





## Tribologie- und Schmierstoffkongress am 26./27. März 2014 in Mannheim

### Titel: Was passiert im Schmierkontakt?

|                     |   |   |
|---------------------|---|---|
| <b>Vortragender</b> | Dipl.-Ing. (FH) Lars Meisenbach<br>BestSens AG<br><br>Neustadter Straße 7 in 96450 Coburg |  |
| <b>CO-Autoren</b>   | Dipl.-Ing. (FH) Jens Miedl<br>BestSens AG<br><br>Neustadter Straße 7 in 96450 Coburg      |  |

### Kurzfassung

Rund 80% aller Lager in der Industrie fallen auf Grund von Schmierungsthematiken, wie verunreinigter Schmierstoffe, Mangelschmierung etc. aus.[1] Zielsetzung der Arbeit ist den Schmierstoff im Lager online zu vermessen.

Dazu werden mit einem Sender akustische Oberflächenwellen auf dem Außenring des Lagers angeregt. Diese breiten sich am Lageraußenring bis zum Empfänger aus und werden zurückgemessen. Besonders ist dabei, dass die Akustik auf die Innenseite des Rings, welche in Kontakt mit den Kugeln und dem Schmierstoff steht, durchgreift. Die Benetzung der Laufbahn mit Schmierstoff führt zu einer Modenkonzersion der Oberflächenwelle. Laufbahn, Schmierstoff und Wälzkörper bilden akustisch gesehen ein Mehrschichtsystem, dass sich mit der Rotation des Lagers dynamisch verändert.[2]

Welche Aussagen können durch Auswertung der Messsignale in Bezug auf den Schmierkontakt bei unterschiedlichen Randbedingungen getroffen werden?

Untersuchungen auf Prüfständen und in Feldanwendung, wie bei Lagern von Stahlwalzen, zeigen, dass die Messmethode für unterschiedlichste Lagertypen geeignet ist. Zudem wurde die Schmierung jedes einzelnen Wälzkörpers von wenigen bis zu mehreren tausend Umdrehungen pro Minute analysiert.

Akustische Oberflächenwellen ermöglichen den Blick ins Lager. Die Messdaten führen zu einer nachhaltigen, optimierten Schmierung von Lagern in der Industrie.



## Inhaltsverzeichnis

|   |   |
|---|---|
| Einleitung .....  | 3 |
| Theorie: Schmierstoffversorgung des Kontaktbereiches vermessen.....             | 3 |
| Versuch: Schmierversorgung Wälzkontakt bei zeitgesteuerter Nachschmierung ..... | 4 |
| Industrieanwendung: Schmierung einzelner Wälzkörper bei Walzen vermessen.....   | 6 |
| Zusammenfassung und Ausblick .....  | 8 |
| Literaturverzeichnis .....  | 8 |



## Einleitung

Die Schmierung von Wälzlagern ist entscheidend für Ihre Lebensdauer. Angst vor Mangelschmierung und der positive Effekt, dass über den Schmierstoff Temperatur aus dem Lager abgeführt werden kann, spricht dafür viel Schmierstoff zu verwenden. Dafür, möglichst wenig Schmierstoff zu verwenden, sprechen hingegen lange Instandhaltungszyklen bei begrenzten Schmierstoffreservoirs, Einsparungen für die kostspielige Entsorgung von verunreinigten Schmierstoffen und Verringerung der Walkarbeit im Lager.

Es wird gezeigt, wie Anwender mittels akustischer Oberflächenwellen qualitative Aussagen über die Versorgung des Kontaktbereiches mit Schmierstoff machen können.

## Theorie: Schmierstoffversorgung des Kontaktbereiches vermessen

Laufbahn und Wälzkörper bilden gemeinsam mit dem Schmierstoff ein tribologisches System. Um möglichst exakt analysieren zu können, was im Kontaktbereich passiert, muss möglichst nahe oder direkt im Kontakt gemessen werden. Das Lager darf durch die Sensorik mechanisch **nicht** verändert werden. Gelöst werden die Herausforderungen, indem mit BeMoS aktiv akustische Oberflächenwellen auf dem Außenring des Lagers angeregt werden. Diese greifen nach Innen durch und breiten sich über den Umfang des Rings aus. Die vorbeilaufenden Wälzkörper verändern die Ausbreitung der Oberflächenwelle auf der Laufbahn insbesondere durch das mitgeführte Schmiermittel. (Abbildung 1)

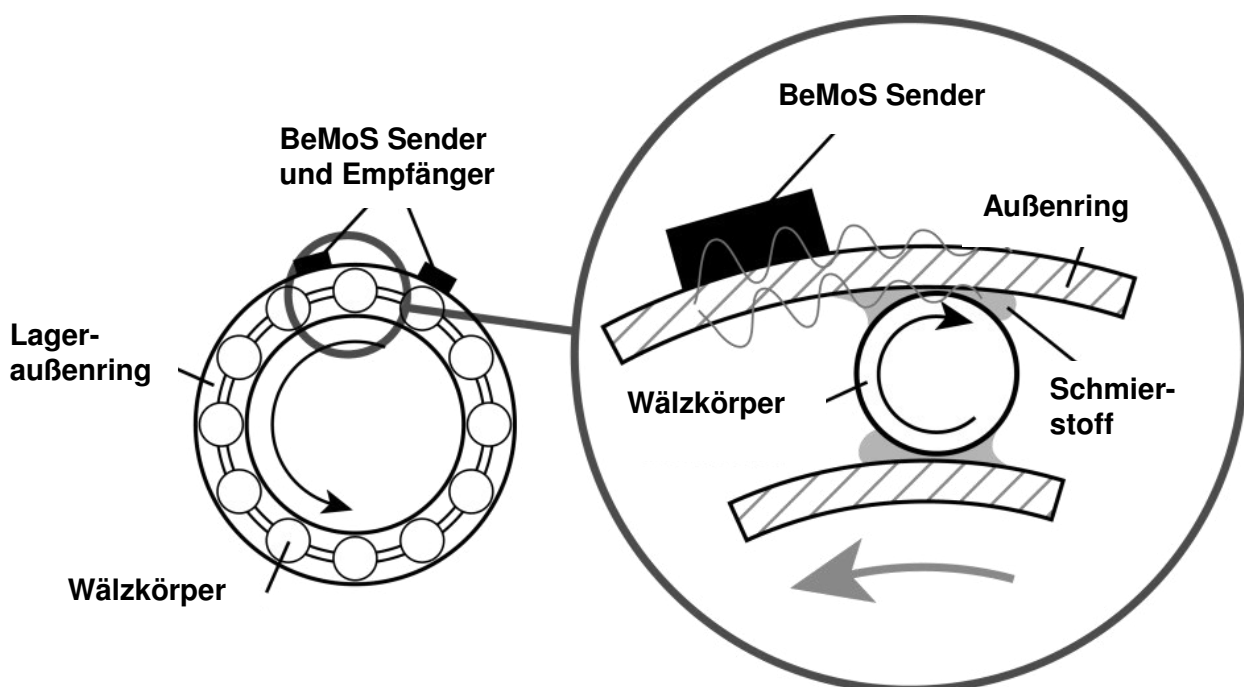


Abbildung 1: schematische Messanordnung, Oberflächenwellen werden auf dem Lageraußenring angeregt und zurück gemessen. [2]

Die Oberflächenwellen breiten sich in Form von Plattenschwingungen, den so genannten Lambwellen aus. Beeinflusst wird die Ausbreitung der Lambwelle unter anderem durch den flüssigen Anteil des Schmierstoffs auf der Laufbahn. Der Schmierstoff auf der Laufbahn verändert auf Grund der Modenkonzersion die Ausbreitung der Lambwelle in komplexer Form. Sender und Empfänger sind mechanisch am Außenring gekoppelt. An der örtlich festen Messanordnung aus Sender und Empfänger werden bei Rotation des Lagers Wälzkörper und Schmierstoff des tribologischen Systems über die Zeit vorbeigeführt. Dieser Dynamik wird Rechnung getragen, indem 5.000-mal pro Sekunde impulsweise gemessen



wird. Um die Versorgung der Kontaktzone mit Schmierstoff im Messbereich über alle Wälzkörper zu beurteilen, werden die Messwerte der dynamischen Messung gemittelt, normiert und alle zwei Sekunden als Kennwert in Form des BeMoS-Schmierungsparameters ausgegeben.

### Versuch: Schmierversorgung Wälzkontakt bei zeitgesteuerter Nachschmierung

Das Ziel des Versuches ist herauszufinden, welcher Anteil an Schmierstoff bei einer zeitgesteuerten Nachschmierung wirklich zur Schmierung beiträgt. Für den Versuch wird ein, in der Industrie häufig verwendetes Rillenkugellager auf dem Prüfstand mit akustischen Oberflächen vermessen. (Abbildung 2)

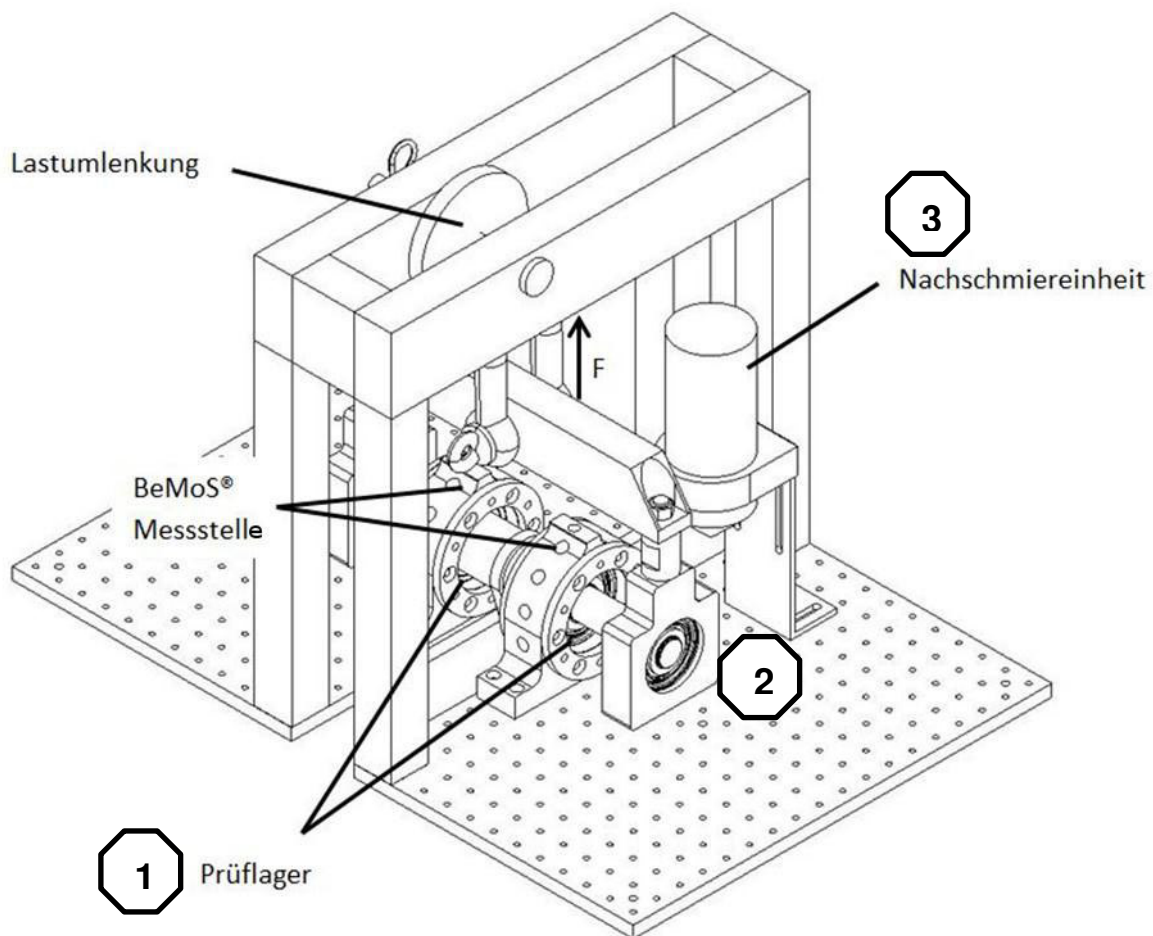


Abbildung 2: Prüfstand mit temperiertem Lagerbock, Messlager, Radiallasteinheit und Nachschmiersystem

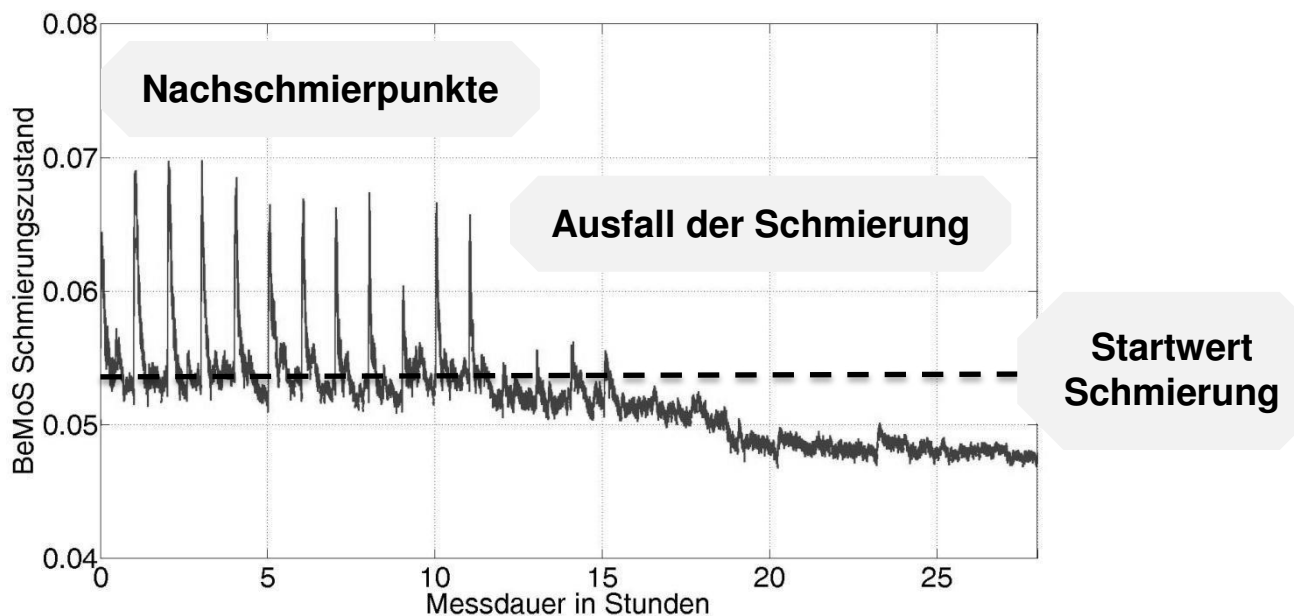
#### Feste Randbedingungen:

|          |   |                     |   |
|----------|---|---------------------|---|
| <b>1</b> | <b>Lagerbock mit Prüflager und BeMoS Messstelle</b> |                     |   |
|          | Lagerbock:  | temperiert          | 40°C +/-0,5°C                               |
|          | Prüflager:  | Typ:<br>Abdichtung: | 6306 Rillenkugellager<br>ohne Dichtscheiben |
|          | BeMoS Messstelle                                    | Ausrichtung:        | oben am Lagerbock in Lastrichtung           |



|                              |                                    |                 |  |
|------------------------------|------------------------------------|-----------------|--|
| Sender/Empfänger: 30° radial |                                    |                 |  |
| <b>2</b>                     | <b>Welle mit Radiallasteinheit</b> |                 |  |
|                              | Welle:                             | Drehzahl:       | 1.000 rpm konstant                                 |
|                              | Radiallasteinheit                  | Last:           | 1.000 N konstant                                   |
| <b>3</b>                     | <b>Nachschmiereinheit mit Öl</b>   |                 |  |
|                              | Nachschmiereinheit                 | Typ:            | Elektromechanische Pumpe                           |
|                              |                                    | Fördermenge:    | 2,11 cm <sup>3</sup> entsprechen ca. 2g pro Impuls |
|                              |                                    | Förderzyklus:   | jede Stunde  |
|                              | Öl:                                | Bezeichnung:    | SO32 perma Universalöl                             |
|                              |                                    | Nennviskosität: | 100 mm <sup>2</sup> /s                             |

Das Prüflager wird während des Versuches bei konstanter Drehzahl, Last und Temperatur betrieben. Das Rillenkugellager ist zu Beginn der Messung mit einer ausreichenden Menge an Öl geschmiert. Die Nachschmiereinheit pumpt zu Beginn der Messung die definierte Menge von 2g Öl in das Lager. Der Nachschmiervorgang wird stündlich wiederholt. Der BeMoS Schmierungsparameter wird alle 2 Sekunden aus 10.000 Messwerten berechnet und ist in *Abbildung 3* aufgetragen. Die Viskosität des verwendeten Öls liegt für den Betriebszustand bei  $\kappa \geq 4$ , was eine vollständige Ausbildung des Schmierfilms garantiert. Das verwendete Lager liegt, bei ausreichender Versorgung mit Öl, damit im dauerhaftesten Bereich [4, 5]. Bei Tropfölschmierung wird ein Richtwert zwischen 3 und 50 Tropfen pro Minute für jede Wälzkörperlaufbahn bei einem Tropfen von ungefähr 0,025g empfohlen. [3] Hochgerechnet auf eine Stunde entspricht das einer Menge zwischen 4,5g und 75g Öl. Die eingestellte Menge von 2g Öl pro Stunde entspricht somit weniger als der Hälfte, der empfohlenen Minimalmenge bei Tropfölschmierung.



**Abbildung 3: Messung des Schmierungsstatus bei stündlicher Nachschmierung und Ausfall der Schmierung eines 6306 Rillenkugellager bei konstanter Drehzahl, Last und Temperatur**

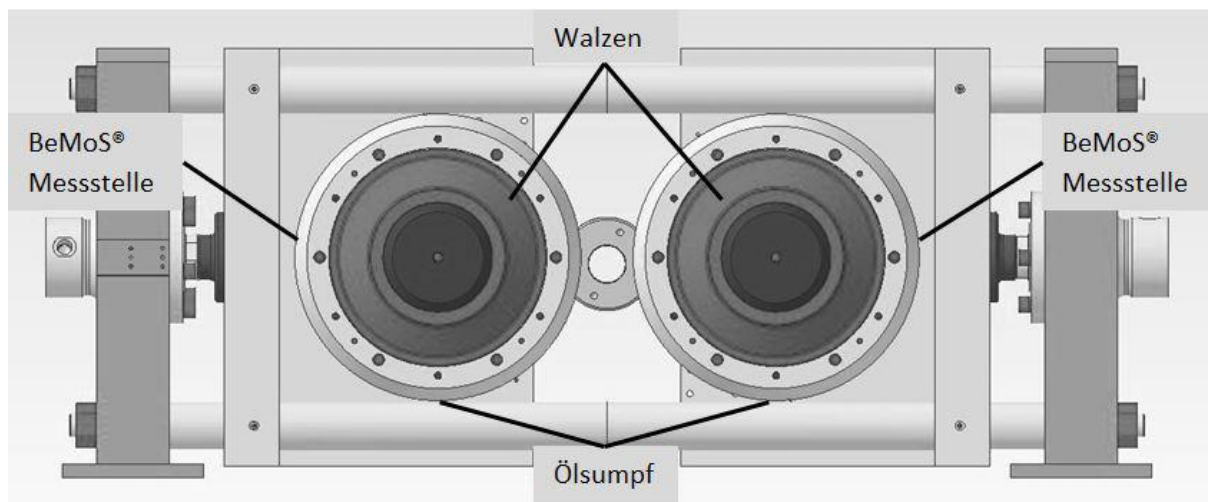
Der Versuch zeigt, dass bei Ölnachführung im BeMoS Schmierungsparameter ein starker Peak zu erkennen ist. Der Schmierungsparameter fällt anschließend ab und erreicht seinen Startwert. Der nachgeführte Schmierstoff wird zum Großteil aus der Laufbahn verdrängt und trägt nicht mehr zur Schmierung des Wälzkontaktes bei. Auch die anschließenden 11



Nachschmierzyklen zeigen, dass der zugeführte Schmierstoff verdrängt wird und die Schmierung ihren Startwert erreicht. Erst als nach 17 Stunden das Öl in der Nachschmierkartusche leer wurde, sinkt der Schmierungsparameter stetig und unterschreitet den Startwert. Der schnelle Abfall des Schmierungsparameters nach jedem Nachschmierzyklus im Vergleich zu dem langsam sinkenden Schmierungsparameter nach Ausfall der Schmierung lässt vermuten, dass pro Nachschmierzyklus eine wesentlich geringere Menge an Schmierstoff benötigt wird, um den Wälzkontakt gleichbleibend mit Schmierstoff zu versorgen.

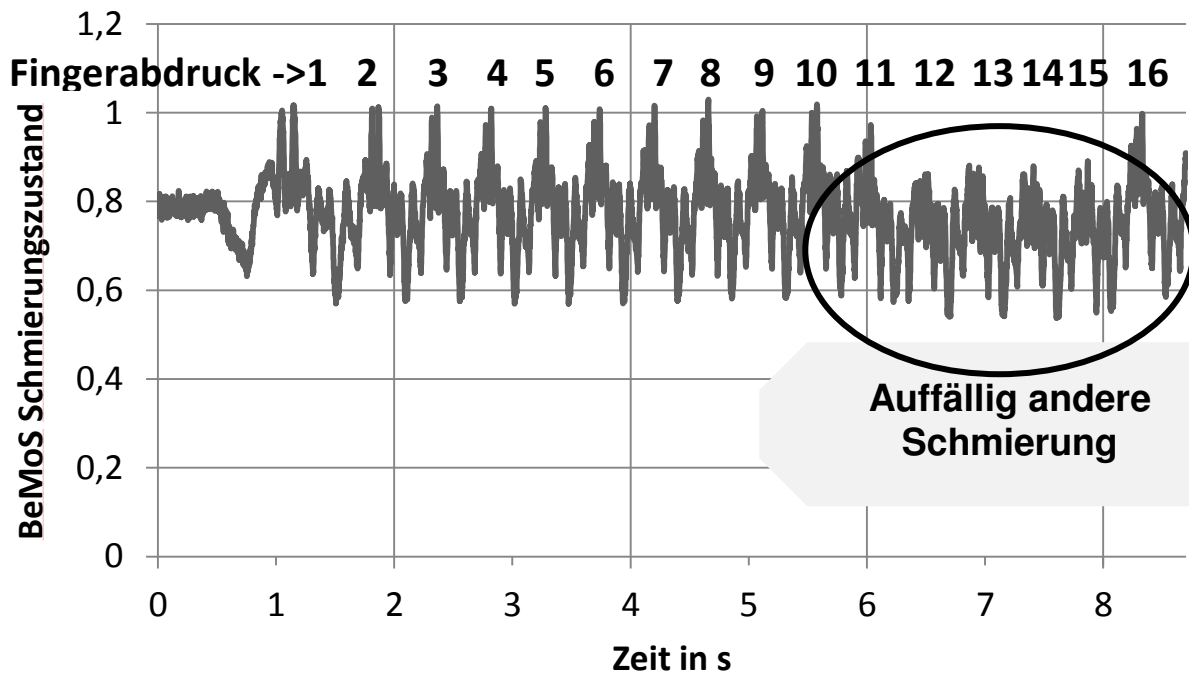
### Industrieanwendung: Schmierung einzelner Wälzkörper bei Walzen vermessen

Es soll vermessen werden, wie gut die Ölsumpfsm Schmierung für die Hauptlager einer Querkeilwalze (*Abbildung 4*) geeignet ist.



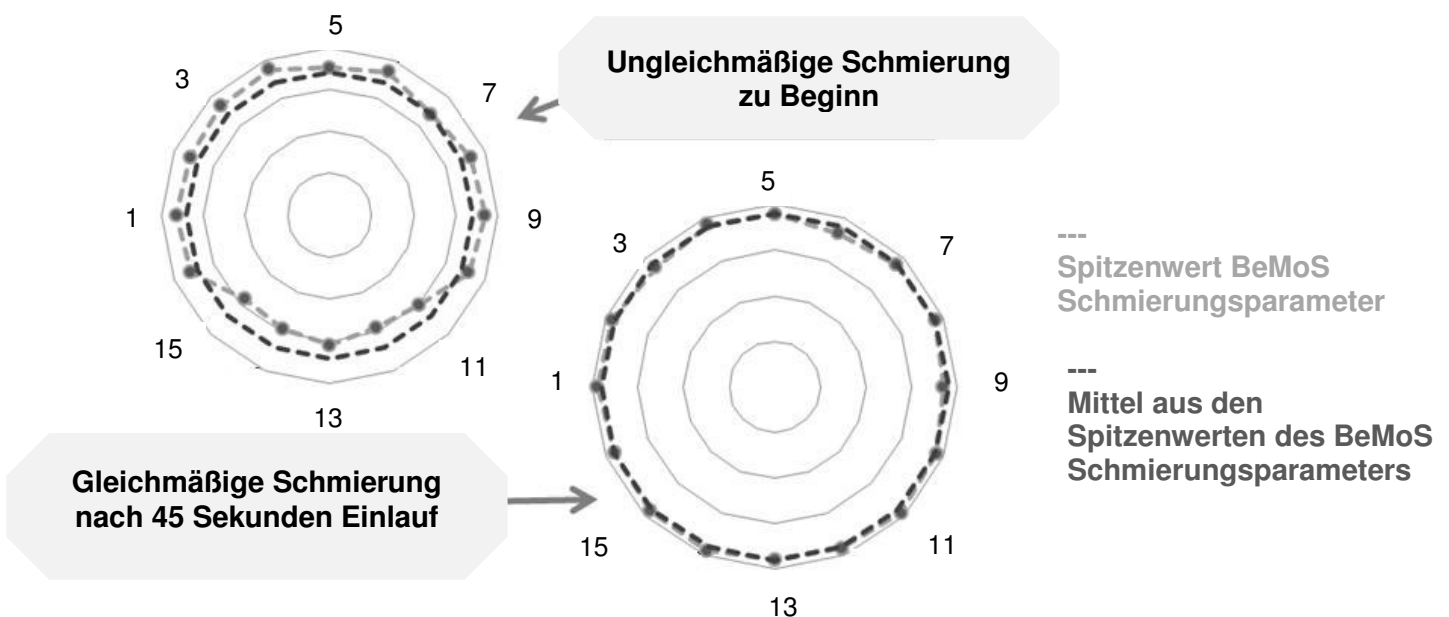
**Abbildung 4: Querkeilwalze der Firma Lasco Umformtechnik GmbH mit jeweils einer BeMoS Messstelle zur Vermessung des Schmierzustandes an den Zylinderrollenlagern vom Typ: NU 2244-E-M1**

Die Firma Lasco verbaute jeweils eine BeMoS Messstelle an den beiden Zylinderrollenlagern vom Typ NU 2244-E-M1. Es wird die Schmierung jedes einzelnen Wälzkörpers bei 20 Umdrehungen / Minute, im Leerlauf vermessen. Dafür werden, im Gegensatz zu dem Versuch am Prüfstand, die Messpunkte vor der Mittelung verwendet und als dynamischen BeMoS Schmierungsparameter über die Zeit analysiert. In dem dynamischen BeMoS Schmierungsparameter hinterlässt die Schmierung jeder Zylinderrolle ihren Fingerabdruck im Zeitsignal. (*Abbildung 5*)



**Abbildung 5: Fingerabdruck jeder Zylinderrolle im BeMoS Schmierungsparameter bei einer vollen Käfigumdrehung des rechten Walzenlagers**

Aufgefallen ist, dass nach Start der Maschine aus dem Stillstand 4 Rollen anders mit Schmierstoff versorgt sind, als die restlichen Pendelrollen. Im Stillstand fließt der Schmierstoff von den oberen 12 Rollen zurück in den Ölsumpf, in dem sich die restlichen vier Wälzkörper befinden. Für die Lebensdauer des Lagers ist es entscheidend, dass vor Beginn des Walzvorgangs alle Pendelrollen ausreichend mit Schmierstoff versorgt sind. Die Schmierverteilung im Lager ist beim Start der Querkeilwalze nicht gleichmäßig, erst nach einer Einlaufphase von ca. 45s (Abbildung 6) ist der Schmierstoff gleichmäßig über den gesamten Umfang verteilt. Um die Lager bei der kostengünstigen Ölsumpfschmierung weniger zu verschleifen, wurde zu Beginn eines Produktionszyklus der Einlaufzyklus verlängert.



**Abbildung 6: Kreisdiagramm des Spitzenwertes des BeMoS Schmierungsparameters für jede einzelne Pendelrolle zu Beginn der Einlaufphase und nach 45 Sekunden**



## Zusammenfassung und Ausblick

Mit akustischen Oberflächenwellen können qualitative Aussagen über die Versorgung des Kontaktbereiches mit Schmierstoff gemacht werden. Die Messung funktioniert bei unterschiedlichen Lagergrößen und Wälzkörpergeometrien. Gezeigt wurde die Messmethode an einem 6306 Rillenkugellager und einem NU 2244-E-M1 Zylinderrollenlager. Anwender erhalten sowohl eine Aussage zu dem Schmierungsstatus, gemittelt über alle Wälzkörper im Lager, als auch eine dynamische Schmierinformation zu jedem einzelnen Wälzkörper. Die Messwerte führten bei Walzen zu einer optimierten Einlaufphase verbunden mit einem geringeren Lagerverschleiß.

Die Messmethode eignet sich um zukünftig Grenzwerte des BeMoS Schmierungsparameters für bedarfsgerechte Lagerschmierung zu ermitteln. Sowohl Menge als auch Zeitintervall können hierbei für verschiedene Betriebszustände optimiert werden. Es soll damit ein Beitrag zum ökologischen Umgang mit Rohstoffen bei gleichzeitiger Verlängerung der Lebensdauer von Maschinen und Anlagen erreicht werden. Ziel ist es, Lager intelligent zu machen, so dass diese selber wissen, wann und wieviel Schmierstoff sie benötigen und damit nachhaltig die Schmierung von Lagern in der Industrie zu optimieren.

## Literaturverzeichnis

- [1] Michael Wahler, SKF. (01/2006). Schmierung bestimmt die Lebensdauer. Antriebs Praxis, 38-41
- [2] Lindner, Gerhard, Brückner, Christoph und Schmitt, Martin. 2011. Online bearing lubricant sensing by mode conversion of surface acoustic waves. ISBN: 978-3-9810993-9-3.
- [3] Schaeffler, *medias®-professional*-Produktkatalog, Abschnitt „Tropfölschmierung“  
URL: [http://medias.schaeffler.de/medias/de/hp.tg.cat/tg\\_hr\\*ST4\\_1652077067](http://medias.schaeffler.de/medias/de/hp.tg.cat/tg_hr*ST4_1652077067) (letzter Abruf am 13.02.2014)
- [4] Berthold Schlecht; 2010; Maschinenelemente 2; Pearson Studium; ISBN: 978-3-8273-7146-1; S. 214
- [5] Schaeffler, *medias®-professional*-Produktkatalog, Abschnitt „Tragfähigkeit und Lebensdauer“  
URL: [http://medias.schaeffler.com/medias/de/hp.tg.cat/tg\\_hr\\*ST4\\_102027403?bBTwjIGX\\_NZ](http://medias.schaeffler.com/medias/de/hp.tg.cat/tg_hr*ST4_102027403?bBTwjIGX_NZ) (letzter Abruf am 13.02.2014)