

21. Fachtagung Schüttgutfördertechnik 2016
„Neue Erkenntnisse aus Wissenschaft und Praxis“

**„Innovative Abdichtungskonzepte für Wälzlager mit
hohen Dichtheits-anforderungen“**

Markus Krause, M.Sc.

1. Einleitung

In Bereichen mit Beaufschlagung durch Staub, Schmutz, Spritzwasser oder Medien sind die Dichtsysteme von Wälzlagern gesteigerten Dichtheitsanforderungen ausgesetzt. Die Leistungsfähigkeit marktüblicher Dichtsysteme, wie beispielsweise RS-Scheiben, reicht nicht aus um das Eindringen in den Lagerinnenraum wirksam zu verhindern. Dies führt zur Verkürzung der Lagerlebensdauer und vorzeitigem Ausfall. Höherwertige Lösungen in Form von Labyrinth-Abdichtungssystemen bieten gesteigerte Dichtheit, allerdings bei gleichzeitig hohem Bedarf an Bauraum, der in vielen Wälzlagern nicht vorhanden ist. In diesem Beitrag werden integrierte Wälzlagerabdichtungen präsentiert, die bei minimalem Bauraumbedarf und unter Berücksichtigung von Reibungsarmut höchste Dichtheit gewährleisten.

2. Dichtungen für Wälzlager – Anforderungen und Nutzen

Die grundlegende Aufgabe von Dichtungen, ist die Trennung von zwei funktionsmäßig verschiedenen Bereichen mit gleichem oder unterschiedlichem Druck, zur Vermeidung oder Reduzierung (zulässige Leckageverluste) eines Austausches von festen, flüssigen oder gasförmigen Stoffen zwischen diesen Bereichen. Die funktionellen Anforderungen an eine Dichtung werden durch die Betriebsbedingungen und die konstruktive Gestaltung der Umgebung beeinflusst. So muss bei der Auswahl der Dichtungsart unterschieden werden, ob die Trennung der Bereiche zwischen zueinander in Relativbewegung stehenden Bauteilen erfolgt (dynamische Dichtungen) oder zwischen ruhenden Bauteilen (statische Dichtungen). Für Wälzlager werden aufgrund der Rotation der Wälzlagerringe in der Hauptsache dynamische Dichtungen eingesetzt, in selteneren Fällen auch statische Dichtungen wie z.B. der Abdichtung von nicht rotierenden Lagerkomponenten (z.B. Wälzlagergehäuse). (1)

Für die maximale Ausnutzung der theoretisch berechneten Lebensdauer (Lh10) eines Wälzlagers muss die verwendete Dichtung den Austritt des Schmierstoffs aus dem Wälzlagerinnenraum verhindern und gleichzeitig das Eindringen von äußeren festen oder flüssigen Verunreinigungen (Staub, Reinigungsmittel, Prozessmedien) verhindern (Abb. 1). Ist die Funktion der Dichtung beispielsweise durch die Auswahl ungeeigneter Dichtungswerkstoffe, einer unzureichenden Oberflächenqualität der

Dichtstelle oder durch die Wahl des falschen Dichtungstyps nicht gegeben, kann die Lebensdauer des Wälzlagers deutlich reduziert werden. Dringen feste Fremdkörper in das Wälzlager ein, so können im Bereich der Wälzlagerlaufbahnen durch das Überwälzen der Fremdkörper im Wälzkontakt Eindrückungen entstehen, die die Ursache für Materialermüdung und in Folge dessen von erhöhtem Verschleiß sind.

