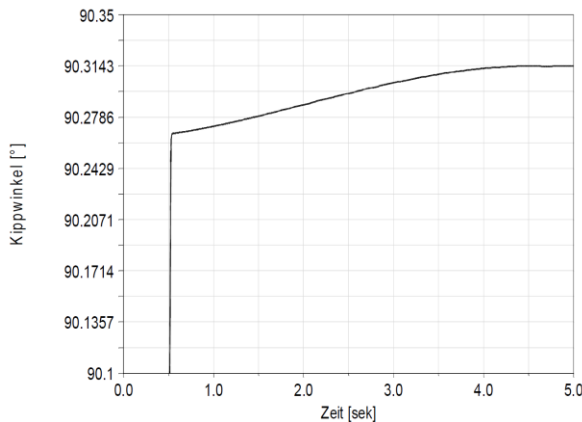
$$\begin{aligned}\sigma_{\text{Hertz, zul}} &= f_s * a_4 * 4200 \text{ MPa} = 0,844 * 0,85 * 4200 \text{ MPa} \\ &= \mathbf{3013 \text{ MPa}}\end{aligned}$$

[Quelle: NREL DG03]

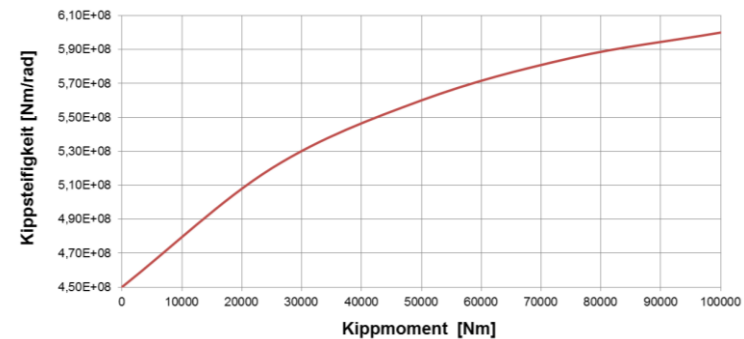
■ Nachgiebigkeit des Wälzlagers unter Belastung

Mit Hilfe des Kippwinkels können Auswertungen zur Kippsteifigkeit des Wälzlagers durchgeführt werden.

Kippwinkel



Kippsteifigkeit



Auch für axiale und radiale Steifigkeiten

Beispiel:

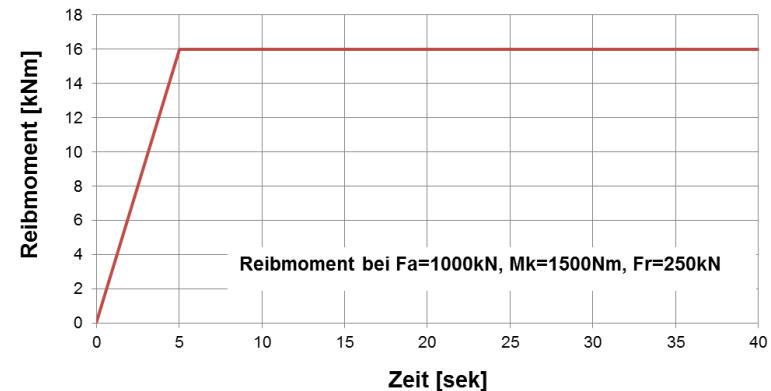
Zur Bestimmung der Nachgiebigkeit eines Rundtisches in einer Werkzeugmaschine unter Belastung.

■ Bestimmung des Reibmomentes des Vierpunktlagers

Auswertung der einzelnen Kugelbelastungen und der Reibfaktoren für die Ermittlung eines Gesamtreibmoment des Vierpunktlagers unter Belastung.

Wälzkörperbelastung

Wälzkörper Nr.	Belastung F [kN]	F _x [kN]	F _y [kN]	F _z [kN]	Winkel [°]	Hertz'sche Pressung [N/mm ²]
1	52.8	-35	-39	-3.3	-48	3e+003
2	53	-36	-39	-1.7	-48	3e+003
3	53	-35	-39	-3.4	-48	3e+003
4	52	-35	-38	-5.1	-48	3e+003
5	52	-34	-38	-6.8	-48	3e+003
6	51	-33	-38	-8.3	-47	3e+003
7	50	-33	-37	-9.8	-47	3e+003
8	49	-31	-36	-11	-47	2.9e+003
9	48	-30	-35	-12	-47	2.9e+003
10	47	-29	-35	-14	-47	2.9e+003



Reibmoment

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Ritzer Stephan
stephan.ritzer@thi.de