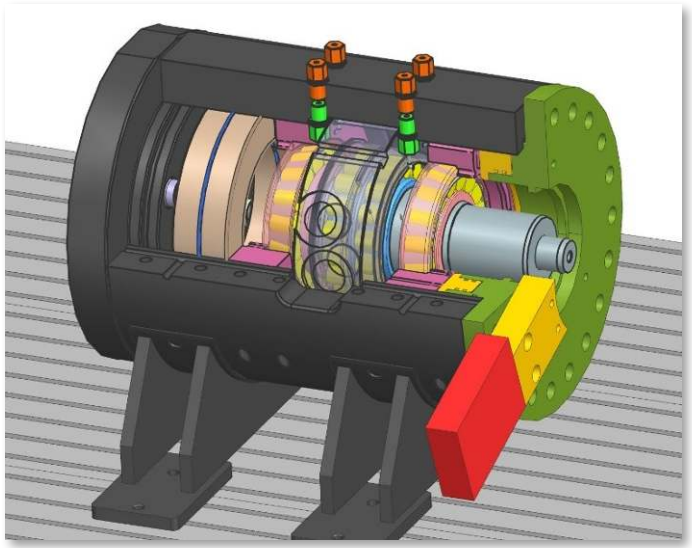
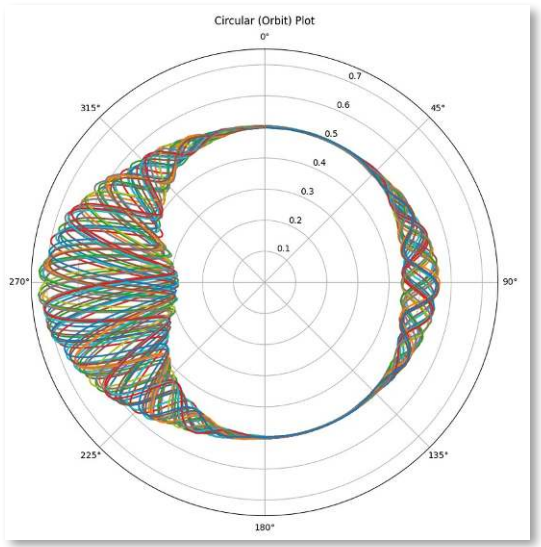
Messungen von kinematischen und lastbezogenen Größen innerhalb von Wälzkörpern eines Kegelrollenlagers für Windenergie-Anwendungen

Martin-Christopher Noll, i4M technologies GmbH
Dr. Matthias Stammler, Fraunhofer IWES

16. VDI-Fachtagung „Gleit- und Wälzlagerungen 2025: Gestaltung – Berechnung – Einsatz“







Fraunhofer IWES

i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

Gliederung

1. Vorstellung, Einleitung & Motivation
2. Prüfstandsaufbau & Lager
3. Wälzkörperintegrierte Messtechnik
4. Daten & Analyse-Methoden
5. Ergebnisse
6. Zusammenfassung & Ausblick

Fraunhofer IWES
i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

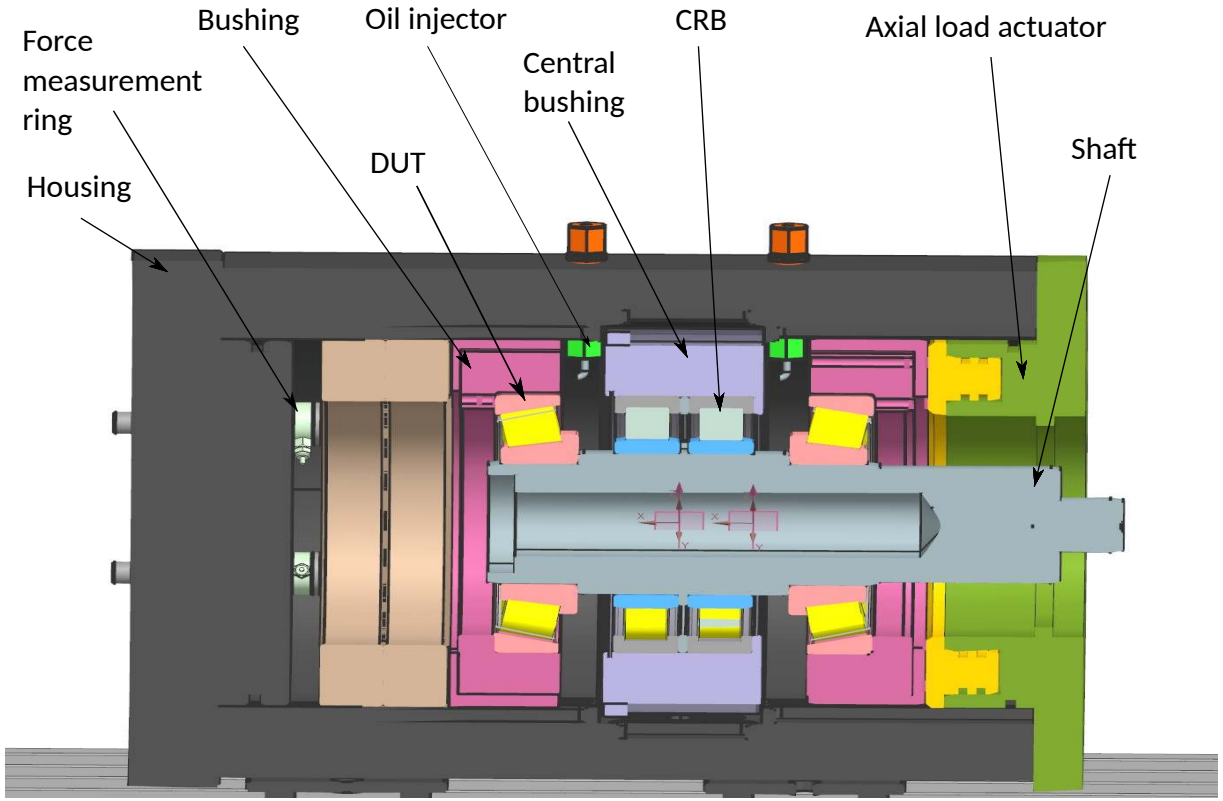
Gliederung

1. Vorstellung, Einleitung & Motivation
2. Prüfstandsaufbau & Lager
3. Wälzkörperintegrierte Messtechnik
4. Daten & Analyse-Methoden
5. Ergebnisse
6. Zusammenfassung & Ausblick

Fraunhofer IWES
i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

Vorstellung: Dy-rex Projekt

- **Dy**namische **Re**gelung einer a**x**ialen Lastsuperposition
- Reduktion von schädlichem Wälzkörperschlupf bei gleichzeitigem Erhalt der Ermüdungslebensdauer
- Applikation in kritischen Betriebssituationen wie Fault Ride Through
- Motivation: Reduktion von WEC



Fraunhofer IWES

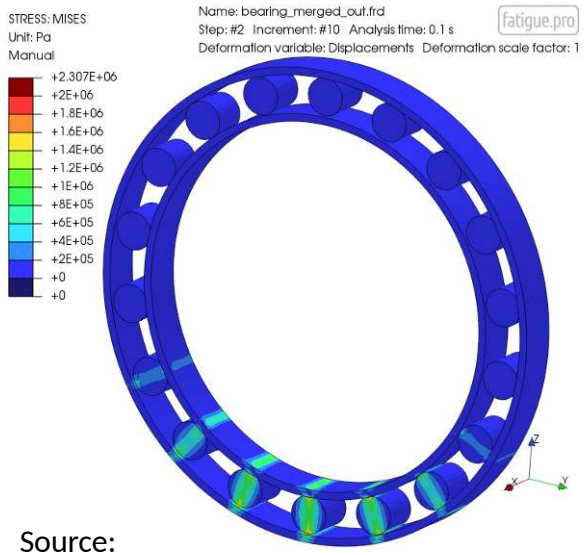
i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

Fragestellungen und Motivation dieses Vortrags

- Wie verteilt sich die Last auf die verschiedenen Wälzkörper in im Orbit eines Wälzlagers?
- An welchen Stellen und in welchen Betriebsbereichen tritt schädlicher Schlupf auf?
- Hohe Relevenz für die Auslegung und Zuverlässigkeitsrechnungen
- Zuverlässigkeit ist ist vor allem im Bereich der Windenergie (> 20 Jahre Lebensdauer, viele Volllaststunden pro Jahr) ein dominierendes Thema
- Simulationen bilden die Realität nur bedingt ab, Messungen sind zur Validierung immer notwendig
- Messungen der Lastverteilung und des Schlupfes im Wälzlager sind technisch anspruchsvoll



Source: Schaeffler



Source: fatigue.pro

Fraunhofer IWES

i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

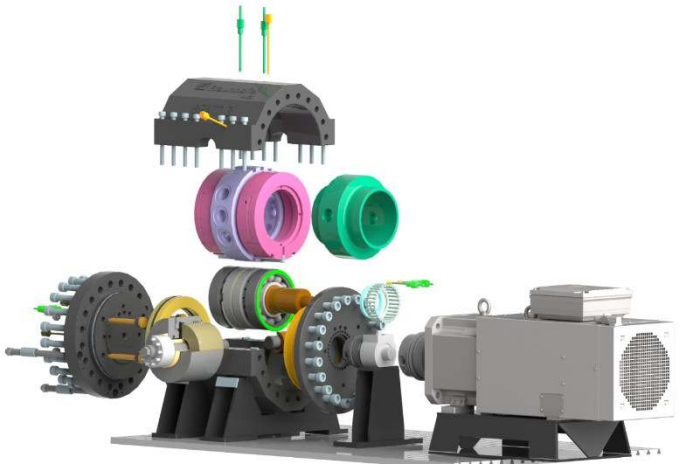
Gliederung

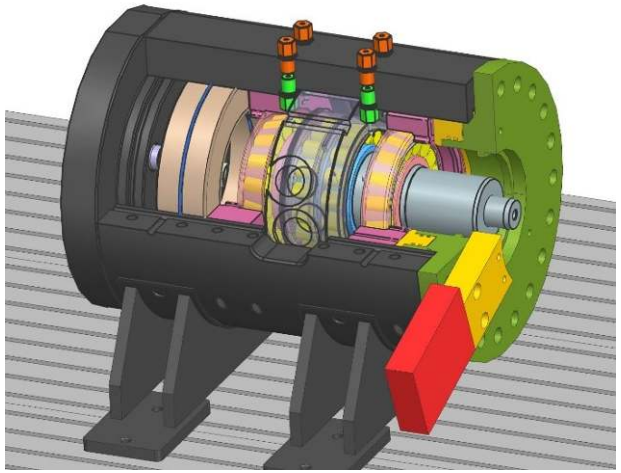
1. Vorstellung, Einleitung & Motivation
2. Prüfstandsaufbau & Lager
3. Wälzkörperintegrierte Messtechnik
4. Daten & Analyse-Methoden
5. Ergebnisse
6. Zusammenfassung & Ausblick

Fraunhofer IWES
i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

Prüfstandsaufbau & Lager

- Prüfstand BEAT0. 3
- Ausgelegt auf hohe Last- und Drehzahldynamik
- Mögliche Wälzlager: 30318, 7318, sowie Vierpunkttypen
- Zehn einstellbare Ölzuführungen
- Lagerbuchsen als hydrostatische Gleitlager
- Radialkraft durch zwei mit einem Ventil angesteuerte Zugzylinder aufgebracht





Eigenschaft	Wert	Einheit
Max. Drehzahl	3000	rpm
Drehzahldynamik	500	rpm/s
Max. Axialkraft	140	kN
Axialkraftdynamik	1120	kN/s
Max. Radialkraft	250	kN
Radialkraftdynamik	500	kN/s
Max. Außendurchmesser Prüflager	220	mm
Max. Durchfluss Ölschmierung	60	l/min

Gliederung

1. Vorstellung, Einleitung & Motivation
2. Prüfstandsaufbau & Lager
3. Wälzkörperintegrierte Messtechnik
4. Daten & Analyse-Methoden
5. Ergebnisse
6. Zusammenfassung & Ausblick

Fraunhofer IWES
i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

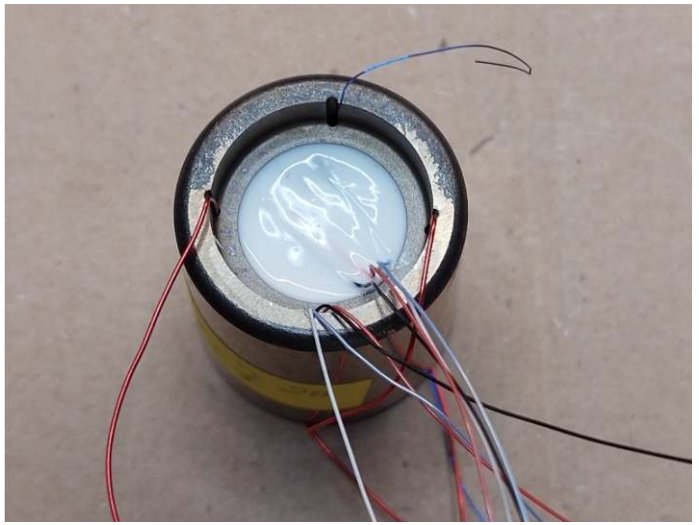
Wälzkörperintegrierte Messtechnik

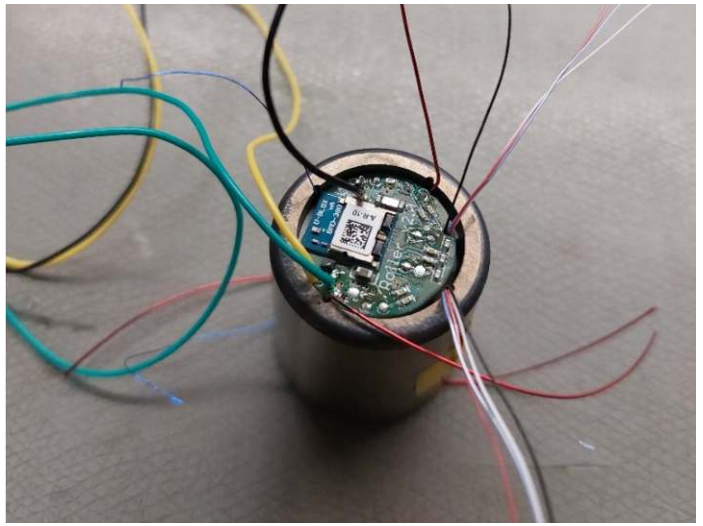
- Wälzkörper mit integrierter Sensorik für Last (Dehnungsmessstreifen) und Drehbewegung (MEMS IMU)
- **Besonderheit 1:** Wälzkörper-Durchmesser ca. 23 mm
- **Besonderheit 2:** Wellen-Drehzahlen bis 1.500 1/min
- Hoch kompakte, batterieversorgte Funktelemetrie (proprietäres i4M Protokoll)
- Integrierte Lastmesstechnik
  - Stirnseitig aufgeklebt, keine Durchgangsbohrung!
  - 24 bit Auflösung, niedriges Rauschen, **2 kHz Abtastrate**
- Integrierte Bewegungsmesstechnik
  - MEMS basierte Inertiale Messeinheit (IMU)
  - Triaxialer Beschleunigungssensor (Accelerometer)
  - Triaxialer Drehratensensor (Gyrometer)
  - 16 bit Auflösung, niedriges Rauschen, **1,6 kHz Abtastrate**
- Spannungsversorgung mittels integriertem Akku, > 3 h Messzeit
- Aufladbar am Prüfstand mittels Kontaktstiften

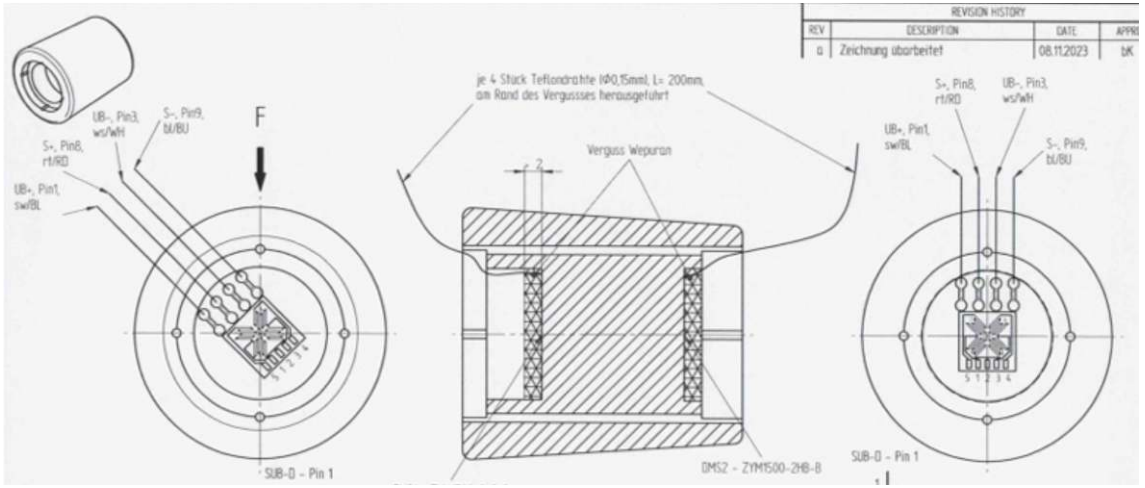


Wälzkörperintegrierte Messtechnik

- DMS auf Stirnseiten appliziert
- Keine Durchgangsbohrung notwendig
- Zwei Platinen
  - Mess-Platine mit Sensorik und Funktelemetrie
  - Power-Platine mit Akku und Ladeelektronik
- Gehärteter Wälzkörper mittels funkenerosiver Verfahren gefertigt
- Vollständig vergossen mit Epoxidharz





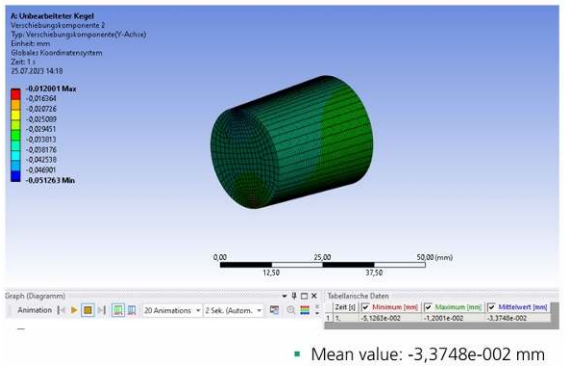


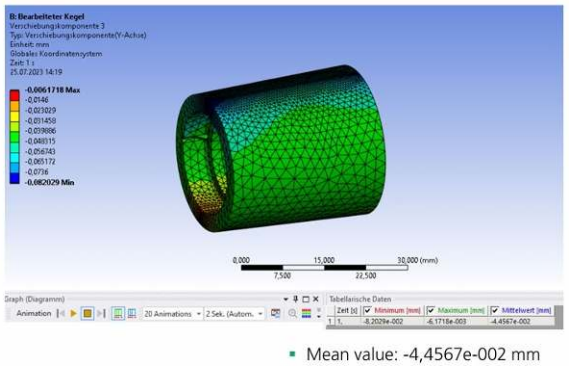
Fraunhofer IWES

i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

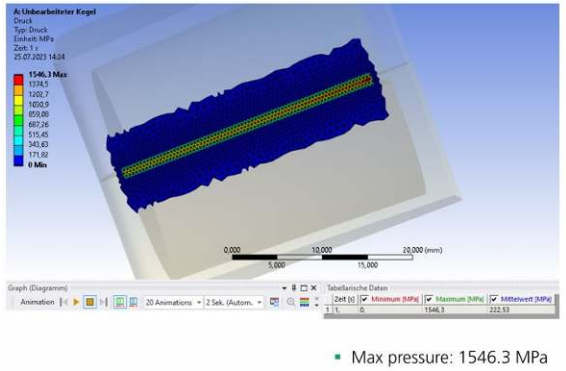
Wälzkörperintegrierte Messtechnik

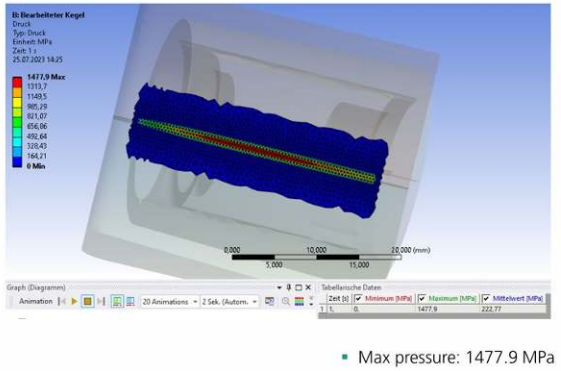
- Die notwendige Bearbeitung der Wälzkörper zur Integration der Messtechnik ändert das Systemverhalten
- Finite Elemente Simulationen liefern Informationen darüber, wie sich Steifigkeiten und Pressungen ändern
- Die Test-Parameter müssen diesen Änderungen Rechnung tragen (z.B. Anpassung von Lasten)





Änderung der Steifigkeit des WKs





Änderung der Kontakt-Pressungen

Quelle: FE-Simulationen zur Verfügung gestellt vom Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

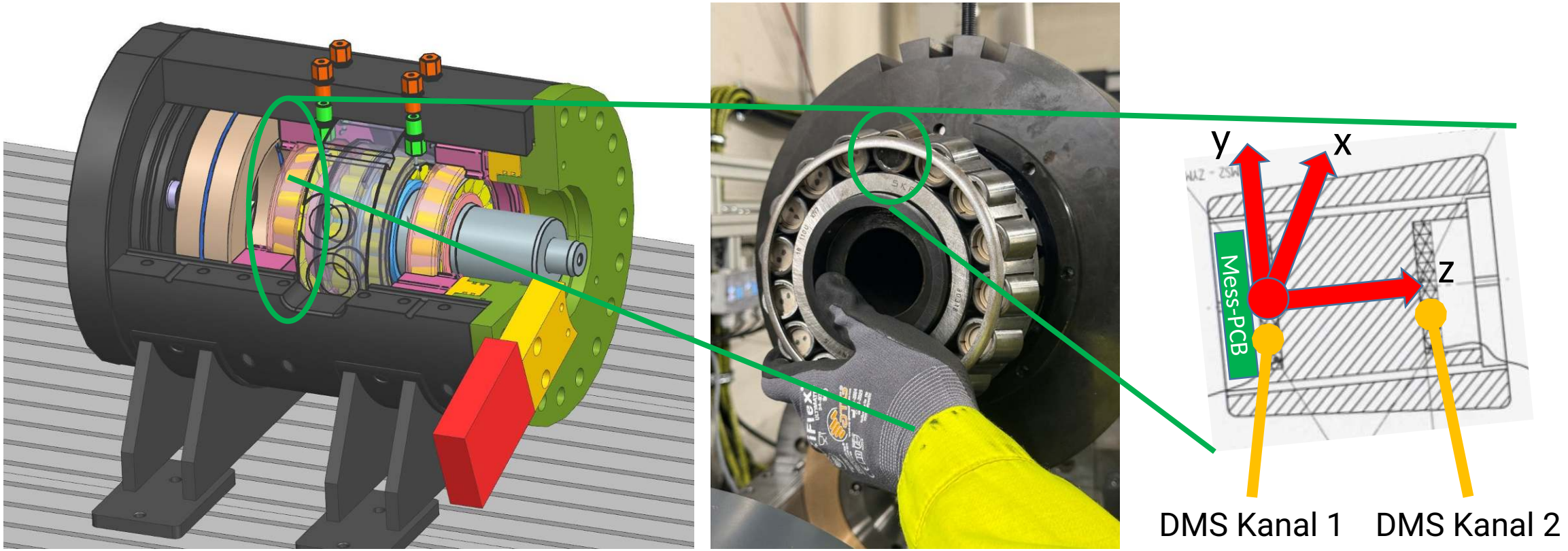
Gliederung

1. Vorstellung, Einleitung & Motivation
2. Prüfstandsaufbau & Lager
3. Wälzkörperintegrierte Messtechnik
4. Daten & Analyse-Methoden
5. Ergebnisse
6. Zusammenfassung & Ausblick

Fraunhofer IWES
i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

Daten & Analyse-Methoden

- Definition des Koordinatensystems der Wälzkörper-integrierten Bewegungs-Sensorik
- X und Y liegen in der Ebene der Wälzkörper-Stirnflächen, Z liegt auf der Wälzkörper-Rotationsachse
- DMS Kanal 1 liegt unter dem Mess-PCB (kleinere Stirnfläche), DMS Kanal 2 liegt unter dem Power-PCB (größere Stirnfläche)



Fraunhofer IWES
i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

Daten & Analyse-Methoden

- Diskussion der gelieferten Daten Anhand eines Beispiels
- Lastvariation am Prüfstand: Steigerung der Radialkraft von 0 auf 90 kN

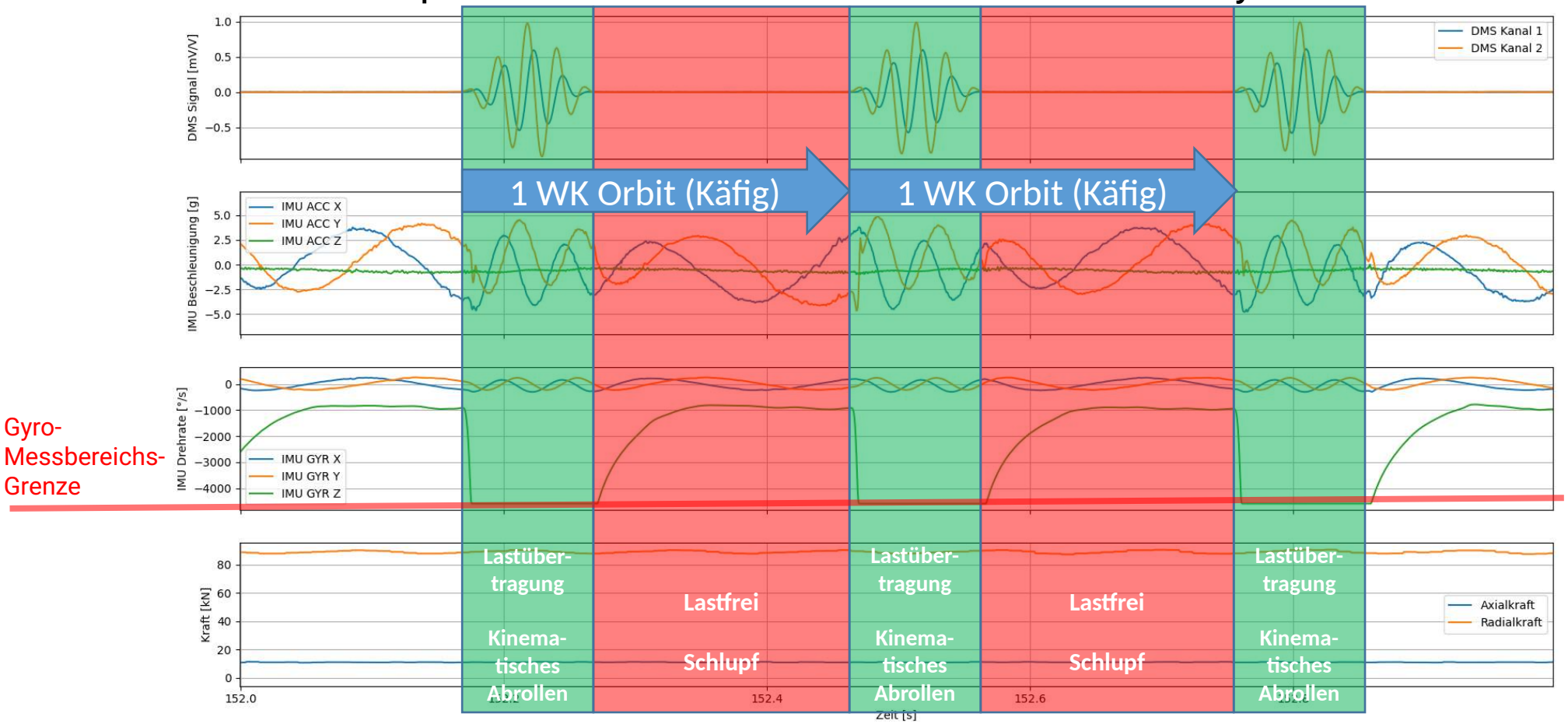


Fraunhofer IWES

i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

Daten & Analyse-Methoden

- Diskussion der gelieferten Daten Anhand eines Beispiels
- Identifikation von Schlupfzuständen anhand der Accelerometer- & Gyrometer-Daten

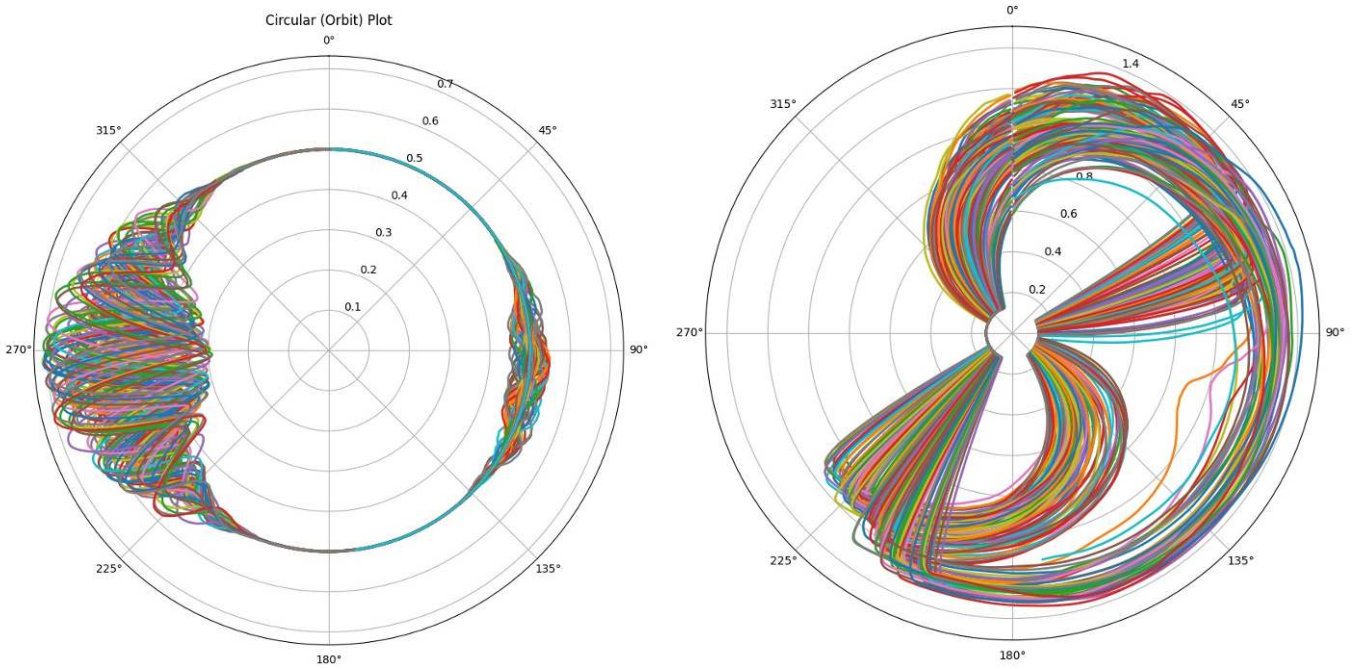


Fraunhofer IWES

i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

Daten & Analyse-Methoden

- Rotationsgeschwindigkeit des Wälzkörpers aus Nulldurchgängen der Wälzkörper-X/Y-Beschleunigungen, Rotationsgeschwindigkeit der Welle (zur kinematischen Referenz) aus Prüfstandsdaten
- Wälzkörper-Orbitposition (= Käfig-Drehwinkel **und nicht Wellen-Drehwinkel!**) aus Verlauf der Wälzkörper-Z-Beschleunigung
- Plots aller Messgrößen über dem Orbit möglich:

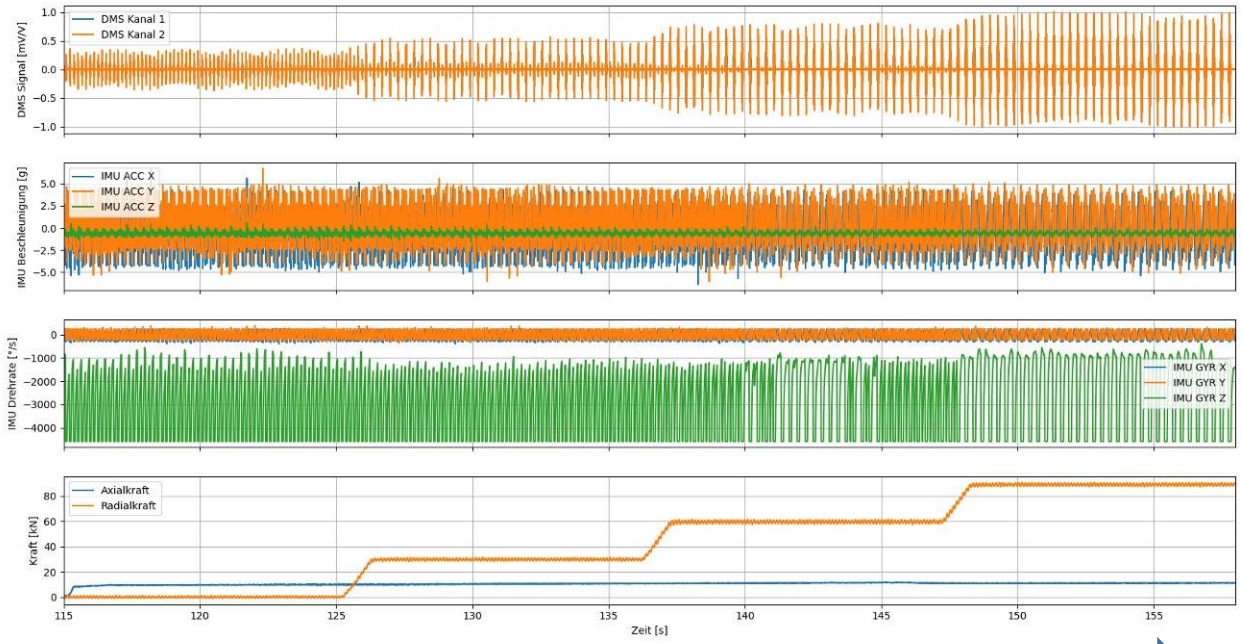


Fraunhofer IWES

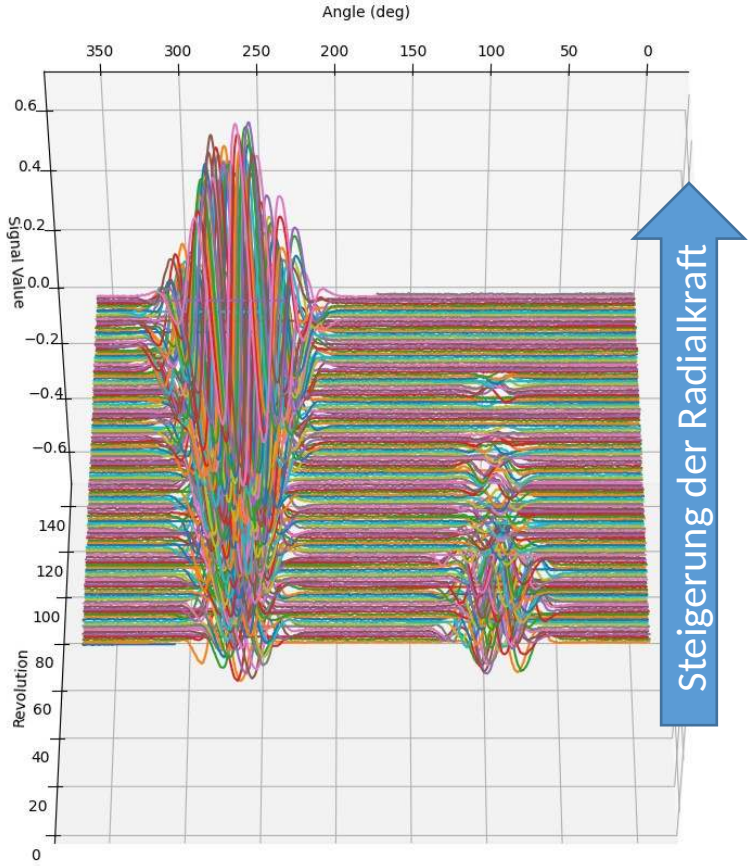
i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

Daten & Analyse-Methoden

- Messdaten können in einzelne Umdrehungen zerlegt und zeitliche Entwicklungen von Umdrehung zu Umdrehung dargestellt werden
- Randbedingung: Steigerung der Radialkraft von 0 auf 90 kN bei gleichbleibender Axialkraft von 10 kN



Steigerung der Radialkraft



Fraunhofer IWES

i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

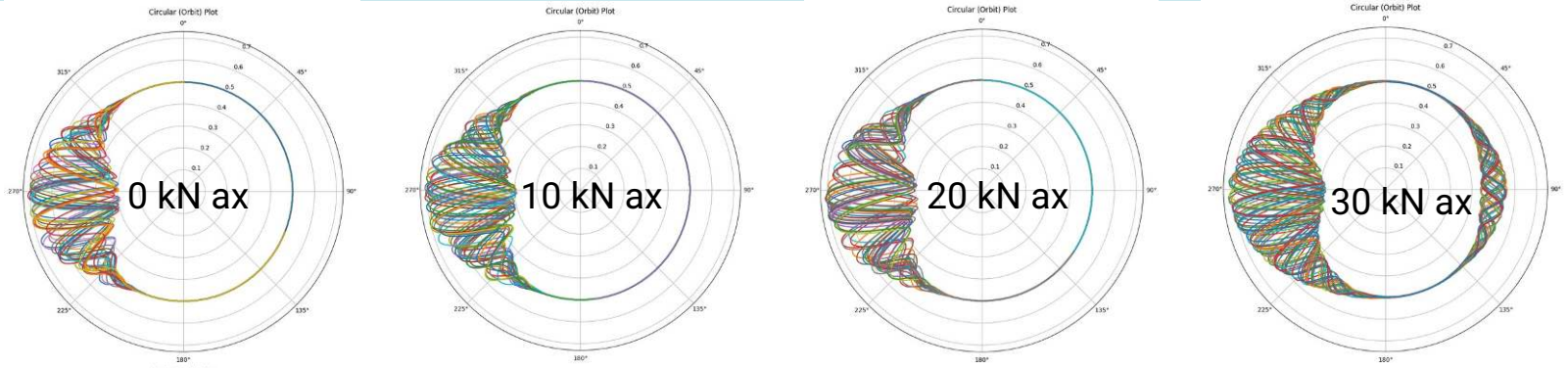
Gliederung

1. Vorstellung, Einleitung & Motivation
2. Prüfstandsaufbau & Lager
3. Wälzkörperintegrierte Messtechnik
4. Daten & Analyse-Methoden
5. Ergebnisse
6. Zusammenfassung & Ausblick

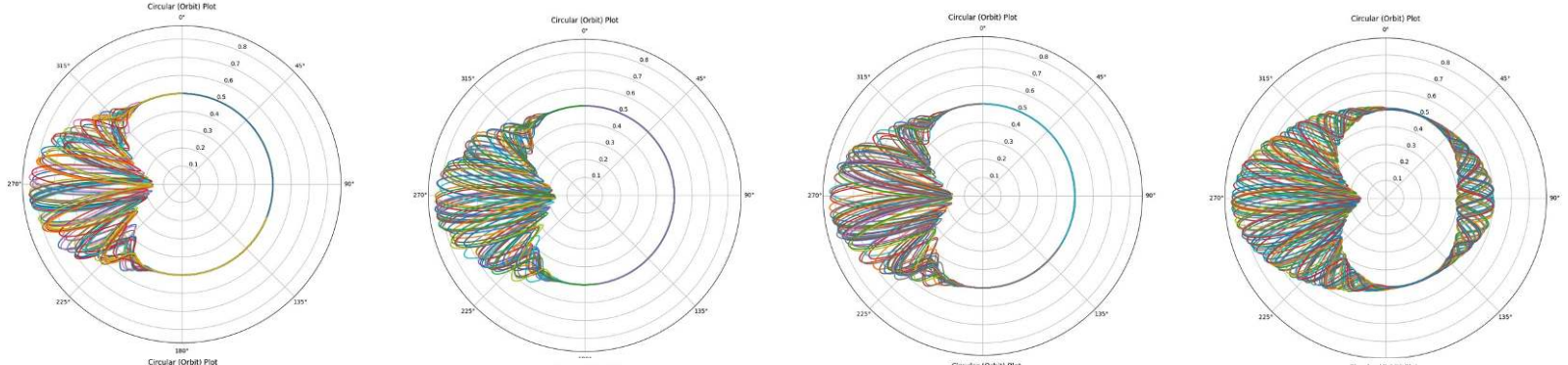
Fraunhofer IWES
i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

Ergebnisse und Bewertung

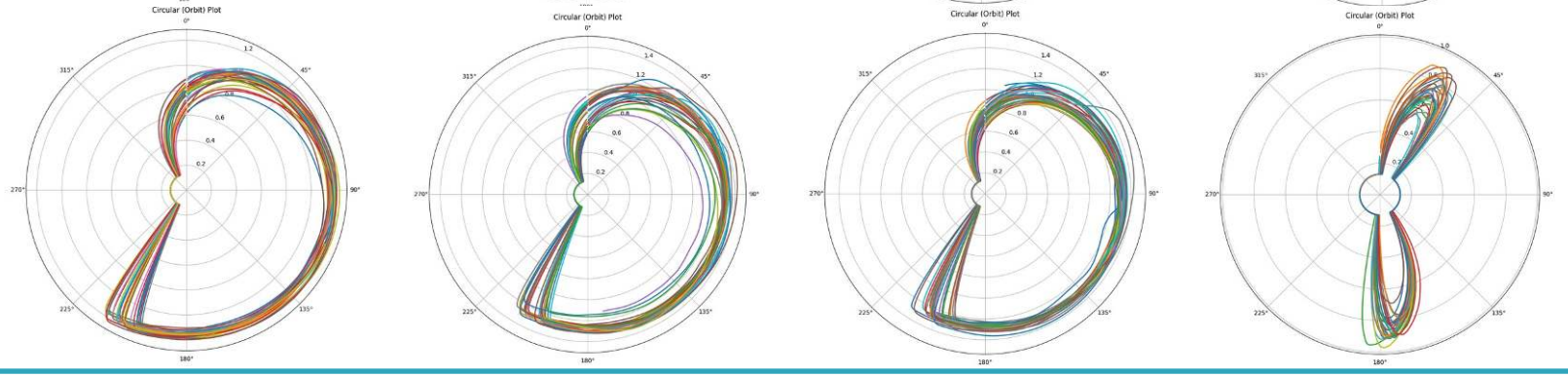
DMS-Signal
Kanal 1



DMS-Signal
Kanal 2



Wälzkörper-
Drehgeschwindigkeit
Gyro-Z (Schlupf =
im Plot radial außen)



Fraunhofer IWES

i4M technologies GmbH
intelligence for
mechanical systems

Gliederung

1. Vorstellung, Einleitung & Motivation
2. Prüfstandsaufbau & Lager
3. Wälzkörperintegrierte Messtechnik
4. Daten & Analyse-Methoden
5. Ergebnisse
6. Zusammenfassung & Ausblick

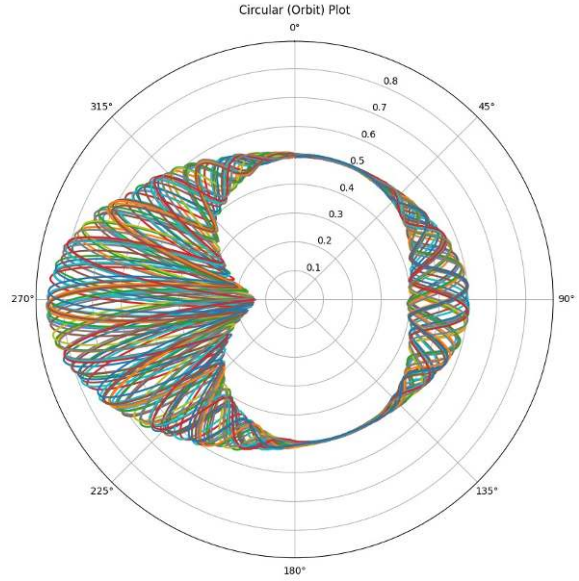
Fraunhofer IWES
i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

Zusammenfassung & Ausblick

- Integration von „Smart Roller“-Technologie von i4M auch in kleinere, schneller drehende Lager möglich
- Kompakte, robuste, zuverlässige Lösung mit hohen Datenraten und geringem Energieverbrauch
- Kinematische und Lastdaten aus dem Wälzkörper hochqualitativ



- Schwächung von kleinen Wälzkörpern muss berücksichtigt werden
- Einbringung axialer Lagerkraft reduziert wie erwartet den Schlupf
- Mit zunehmender axialer Lagerkraft entsteht eine zweite Lastzone
- Zweite Lastzone sorgt für eine Reduktion des Schlupfbereiches



- Die Entstehungsursachen der zweiten Lastzone sind nicht abschließend geklärt
- Ohne Wälzkörper-integrierte Messtechnik wäre dieser Effekt nicht beobachtbar
- Auswertung komplexer Betriebssituationen (Start/Stopp, FRT, Netzabkopplung) steht noch aus

Fraunhofer IWES

i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Martin Noll
Managing Director

Tel.: +49 (0)241 56 00 22 00
martin.noll@i4m-tech.de

i4M technologies GmbH
Försterstr. 5
52072 Aachen

Tel.: +49 (0)241 56 00 22 00

www.i4m-tech.de
www.nemi.one



Matthias Stammler
Senior Engineer

Tel.: +49 (0) 471 14290-522
matthias.stammler@iwes.fraunhofer.de

Fraunhofer IWES
Am Schleusengraben 22
21029 Hamburg

Tel.: +49 (0) 471 14290-522

www.iwes.fraunhofer.de

Fraunhofer IWES

i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems