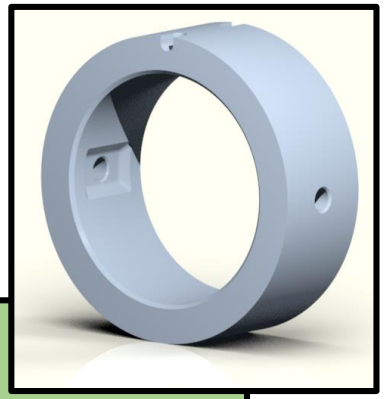
Nachgiebige Gleitlager



Institut Konstruktions - und Antriebstechnik

Prof. Dr. sc. ETH Alexander Hasse

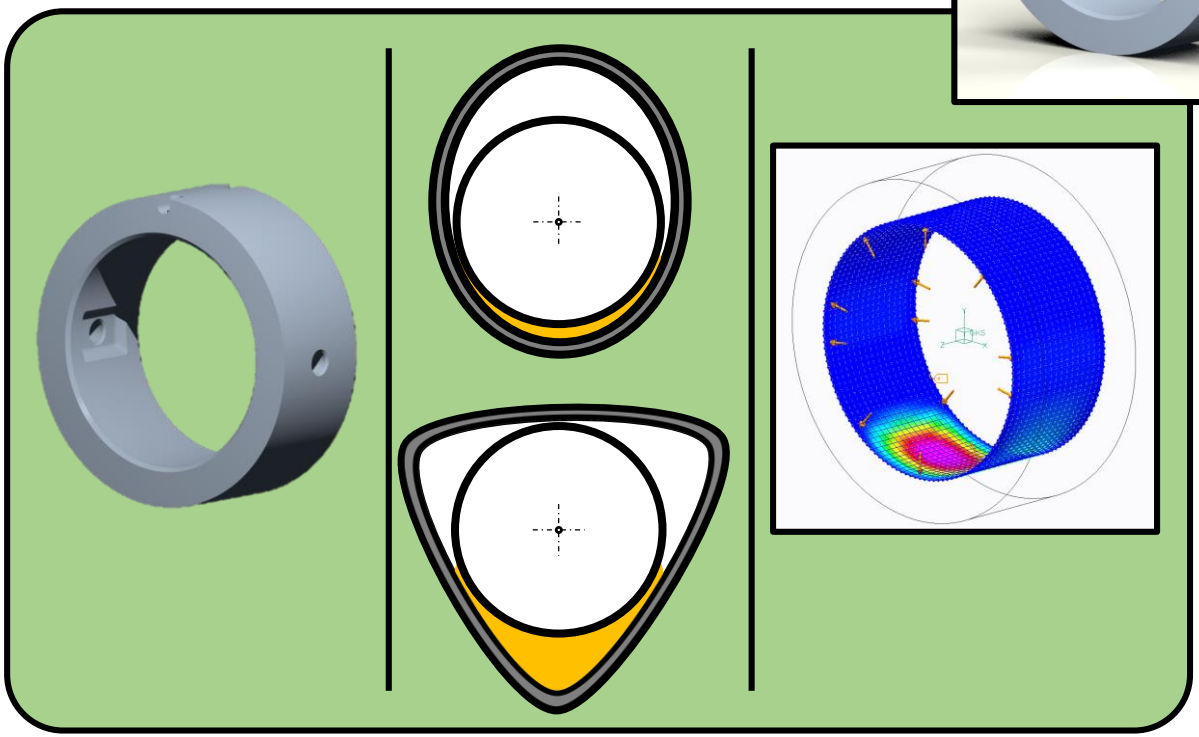
Dipl.-Ing. Björn Prase

Referent: Lars Friedrich

TU Chemnitz

Reichenhainer Straße 70

09126 Chemnitz



Gliederung

- 1: Einleitung
- 2: Zielstellung
- 3: Untersuchung der Gleitlagerformen mit ALP3T
- 4: Lagerverformung mit Creo Simulate
- 5: Konzepterstellung eines Demonstrators
- 6: Ergebnisse

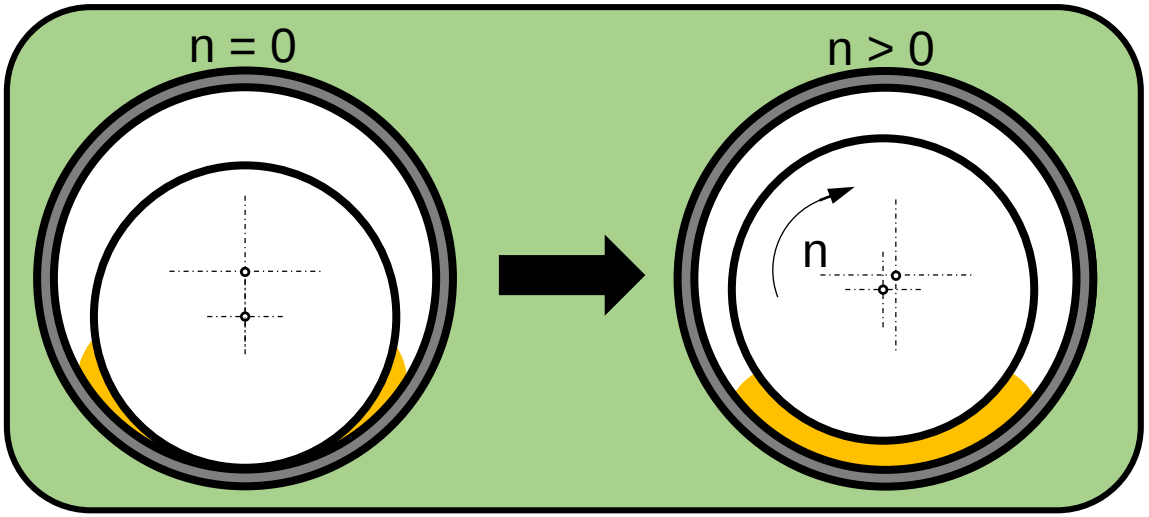
Grundlagen Gleitlager

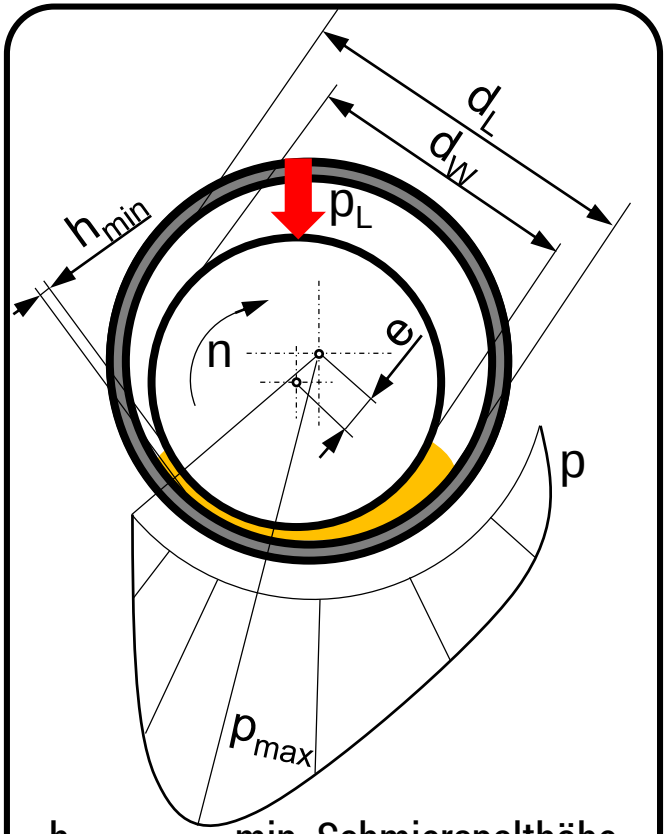
Vorraussetzung:

- konvergenter Spalt
- Fluid
- Relativbewegung

Funktion:

- Rotation befördert Fluid in konvergenten Spalt
- Fluidstauung erzeugt Druck
- Abheben des Rotors

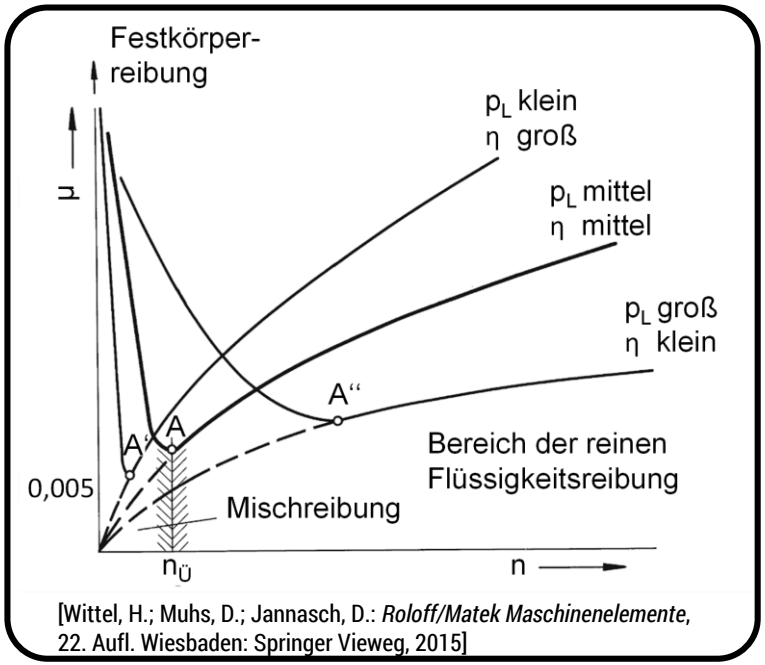




h_{min}	… min. Schmierspalthöhe
d_L	… Lagerdurchmesser
d_W	… Wellendurchmesser
e	… Exzentrizität
p_L	… mittlere Lagerbelastung
p/pmax	… Druck/Druckmaximum
n	… Drehzahl

