Inhalt

1 Vorwort ... 2

2 Grundlagen ... 2

3 Schmiertheorie und Einfluss des Schmierungszustandes auf die Lebensdauer ... 2

3.1 Allgemeines zur Schmierungstheorie ... 2
3.2 Nominelle Lebensdauer ... 6
3.3 Erweiterte Lebensdauer ... 7
3.3.1 Lebensdauerbeiwert für die Erlebenswahrscheinlichkeit a_1 ... 7
3.3.2 Lebensdauerbeiwert für Betriebsbedingungen a_{DIN} ... 7

4 Reibung von Wälzlagern ... 17

4.1 Reibungsmoment und Reibungszahl ... 17
4.2 Detaillierte Berechnung des Reibungsmomentes ... 19
4.3 Betriebstemperatur ... 23
4.3.1 Höhe der Betriebstemperatur ... 23
4.4 Temperaturdifferenz zwischen drehendem Innenring und Außenring ... 25
4.5 Grenzdrehzahl, Bezugsdrehzahl und zulässige Drehzahl ... 26
4.5.1 Grenzdrehzahl ... 26
4.5.2 Bezugsdrehzahl ... 26
4.5.3 Zulässige Drehzahl ... 27

5 Wahl des Schmierverfahrens [13], [17], [19], [21], [28], [29] ... 28

5.1 Ölschmierung ... 32
5.1.1 Ölwahl ... 33
5.1.2 Öleigenschaften ... 36
5.1.3 Ölwechsel, Ölalterung, Ölmenge ... 38
5.2 Fettschmierung [47] ... 39
5.2.1 Fettauswahl, Fettarten ... 40
5.2.2 Mischbarkeit ... 43
5.2.3 Fettmenge ... 43
5.2.5 Schmierfrist ... 47
5.2.6 Nachschmierung ... 48
5.3 Biologisch abbaubare Schmierstoffe ... 49
5.4 Feststoffschmierung [4], [6], [3], [20], [23], [24], [25], [26], [27] ... 50
5.4.1 Trockenschmierung ... 51
5.4.2 Festschmierstoffe in Suspensionen, Pasten, Fetten ... 52

6 Schmierung von Keramiklagern und Hybridlagern ... 53

7 Konstruktionshinweise [5], [6], [15], [10] ... 54

8 Reinigung, Ein- und Ausbau, Aufbewahrung ... 55

9 Schmierstoff-Verschmutzung ... 55

9.1 Feste Fremdstoffe ... 56
9.2 Flüssige Verunreinigungen ... 59
9.2.1 Einfluss von Flüssigkeiten in Ölen ... 59
9.2.2 Einfluss von Flüssigkeiten in Fetten ... 60

10 Überwachungsmöglichkeiten ... 61

11 Literaturhinweise ... 62

12 DIN-Normen ... 64

13 Umrechnung: Technisches Einheitensystem/SI-Einheiten ... 65

14 Bezeichnungen und Symbole ... 65

15 Bearbeitung des Arbeitsblattes 3 "Wälzlagerschmierung" ... 66

1 Vorwort

Dieses Arbeitsblatt soll die heute bekannten theoretischen und praktischen Erkenntnisse der Wälzlagerschmierung erläutern und die Anwender in der Konstruktion oder im Betrieb beratend unterstützen. Neben den bewährten Berechnungsverfahren zur betriebssicheren Auslegung von Wälzlagerungen sollen Konstruktions- und Wartungshinweise einen störungsfreien Betrieb im Sinne einer geplanten Instandhaltung gewährleisten. Zur Wälzlagerschmierung eignen sich Schmieröle, Schmierfette und Festschmierstoffe.

Die benötigten Schmierstoffmengen sind bei gleichen Betriebsbedingungen im Vergleich zum Gleitlager geringer. Voraussetzung ist jedoch, dass zu jeder Zeit, bei allen Betriebszuständen und an allen Funktionsflächen eine ausreichende Schmierstoffmenge vorhanden ist. Nur ein sorgfältig auf die Betriebsverhältnisse und die Lagerbauart abgestimmter sauberer Schmierstoff in Verbindung mit einer geeigneten Schmierstoff-Führung lässt eine lange Gebrauchsdauer erwarten.

Somit ist der Schmierstoff zu einem wichtigen Konstruktionselement geworden.

Auf Einzelheiten und Eigenschaften der verschiedenen Wälzlagerbauarten wurde nur so weit eingegangen wie erforderlich war. Hier sei auf die aktuellen Wälzlagerkataloge hingewiesen.

Dieses Arbeitsblatt wurde erstmals im November 1984 erstellt und herausgegeben, eine zweite, überarbeitete Fassung im Mai 1993. Die vorliegende Fassung entspricht dem heutigen Stand der Technik.

2 Grundlagen

Das Tribosystem „Wälzlager“ ist gekennzeichnet durch hochbelastete Wälzkontakte und im Normalfall nur gering belastete Gleitkontakte (Rollkörper/Käfig, Rollkörperstirnfläche/Bord, Rollkörper/Rollkörper, Käfig/Käfigführungsflächen). Seine Gebrauchsdauer hängt daher von Ermüdungsvorgängen, in manchen Fällen aber auch von Verschleißvorgängen (Mischreibung - Gleitverschleiß) ab. Beide Schadensarten werden ebenso wie die Reibungsverluste von der Schmierung beeinflusst.

Die Berechnung der nominellen Lebensdauer von Wälzlagern ist die Grundlage für die Überprüfung der gewählten Lagerart und Lagergröße (Dimensionierung). Sie erfolgt nach den bisher bekannten Gesetzmäßigkeiten der dynamischen Trägfähigkeit (siehe DIN ISO 281).

Bei der Lebensdauerberechnung wird eine von der Schmierstoffart und vom Schmierverfahren abhängige ausreichende Schmierfilmausbildung im Wälzkontakt vorausgesetzt. Diese wird vorrangig durch die EHD-Theorie beschrieben, das ist die Theorie der elastohydrodynamischen Schmierung. Inwieweit sich ein tragender EHD-Schmierfilm ausbildet, hängt von der Lagergröße, der Drehzahl, vornehmlich von der Betriebsviskosität des Schmierstoffes und von der Höhe der Belastung ab. Eine Mindestbelastung ist notwendig, um den Abrollvorgang im Lager sicherzustellen.

Durch die EHD-Theorie werden betriebsbedingte, zeitabhängige Veränderungen des Schmierstoffs sowie außergewöhnliche Betriebsbedingungen und Umweltbedingungen (Medien, Vakuum) nicht erfasst. Für das Langzeitverhalten eines Schmierstoffs sind andere Gesetzmäßigkeiten gültig.

3 Schmiertheorie und Einfluss des Schmierungszustandes auf die Lebensdauer
[1], [2], [12], [18], [30], [DIN ISO 281]

3.1 Allgemeines zur Schmierungstheorie

Die Lebensdauer von Wälzlagern wird durch den Schmierfilm beeinflusst. Der Schmierstoff und seine Eigenschaften, abgestimmt auf die Betriebsbedingungen, sowie die Makro- und Mikrogeometrie der Berührungsflächen bestimmen die Schmierfilmdicke. Die Trennung der Berührungsflächen wird angestrebt.

Ein direkter Vergleich der theoretischen Schmierfilmdicke mit der Rautiefe der Oberflächen kann zu einer falschen Bewertung des Schmierungszustandes führen. Die für einen verschleißfreien Betrieb bzw. die zur Trennung der Kontaktelemente notwendige Schmierfilmdicke hängt nicht nur von deren Oberflächenrauheit, sondern auch von der Profilform ab [40]. Wie Praxis und Versuch zeigten, reichen bereits wenige 0,1 µm als Schmierfilmdicke aus, siehe Bild 1.

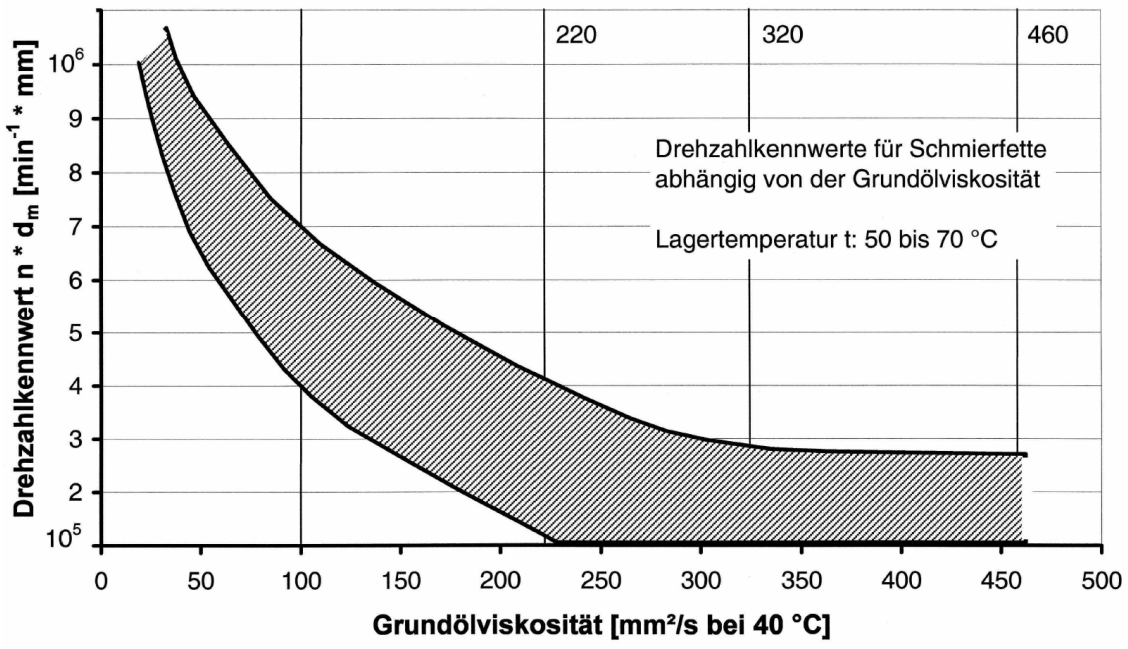


Bild 55: Drehzahlkennwerte $n \cdot d_m$ in $min^{-1} \cdot mm$ von Rillenkugellagern, abhängig von der Grundölviskosität [51]

5.2.2 Mischbarkeit

Die Mischbarkeit bzw. die Verträglichkeit von Schmierfetten ist besonders dann zu beachten, wenn beim Nachschmieren aus irgend welchen Gründen auf eine andere Fettsorte übergegangen wird.

Negative Auswirkungen bei der Mischung unterschiedlicher Fette sind durch sorgfältige Voruntersuchungen zu kontrollieren und zu vermeiden. Auch bei Fetten gleicher Verdickerbasis sowie gleicher Grundölart und Ölen ähnlicher Viskositätslage sind solche Kontrollen durchzuführen.

Werden Schmierfette mit unterschiedlichen Verdickern und/oder anderen Grundölen untereinander gemischt, so können unerwünschte Nebeneffekte auftreten wie Erweichung, Verhärtung, Eigenschaftsveränderung oder ungenügendes Benetzungsvermögen. Fettvermischungen sind aus diesen Gründen möglichst zu vermeiden. Die Effekte sind besonders groß beim Mischungsverhältnis 1:1.

Wenn trotzdem auf eine andere Fettsorte übergegangen wird, ist es sinnvoll, das Lager zu reinigen und neu zu befetten. Kann das zuvor eingesetzte Schmierfett nicht vollständig ersetzt werden, sollte in kürzeren Zeitabständen so lange nachgeschmiert werden, bis das ursprüngliche Schmierfett weitgehend durch neues Fett ersetzt ist. Das gelingt gut bei betriebswarmem und drehendem Lager.

5.2.3 Fettmenge

Beim Befüllen der Lager sind folgende Hinweise zu beachten:

- Lager so befüllen, dass alle Funktionsflächen befettet sind.
- Bei vorhandenem Gehäuseraum diesen nur so weit mit Fett füllen, dass das aus dem Lager verdrängte Fett noch gut Platz hat, um eine Umlaufteilnahme des Fettes zu vermeiden. Schließt an das Lager ein größerer und ungefüllter Gehäuseraum an, sollten Deck- oder Dichtscheiben sowie Stauscheiben dafür sorgen, dass eine angemessene Fettmenge (ähnlich der Menge, die für den normalen Füllungsgrad gewählt wird) in Lagernähe verbleibt.
- Schnell umlaufende Lager, beispielsweise Spindellager, sollten nur teilbefüllt werden (ca. 20 % des freien Raumes), um die Fettverteilung beim Anlauf der Lager zu erleichtern.
- Langsam laufende Lager ($n \cdot d_m < 50\,000\ min^{-1} \cdot mm$) und deren Gehäuse voll mit Fett füllen. Die auftretende Walkreibung ist vernachlässigbar. Wichtig ist, dass das eingebrachte Fett durch Dichtungen oder Stauscheiben im Lager oder in Lagernähe gehalten wird. Dieses Fett in Lager-