Messung von Lastgrößen in Wälzlagern mittels in Wälzkörpern integrierter Dehnungsmessstreifen, energieeffizienter Telemetrie-Module und Energy Harvesting

Martin-Christopher Noll, i4M technologies GmbH
VDI/VDE-GMA Fachausschuss 4.51 „Elektrische Messverfahren; DMS-Messtechnik“, Clausthal-Zellerfeld, 05.09.2024



nemione

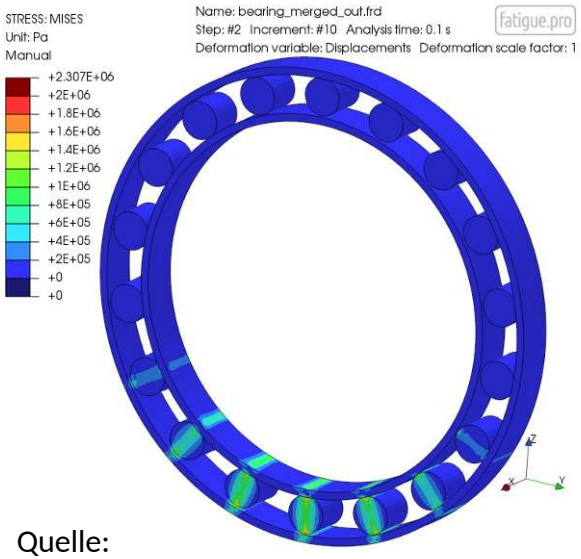
i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

Fragestellung

- Wie ist die Lastverteilung innerhalb eines Wälzlagers?
- Hohe Relevanz für die Auslegung und Zuverlässigkeitsrechnungen
- Zuverlässigkeit insbesondere im Bereich der Windenergie ein dominantes Thema (20 Jahre Laufzeit, viele Volllaststunden pro Jahr)
- Simulationen bilden nur begrenzt die Realität ab, **Messungen sind zur Validierung immer notwendig**
- Messungen der Lastverteilung im Wälzlager außerordentlich anspruchsvoll



Quelle: Schaeffler



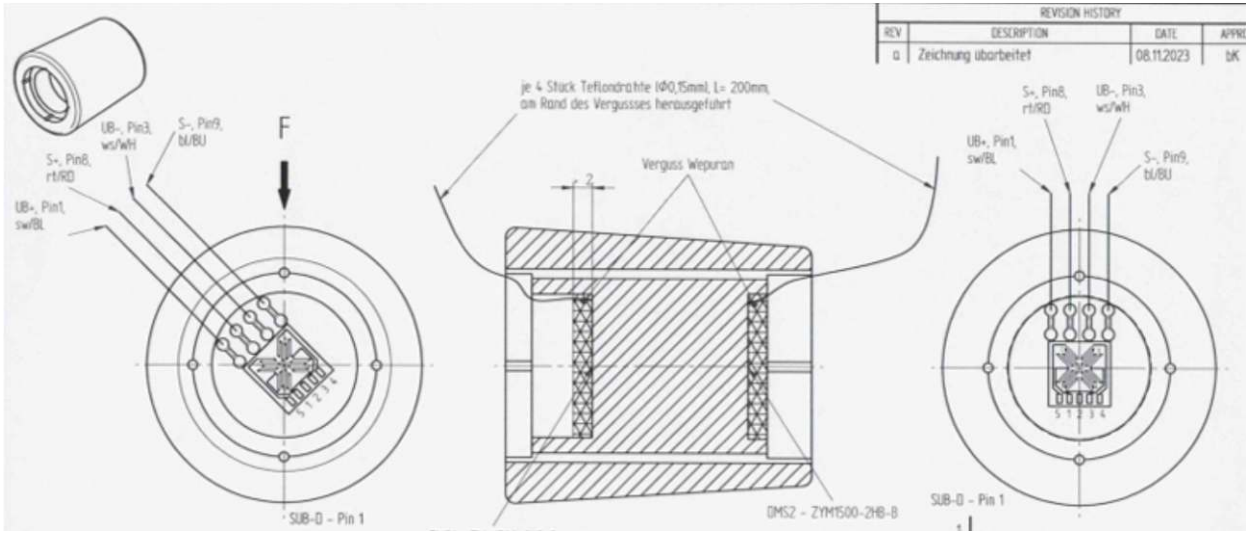
Quelle: fatigue.pro

nemione

i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

Messtechnischer Ansatz

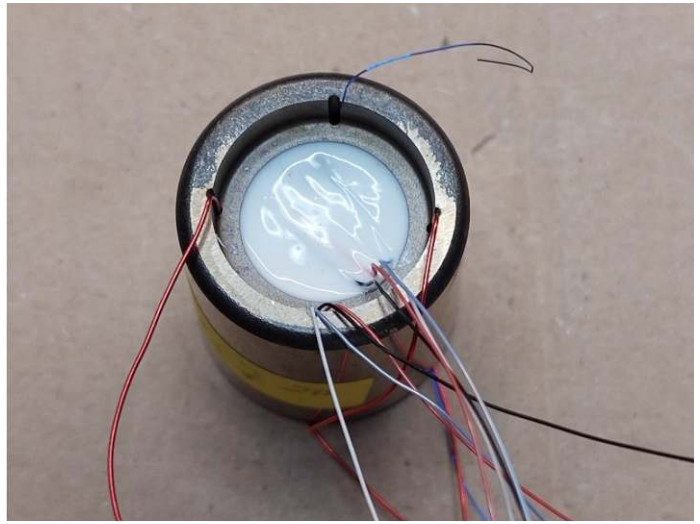
- Idee: Integration von Dehnungsmessstreifen in Wälzkörper inkl. Telemetrie
- Herausforderungen
  - Wie bekommt man die Sensorik in den Wälzkörper?
  - Wie bekommt man die Daten aus dem Wälzkörper heraus?
  - Wie bekommt man Energie in den Wälzkörper hinein?
  - Wie interpretiert man die Messdaten?
  - Wie bekommt man die sensierten Wälzkörper robust gegenüber Öl und Fett?

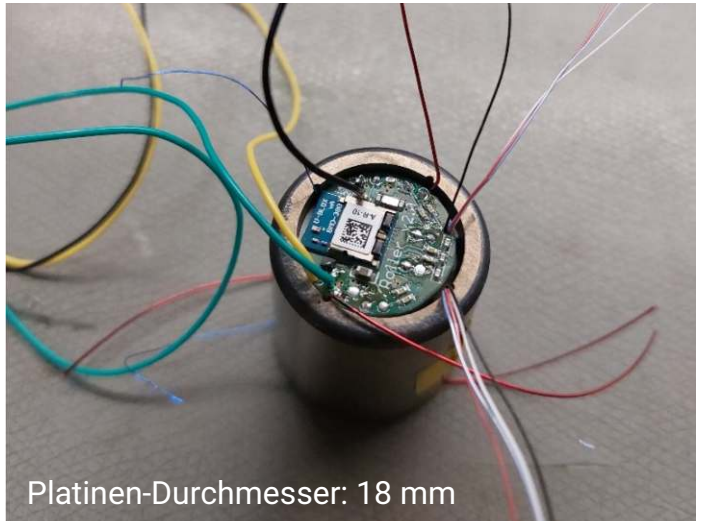


nemione

i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

Messtechnischer Ansatz



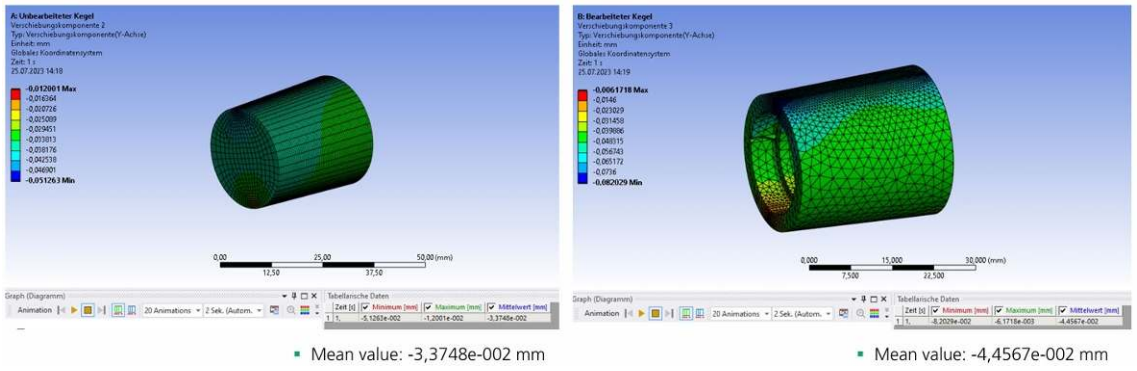




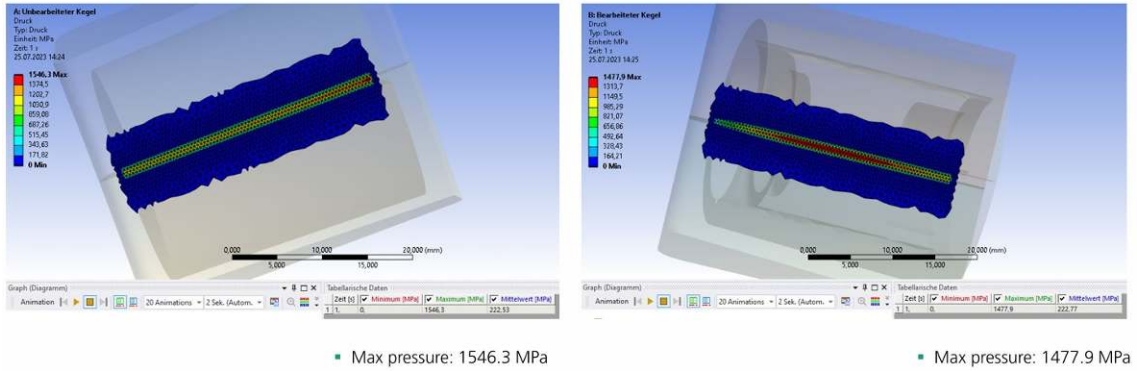
- Zwei DMS Kanäle, 24 bit, Abtastrate bis zu 2 kHz
- DMS Vollbrücken-Rosetten auf Stirnseiten appliziert, um zentrische Bohrung zu vermeiden
- DMS um 45° zueinander versetzt, um mehr Messpunkte im Orbit zu erhalten
- 6 DoF MEMS IMU, 3-Achs Accelerometer (max ±32 g), 3-Achs Gyrometer (max. ±2000 °/s), Abtastrate bis 3.3 kHz
- Integration eines Li-Akkus (Varta Coin Cell), Ladung mittels Kontakt-Stiften im Versuchsstillstand, Laufzeit ca. 3 Stunden
- Kleinste Kabeldurchführungen
- Vollständig bearbeitet mittels Funkenerosion (gehärtetes Bauteil), und vollst. vergossen

Modellierung Teil 1 – Finite Elemente Simulationen

- Die notwendige Bearbeitung der Wälzkörper zur Integration der DMS ändert das Systemverhalten signifikant
- 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



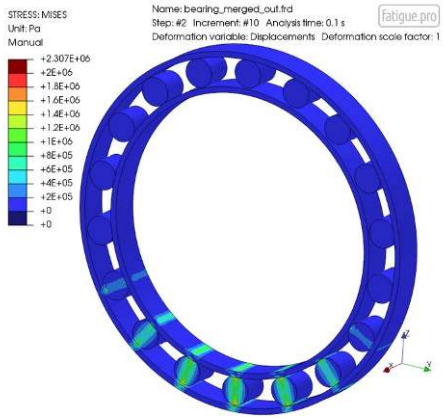
Änderung der Kontakt-Pressungen

Quelle: FE-Simulationen zur Verfügung gestellt vom Fraunhofer IWES

nemione

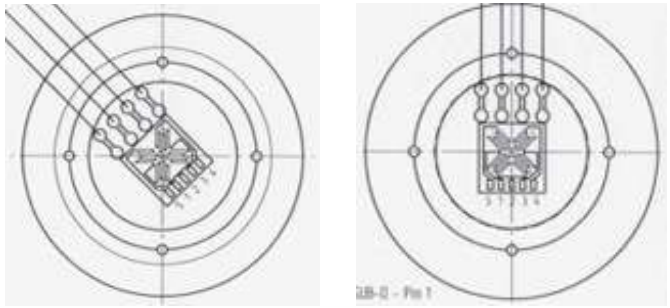
i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

Modellierung Teil 2 - Messdaten



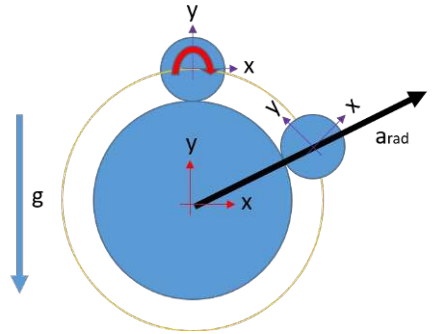
Lastzone

- Messdaten der DMS



- Nennlast auf WK: 35 kN = 3.5 Tonnen
- Analytisch berechnete Dehnung: ca. 320 µm/m
- Alle 45° ein nutzbarer Messwert
- Alle 45° ein Nulldurchgang
- Auch bei statischer Last Modulation vorhanden
- Hüllkurve denkbar
- Besser: Drehwinkel bestimmen, um valide, nutzbare Messwerte eindeutig zu identifizieren

- Messdaten der Inertialsensorik (IMU)



- IMU auf WK-Rotationsachse
- Zwei Drehbewegungen
  - Einmal pro Wälzlager-Orbit (Wellendrehung)
  - Einmal pro Wälzkörperrotation
- Zwei Beschleunigungskomponenten
  - Gravitation
  - Zentripetalbeschleunigung (abh. von Drehzahl!)
- X/Y-Komponente der Beschleunigung: Es ergibt sich ein moduliertes Schwingungssignal
- Z-Komponente auf kegeligem WK: Eine Sinus-Schwingung pro WK-Orbit

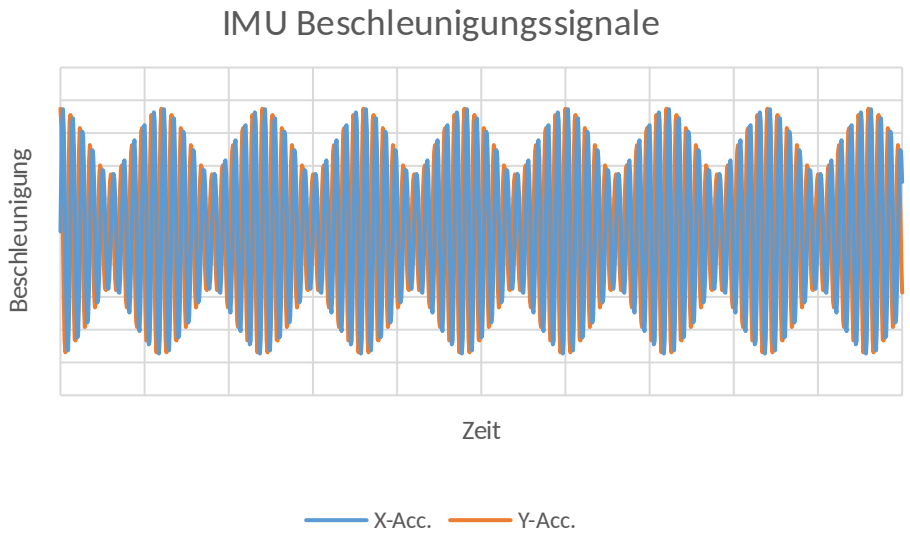
nemione

i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

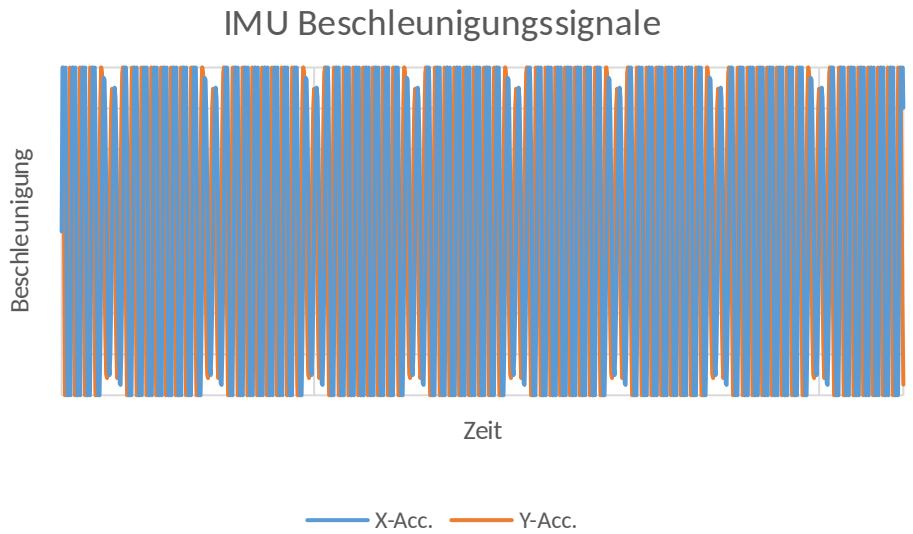
Modellierung Teil 2 - Messdaten

- Typische Modulation
- Schnelle Schwingung: Wälzkörperdrehung um sich selbst
- Langsame Schwingung: Drehung des Wälzkörpers um die Wellenachse (Orbit)
- Achtung: Bei höheren Drehzahlen Überschreiten des Accelerometer-Messbereichs möglich, Nulldurchgänge jedoch eindeutig

- Langsame Drehzahl



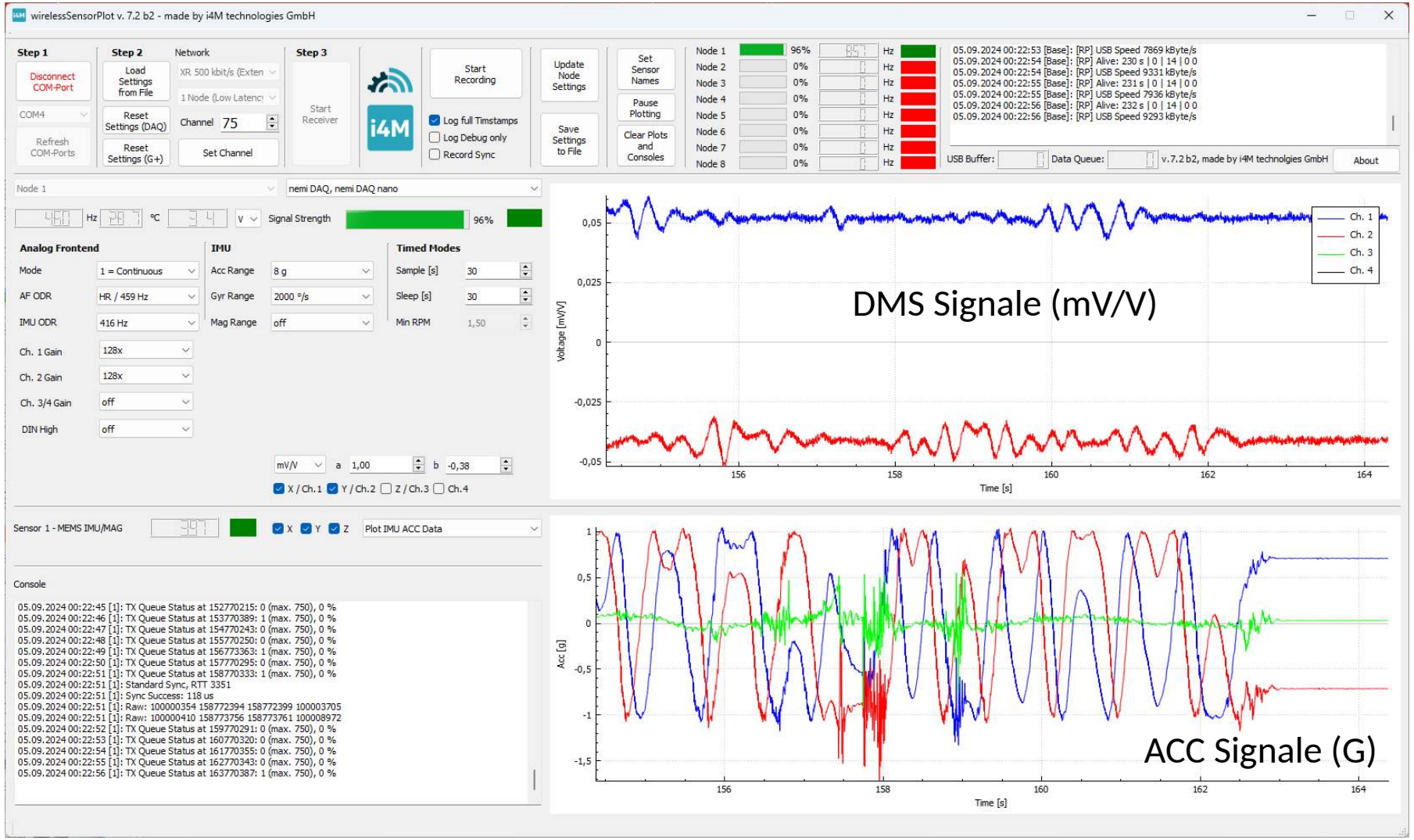
- Höhere Drehzahl



nemione

i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

Systemvorführung



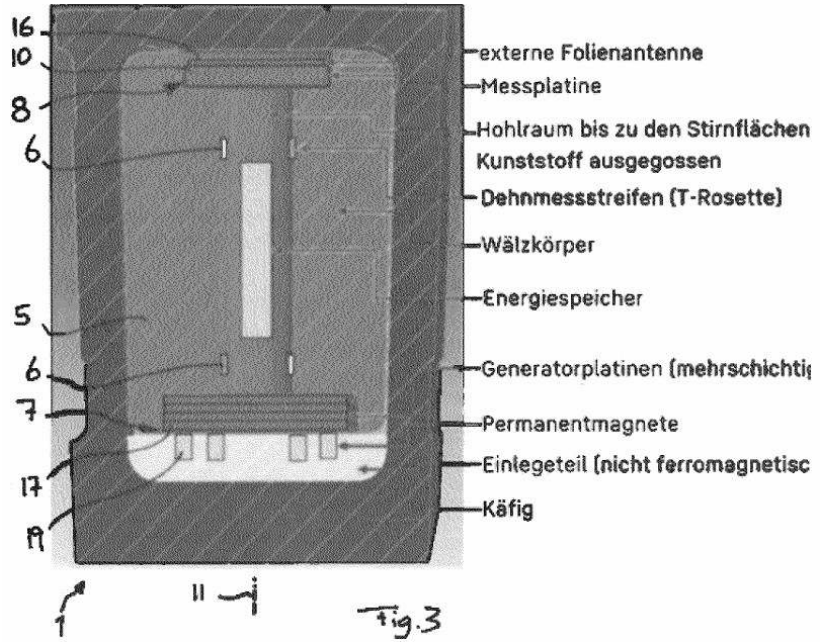
nemione

i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

Energieversorgungsoptionen inkl. Harvesting

- Bislang dargestellter Ansatz ist nicht geeignet für den Serieneinsatz, da die Energieübertragung händischen Aufwand erfordert
- Mit einem Kunden wurde ein passender Energy-Harvesting Ansatz erarbeitet, patentiert und aktuell getestet
- Idee: Integration von Generatoren in den Wälzkörper





Patentveröffentlichung DE102022135001

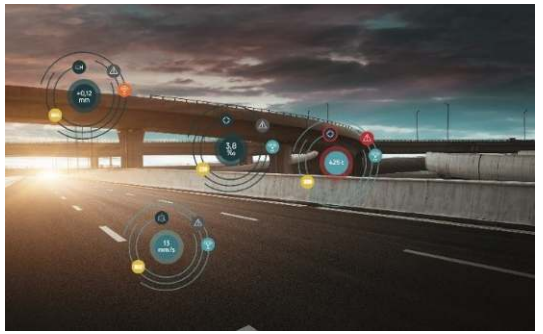
nemione

i4M technologies GmbH intelligence for mechanical systems

i4M technologies GmbH

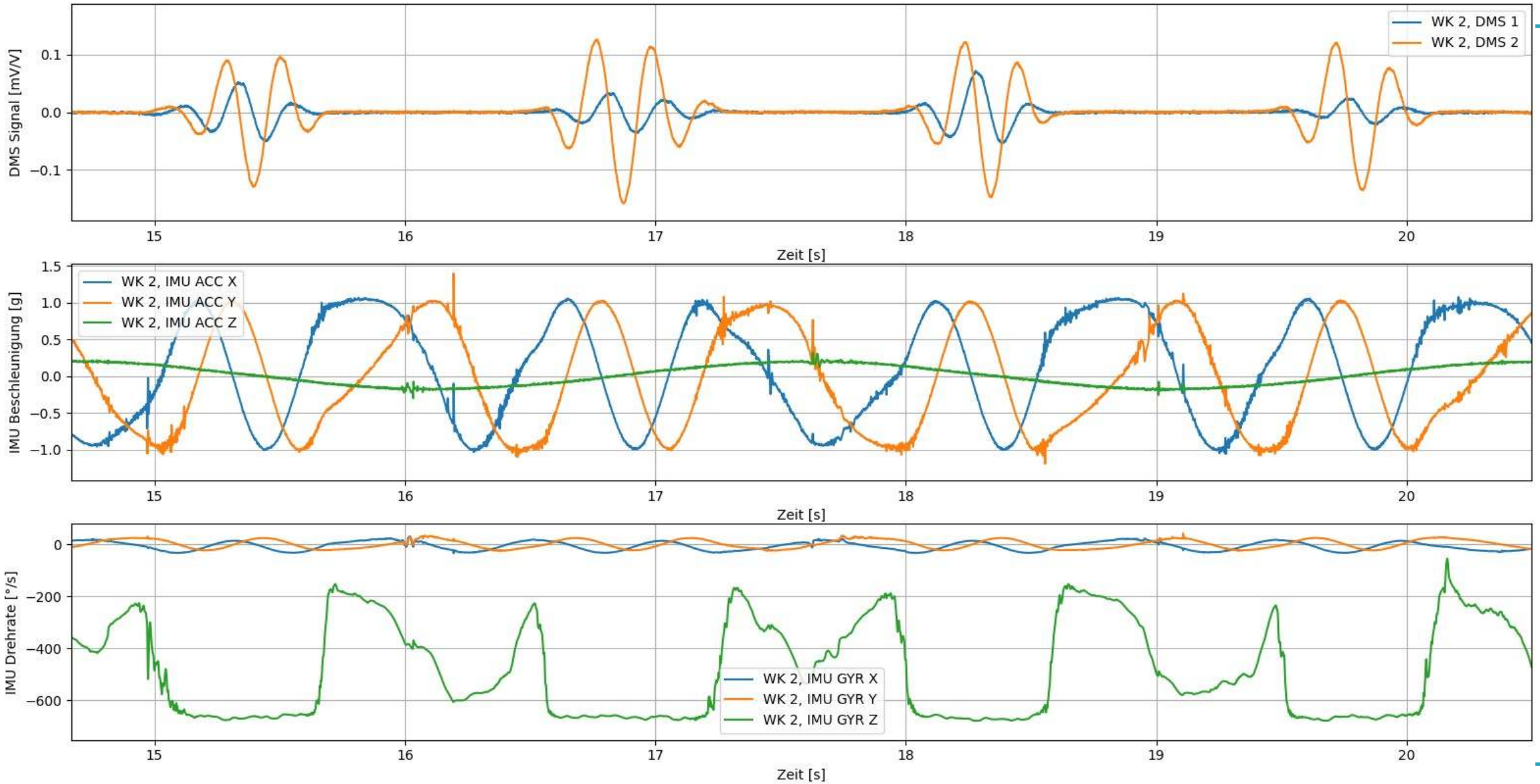
- Spezialisiert auf drahtlose Sensorsysteme für Maschinen, Fahrzeuge und Infrastruktur
- Kombination von Wissen über mechanische Systeme, Datenanalyse und fortschrittliche kabellose Messtechnik
- Gegründet 2016 als Spin-Off zweier Institute der RWTH Aachen
- Team aus 9 Elektro- und Maschinenbauingenieuren
- Bedienung einer Vielzahl unterschiedlicher Branchen von Achterbahnen bis Windenergieanlagen



nemione

i4M technologies GmbH
intelligence for mechanical systems



Messung von Lastgrößen in Wälzlagern mittels sensierter Wälzkörper
VDI/VDE Fachausschuss 4.51, Clausthal-Zellerfeld, 05.09.2024

nemione

i4M technologies GmbH
intelligence for mechanical systems

Kontakt



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