Technische Hochschule Ingolstadt

Zukunft in Bewegung

Modellierung eines Vierpunkt-Wälzlagers mittels Mehrkörpersimulation

M.-Eng. Ritzer Stephan

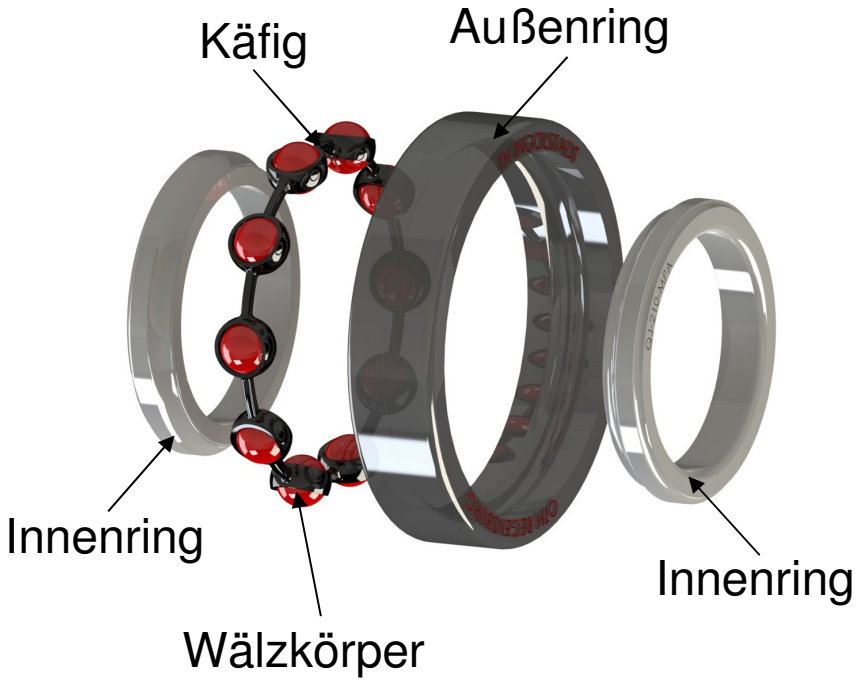
B.-Eng. Christoph Dütsch

Prof. Dr.-Ing. Thomas Suchandt

Aufbau des Vierpunkt-Wälzlagers

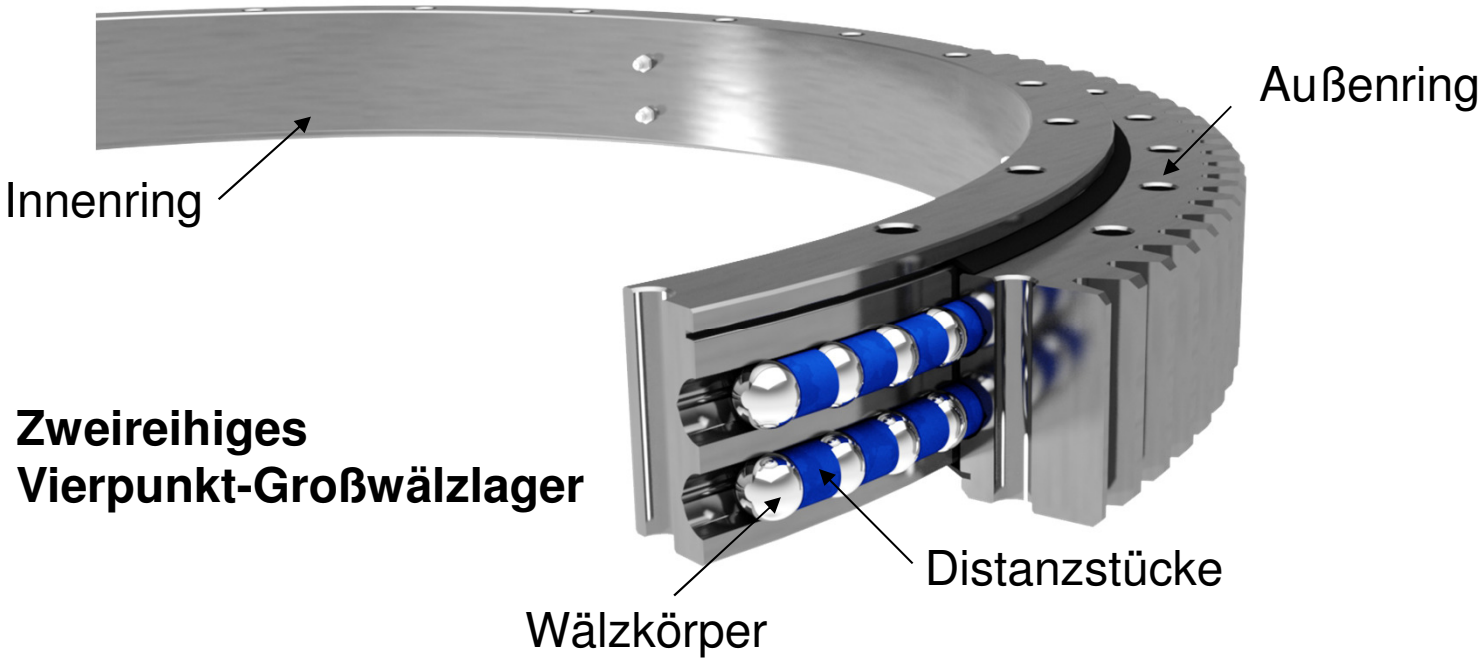
- **Standard Vierpunkt-Wälzlager**

[Quelle: www.ina.de]



Aufbau des Vierpunkt-Wälzlagers

- **Sonderfall Vierpunkt-Großwälzlager „Drehverbindung“**

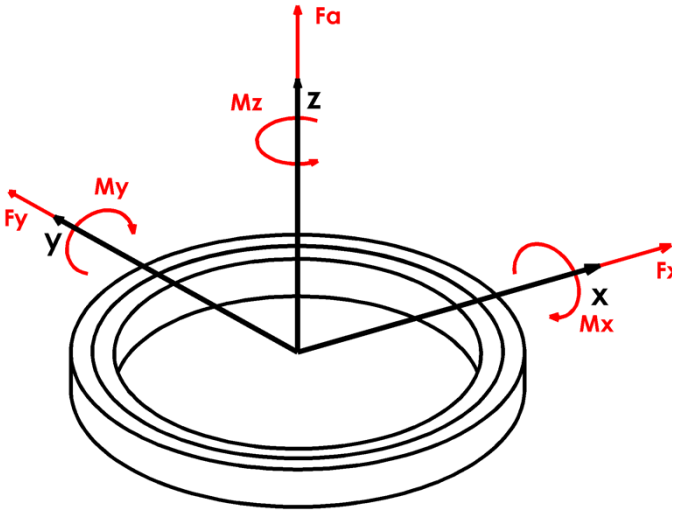


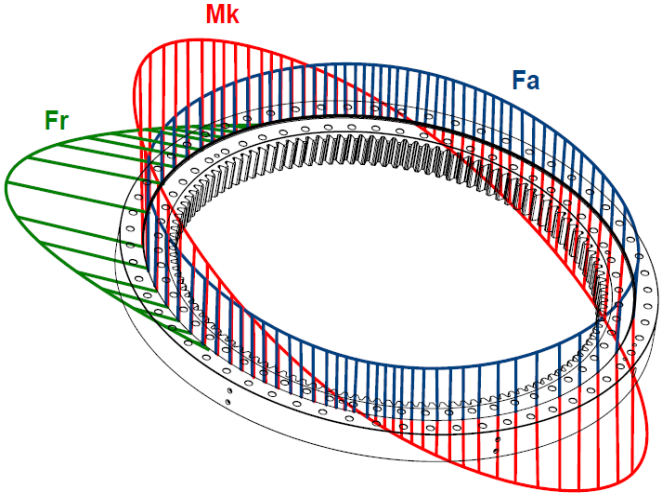
[Quelle: www.wmh-herion.de]

Arten der Wälzlager-Belastungen und deren Wirkweisen im Lagerinneren

Belastungen und Belastungsverteilung

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





Belastungsverteilung im Lagerinneren

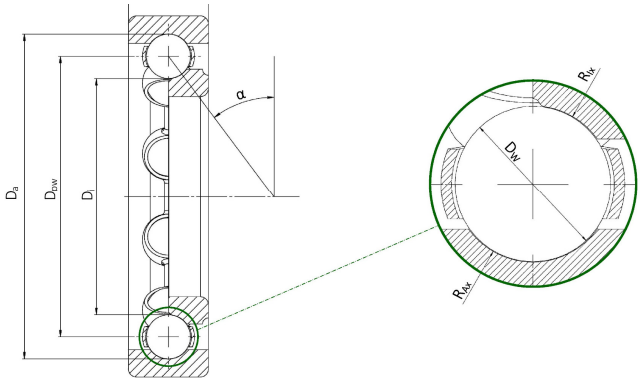
Statisch unbestimmtes System, nicht geschlossen analytisch lösbar

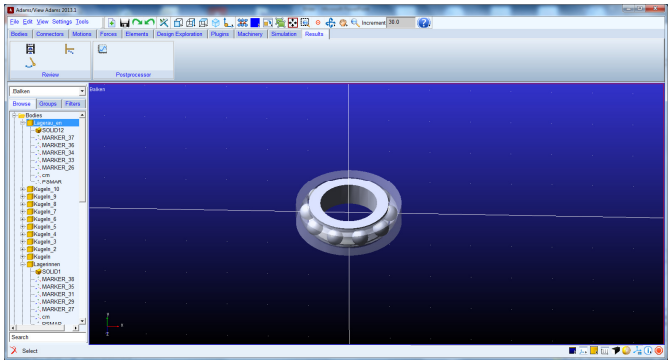
⇒ **Simulation erforderlich**

Simulationsmodell

Aufbau eines Mehrkörpersimulationsmodells mit der Software MSC Adams

1. **Erstellen eines CAD-Modells mit den Grunddaten:**
   - Laufkreisdurchmesser
   - Wälzkörpergröße u. –anzahl
   - Schmiegung
   - Spiel (Vorspannung)





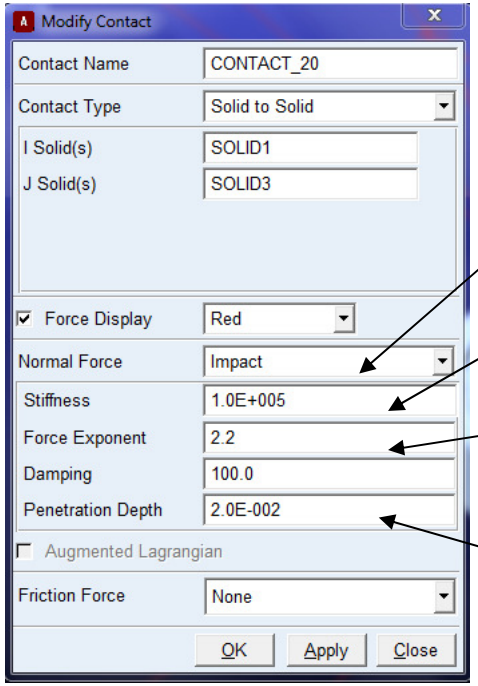
2. **Modellierung der Kontaktbedingung:**
   - Steifigkeit am Wälzkontakt

3. **Aufbringen der Belastungen:**
   - Axialkräfte
   - Radialkräfte
   - Momentenbelastung

Kontaktkraft Hertz`sche Pressung

Kontaktkraft in Adams

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

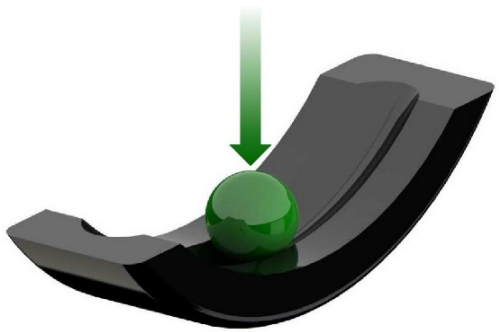


Steifigkeit K_A

Kraftexponent e

Dämpfungskoeffizient C_{max}

Eindringtiefe d



Kontaktkraft Hertz`sche Pressung

Bestimmung der Kontaktparameter

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

Hertz`sche Pressung: $\delta_{Hertz} = \sqrt[\frac{2}{3}]{F} \frac{\Psi}{\xi} \sqrt[3]{\frac{9 \sum k \, (1 - v^2)^2}{8E^2}}$