Problem:

- ► bei geringer Drehzahl → Festkörperreibung
- ► bei hoher Drehzahl → instabiles Laufverhalten



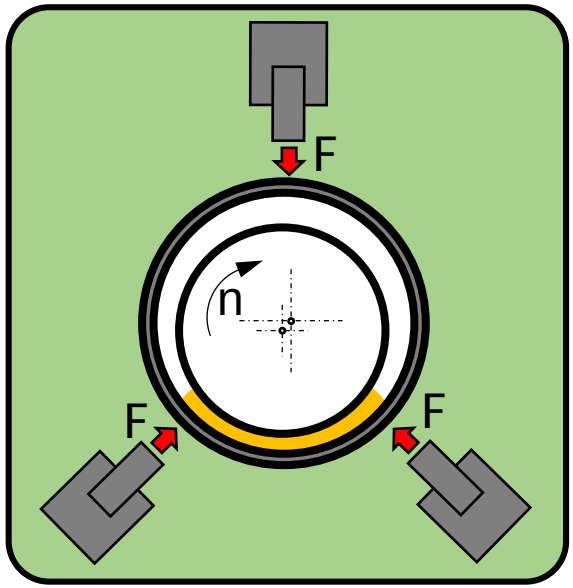
[Wittel, H.; Muhs, D.; Jannasch, D.: *Roloff/Matek Maschinenelemente*, 22. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015]

Ziel: Änderung der Lagergeometrie in Abhängigkeit des Betriebspunktes.

Lastfall spezifische Ziele:

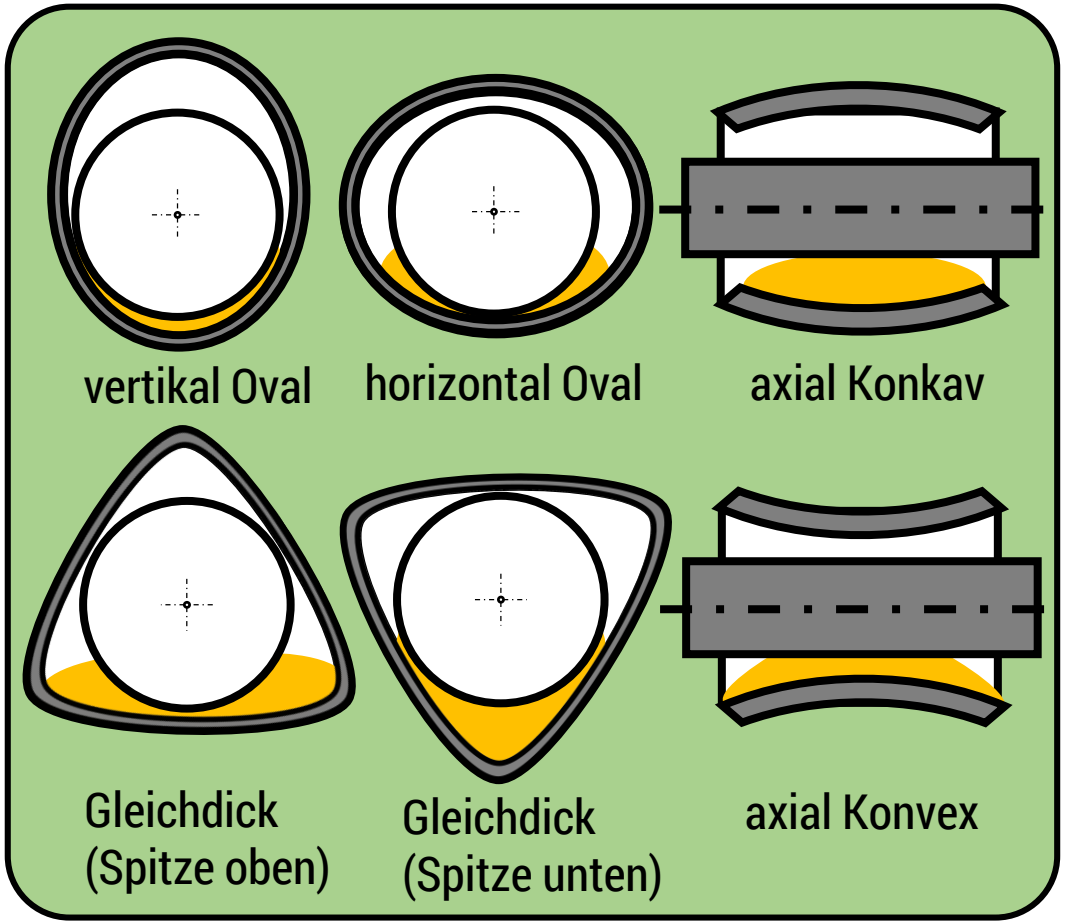
- ► Steigerung der minimalen Schmierspalthöhe h_{min} bei geringer Drehzahl
- ► Steigerung der Lagersteifigkeit bei hohen Drehzahlen

Mögliche Gleitlagerformen



Gleitlager soll im Betrieb verformt werden:

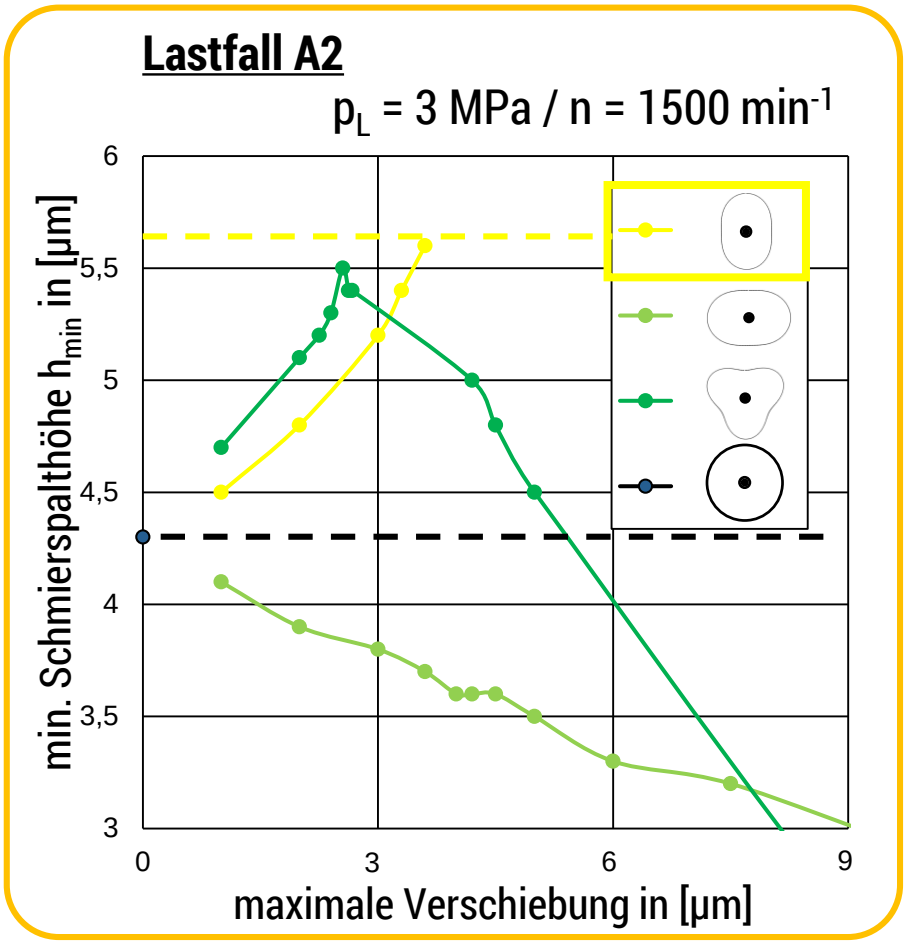
- Aktoren erzeugen Kraft
- Gleitlager verformt sich aufgrund Kraft

