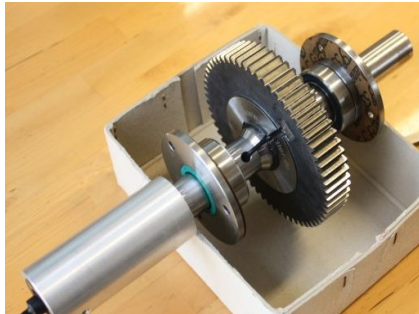


**Stirnradgetriebeteststand für die Testung von AE-Sensoren**

### GETRIEBEMONITORING DURCH ERFASSUNG VON VIBRATIONEN

Gängig ist die Erfassung des Getriebezustandes mit niederfrequenten Körperschallsensoren, die am Gehäuse befestigt werden. Die Imperfektionen (Fertigungstoleranzen) der Lager, Wellen und Zahnräder im Tribokontakt führen zur Anregung von elastischen Wellen, die sich über das gesamte Getriebe bis zum Gehäuse ausbreiten

Die Frequenzanalyse der aufgenommenen Zeitsignale ermöglicht bei Kenntnis der Kinematik des Getriebes und strukturbedingten Resonanzen die Zuordnung zu drehzahlabhängigen Ereignissen. Die sich zeitlich veränderte Signalintensitäten (Amplituden) geben zusammen mit Frequenzmodulationen Hinweise auf sich anbahnende Fehler bzw. einsetzende Verschleißerscheinungen.



**Zahnrad mit montiertem AE-Sensor nah zu den Zahnflanken**

### SENSORCONZEPT FÜR DAS MONITORING VON TRIBOKONTAKTEN IN ZAHNRADFLANKEN

In Übertragung des GMBU Tribosensorkonzeptes (DE 10 2014 103 231) wird untersucht, ob mit einem am rotierenden Zahnrad befestigter AE – Sensor der augenblickliche Zusammenbruch des Schmierfilms wie auch sich entwickelnder Fressverschleiß in einer frühen Phase detektierbar sind.

Die Messdaten sollten mit einem ortsfest am Getriebegehäuse befestigten kommerziell verfügbaren Körperschallsensor verglichen werden.

### DIE STIRNRADGETRIEBESTUFE ALS TESTSYSTEM

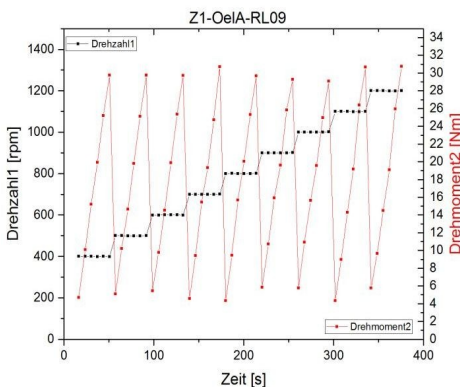
Als Testsystem für die Schwingungsuntersuchungen im Zahneingriff wurde eine einstufige Stirnradgetriebestufe verwendet. Die beiden Zahnräder sind in einer Fest-Los-Lagerung fixiert. Die Getriebestufe wird durch einen Elektromotor angetrieben, die Last durch Elektromotor als Motorbremse simuliert. Somit können Drehzahl und Drehmoment im Zahneingriff unabhängig voneinander variiert werden. Für die Simulation der realen Zahneingriffssituation wurden Öle unterschiedlicher Viskosität verwendet und mechanische Schäden an einzelnen Zahnflankenflächen des Antriebszahnrades präpariert



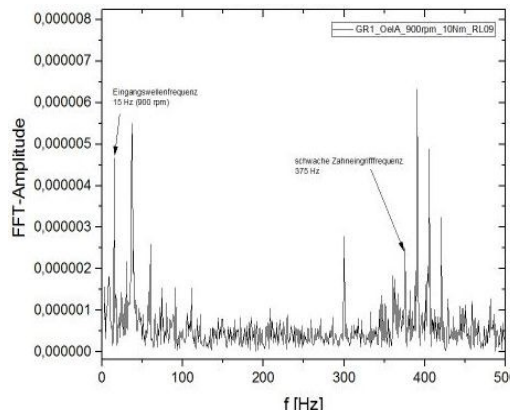
**Blick auf die präparierte Zahnradflanke (braun -"12 Uhr")**

### SENSOR CHARAKTERISIERUNG UND SIGNALANALYSE

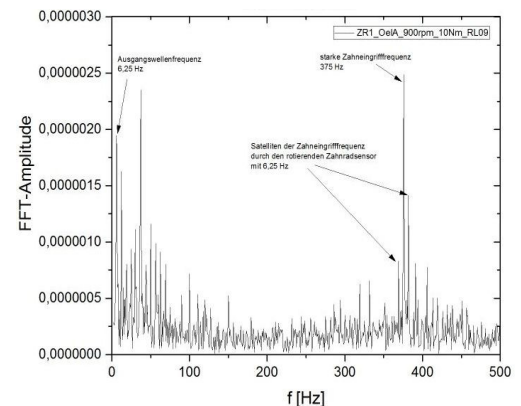
Die Schwingungsspektren (0 – 500 kHz) wurden für beide Sensoren in Abhängigkeit der Drehzahl-Drehmoment Kennlinien aufgenommen. Dabei zeigen sich auffällige Unterschiede in einzelnen Resonanzen, die mit Hilfe einer Modalanalyse für das ortsfeste und das rotierende Koordinatensystem ausgewertet wurden (siehe unten und nächste Seite).



**Lastdiagramm: Ermittlung der Drehmomente in Abhängigkeit der Drehzahl**



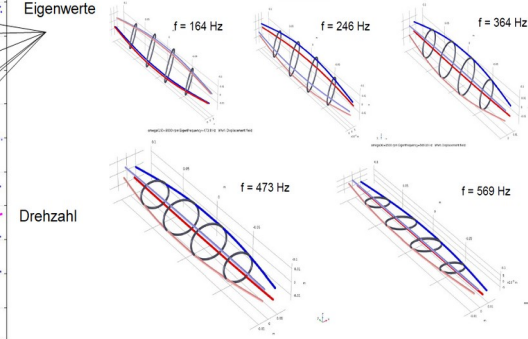
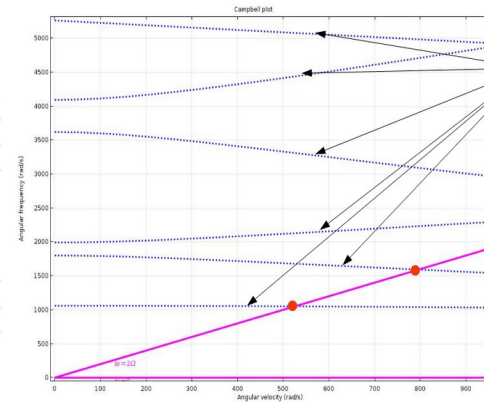
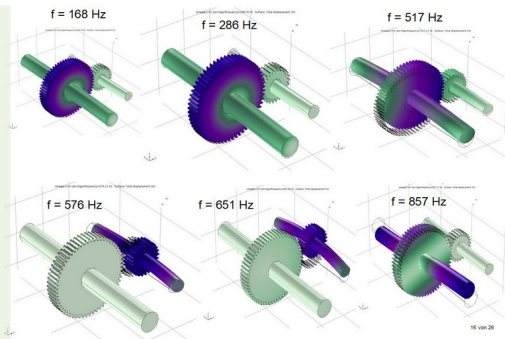
**Spektrum des ortsfest am Gehäuse montierten Körperschallsensor**



**Spektrum des am rotierenden Zahnrad fixierten AE-sensor.**

## ANALYSE ZUM AUFFINDEN NIEDER-FREQUENTER STRUKTURRESONANZEN

In Abhängigkeit des ortfesten und rotierenden Koordinatensystems erklären sich die auffälligen Unterschiede der auffindbaren Strukturresonanzen in Abhängigkeit der Drehzahl. Die Resonanzen ergeben sich aus der drehzahlabhängigen Anregung als Eigenmoden des schwingungsfähigen Ensembles Zahnrad-Welle.



## ANALYSE HOCHFREQUENTER SCHWINGUNGEN

Wie zu erwarten, zeigen sich mit dem am Gehäuse befestigten Sensor deutlich mehr Schwingungsamplituden als am Zahnsensor. Der Gehäusesensor erfasst nicht nur die Auslenkung des Schwingensensibles Zahnrad-Welle sondern auch Vibrationen, die von den Wälzlagern und den Kupplungen verursacht werden.

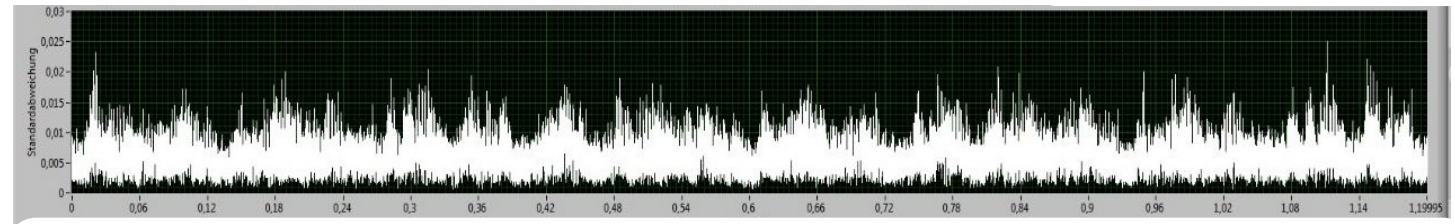
Demgegenüber ist die Situation am Zahnsensor klarer. Deutlich zu sehen sind die Spikes verursacht durch den präparierten Fehler an der Zahnflanke.

Das Hineinzoomen in den zeitlichen Verlauf der Schwingungsamplituden offenbart weitere Details die sich auf die unterschiedliche Viskosität der untersuchten Schmieröle zurückführen lassen.

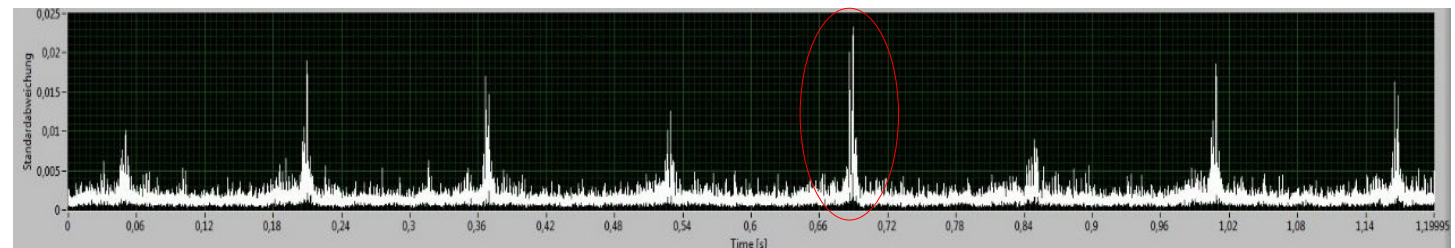
**Berechnung der Eigenwerte (Resonanzmoden) im bewegten Koordinatensystem (Zahnsensor).**

**Zusammenhang zwischen Drehzahlen und Resonanzen (Eigenwerte).**

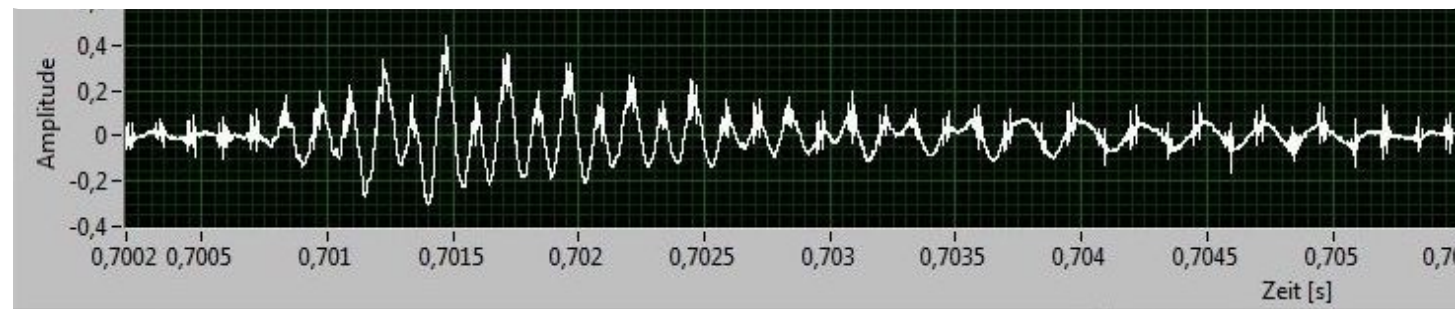
**Berechnung der „Whirl-Moden“ im ortsfesten Koordinatensystem (Gehäusesensor).**



**Zeitlicher Verlauf der summierten FFT (Standardabweichung) aufgenommen mit dem Körperschallsensor montiert am Gehäuse**



**Zeitlicher Verlauf der summierten FFT (Standardabweichung) aufgenommen mit dem Zahnsensor. Rote Markierung → Detailaufnahme unten**



**Detailaufnahme (Zoom in rote Markierung) des Schwingungsverlauf offenbart „Spikes“ auf der Grundschwingung, die mit den Feststoffkontakt der Zahnflanken im Zusammenhang stehen.**

## FAZIT

Das hier gezeigte Tribosensorkonzept ermöglicht auch beim Monitoring des Zahneingriffs das Potential für eine detaillierte Kurzaufnahme des Geschehens beim Roll-Reibkontakt zweier Zahnflanken.

Trotz der komplexen Zahnradgeometrie und der Kinematik des Zahneingriffs lassen sich mit Hilfe der AE-Vibrationen Aussagen zum Schmierfilmzusammenbruch und einsetzender Verschleissprozesse machen. Dadurch ist abzusehen, dass ein solches Sensorkonzept für das Condition Monitoring und Predictive Maintenance von Zahnradgetrieben geeignet ist.