Berechnung Steifigkeitsfaktor : $K = \left(\frac{\xi}{\Psi}\right)^e \left(\frac{8}{9 \sum k}\right)^{\frac{e}{3}} \left[\frac{E}{(1-\nu^2)}\right]^{\frac{2e}{3}}$

Der Faktor e beschreibt den Kraftexponenten und ist für metallische Werkstoffe 1.5

Kontaktkraft Hertz`sche Pressung

- **Kontaktdefinition „Dämpfung“**

In unseren Fall sollte bei der Simulation des dynamischen Verhaltens der Lager darauf geachtet werden, dass möglichst keine Schwingungen entstehen.

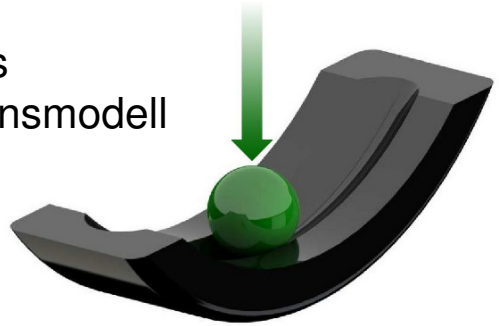
In der Literatur wird als Anhaltswert für den Dämpfungskoeffizienten $c_{max} \sim 0.01\ K_A$ angegeben.

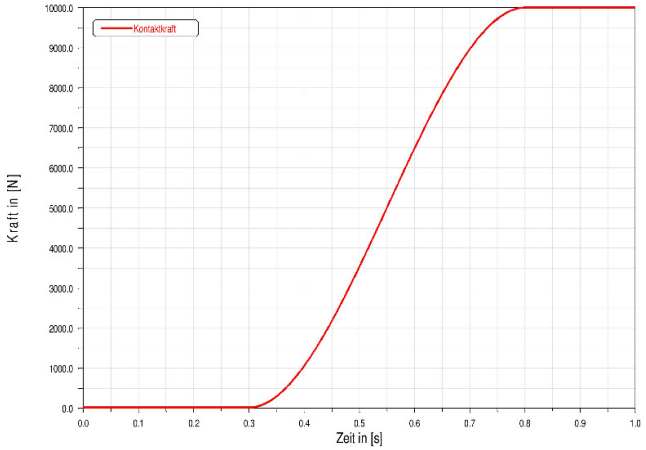
Auch eigene Versuche sprechen für die Eignung dieses Koeffizienten, da bei diesem Anhaltswert kaum bzw. nur geringe Schwingungen auftreten.

Kontaktkraft Hertz`sche Pressung

Abgleich Theorie mit Simulationsmodell

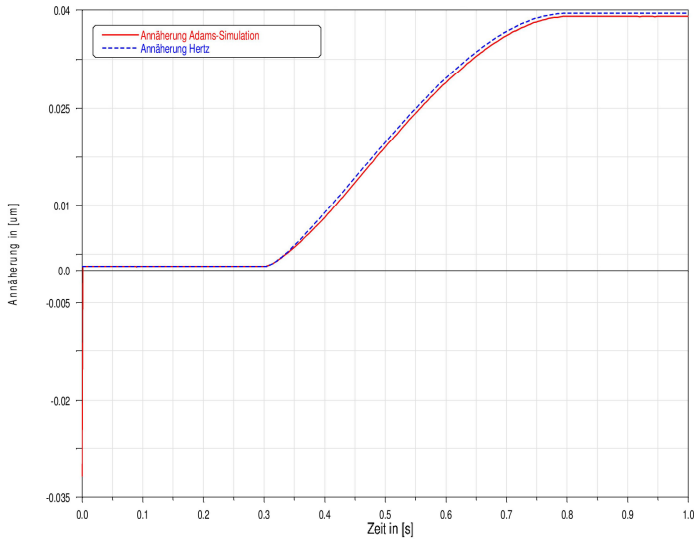
Einfaches Simulationsmodell





Belastung des Wälzkontaktes

Vergleich: Simulation / Theorie
Annäherung der Kontaktpartner

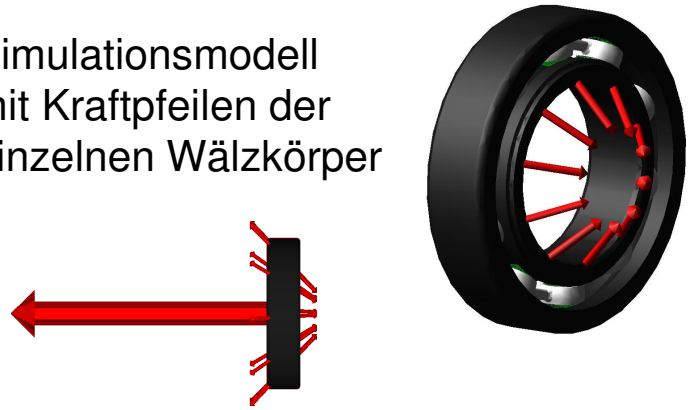


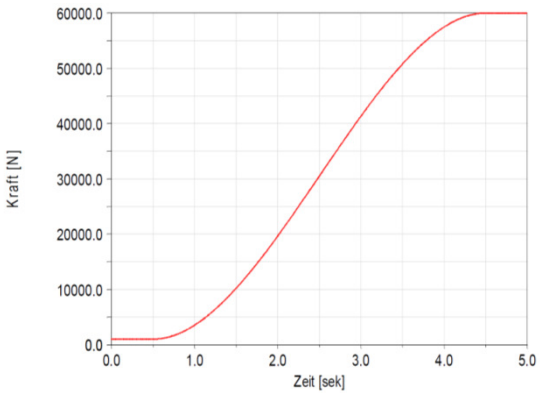
⇒ **Nur geringe Abweichungen zwischen Theorie und Simulationsverhalten**

Verhalten des Simulationsmodells

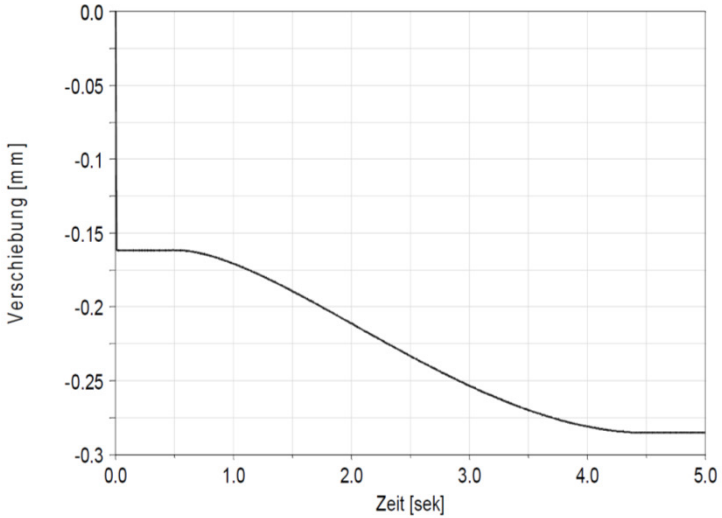
Axiale Belastung

Simulationsmodell mit Kraftpfeilen der einzelnen Wälzkörper





Lagerbelastung

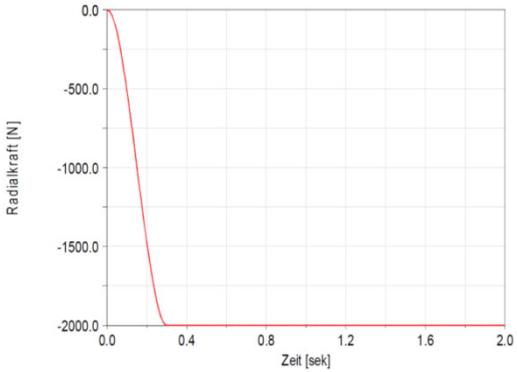


Verschiebung der Lagerringe in axialer Richtung

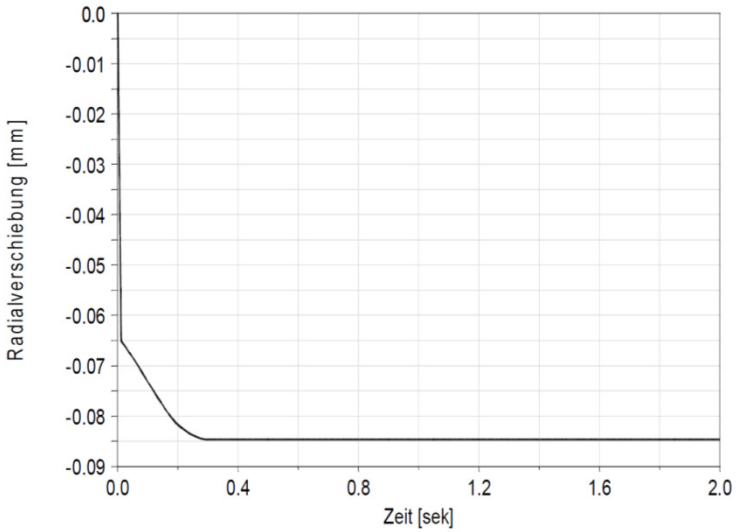
Verhalten des Simulationsmodells

Radiale Belastung

Simulationsmodell
mit Kraftpfeilen der
einzelnen Wälzkörper



Lagerbelastung

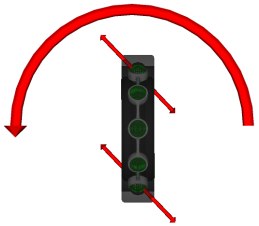


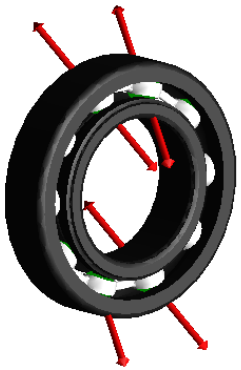
Verschiebung der Lagerringe
in radialer Richtung

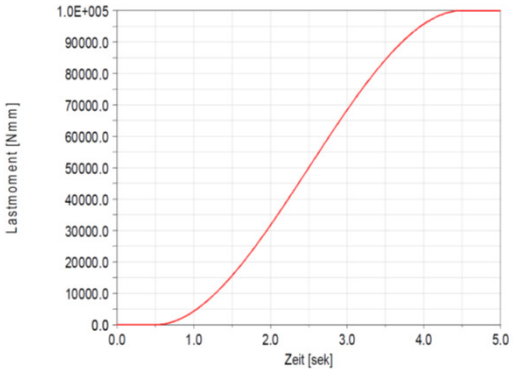
Verhalten des Simulationsmodells

Momentenbelastung

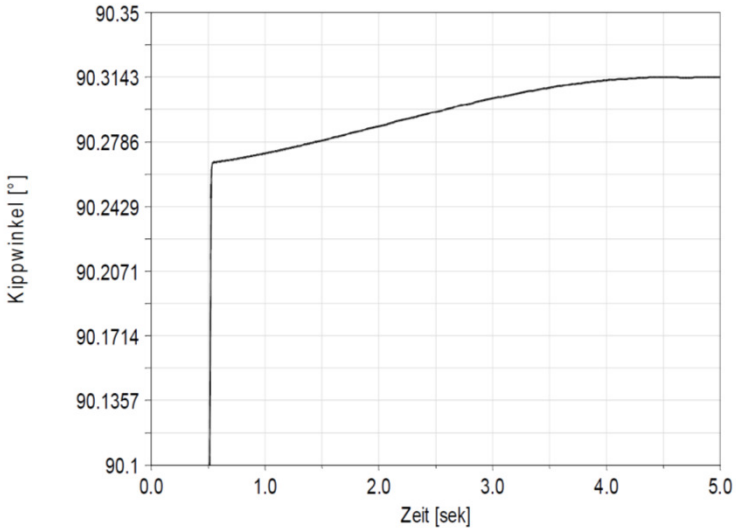
Simulationsmodell mit Kraftpfeilen der einzelnen Wälzkörper







Lagerbelastung



Kippwinkel der Lagerringe

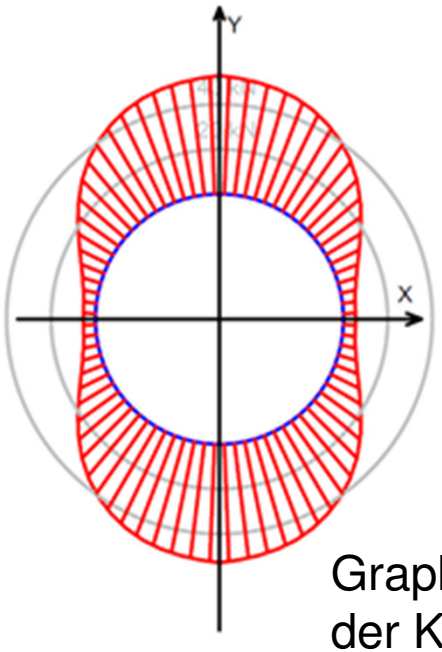
Ergebnisse der Lastverteilung eines Großwälzlagers

Wertetabelle und Lastverteilung

Wertetabelle der Belastungen und Spannungen

Walzkörper Nr.	Belastung F [kN]	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Winkel [°]	Hertz'sche Pressung [N/mm²]
1	52.8	-35.6	-39	-3.3	-48	3e+003

Walzkörper Nr.	Belastung F [kN]	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Winkel [°]	Hertz'sche Pressung [N/mm²]
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

Nutzung der Ergebnisse im Bereich der Tragfähigkeitsberechnung

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:

$$\sigma_{Hertz,\ zul} = f_s * a_4 * 4200\ MPa = 0{,}844 * 0{,}85 * 4200\ MPa$$

$$= \mathbf{3013\ MPa}$$

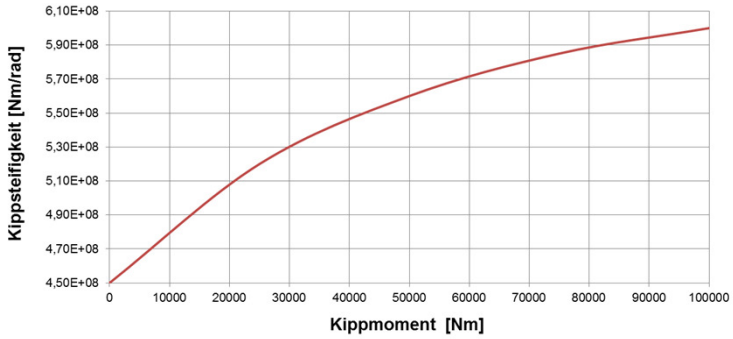
[Quelle: NREL DG03]

Nutzung der Ergebnisse für die Ermittlung der Lagersteifigkeit

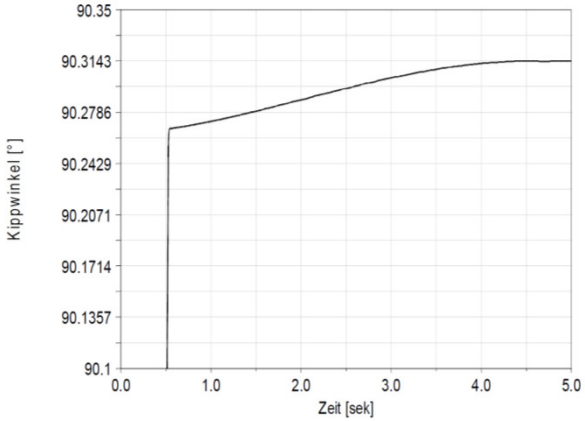
- **Nachgiebigkeit des Wälzlagers unter Belastung**

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

Kippsteifigkeit



Kippwinkel



Auch für axiale und radiale Steifigkeiten

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

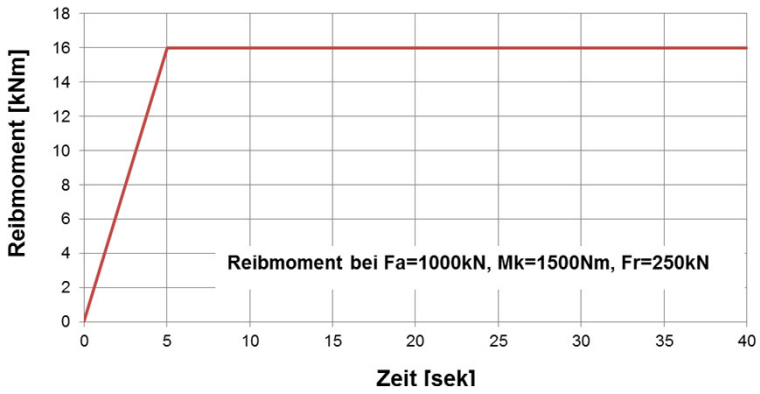
Nutzung der Ergebnisse im Bereich der Lagerreibung

Bestimmung des Reibmomentes des Vierpunktlagers

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

Wälzkörperbelastung

Walzkörper Nr.	Belastung F [kN]	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Winkel [°]	Hertz'sche Pressung [N/mm²]
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

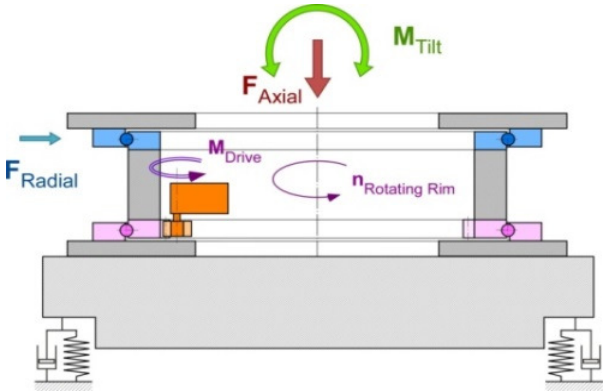


Reibmoment

Ausblick

- **Großwälzlagerprüfstand zur Validierung der Berechnungsergebnisse**

Großwälzlagerprüfstand der Firma WMH Herion Antriebstechnik GmbH für Großwälzlager mit einem Außendurchmesser von bis zu 2800 mm.



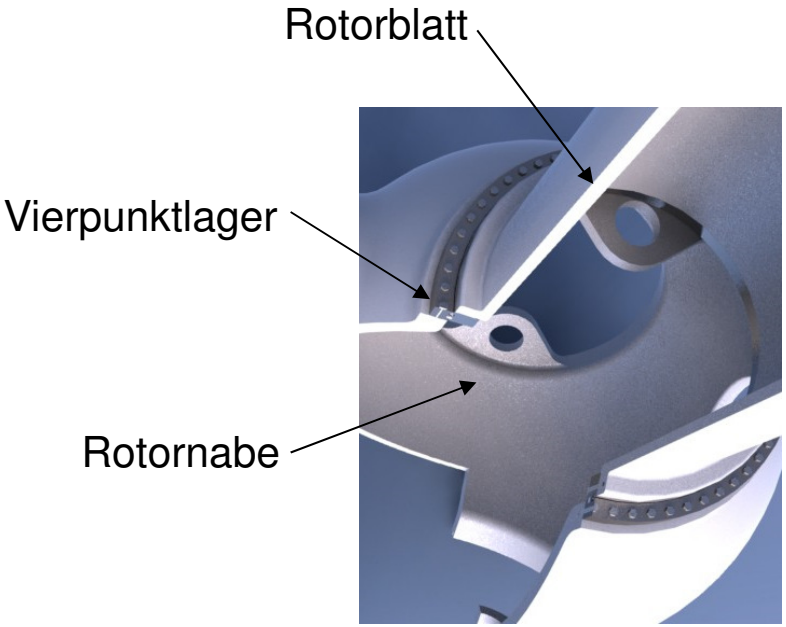
Mithilfe von Servo-Zylindern können unterschiedliche Belastungsfälle simuliert werden.

[Quelle: KEM Ausgabe 12/2013]

Ausblick

Typische Anwendung und dessen Schwierigkeiten

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

- **Modellierung eines Vierpunkt-Wälzlagers mittels Mehrkörpersimulation**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

M.-Eng. Ritzer Stephan
Technische Hochschule Ingolstadt
stephan.ritzer@thi.de