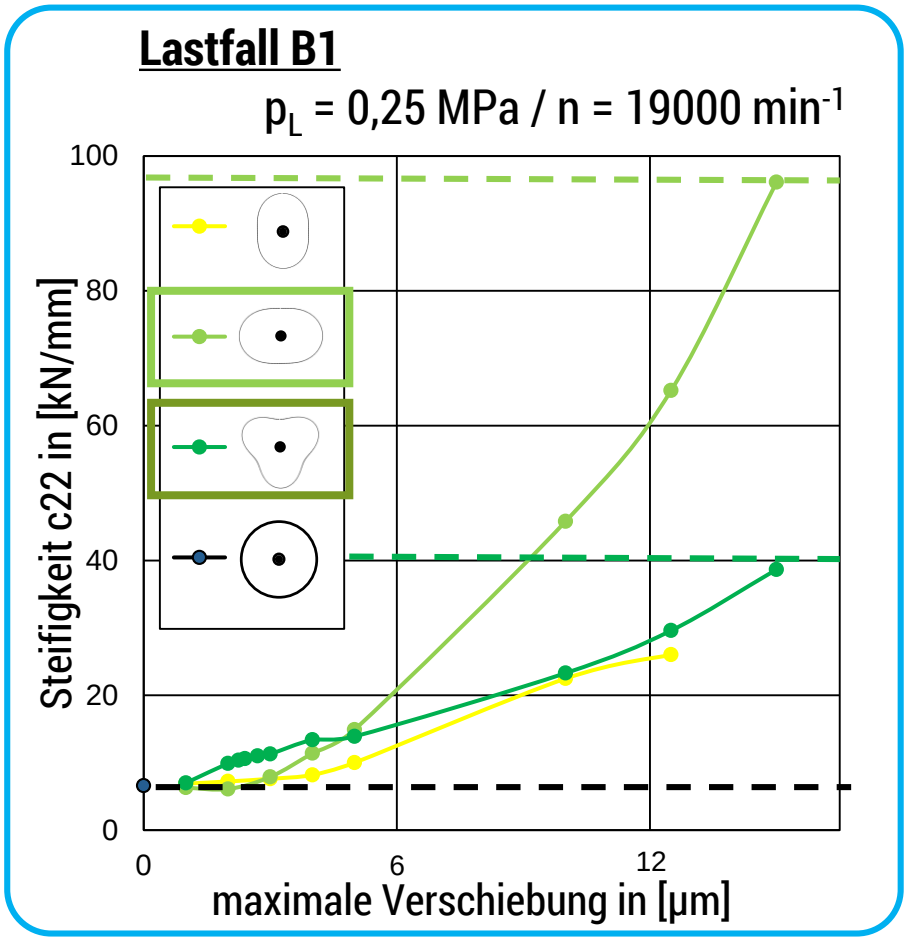


Frage: Welche Lagerform begünstigt die Betriebsbedingungen?

Formenübersicht

Frage: Welche Lagerform begünstigt die Betriebsbedingungen?

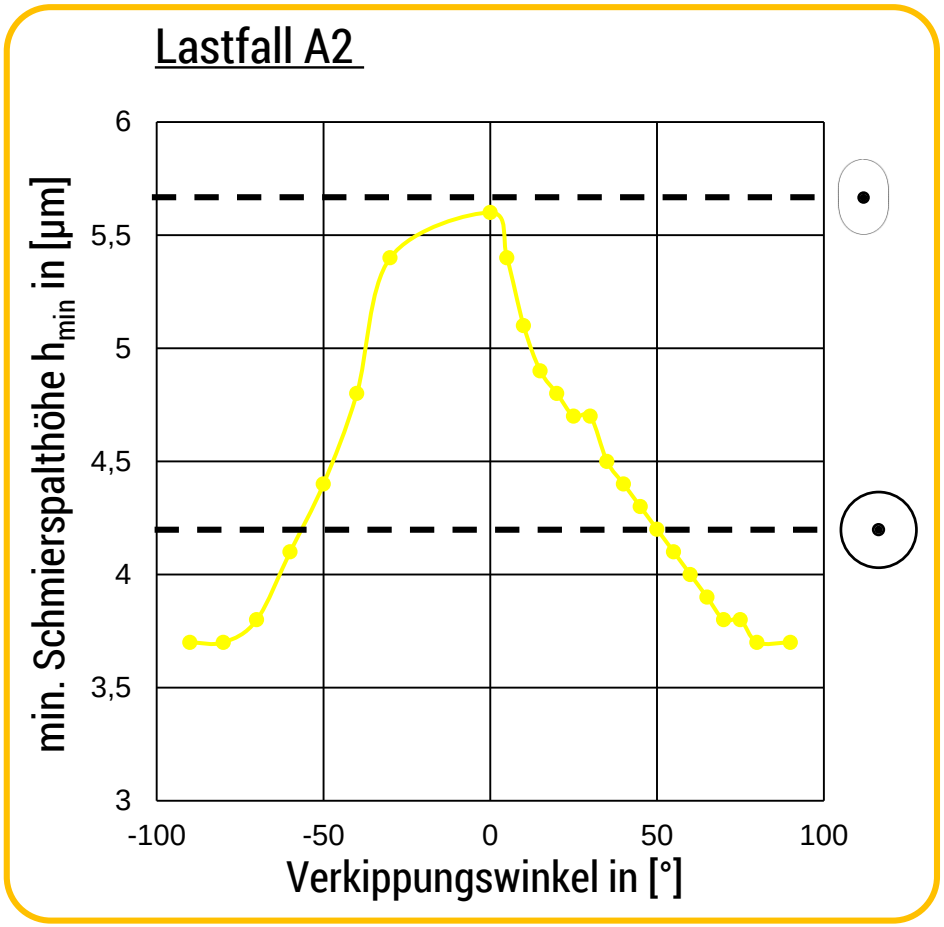


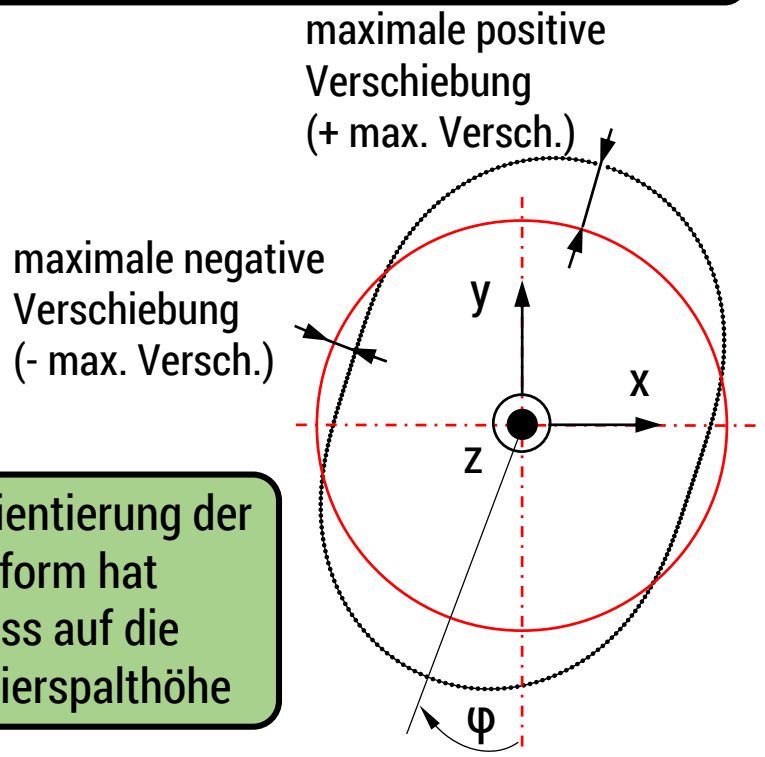


Formorientierung - Lastfall A2

→ bei max. Verschiebung von 3,6 µm

Frage: Welche Lagerform begünstigt die Betriebsbedingungen?





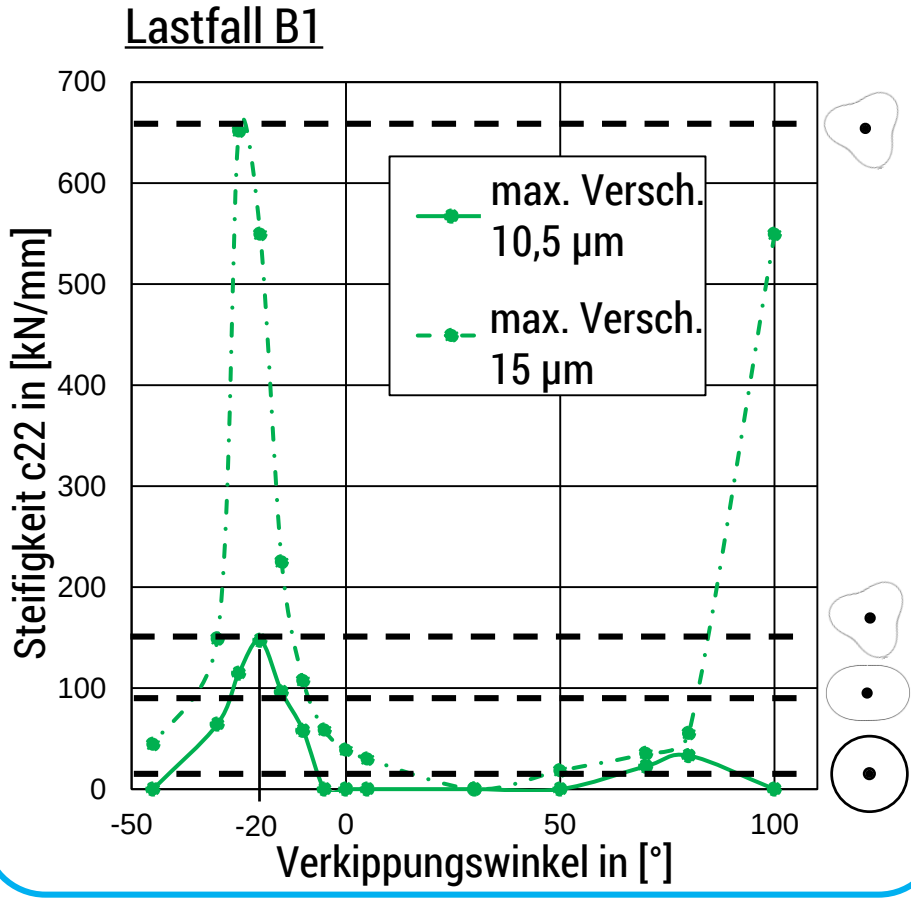
► Orientierung der Lagerform hat Einfluss auf die Schmierspalthöhe