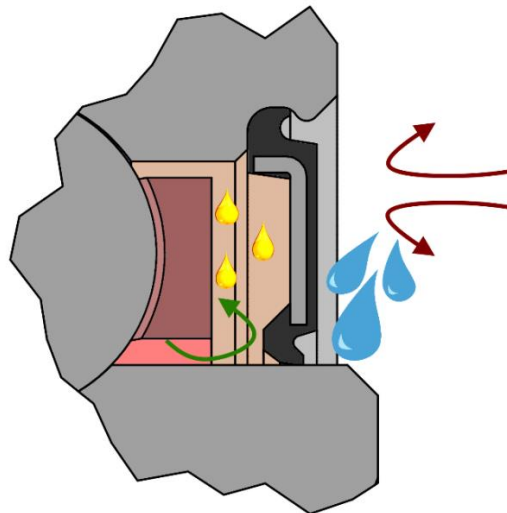


Abb. 1 Prinzip einer Dichtstelle; © Artur Küpper GmbH & Co KG 2016

Eingedrungene Fremdkörper von hoher Härte sind oft die Ursache von abrasivem Verschleiß, welcher sich durch eine fortschreitende Erhöhung des Lagerspiels und einer Verschlechterung der Laufgenauigkeit (u.a. Kia, Kea) des Wälzlagers äußert. Das Eindringen von flüssigen oder gasförmigen Medien in das Wälzlager hat neben korrosiven Auswirkungen auf das Lagerinnere in der Hauptsache die Störung der Schmierung des Wälzkontaktes zur Folge und damit eine Reduzierung der Lagerlebensdauer aufgrund der dadurch eingeschränkten Schmierstoffgebrauchsdauer.

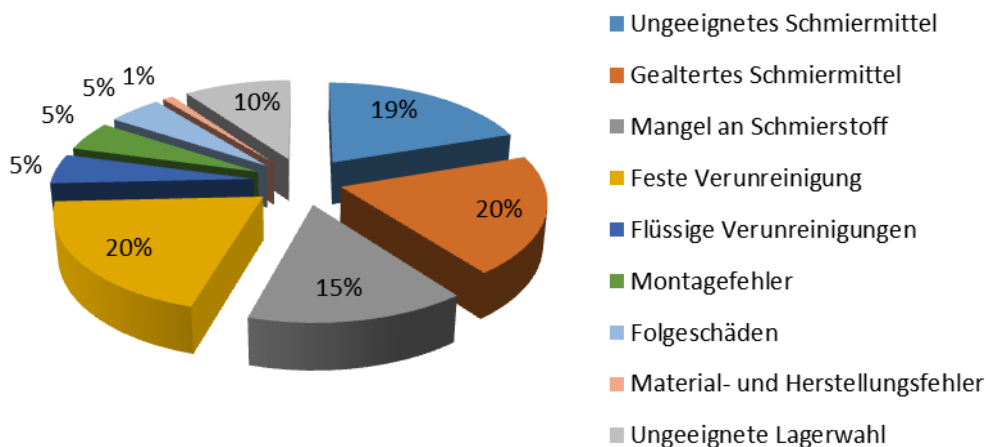


Abb. 2 Ausfallursachen für Wälzlager (2)

Gemäß statistischer Untersuchungen von ausgefallenen Wälzlagern entfallen 25 Prozent der Schadensursachen auf die Folgen von eingedrungenen Fremdkörpern infolge des Versagens der Dichtung.

Im Zuge der Wartung eines Wälzlagers kann der Fettaustritt aus dem Lagerinnenraum ein gewünschter Effekt sein, da er die notwendige Verdrängung des gebrauchten Schmierstoffs und die Durchdringung mit Frischfett anzeigt. Unerwünscht ist der Fettaustritt hingegen dann, wenn aufgrund der Lagerdynamik austretender Schmierstoff die Prozessumgebung der zu lagernden Anwendung beeinflusst oder gar den Prozess verhindert. So führt zum Beispiel das Austreten von Fett aus Laufrollen der Kluppenketten von Folienreckanlagen zu Problemen bei der Herstellung der Folien, so dass ein Fettaustritt komplett vermieden werden muss. Aufgrund dieser unterschiedlichen Anforderungen muss bei der Ausführung der Dichtung zwischen berührenden (schleifenden) und berührungslosen Dichtungen (Spalt-/ Labyrinth-Abdichtungen) unterschieden werden.

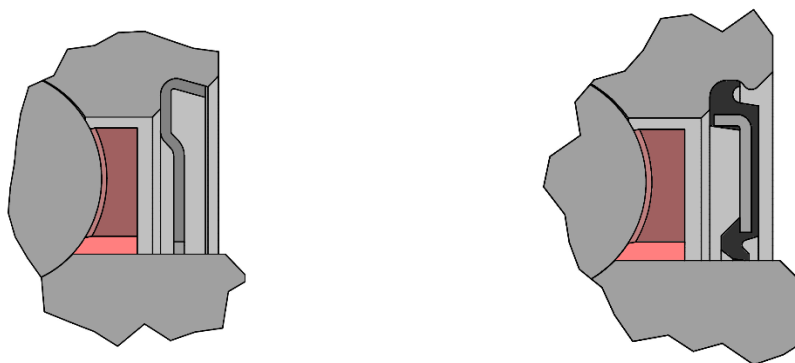


Abb. 3 Berührungslose Dichtung (links), berührende Dichtung (rechts); © Artur Küpper GmbH &

Co KG 2016

Die Praxis zeigt, dass die Wahl des Dichtungskonzepts stark von den Anforderungen an die Wälzlagerung abhängt. So sind der nutzbare Bauraum, die Art der Nachschmierung, die Medienbeständigkeit und immer häufiger auch die Energieeffizienz der Lagerung (niedrige Reibung) entscheidend für die Auswahl. Hierbei muss stets die technisch und wirtschaftlich ausgewogenste Lösung zwischen der Erfüllung aller Anforderungen an die Dichtung und dem zur Verfügung stehenden Budget für die Lagerung gefunden werden. So wird zum Beispiel im nachfolgenden Diagramm (Abb. 4) deutlich das die Anforderung der Reibungsoptimierung eines Dichtsystems in den meisten Fällen mit einer Steigerung der Gesamtkosten für das betrachtete Produkt verbunden ist.

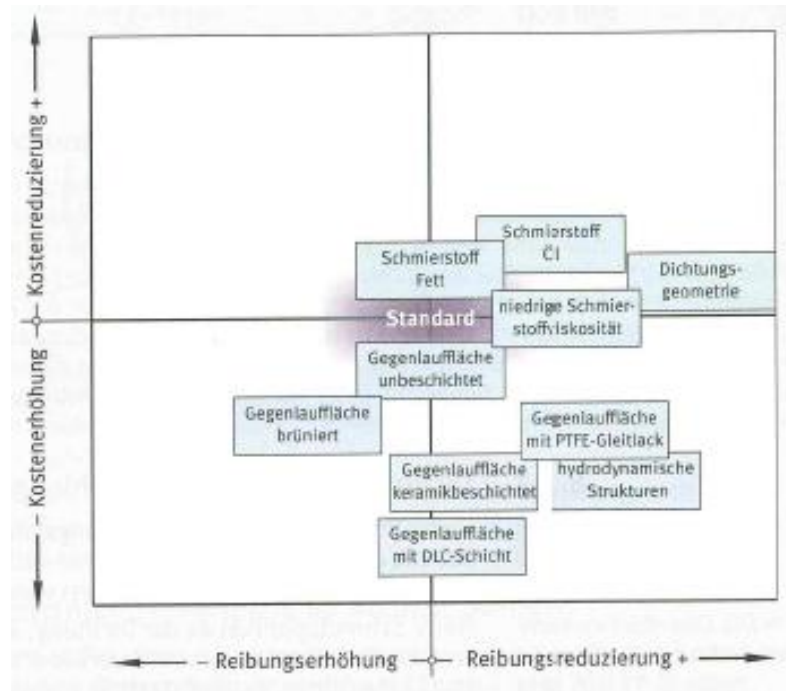


Abb. 4 Kosten-Nutzen-Matrix im Kontext zur Reibung (3)

3. Lösungsansätze für Wälzlager mit hohen Dichtheitsanforderungen

3.1 Abdichtungssystem einer Laufrolle für Förderketten

In Förderketten mit innen liegenden Laufrollen, bei denen eine Nachschmierbarkeit aufgrund ihrer Konstruktion nicht möglich ist, müssen wartungsfreie Laufrollen mit Lebensdauerschmierung eingesetzt werden. Aufgrund der häufig industriellen Einsatzbereiche solcher Förderketten benötigen diese Laufrollen eine sehr gute

Abdichtung gegen äußere Einflüsse. Da die radiale Belastung der Laufrollen stark schwanken kann, muss dies beim Design der Dichtung berücksichtigt werden. Hohe Kräfte im Bereich der Kettenumlenkung, aber auch die punktuell hohen Belastungen durch das Fördergut (z.B. Karosserien) im Obertrum setzen eine Laufrolle mit hoher Tragfähigkeit voraus. Dies steht im Widerspruch zu den unbelasteten Förderkettenbereichen. Die Mindestbelastung einer Laufrolle, die aufgrund der inneren Reibung erforderlich ist, kann in diesen Bereichen nicht aufgebracht werden.

$$\text{Belastungsverhältnis} = \frac{C_0}{P_0}$$

Der für die Mindestbelastung einer abgedichteten Laufrolle entscheidendste Einflussfaktor ist das Reibmoment M_D der Abdichtung. Durch die Reibung der Abdichtung erhöht sich die für die Überwindung des inneren und äußeren Schlupf notwendige Kraft deutlich.

$$M_D = 0.5 \cdot f \cdot p_m \cdot \pi \cdot b \cdot d^2 \quad (4)$$

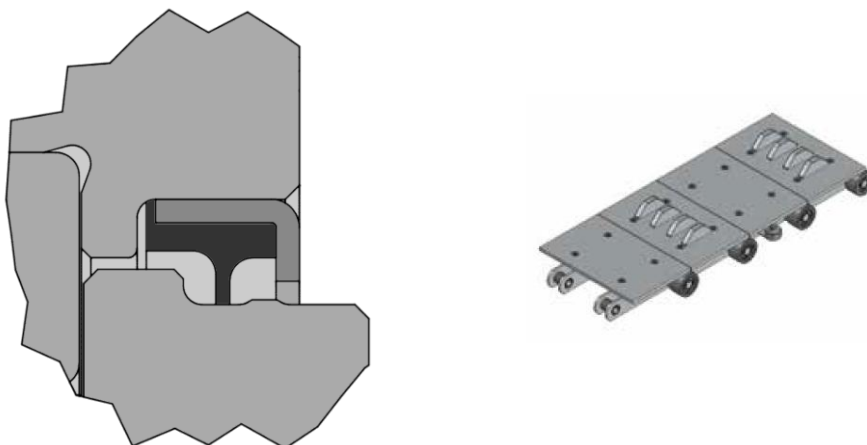


Abb. 5 Reibungsreduziertes Dichtsystem (links); © Artur Küpper GmbH & Co KG 2016, Plattenbandförderer (rechts) (4)

Um diesem Problem entgegenzuwirken, werden in bestimmten Anwendungsfällen reibungsreduzierte Dichtungssysteme eingesetzt. Diese Dichtungssysteme basieren auf den bekannten schleifenden Dichtungen. Die Dichtlippe eines solchen Dichtungssystems wird jedoch durch die konstruktive Abstimmung mit der Dichtfläche nahezu vorspannungsfrei ausgeführt (mittlere Flächenpressung $p_m \rightarrow 0$). Im Allgemeinen würde dies die Dichtwirkung zunächst stark reduzieren, aber durch die Kombination mit einer vorgelagerten Spaltdichtung und dem sich anschließenden Labyrinth entstehen auf engstem Bauraum drei Dichtungsbereiche.



Abb. 6 Optimiertes Dichtsystem; © Artur Küpper GmbH & Co KG 2016

Die Spaltdichtung dient hierbei als Vordichtung und soll die Dichtstelle vor grobem Schmutz schützen und gleichzeitig ein direktes Einwirken von z.B. Hochdruckreinigern auf die Dichtlippe verhindern. Im zweiten Dichtungsbereich entsteht eine Art Fettkammer, welche zum einen den Kontakt schmiert, gleichzeitig eine abschließende Wirkung gegen Feuchtigkeit und feinste Partikel bietet. Abgeschlossen wird das Dichtsystem durch das nachgelagerte Labyrinth.

3.2 Abdichtungssystem für ein Fahrradretlager

Hochwertige Fahrräder für Weltenbummler und sportbegeisterte Menschen sollen vor allem funktionieren und gegenüber den widrigen Bedingungen der Fahrstrecke und den Umgebungsbedingungen beständig sein. Auch wird von solchen Fahrrädern eine einfache, schnelle und unkomplizierte Reinigung erwartet. So wird das Fahrrad nach Fahrten durch Schlamm, Sand und Staub häufig mit Hochdruckreinigern gereinigt. Dies ergab eine wesentliche Anforderung an die Entwicklung eines Abdichtungssystems für ein Fahrradretlager. Hier musste neben der Leichtgängigkeit und der Korrosionsbeständigkeit der Lagerung vor allem die Beständigkeit des Dichtungssystems gegenüber Hochdruckreinigern berücksichtigt werden.

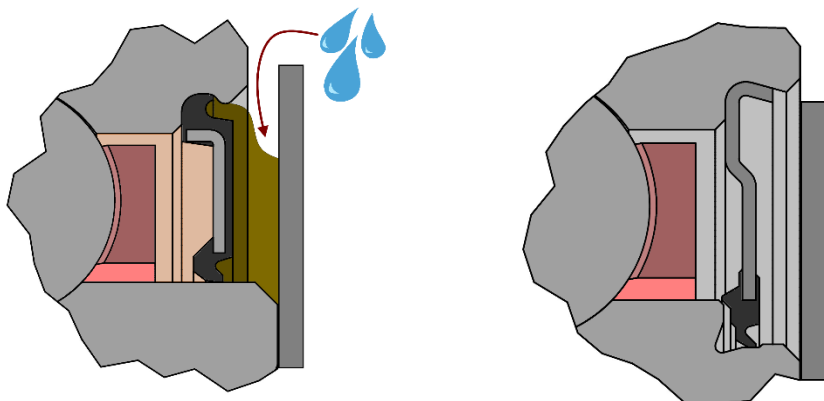


Abb. 7 Altes Dichtsystem (links), optimiertes Dichtsystem(rechts); © Artur Küpper GmbH & Co KG 2016

Bei den bisher eingesetzten Rillenkugellagern zeigte sich bei der Schadensanalyse, dass die RS-Dichtscheibe durch den Wasserstrahl des Hochdruckreinigers aus dem Einstich herausgelöst wurde. Dies versuchte man zunächst durch den Einsatz eines abdeckenden Kunststoffschilds zu verhindern. Diese Maßnahme führte aber zum nächsten Problem. Im zwischen der Kunststoffabdeckung und der Dichtscheibe entstehenden Dichtspalt sammelten sich abrasive Partikel, die die Gummierung der Dichtung zerstörten. Die Folge war in jedem Fall der vorzeitige Ausfall des Tretlagers.



Abb. 8 Tretlagereinheit EBB-Longlife mit optimierter Dichtung (4)

Da in dieser Anwendung der Bauraum durch die Breite der Tretlagereinheit stark begrenzt war und somit kein Mehrfachabdichtungssystem eingesetzt werden konnte, wurde die Kombination einer nicht lösbaren verstärkten Dichtung favorisiert. Der Grundaufbau dieser RZ-Dichtung gleicht dem in der Wälzlagerbranche weit verbreiteten Dichtungstyp Z-Scheibe (Staubdeckel). Das Trägermaterial besteht aus einem korrosionsarmen Stahlblech. Dieses wird kombiniert mit einer angespritzten verstärkten und mit zwei Dichtlippen versehenen Gummierung. Durch diese Lösung

kann selbst unter direkter Beaufschlagung der Dichtung mit dem Wasserstrahl der feste Sitz der Dichtung durch die formschlüssige Verbindung mit dem Außenring gewährleistet werden. Außerdem ist die radiale reibungsoptimierte Dichtlippe konstruktiv so gestaltet, dass diese unter axialer Belastung die seitliche Wandung des Innenrings berührt und somit das Lager vollständig abdichtet. Die zusätzliche axiale Dichtlippe erzeugt eine berührungslose Spaltdichtung, die die durch den fertigungstechnisch notwendigen Freistich gebildete mit Fett gefüllte Dichtkammer in Richtung des Lagerinnenraum abschließt. Diese Abdichtungslösung hat die bisherige Lösung nach erfolgreichen, in der Anwendung durchgeführten Tests, abgelöst. Hierbei wurden innerhalb eines Jahres mit Testfahrrädern bei extremen Bedingungen bis zu 7000 km zurückgelegt.

3.3 Abdichtungssystem für Stützrollen eines Kronkorken-Verschließers

Eine ähnliche Problemstellung ergab sich in der Anwendung einer Stützrolle für einen Kronkorken-Verschließer welcher z.B. in Brauereien eingesetzt wird. In dieser Anwendung läuft die Stützrolle in einer Kurvensteuerung und nimmt die hohen Kräfte beim Verschließen der Flasche auf. Die bisher eingesetzte Variante wurde durch eine zentrale Nachschmiereinrichtung über die Achse nachgeschmiert. Aufgrund der hohen Hygieneanforderungen in den Anlagen der Lebensmittelherstellung sollte diese Variante durch eine lebensdauergeschmierte Variante ersetzt werden. Durch die im Prozess notwendigen Reinigungsvorgänge wurde der in der Laufrolle befindliche Schmierstoff bisher oft verunreinigt und ausgewaschen. Dies konnte nur durch die regelmäßige Nachschmierung der Stützrollen ausgeglichen werden. Bei der neu zu konzipierenden Stützrolle muss das Dichtungssystem gegenüber der im Reinigungsprozess verwendeten aggressiven Reinigungsmittel beständig sein und gleichzeitig einen Austritt des Schmierstoffs verhindern.



Abb. 9 Kronkorken-Verschließer (5)

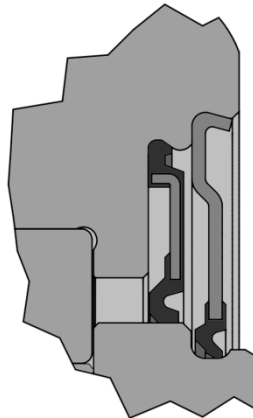


Abb. 10 Optimiertes Doppelabdichtungssystem; © Artur Küpper GmbH 2016

Um den Anforderungen an die Abdichtung gerecht zu werden, wurde ein Doppelabdichtungssystem konzipiert. Dieses besteht aus einer in der Wälzlagerbranche weitverbreiteten RSR-Dichtscheibe und der im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Dichtung des Beispiels Tretkurbel. Durch die RSR-Abdichtung soll die Abdichtung der Stützrolle gegen Fettaustritt erzeugt werden. Für die davorliegende RZ-Dichtscheibe wurde als Gummierung der Werkstoff FKM (Fluor-Kautschuk) ausgewählt. Dieser zeigt im Vergleich zum gewöhnlichen NBR (Nitril-Butadien-Kautschuk) eine deutlich bessere chemische Beständigkeit. Zudem wurde hier ebenso durch das Design der Vordichtung eine Beständigkeit gegenüber Hochdruckreinigern ermöglicht.

4. Prüfmöglichkeiten für den Einfluss von Abdichtungssystemen auf die Lebensdauer eines Wälzlagers

Für die Prüfung und Freigabe eines neuen Abdichtungssystems bezüglich der Erfüllung aller Anforderungen laut Lastenheft werden häufig Praxistests in der realen Anwendung durchgeführt. Da die Durchführung solcher Praxistest häufig mit hohem Risiko und entsprechenden Musterkosten verbunden ist, soll gerade für Anwendungen in der Laufrollentechnik eine Testmethodik geschaffen werden, die dem Kunden verlässliche Prognosen für das Verhalten des optimierten Dichtungssystems in der Anwendung erlaubt. Hierfür wurde von der Firma Artur Küpper ein Prüfstand entwickelt, der verschiedene Dichtungssysteme für Laufrollen unter variablen Prüfbedingungen testen kann. Als Grundlage für den Prüfstand dient ein Lebensdauerprüfstand für Laufrollen, der um ein Schmutzwasserpumpensystem ergänzt wurde. Durch die kontinuierliche Beaufschlagung der Laufrollen mit Schmutzwasser soll die Wirksamkeit der Abdichtung und ihr Einfluss auf die Lebensdauer geprüft werden.

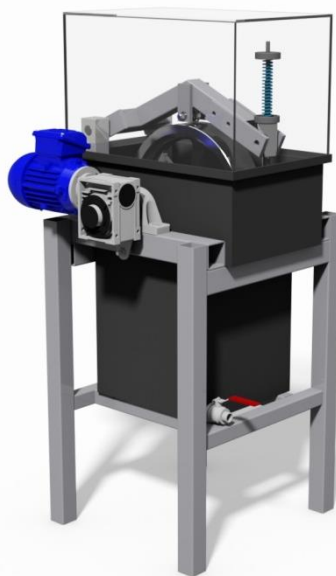


Abb. 11 Laufrollenlebensdauerprüfstand mit Schmutzwasserpumpensystem; © Artur Küpper GmbH & Co KG 2016

5. Zusammenfassung

Die Anforderungen an ein Abdichtungssystem können vielfältig sein und müssen deshalb in Abhängigkeit vom Produkt und den Umgebungsbedingungen genau verifiziert werden. Hierbei spielt die Kosten-Nutzen-Betrachtung eine wesentliche Rolle in der Entscheidung für die Komplexität des Abdichtungssystems. Dennoch ist die Notwendigkeit von Dichtungssystemen in Anbetracht der entstehenden Kosten bei Ausfall der Lagerung nicht von der Hand zu weisen. So kann die Entscheidung für ein optimiertes Dichtungssystem die Lebensdauer des Produktes verlängern und somit die Gesamtkosten in der Life-Cycle-Betrachtung der Gesamtanlage reduzieren.

6. Quellenverzeichnis

1. **Muhs, Dieter, Wittel, Herbet und Dieter Jannasch, Jochim Voßiek.** *roloff - Matek Maschinenelemente*. Wiesbaden : Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, 2007.
2. **FAG.** *Wälzlagerschäden - Schadenserkenung und Begutachtung gelaufener Wälzlager*. [PDF] Schweinfurt : FAG, 2000. Publ.-Nr. WL 82 102/2 DA.
3. **Schaeffler Technologies AG & Co. KG.** *Wälzlagerpraxis*. Herzogenaurach : Vereinigte Fachverlage GmbH, 2015. ISBN 978-3-7830-0401-4.
4. **KettenWulf Betriebs GmbH.** <http://www.kettenwulf.com>. [Online] [Zitat vom: 30. August 2016.]
<http://www.kettenwulf.com/de/branchenloesungen/automobil/index.html?sid=936aacf22c945a0488b110f8d6d5dee2>.
5. **Bike Basics GmbH.** www.idworx-bikes.de. [Online] [Zitat vom: 28. August 2016.] <http://www.idworx-bikes.de/index.php4?p=home>.
6. **Krones AG.** www.krones.com. [Online] [Zitat vom: 29. August 2016.] http://www.krones.com/downloads/verschliesser_d.pdf.
7. **Prof. Dr.-Ing habil. W. Haas.** *Grundlagenlehrgang Dichtungstechnik*. Stuttgart : s.n., 2009.