



Innovative Lagerkonzepte und neue Gleitlagerwerkstoffe für den Antriebsstrang von Windenergieanlagen

Dr. Johannes Hölzl, Miba Bearing Group
Tim Schröder, M.Sc., RWTH Aachen
Amadeus Rolink, M.Sc., RWTH Aachen
Aachen, 10. Juli 2018

Innovation in Motion



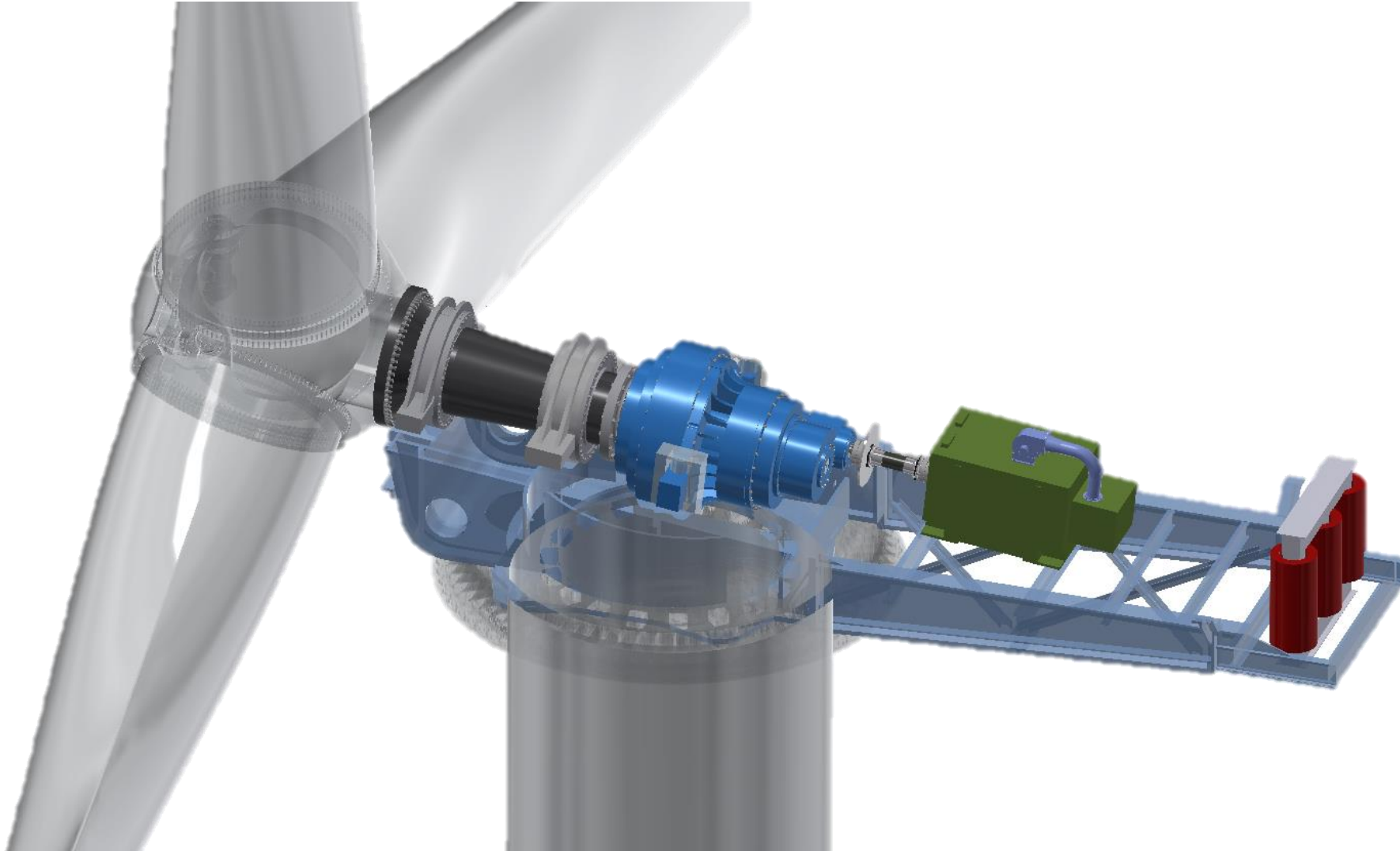
CWD

Chair for
Wind Power
Drives

RWTHAACHEN
UNIVERSITY

Einleitung

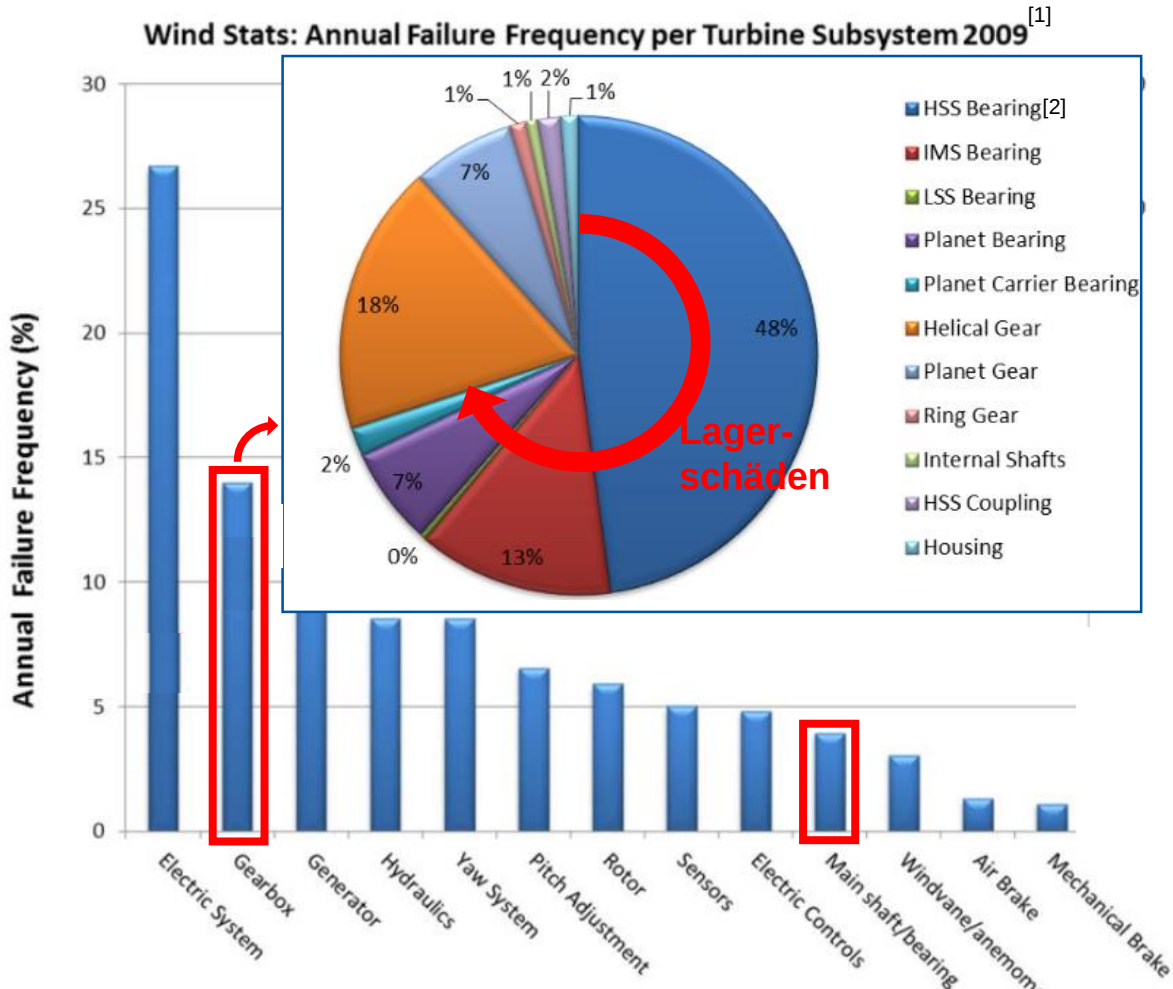
Gleitlager in Windenergieanlagen



Agenda

- 1 Einleitung
- 2 Gleitlager im WEA-Triebstrang: Motivation, Herausforderungen und Chancen
- 3 Qualifizierung neuer, thermisch gespritzter Gleitschichten
- 4 Vorstellung innovativer Haupt- und Planetenlagerkonzepte
- 5 Zusammenfassung

Motivation



Wälzlager im WEA Triebstrang

- 20 Jahre Komponentenlebensdauer wird nicht erreicht
- Herausforderungen steigen mit Anlagengröße
- Etablierte Technologien im Grenzbereich

Beispiel Reparatur- und Ausfallkosten

Neues Haupt-WL	50 t€	[3]
Produktionsausfall (4Wo)	50 t€	[4]
1 Tag Charter Schiffkran	200 t€	[5]
Summe	300 t€	
Fehlerrate (NREL)	0,1	[1]
Lebensdauer	20 Jahre	
Zusatzkosten/Anlage	~600 t€	

(sehr konservativ!)

[1] Report on Wind Turbine Subsystem Reliability — A Survey of Various Databases, Shuangwen (Shawn) Sheng, NREL, June, 2013, NREL/PR-5000-59111

[2] Gearbox Typical Failure Modes, Detection and Mitigation Methods, Shawn Sheng, NREL, January 2014, NREL/PR-5000-60982

[3] geschätzt [4] 5MW, 3500V/Lh, 4Cent/kWh [5]: <https://www.erneuerbareenergien.de/windparkfueterung/150/3882/85284/>

Herausforderungen & Chancen

Herausforderungen für Gleitlager in WEA-Triebstrang

- Hohe, dynamische Lasten
- Vielzahl von Anfahrvorgängen
- Niedrige Rotordrehzahlen
- Stillstände
- Hohe Lebensdauer > 20 Jahre
-

Potential & Chancen mit Gleitlagerlösungen

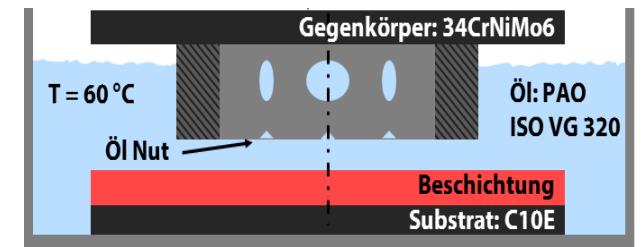
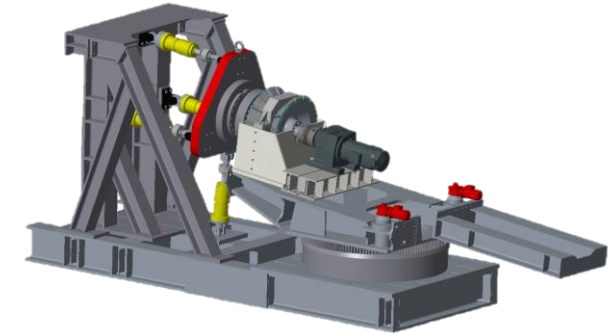
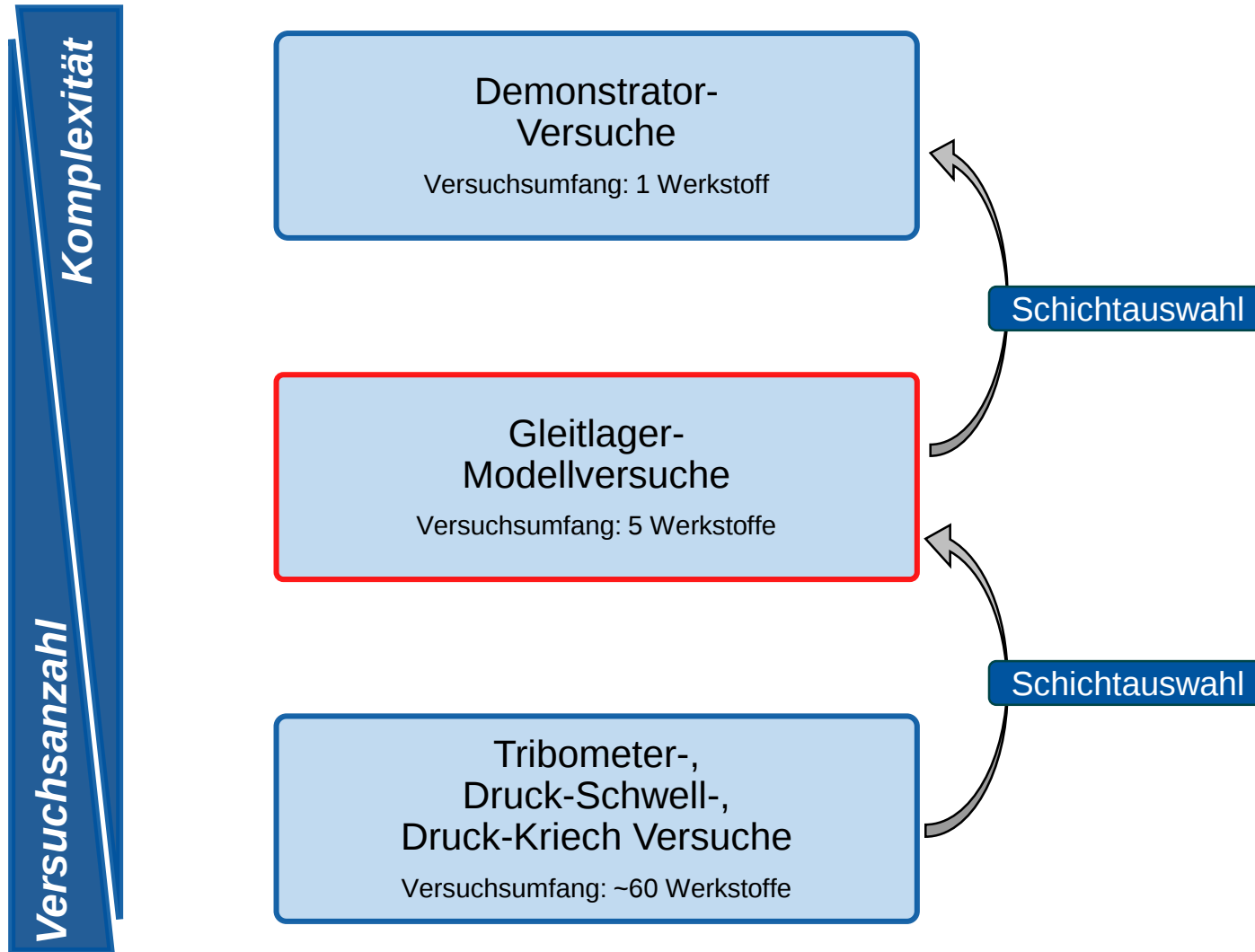
- Austausch einzelner Gleitsegmente möglich
 - Reduzierter Wartungsaufwand
- Große Durchmesser, hohe Umfangsgeschwindigkeiten
 - Gute Bedingungen für Hydrodynamik
- Im Vergleich zu Wälzlagern
 - Hohe Anzahl von Überrollungen (Lebensdauer)
 - Große gehärtete Laufbahnen (Kosten, Toleranzen)
- Neuartige Lager- und Triebstrangkonzeppte



Agenda

- 1 Einleitung
- 2 Gleitlager im WEA-Triebstrang: Motivation, Herausforderungen und Chancen
- 3 Qualifizierung neuer, thermisch gespritzter Gleitschichten
- 4 Vorstellung innovativer Haupt- und Planetenlagerkonzepte
- 5 Zusammenfassung

Vorgehen



[Thermally Sprayed Hydrodynamic Main Bearings for Wind Turbines; ITSC 2017]

Untersuchungen zur Mischreibungsgrenze

Versuchsbeschreibung

Proben

- Nenndurchmesser 120 mm
- B/D 0,5
- Lagerspiel 1,1 ‰

Versuchsdurchführung

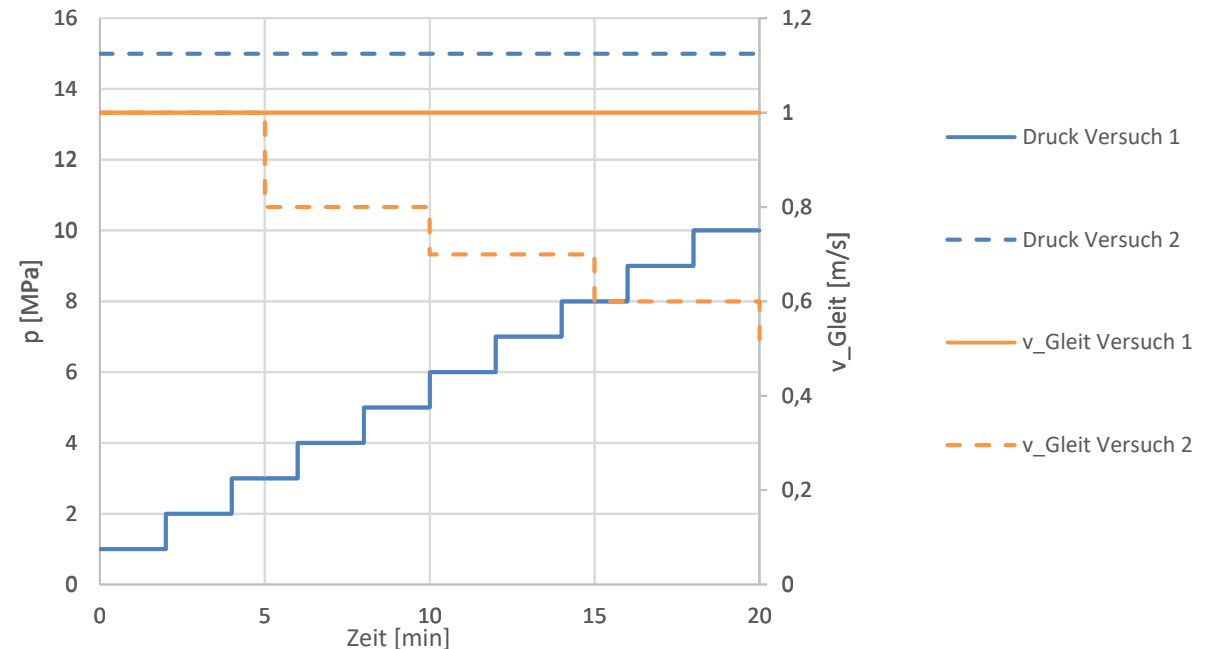
- 20 Min Einlauf bei 1MPa, 1m/s Gleitgeschwindigkeit

Versuch 1:

- Konstante Gleitgeschwindigkeit (1 m/s)
- Schrittweise Lasterhöhung (1 - 30 MPa)

Versuch 2:

- Konstante Last (p = 15 MPa)
- Schrittweise Reduktion der Gleitgeschwindigkeit (1 - 0,1 m/s)



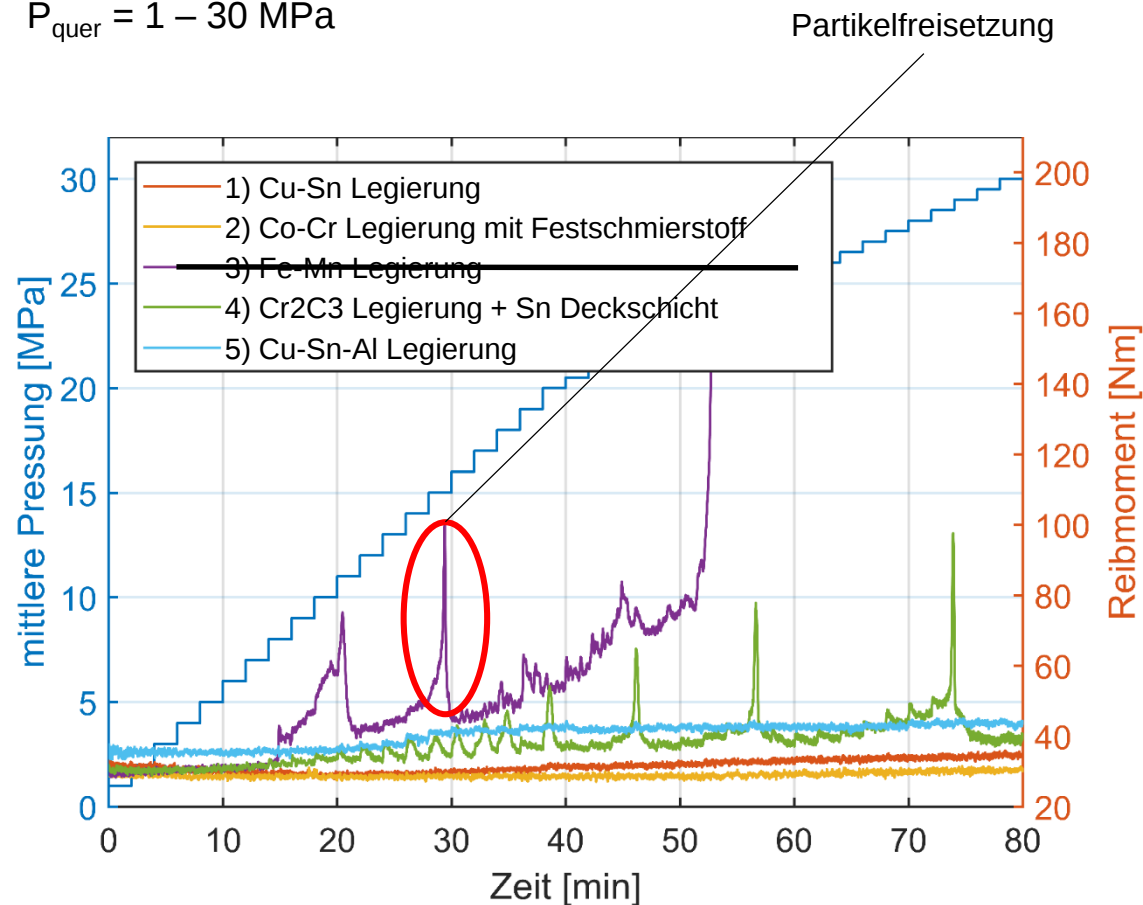
Untersuchungen zur Mischreibungsgrenze

Versuchsergebnisse

Versuch 1:

V_{gleit} = Konstant 1m/s

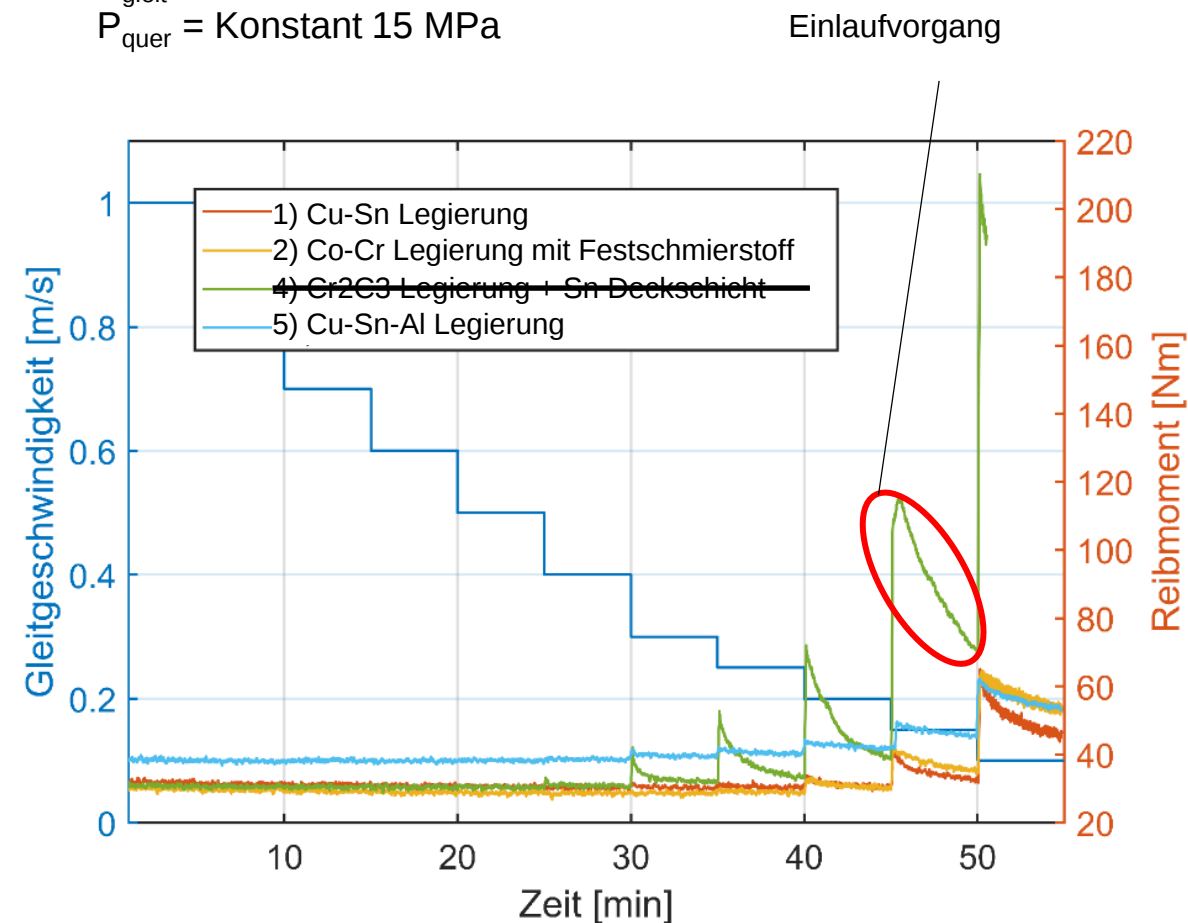
P_{quer} = 1 – 30 MPa



Versuch 2:

V_{gleit} = 1m/s – 0,1 m/s

P_{quer} = Konstant 15 MPa

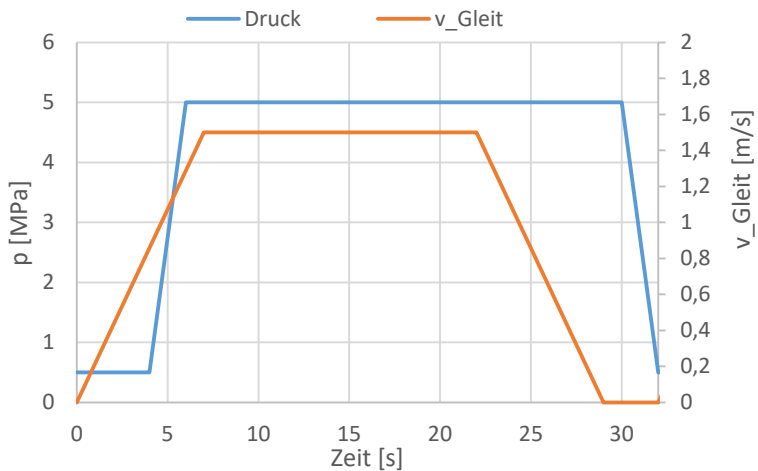


Verschleißuntersuchungen

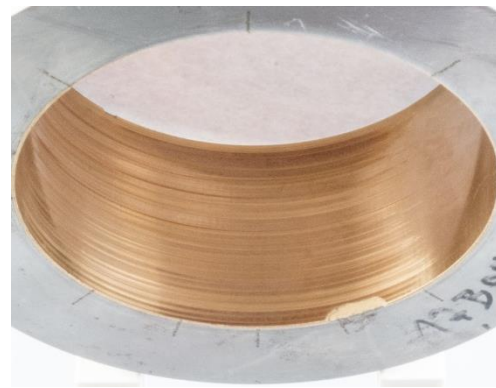
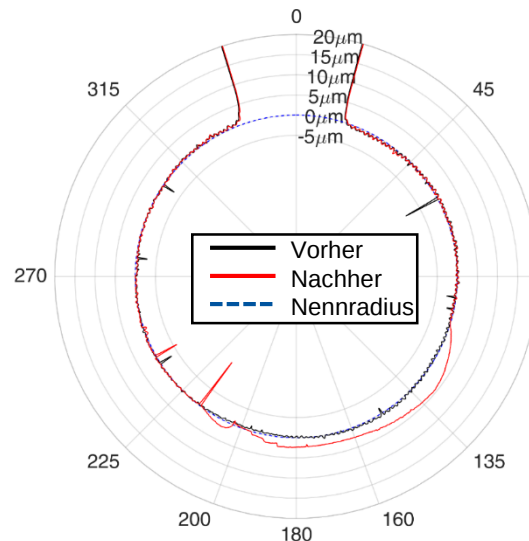
Start-Stopp-Zyklen

- Simulation des Einlauf- und Auslaufvorgangs
- 4300 Zyklen je 32 s
- Messung des Verschleißes

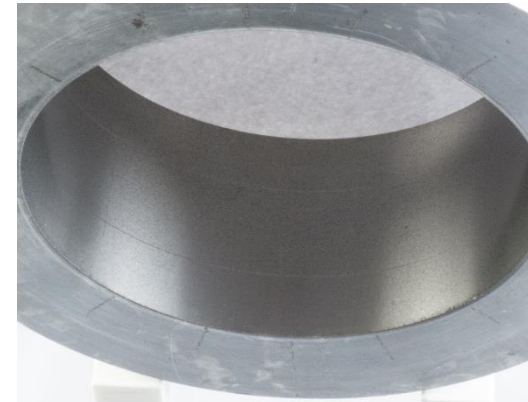
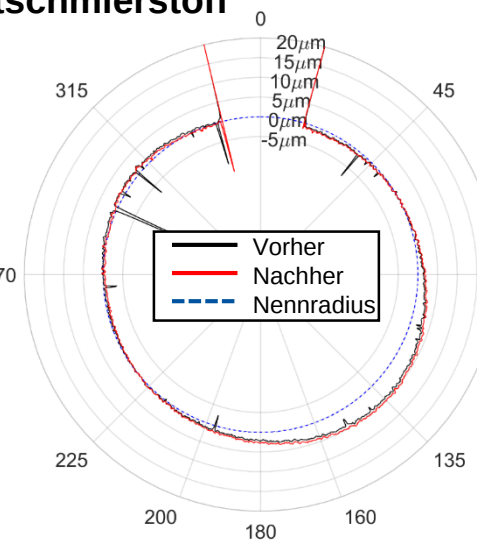
Start-Stopp Zyklus



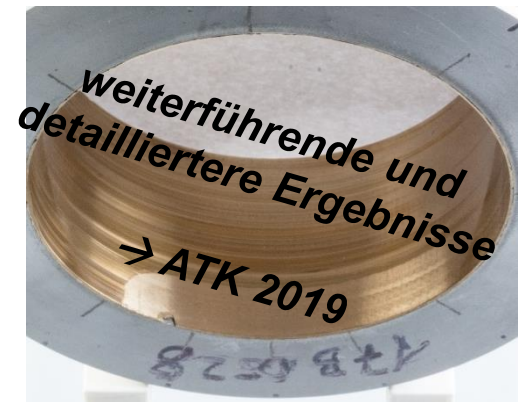
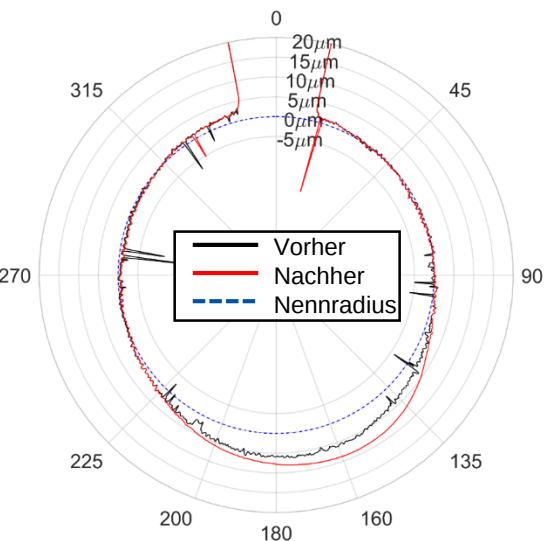
1) Cu-Sn Legierung



2) Co-Cr Legierung mit Festschmierstoff



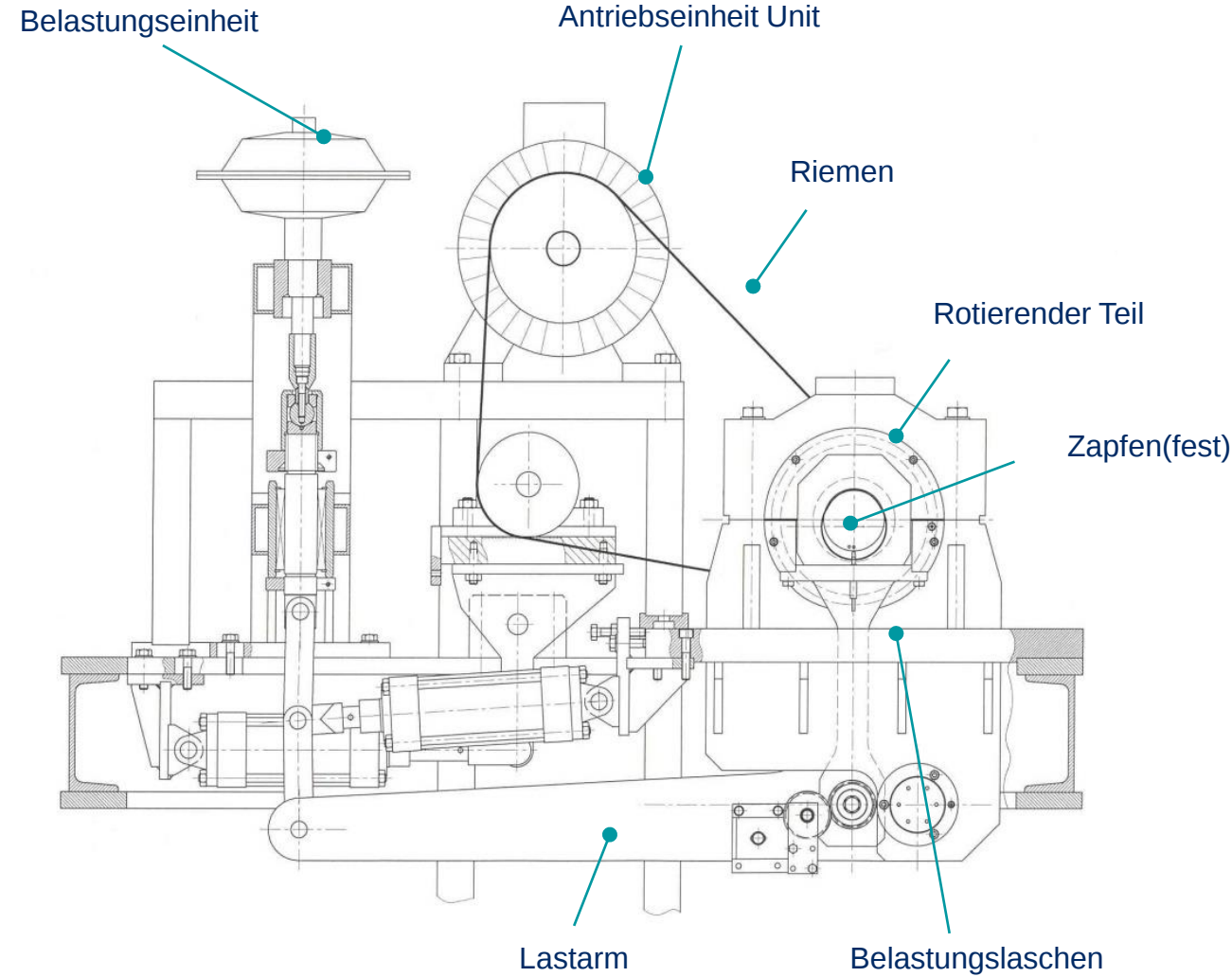
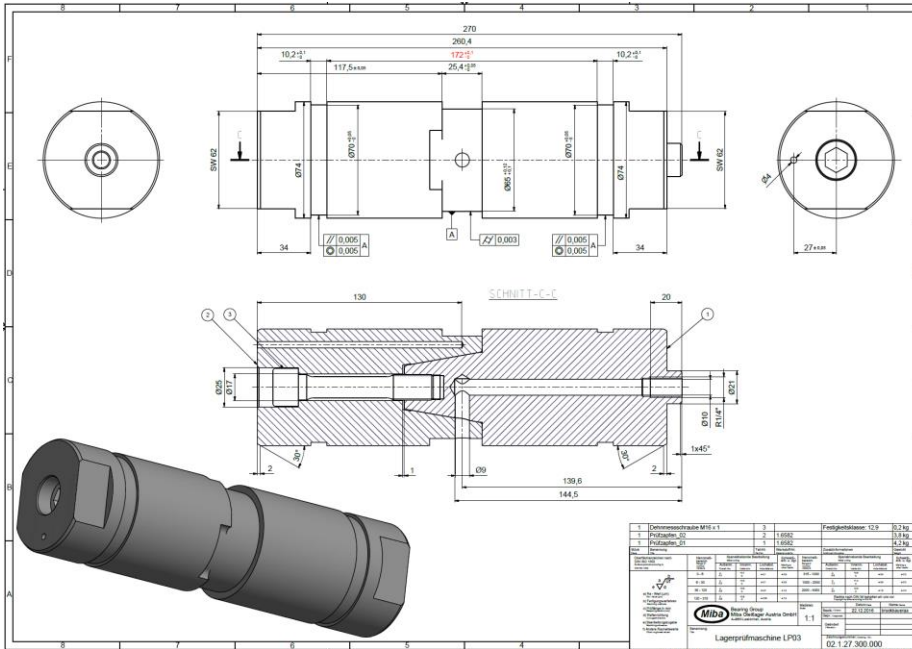
5) Cu-Sn-Al Legierung



Miba Interne Prüfung - Verschleiß

Prüfbedingungen:

- Laufflächendurchmesser OD=75mm, Lagerbreite W=22,5mm
- Prüf-Öl: ISO VG 320, Einlasstemperatur $T_{in} = 60^\circ \text{C}$
- Konstanter Versorgungsdruck von $p_{in} = 7.5\text{bar}$
- Relative Gleitgeschwindigkeit $v=0,5\text{m/s}$
- Laststufen $p=15\text{MPa}$, 30MPa , 45MPa
- Feste Lastposition auf Gleitlager



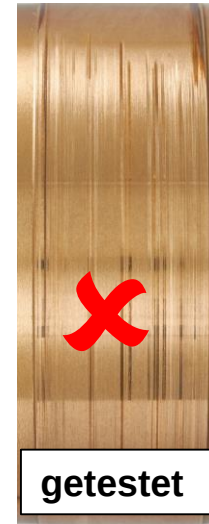
Miba Interne Prüfung - Verschleiß

Miba15 & Miba65

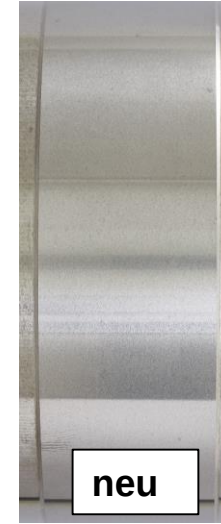
C10 – AlSn25 & C10 – AlSn25 + Synthec ®



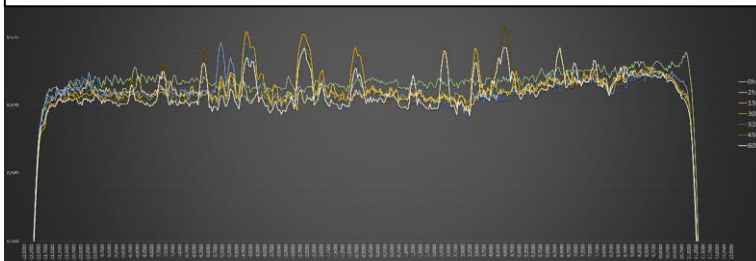
1) Cu-Sn Legierung



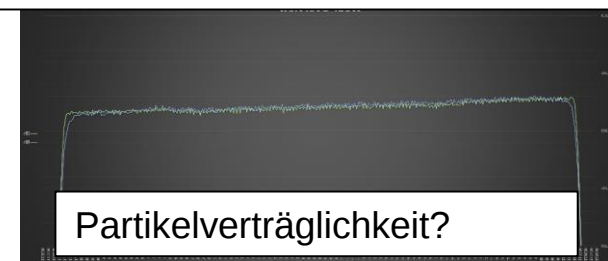
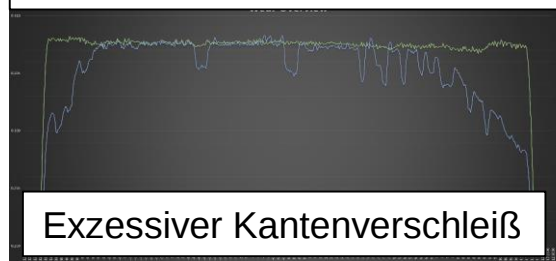
2) Co-Cr Legierung mit Festschmierstoff



Verschleißprofil (180h – 45MPa – 0,5m/s)

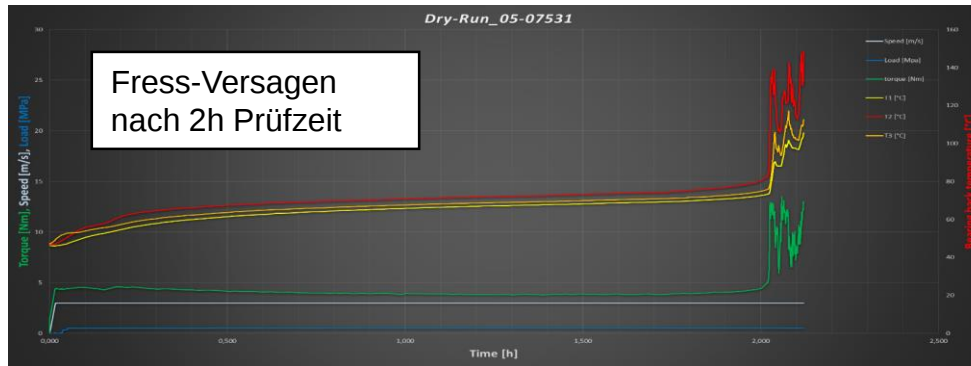


Verschleißprofile (8h – 45MPa – 0,5m/s)

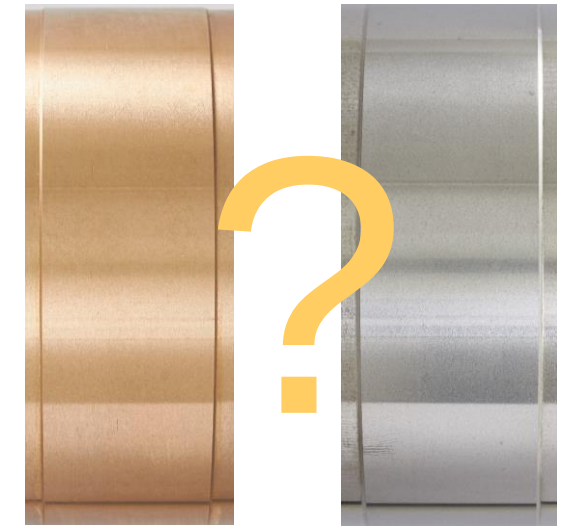


Miba Interne Prüfung – Not-\Trockenlaufeigenschaften

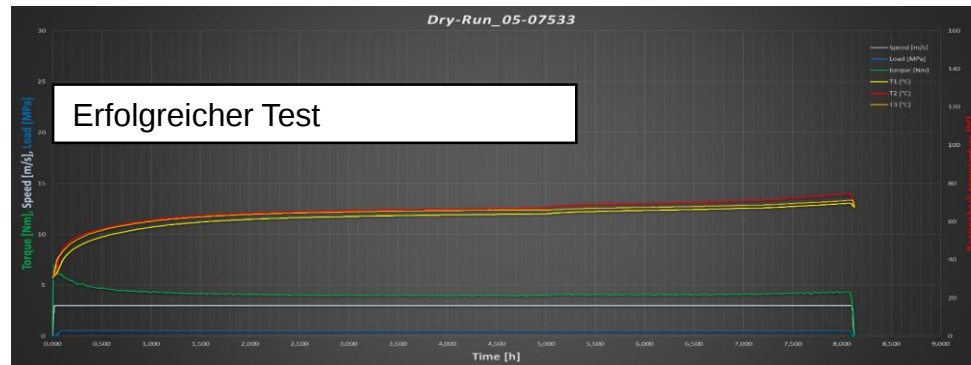
Miba15 (C10 – AlSn25)



Cu-Sn Legierung & Co-Cr Legierung mit Festschmierstoff



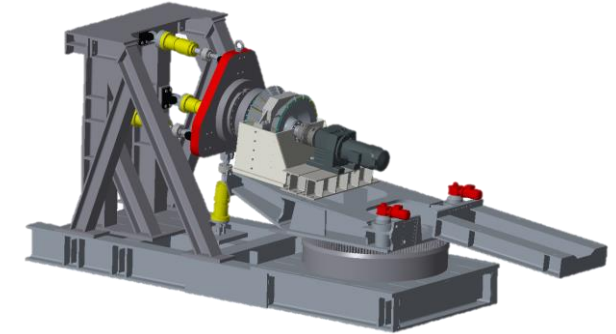
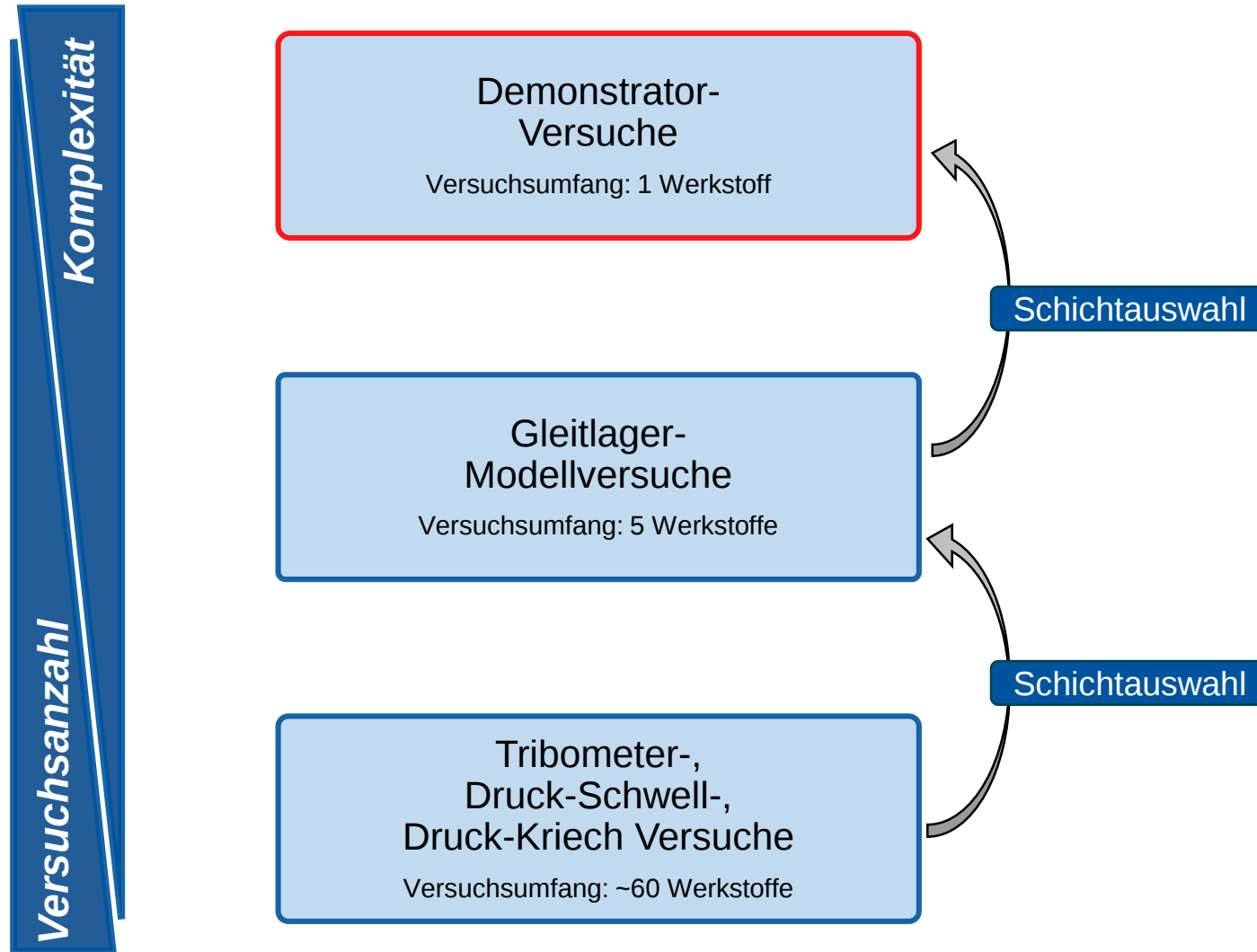
Miba65 (C10 – AlSn25 + Synthec ®)



initial oiling, 0,5MPa 3,0m/s

Agenda

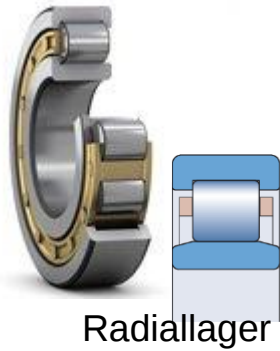
- 1 Einleitung
- 2 Gleitlager im WEA-Triebstrang: Motivation, Herausforderungen und Chancen
- 3 Qualifizierung neuer, thermisch gespritzter Gleitschichten
- 4 Vorstellung innovativer Haupt- und Planetenlagerkonzepte
- 5 Zusammenfassung



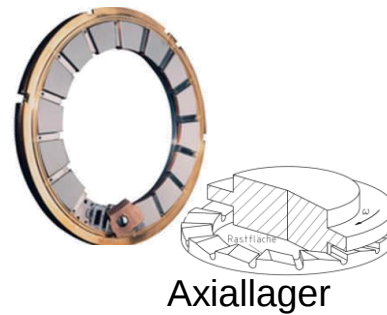
Schichterprobung
+
Untersuchung eines innovativen Lagerungskonzeptes

Lagertypen

Wälzlager



Gleitlager



?

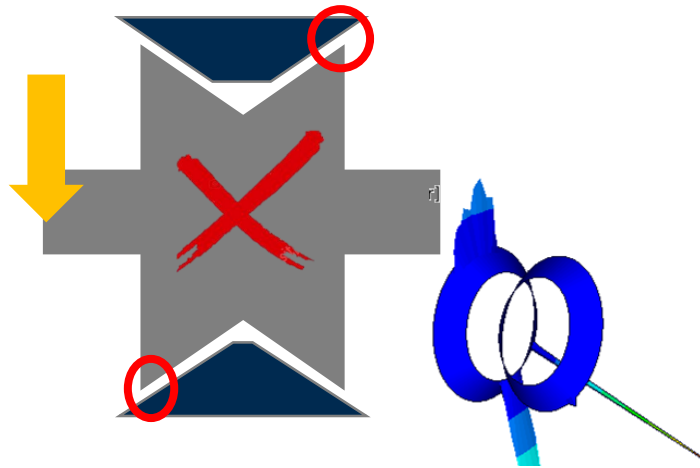
[pictures www.SKF.com]

Problem

- Axiallast



- Radiallasten
(Biegemomente)



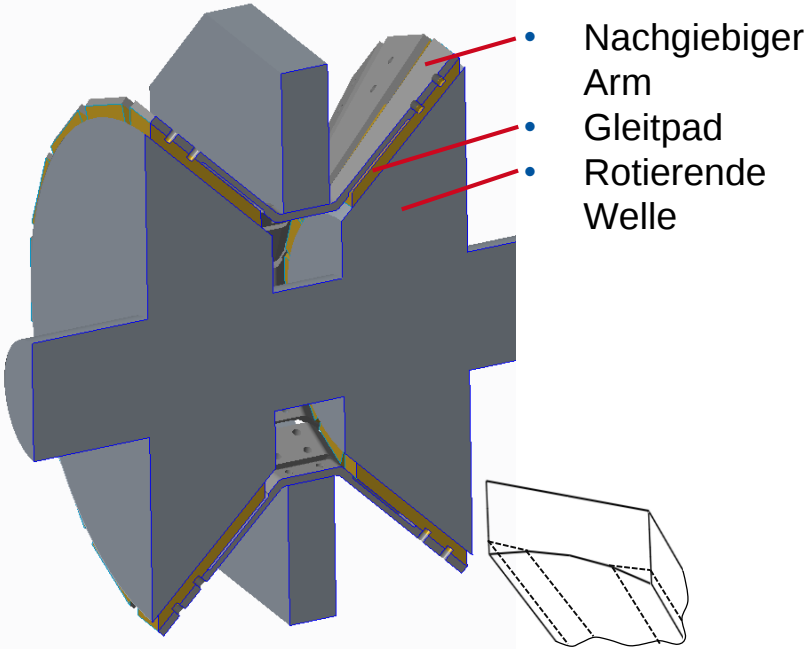
Mögliche Abhilfe:

Flexible/Nachgiebige
Struktur am Außenring



Einfach Flexible Gehäusestruktur

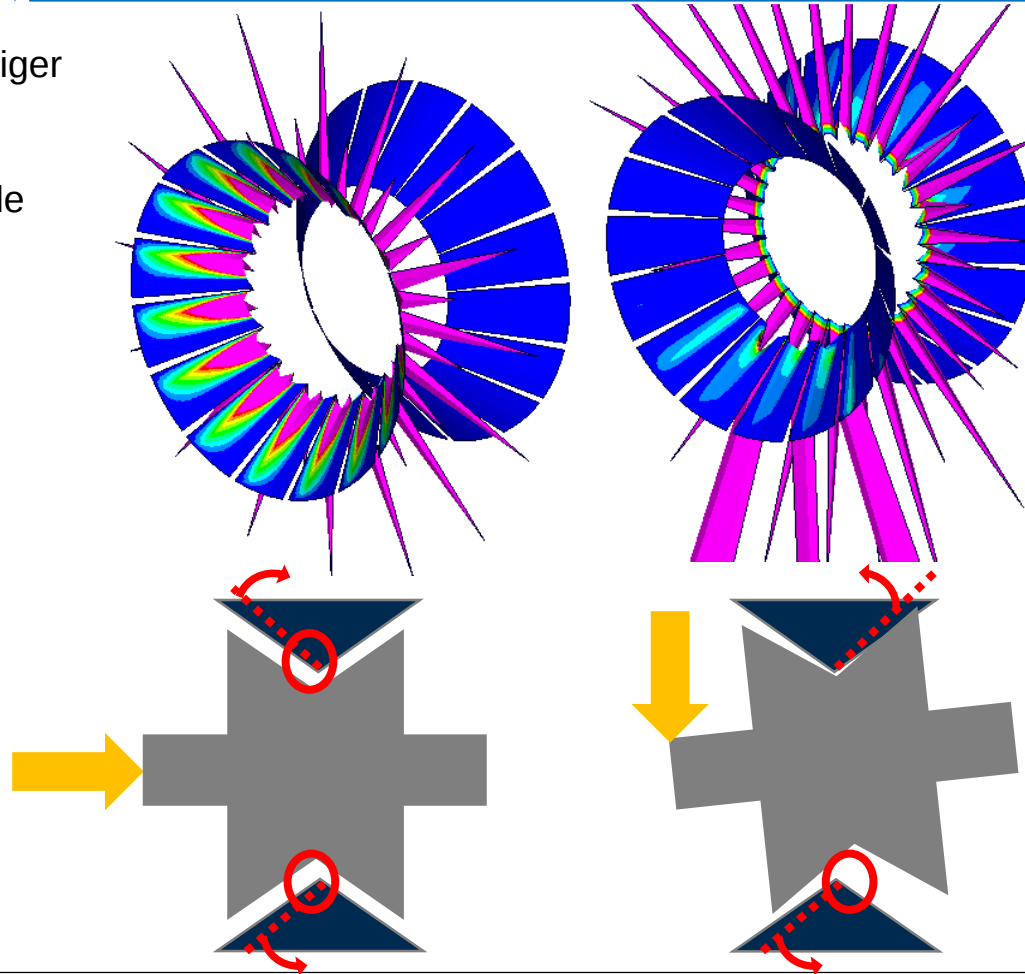
Geometrie



Neuartige Lagergeometrie

- Nachgiebige Pad-Stützstruktur
- Einlaufkanten an jedem Pad

EHD-Rechnung

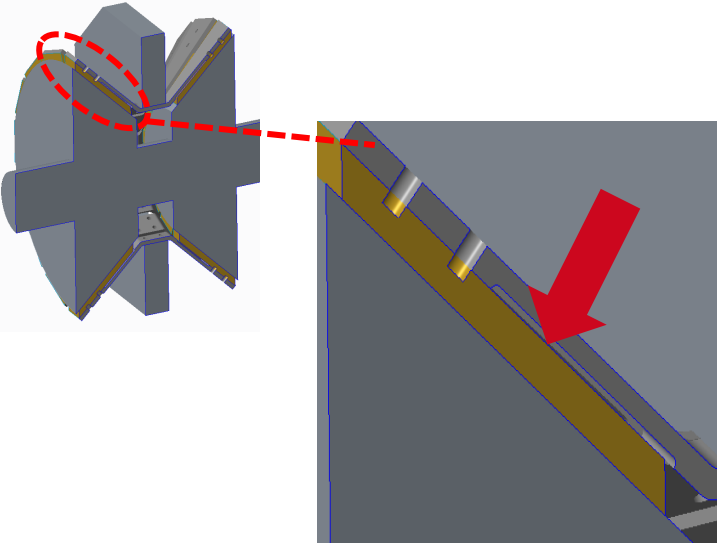


Ergebnis

- Wirksame Einlaufkontur ✓
- Keine Kontaktpressungen am Außenring ✓
- Dafür Kontaktpressungen am Innenring ✗

Doppelt Flexible Gehäusestruktur

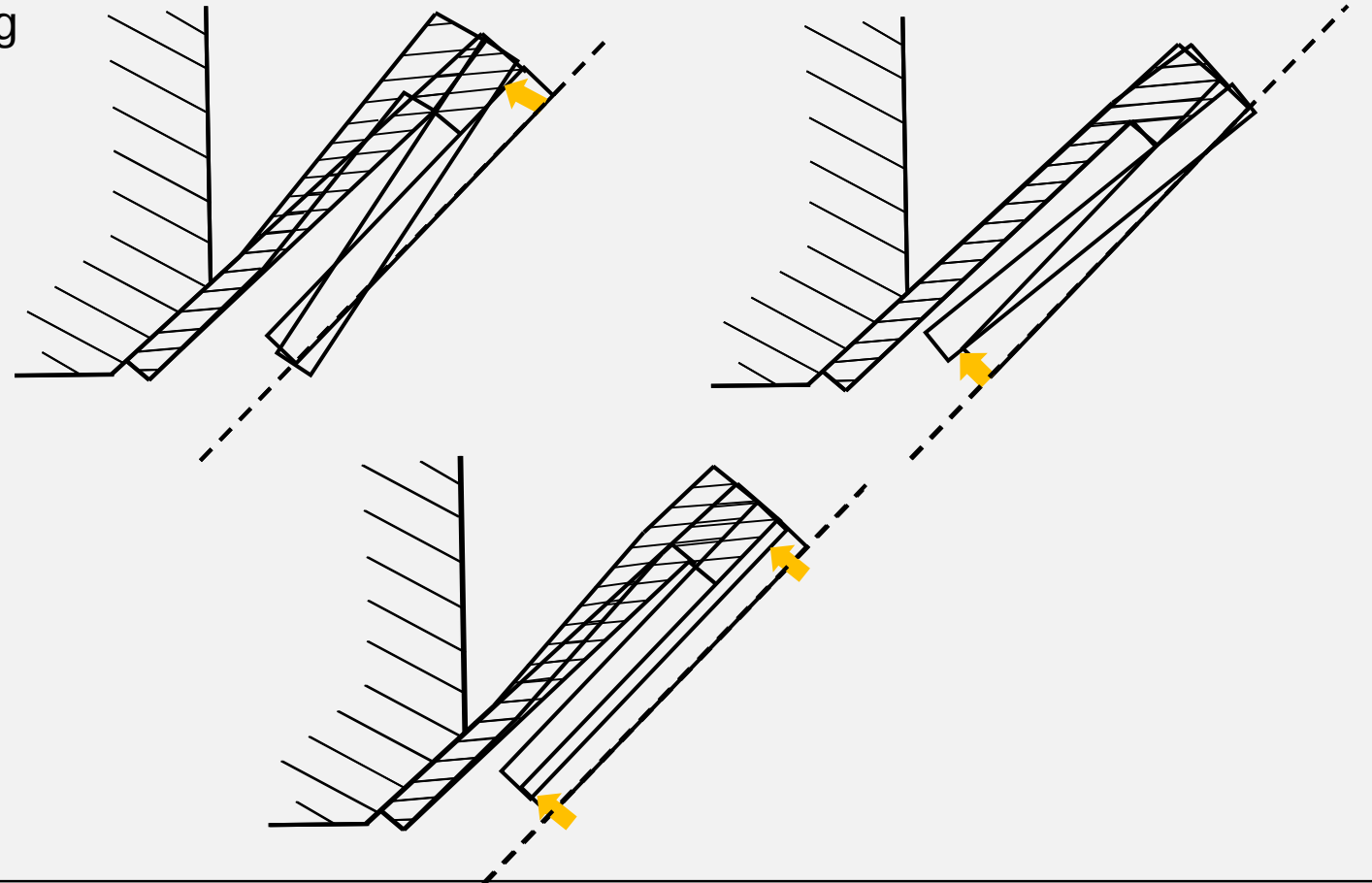
Geometrie



EHD-Rechnung

Ergebnis

Erläuterung

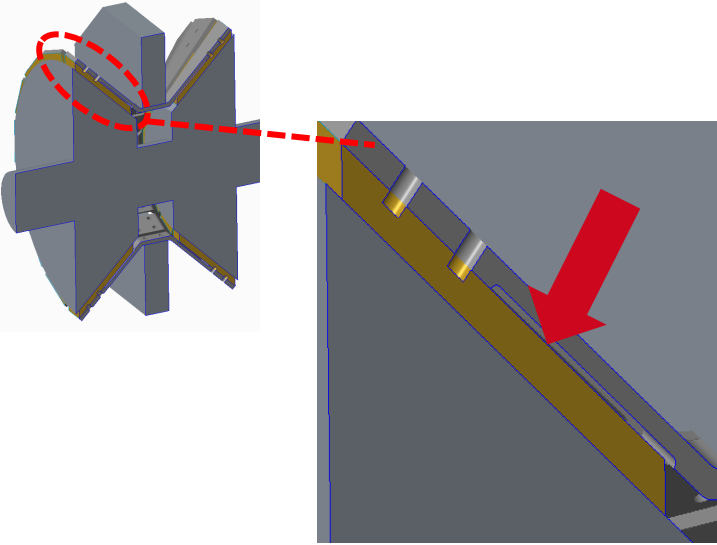


Doppelte Nachgiebigkeit

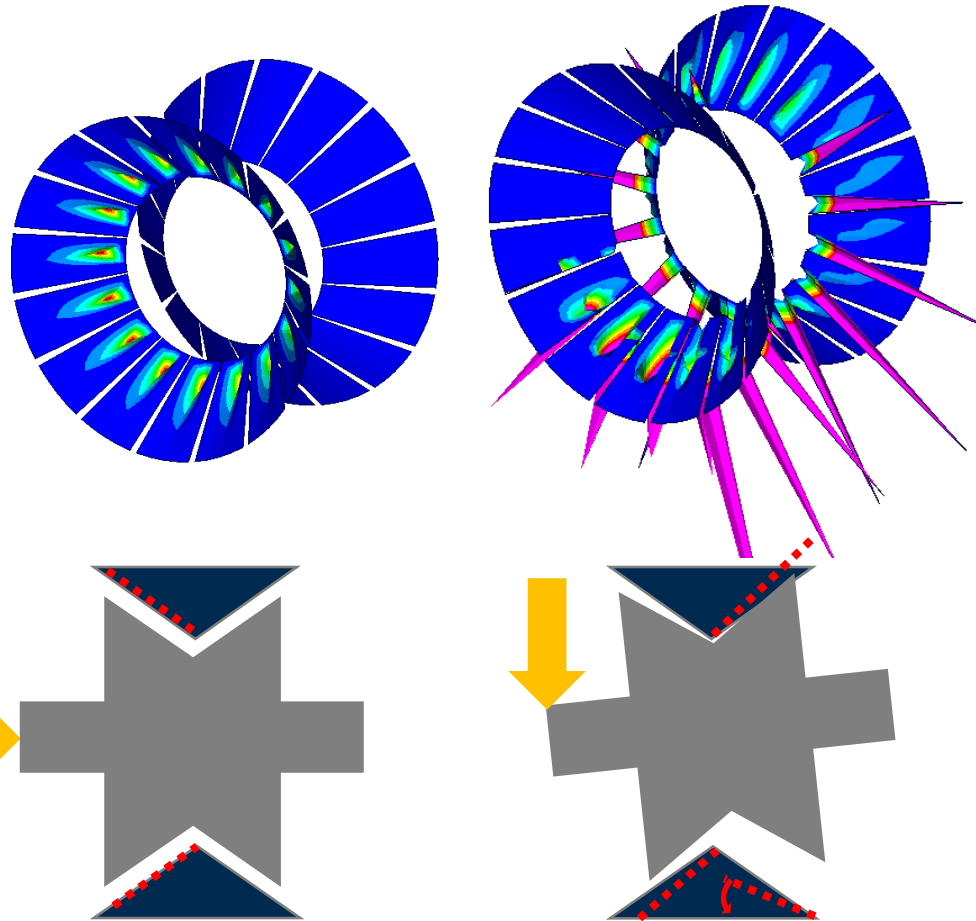
- Nachgiebigkeit des Außerings
 - Nachgiebigkeit des Innenrings
- Arm kann sich S-Förmig,
(„Ziehharmonikaartig“) verformen

Doppelt Flexible Gehäusestruktur

Geometrie



EHD-Rechnung



Ergebnis

- Keine Kontaktdrücke bei Axiallast ✓
 - Massive Reduktion des Kontaktdrücke ✓
 - Höchsten Drücke in Padmitte ✓
- Optimierung

Doppelte Nachgiebigkeit

- Nachgiebigkeit des Außerings
 - Nachgiebigkeit des Innenrings
- Arm kann sich S-Förmig,
(„Ziehharmonikaartig“) verformen

Geometrie- und Modelloptimierung

Optimierung

Geometrie

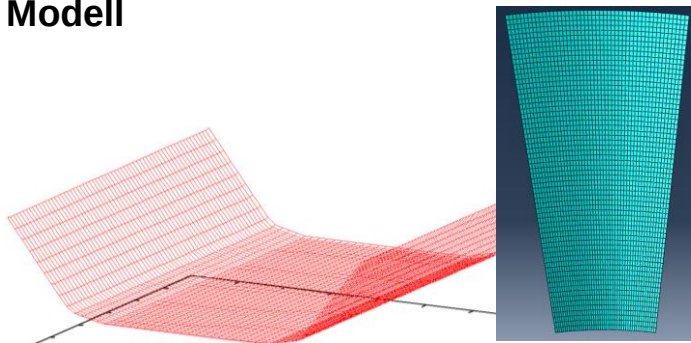
- Struktur/ Steifigkeiten
- Konturdefinitionen

Modell

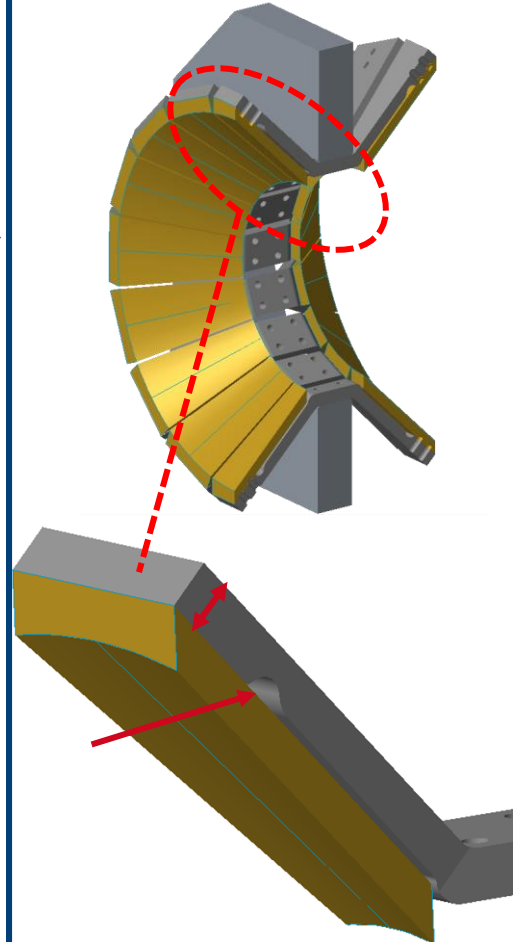
- Netzdichten
- Reduktionsgenauigkeiten

Design Iterationen

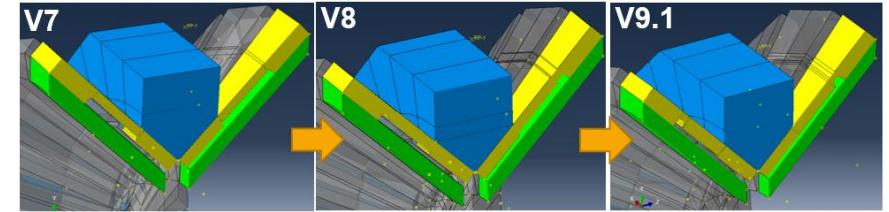
Modell



Geometrie



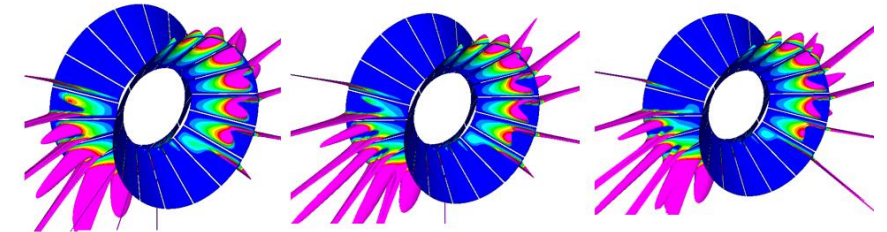
Beispiel: Strukturveränderungen



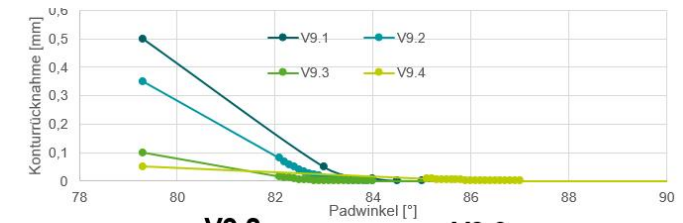
max. 5448bar

max. 4526bar

max. 2647bar



Beispiel: Variation der Einlaufkontur



V9.1

max. 2647bar

V9.2

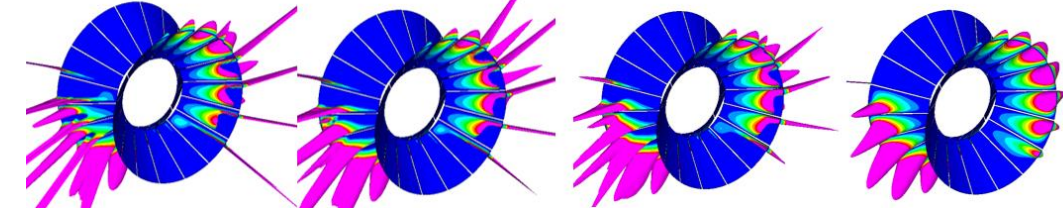
max. 638bar

V9.3

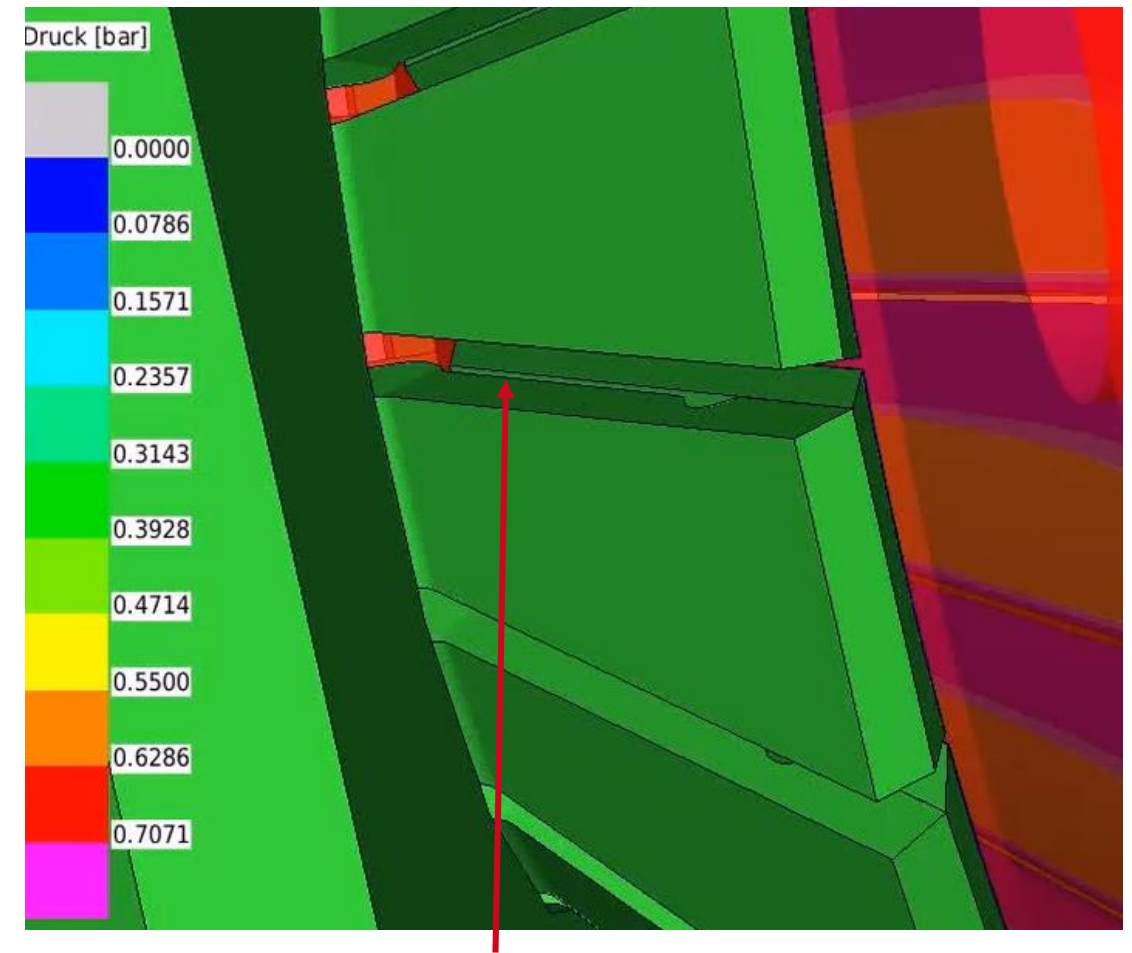
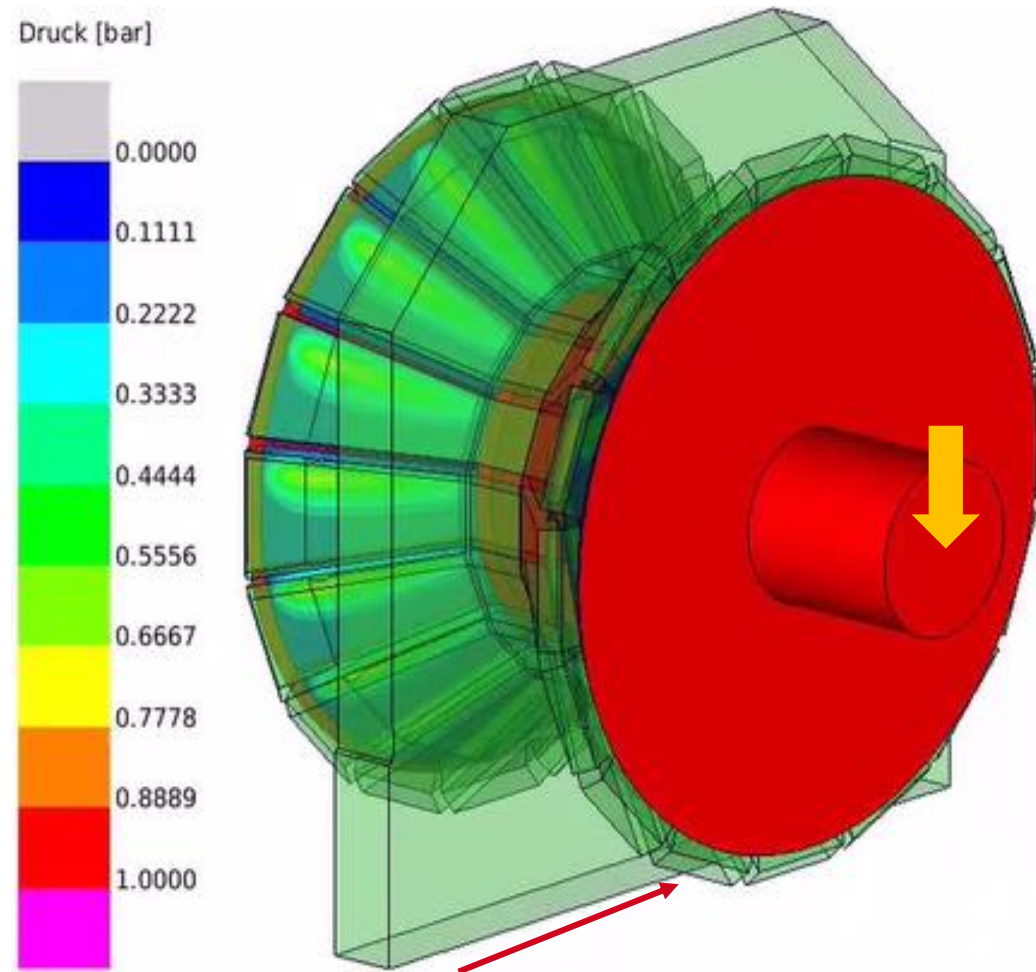
max. 103bar

V9.4

max. ca. 80bar



Animation Radiallast



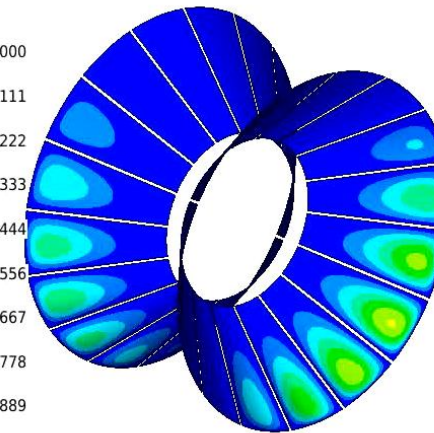
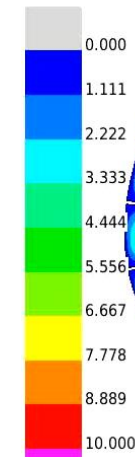
Dynamische Lasten

Analyse dynamischer Lastzustände

- 6 DOF Lastrechnung für den Rotorflansch einer Vestas V52
- Beispiel: Design Load Case (DLC) NTM12

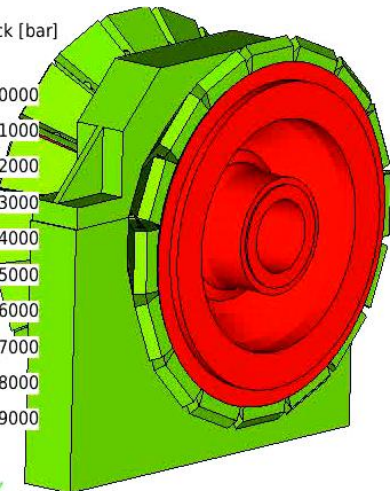


Druck [bar]



Max. 104bar

Druck [bar]

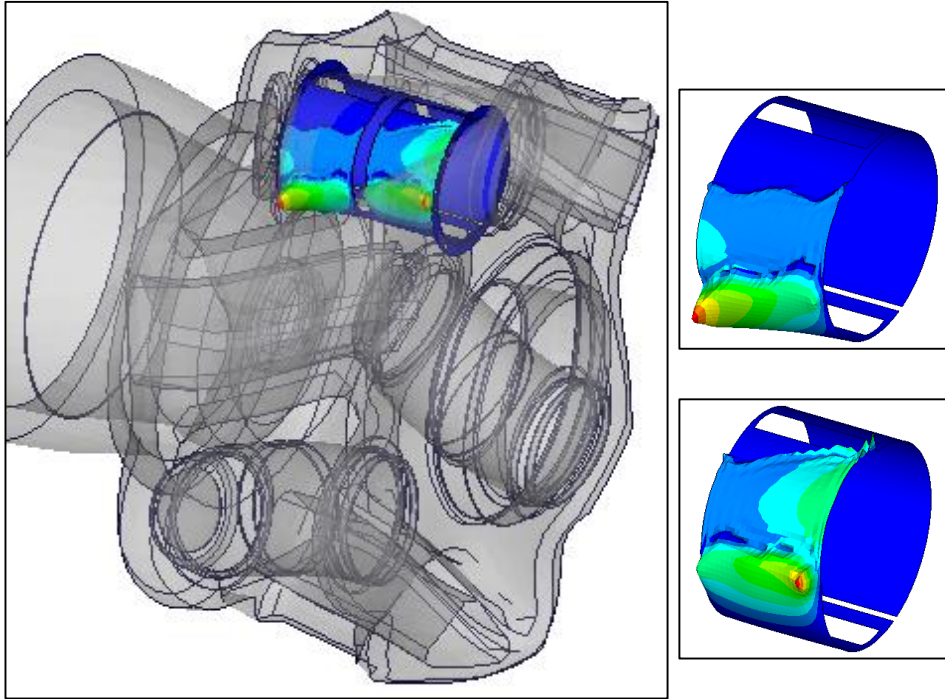


Agenda

- 1 Einleitung
- 2 Gleitlager im WEA-Triebstrang: Motivation, Herausforderungen und Chancen
- 3 Qualifizierung neuer, thermisch gespritzter Gleitschichten
- 4 Vorstellung innovativer Haupt- und Planetenlagerkonzepte
- 5 Zusammenfassung

WEA Hauptgetriebe Lagerung

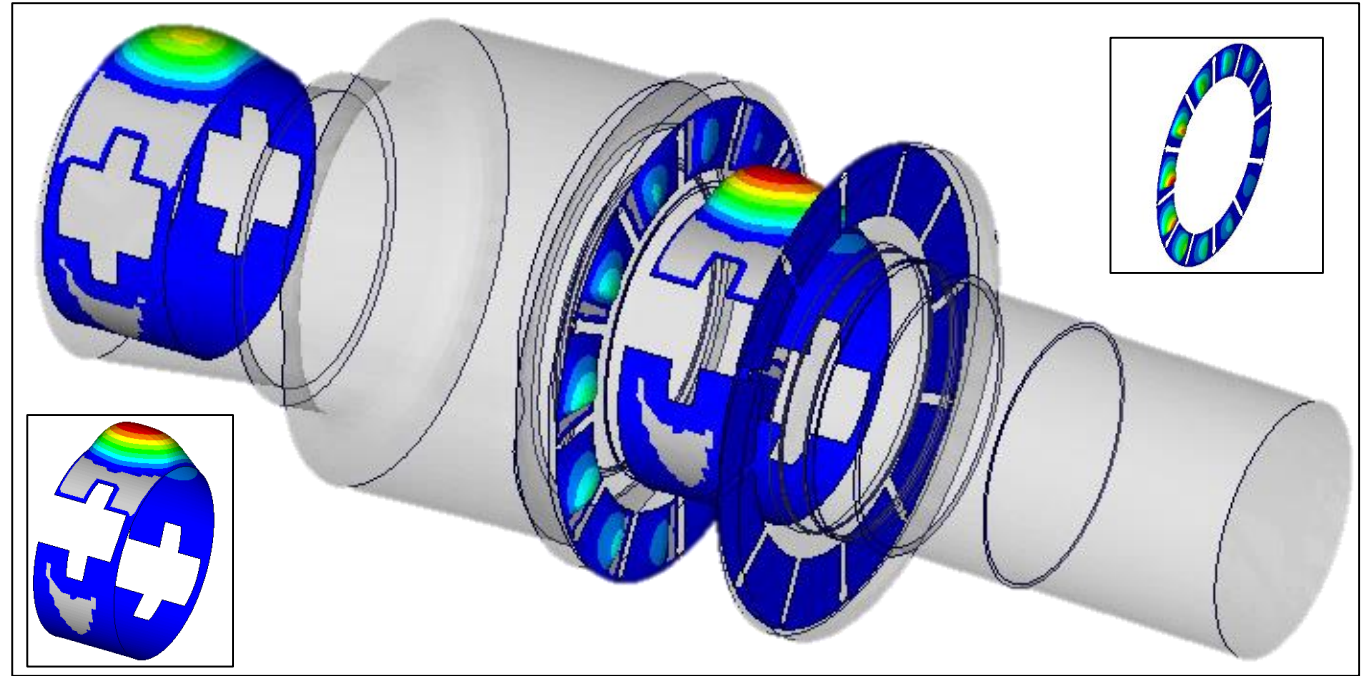
Planetenrad-Lagerung



Kritisch:

- Mischreibung → Langzeitverschleiß
- SBA → Schädigung durch Installation
- Transportschäden
- Trudeln → sehr langsame Geschwindigkeiten

Stirnradstufenwellen-Lagerung



Kritisch:

- Hohe Geschwindigkeiten → Thermische Stabilität
- Hohe Verluste
- Kaltstart → Ölmangel

Agenda

- 1 Einleitung
- 2 Gleitlager im WEA-Triebstrang: Motivation, Herausforderungen und Chancen
- 3 Qualifizierung neuer, thermisch gespritzter Gleitschichten
- 4 Vorstellung innovativer Haupt- und Planetenlagerkonzepte
- 5 Zusammenfassung

Zusammenfassung

Etablierte Technologien befinden sich im Grenzbereich

- Gleitlager haben ein hohes Potential Windenergieanlagen wartungsfreundlicher und ausfallsicherer zu machen

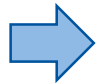
Neue Werkstoffe für die WEA-Anwendung

- Vielversprechende Untersuchungsergebnisse für die besonderen Randbedingungen und Herausforderungen im WEA-Triebstrang

Innovative Lagerkonzepte

Momenten-Hauptlager

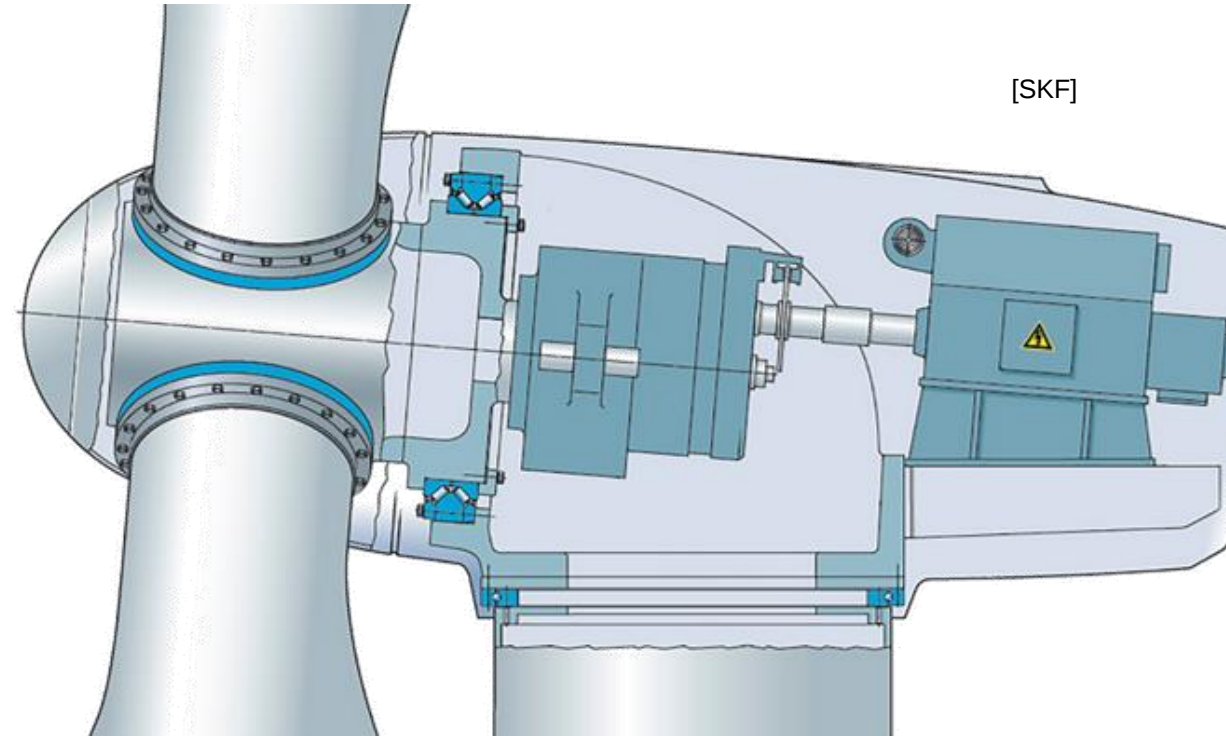
- Axial kompakte Bauweise: kurze Kraftflusswege vom Rotor zum Turm
- Austauschbare Gleitsegmente



Potential, dass Momentengleitlager sich als weiterer Hauptlagerungstyp am Markt etablieren

Getriebe-Gleitlager

- Erfolgreiche Planetenrad- und Stirnradstufenlagerung
- Feldinstallation geplant



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt:

Dr. Johannes S. Hölzl

Head of Technology Unit Advanced Engineering
Miba Bearing Group · Miba Gleitlager Austria GmbH
Dr.-Mitterbauer-Str. 3, 4663 Laakirchen, Austria
Tel: +43/7613/2541-2583,
Fax: +43/7613/2541-2316

johannes.hoelzl@miba.com

www.miba.com

Tim Schröder, M.Sc.

CWD – Center for Wind Power Drives
RWTH Aachen University
Campus-Boulevard 61, 52074 Aachen
Tel: +49 241 80-96332
Fax: +49 241 80-92885

tim.schroeder@cwd.rwth-aachen.de

www.cwd.rwth-aachen.de