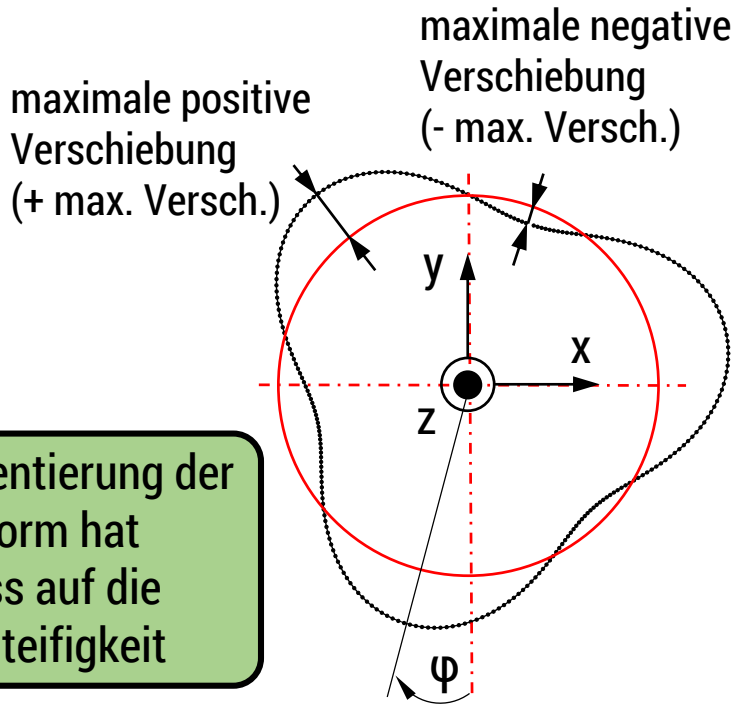
Lastfall	mit. Lagerbelastung in [MPa]	Drehzahl in [min^{-1}]
Lastfall A2	3	1500

Formorientierung - Lastfall B1

→ Bei verschiedenen max. Verschiebungen

Frage: Welche Lagerform begünstigt die Betriebsbedingungen?





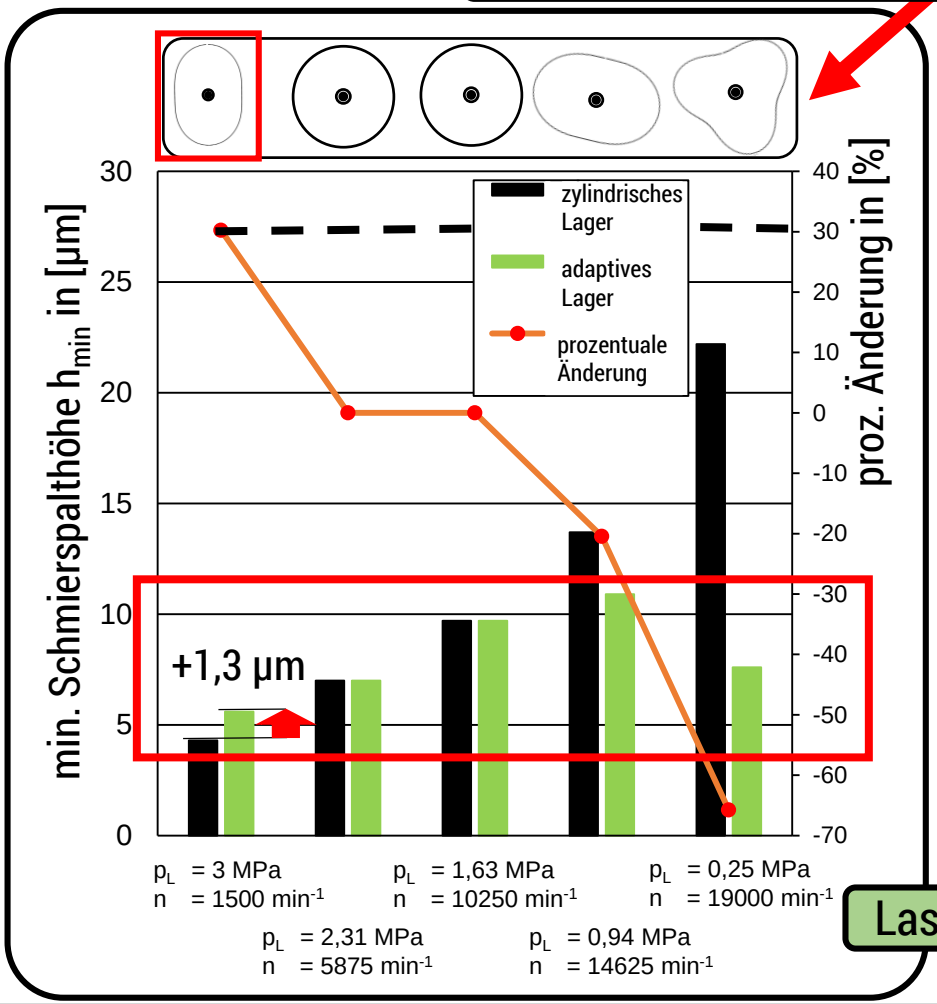
► Orientierung der Lagerform hat Einfluss auf die Lagersteifigkeit

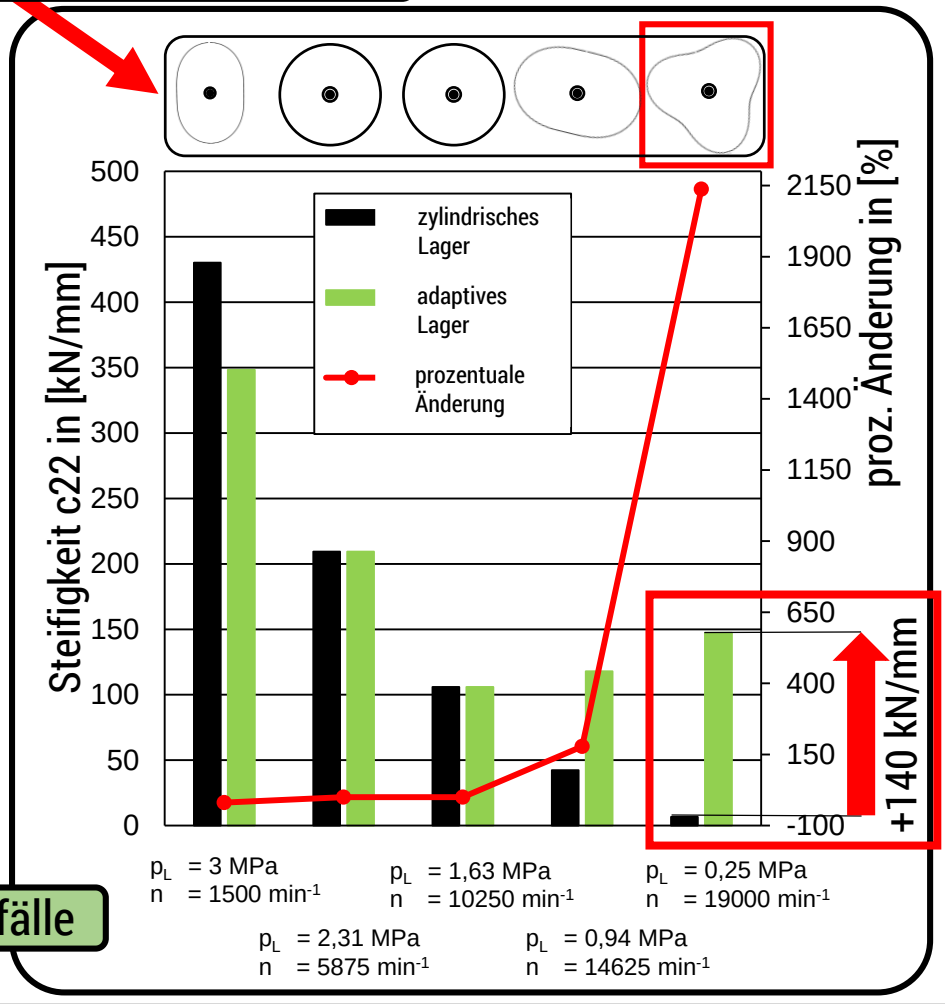
Lastfall	mit. Lagerbelastung in [MPa]	Drehzahl in [min^{-1}]
Lastfall B1	0,25	19000

Ergebnis der Formuntersuchung

Für jeden Lastfall andere Lagerform notwendig!

lastfallspezifische Lagerformen des Gleitlagers

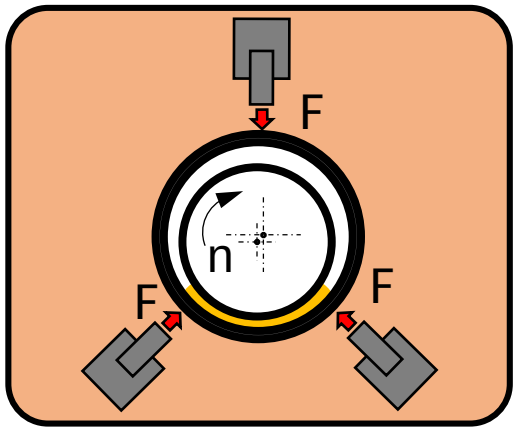


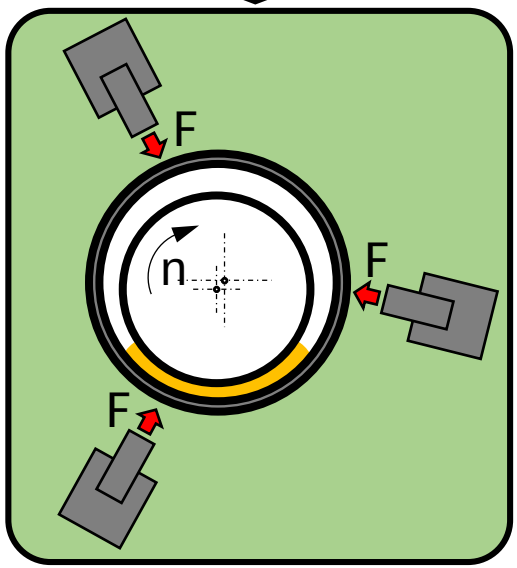


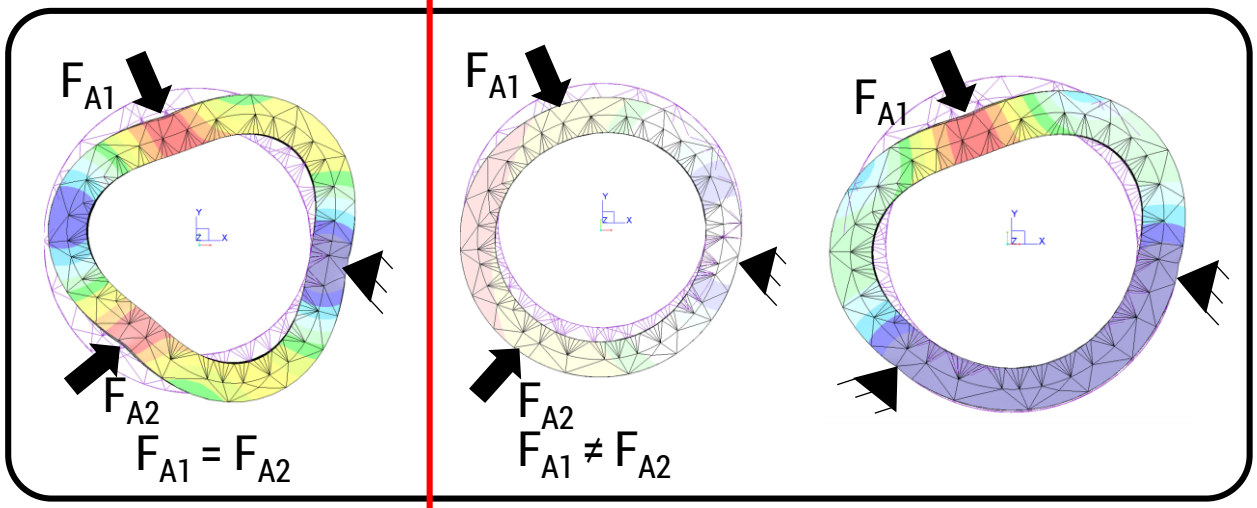
Lastfälle

FEM Simulation – Bsp. Lastfall B1

Frage: Wie können die Lagerformen erreicht werden?



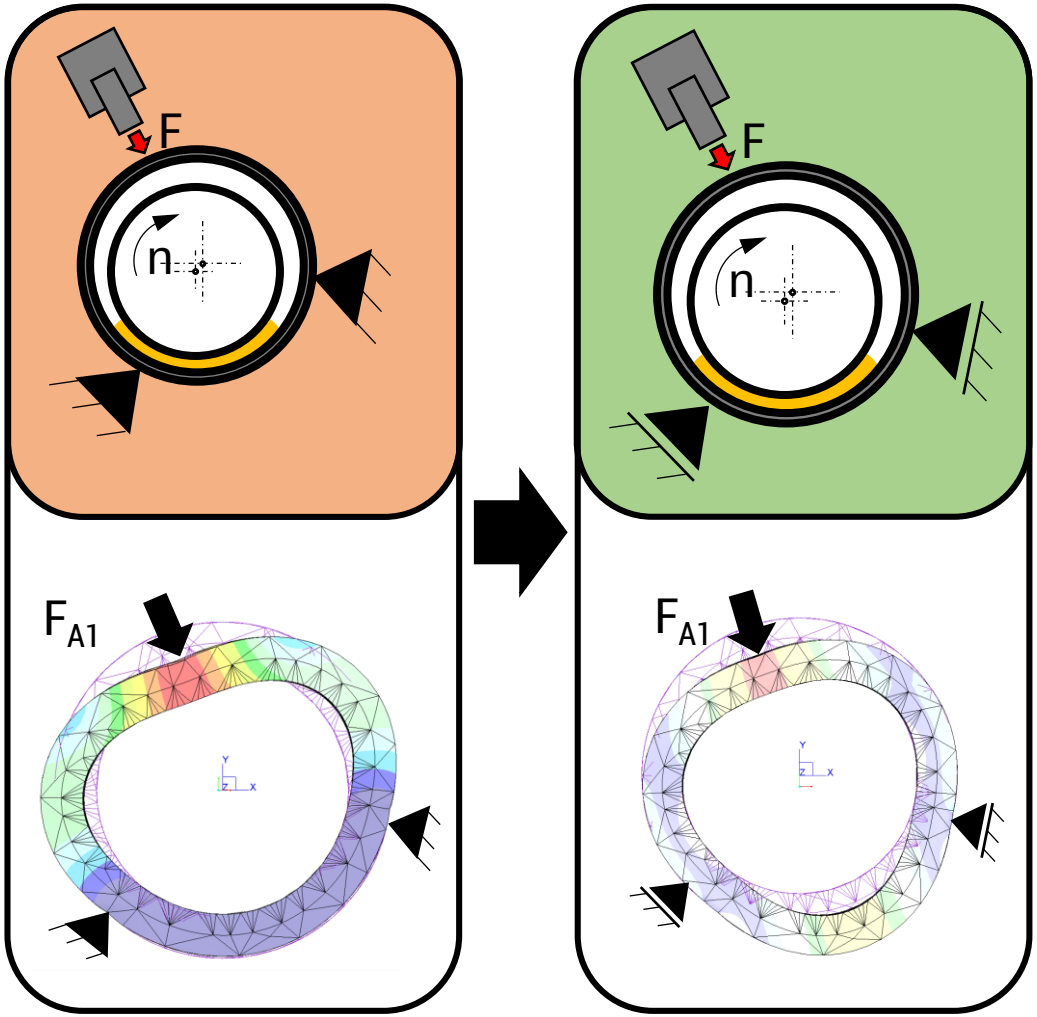




- Die Gleichdickform benötigt 3 gleichmäßig verteilte Kraftangriffsstellen.
- Aktorstellen können teilweise durch Lagerstellen ersetzt werden
- Unterschiede in angreifenden Kräften führen zu einer reinen Verschiebung der Geometrie → keine Verformung
- Zwei feste Lagerstellen erzeugen keine Gleichdickform

Problem: Mit Lagerung muss auch Ovalform realisierbar sein!

Wahl der Lagerung

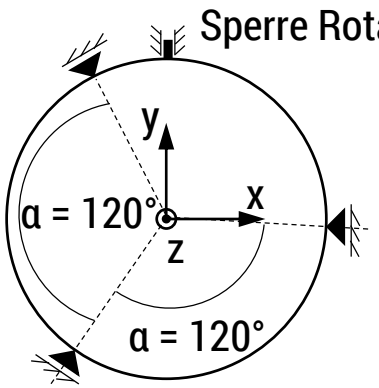


Frage: Wie können die Lagerformen erreicht werden?

Lagerung muss Freiheiten zulassen:

- Lagerstellen ersetzen Aktoren → einfachere Verformung möglich
- Lagerung erfolgt mit tangentialer Freiheit → erlaubt eine minimale Verschiebung an den Lagerstellen → optimale Lagerform kann besser erreicht werden

Allgemeine Lagerung des Gleitlagers:



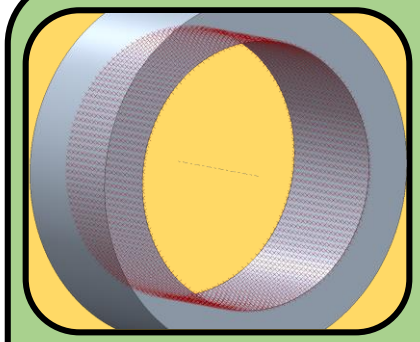
Export der Lagergeometrie von Creo Simulate in ALP3T

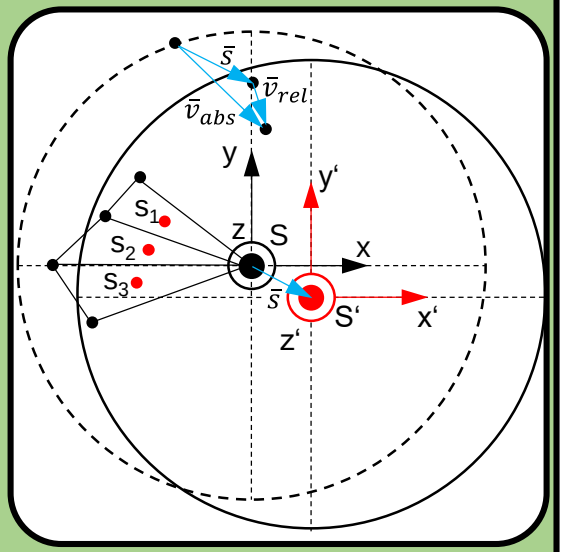
Wie können die Ergebnisse aus der FE-Simulation in die Gleitlagersimulation mit ALP3T übertragen werden?

► Definieren von Gitterpunkten auf innere Lagerfläche, entsprechend der ALP3T Gitterdefinition → Ausgabe der x und y Verschiebung jedes Punktes

► Umrechnung der x- und y- Verschiebung jedes Gitterpunktes in eine radiale Verschiebung des Punktes zu neuen Lagermittelpunkt S‘

►Einfügen des Verschiebungsfeldes der Gitterpunkte in ALP3T Einstellung → Simulation des verformten Gleitlagers!



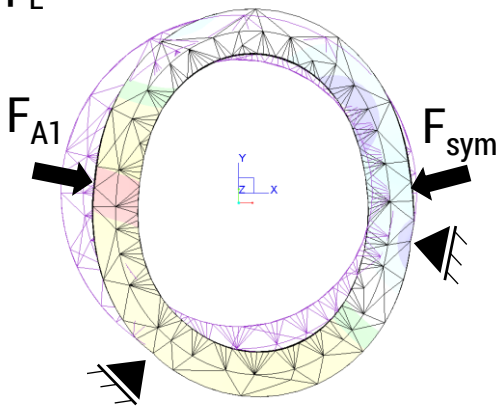


Creo Simulate → ALP3T

Betriebswerte der verformten Gleitlager

Lastfall A2

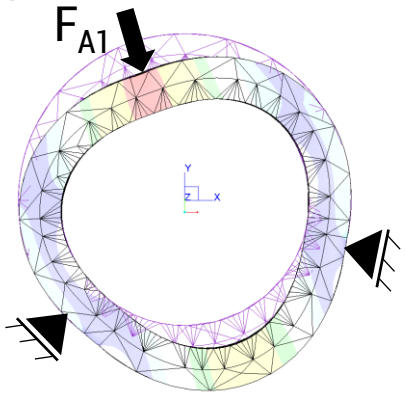
p_L = 3 MPa / n = 1500 min^{-1}



F_{A1}/F_{sym} in N	max. Versch. in µm	h_{min} in µm	c22 in kN/mm
200	4,8	5,6	343,6

Lastfall B1

p_L = 0,25 MPa / n = 19000 min^{-1}



F_{A1} in N	max. Versch. in µm	h_{min} in µm	c22 in kN/mm
1500	11,4	8,1	115,0

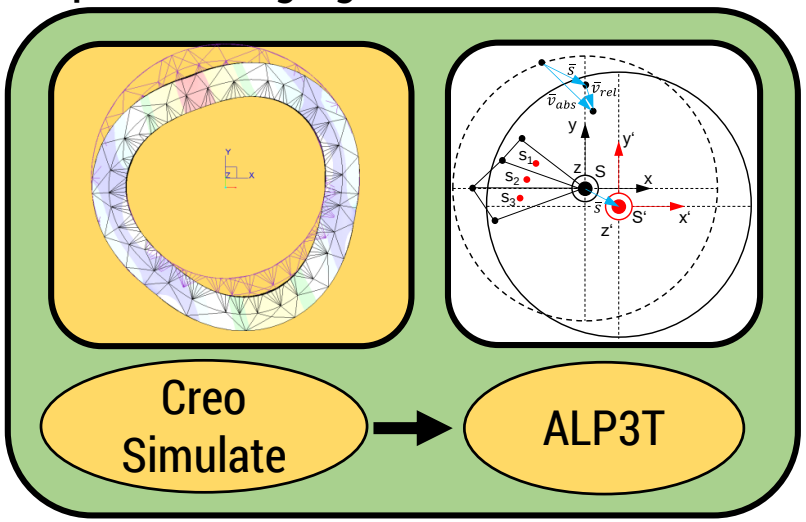
Lagerformen können erreicht werden!

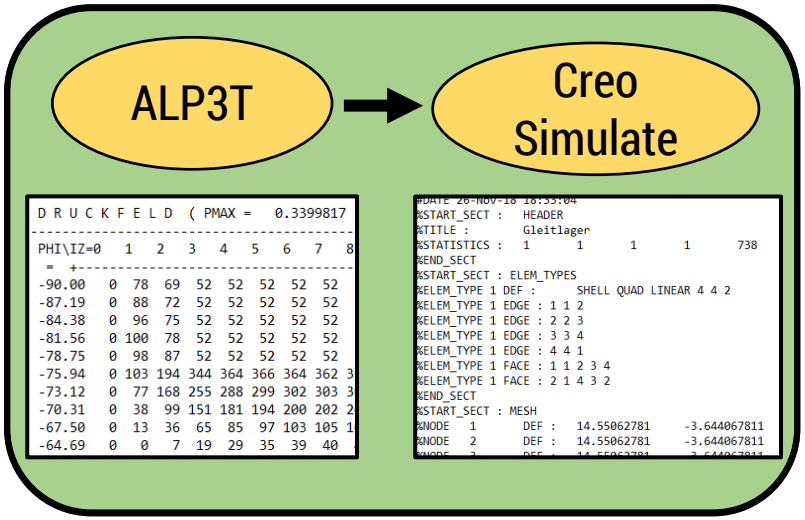
Aber: der Öldruck auf das Gleitlager muss mit berücksichtigt werden!

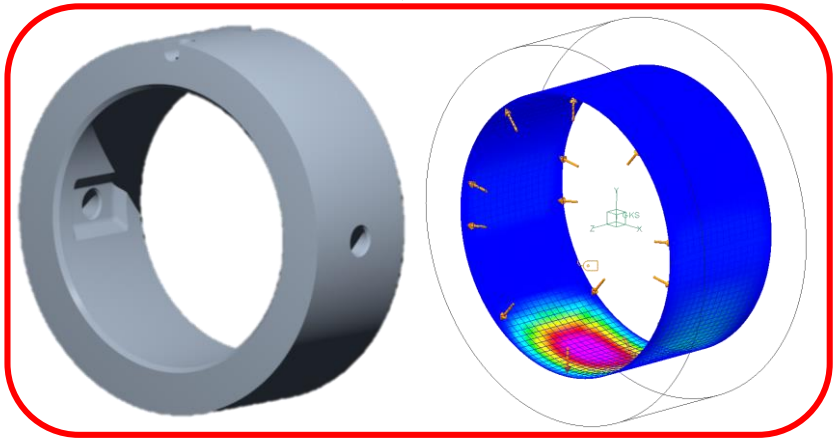
Aufbringung des Schmierfilmdrucks

Aber: der Öldruck auf das Gleitlager muss mit berücksichtigt werden!

Export der Lagergeometrie in ALP3T







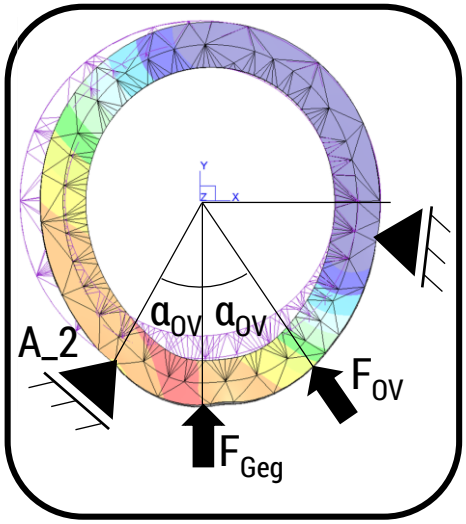
► Export der verformten Gleitlagergeometrie aus Creo Simulate in ALP3T → Simulation des Gleitlagers in ALP3T → ALP3T gibt Druckfeld über Gitterfeld aus

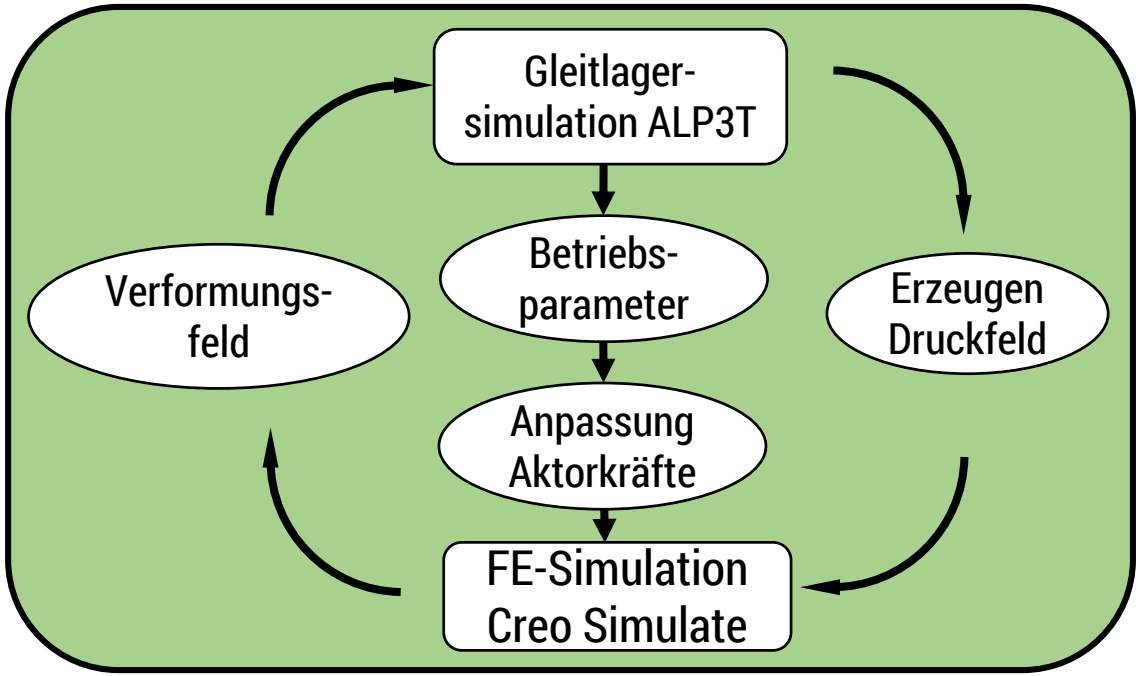
► Umwandeln der Druckfeldtabelle von ALP3T in .fnf-Datei für Creo Simulate

► Einfügen des Druckverlaufs auf die innere Gleitlagerfläche → Simulation des Gleitlagers

Lagerverformung Lastfall A2

Lastfall A2	p_L = 3 MPa	n = 1500 min^{-1}





► Öldruck im Lager führt zu starker Verformung → wird mit F_{Geg} reduziert

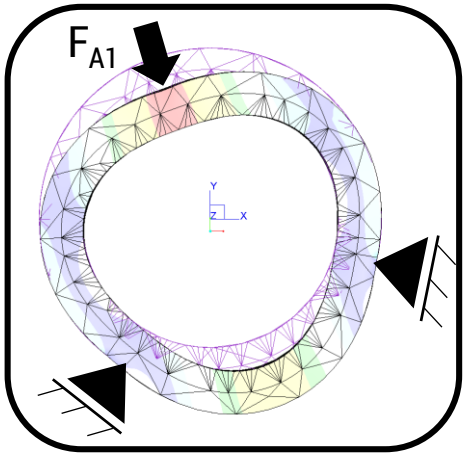
► F_{OV} ist symmetrisch zu Lagerstelle A_2 angeordnet → ermöglicht Ovalform

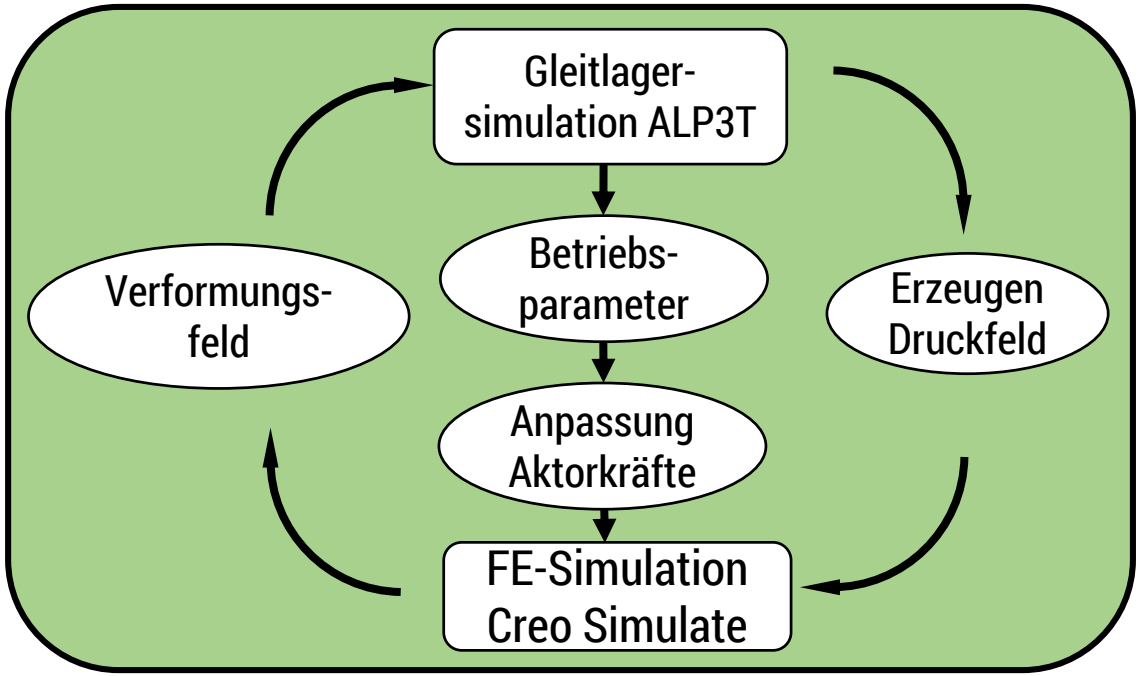
Der Öldruck verformt das Lager. Die Aktorkräfte reduzieren lediglich die Verformung.

lt. Schritt	F_{Geg} in N	F_{OV} in N	Druckfeld	max. Versch. in µm	h_{min} in µm
1	850	250	zyl. Lager	3,15	5,6
...	...	...	...	...	...
7	710	260	IT.6- Mehrs.	2,73	5,6

Lagerverformung Lastfall B1

Lastfall B1	p_L = 0,25 MPa	n = 19000 min^{-1}





► Öldruck ist so gering das vernachlässigbare Verformung auftritt

► Je größer die Aktorkraft, desto kleiner h_{min} → wie klein darf h_{min} werden?

$h_{0zul}=((0{,}5\ldots1)\cdot R_{zW}+W_{tW})+((0{,}5\ldots1)\cdot R_{zL}+W_{tL})$

R_{zW} = (1) ·1µm R_{zL} = (0,5)·2µm

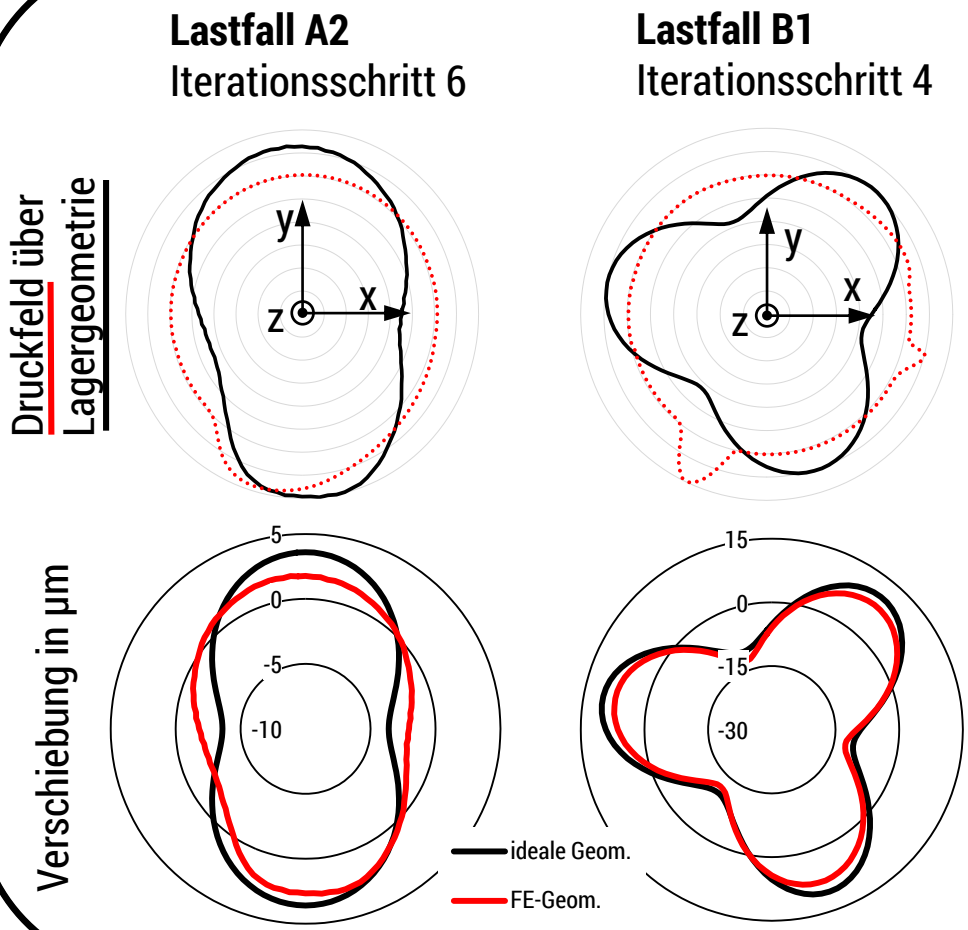
W_{tW} = 2 µm W_{tL} = 2 µm

h_{0zul} = 6 µm

lt.-Schritt	F_{A1} in N	Druckfeld	max. Versch. in µm	h_{min} in µm	c22 in kN/mm
1	1650	zyl. Lager	0,428	6,2	172,0
...	...	...	...	...	...
5	1725	lt.4 - Mehrs.	0,424	6,1	171,4

Fazit Lagerverformung

Lastfall	mit.Lagerbelastung in [MPa]	Drehzahl in [min^{-1}]
Lastfall A2	3	1500
Lastfall B1	0,25	19000



Druckfeld

►In Lastfall A2 wirkt eine hohe Lagerbelastung, der maximale Druck des Schmierfilms liegt in der Nähe von h_{min}.

►In Lastfall B1 wirkt eine geringe Belastung bei hoher Drehzahl, der maximale Druck wirkt an innersten Lagerdurchmesser.

Verschiebungsfeld

Ideale Geometrie:
Die maximale positive und negative Verschiebung sind gleich.

FE-geometrie:
Die maximale positive und negative Verschiebung unterschiedlich. → Die Verformung des Gleitlagers verursacht somit andere Betriebswerte als „ideale Geometrie“.

Aufbau des Demonstrators

Merkmale:

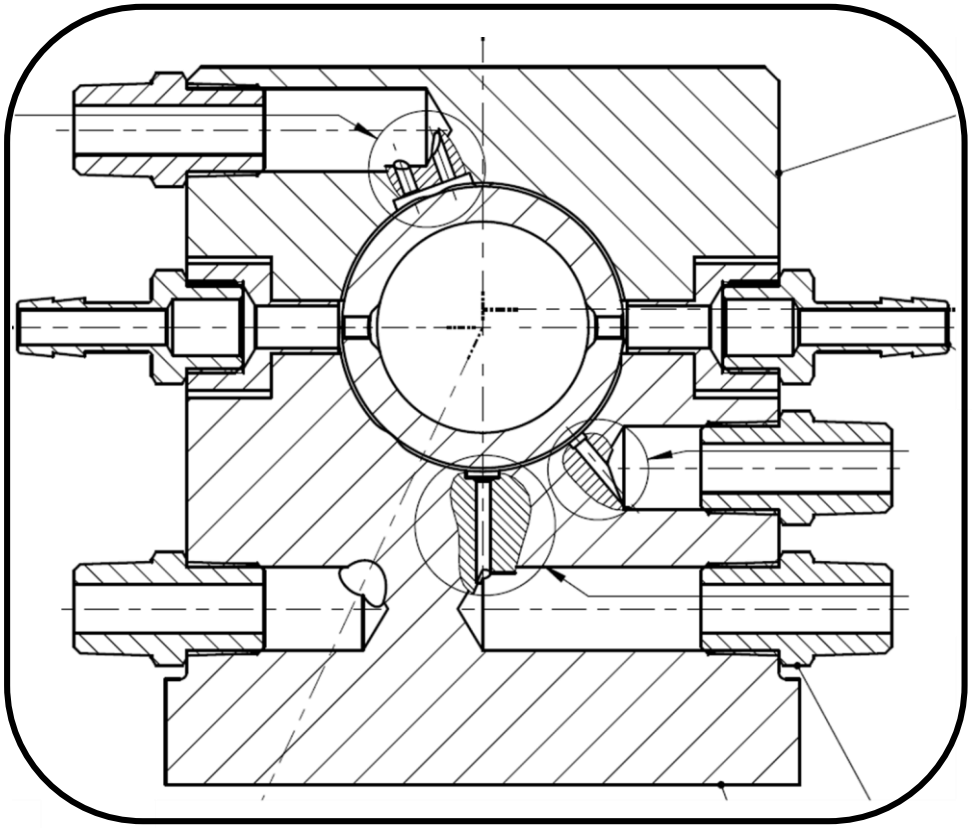
- ► direkter Öldruck wirkt als Aktor
- ► Öltaschen sind an Aktorstellen angebracht
- ► Auswölbung im Gehäuse als Lagerstellen

Vorteil:

- ► Druckkraft der Aktoren leicht variierbar

Nachteil:

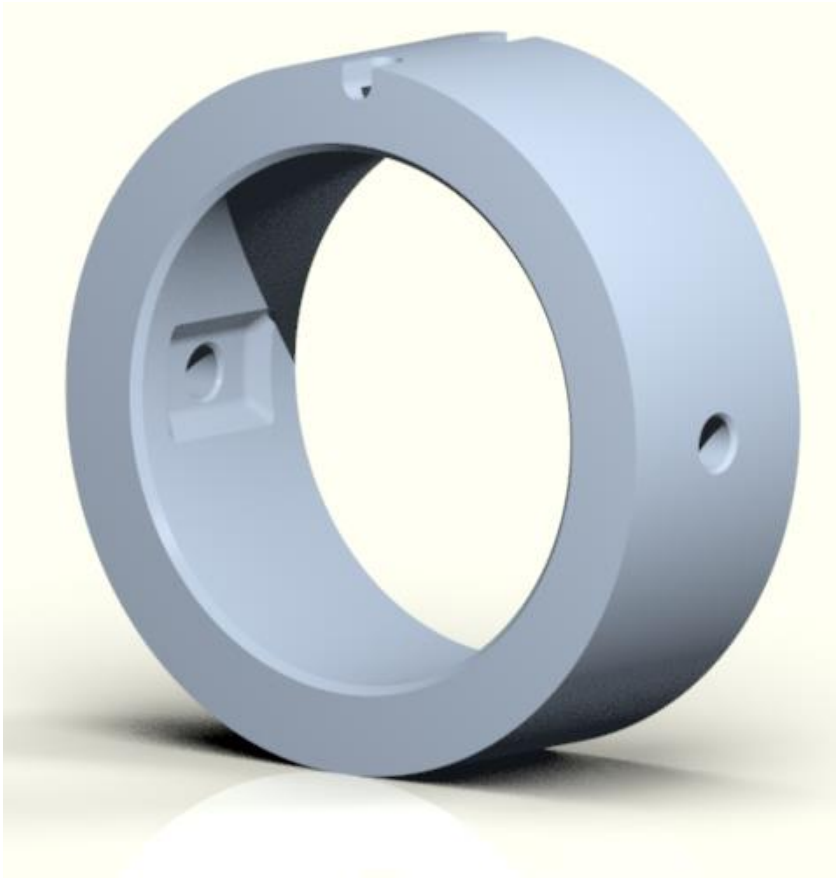
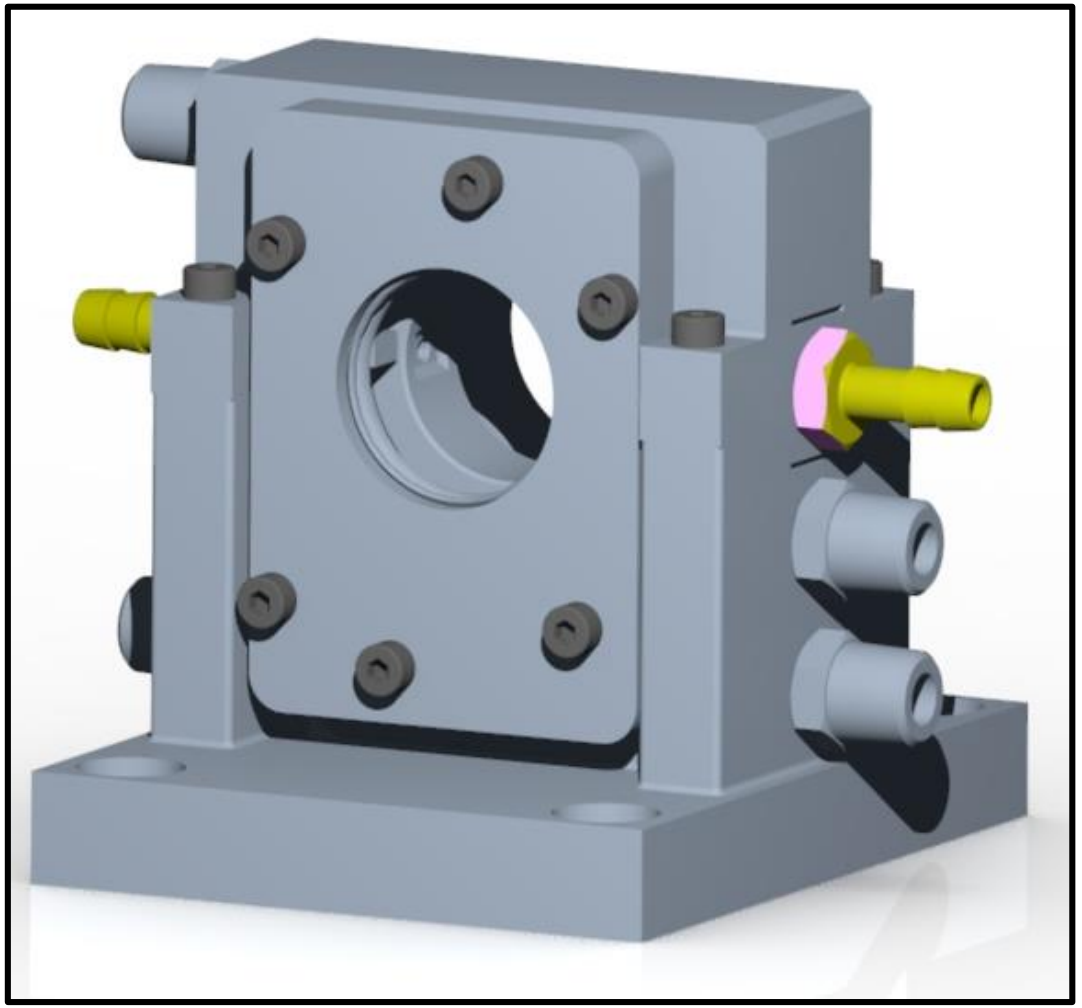
- ► hoher Druck von 150 bar benötigt
- ► Druckverlust durch Spalt zwischen Gleitlager und Gehäuse von 0,05 mm



Ergebnis: ► Konzept überdenken → als Aktoren werden Piezoaktoren empfohlen

Ergebnisse:

- Die Lagerform lässt sich an einen Betriebspunkt anpassen.
- Eine Überführung der Ergebnisse zwischen ALP3T und Creo Simulate ermöglicht eine Untersuchung der Betriebseigenschaften mittels einem Elasto-Hydro-Dynamischen (EHD) Ansatz.
- Ein Demonstrator zur Verformung der Lagergeometrie benötigt eine Lagerung tangentialer Freiheit des Gleitlagers.
- **Ausblick**: Jeder Lastfall benötigt eine andere Lagergeometrie. Daher muss für ein größeres Spektrum von Lastfällen die Lagerformen untersuchen werden, um anwendungsspezifische Eigenschaften zu begünstigen.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit