



Labyrinthdichtungen für Wälzlager

Dipl.-Ing. Günter Gerhart und Dipl.-Ing. Michael Kurz

INA-Sonderdruck
Oktober 1995



Labyrinthdichtungen für Wälzlager

Dipl.-Ing. Günter Gerhart und Dipl.-Ing. Michael Kurz

1. Einleitung

Bereits vor ca. 4000 Jahren verwendeten die Ägypter Hilfsmittel zum Transport von Lasten, um den Leistungsverlust durch Reibung zu reduzieren. Hierzu gehörten bereits einfache Schmierstoffe, wie Wasser, um die Kufengleitreibung zu verringern, später Gemische aus Olivenöl und Kalk um die hölzernen Wagenachsen zu schmieren.

Unter den Gesichtspunkten Energiekosten, Antriebsauslegung, Ökologie etc. gewinnt die Reibung eine immer größer werdende Bedeutung. Im Bereich der Wälzlagertechnik wird ein großer Teil der Reibung durch schleifende Dichtungen erzeugt. Eine Abdichtung der Lager ist jedoch erforderlich, um den

Austritt des Schmierstoffes und das Eindringen von Verunreinigungen und Feuchtigkeit zu verhindern. Je nach Anwendungsfall kommen unterschiedliche Formen von Dichtungen zum Tragen. In der Regel hat aber eine bessere Dichtwirkung auch ein Ansteigen des Reibmoments zur Folge. Im Bereich der Land- und Baumaschinen sind die Verschmutzungen derart, daß primär eine sehr gute Abdichtung gegen Staub erforderlich ist, und höhere Reibmomente eine untergeordnetere Rolle spielen. In vielen Anwendungsfällen genügt eine berührungslose Labyrinth-Dichtung den Anforderungen, welche im Gegensatz zu Lagern mit schleifender Abdichtung mit einem wesentlich geringeren Reibmoment aufwarten kann.

2. Reibung in Wälzlagern

Die Reibung in Wälzlagern ist verantwortlich für die Wärmeentwicklung und somit für die Betriebs- bzw. Schmierstofftemperatur. Das gesamte Reibmoment bei abgedichteten Lagern setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

$$M = M_0 + M_1 + M_3$$

M_0	Lagerreibmoment
M_1	Schmierstoffreibung
M_3	Rollreibung
	Dichtungsreibung

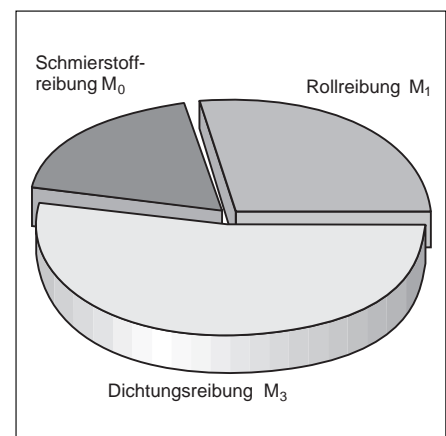


Bild 1 Aufteilung des Gesamtreibmomentes, berührende Dichtung – mittlere Belastung

Wegen der Vielzahl der Einflußfaktoren lassen sich die einzelnen Reibungsanteile nur näherungsweise und für konstante Betriebszustände bestimmen. Wesentliche Einflußfaktoren sind Lagerart, Betriebsdrehzahl, Belastung und Wärmeabfuhr.

Die lastunabhängige **Schmierstoffreibung M_0** eines Wälzlagers wird bestimmt durch die Viskosität und Menge des Schmierstoffes, sowie die Lagerbauart und Drehzahl. Insbesondere bei Schmierstoff-

	Fettart	kin. Viskos. bei 40 °C	DIN-Norm
①	Bariumkomplexseifenfett (Mineralölbasis)	220 mm ² · s ⁻¹	DIN 51 825-KP2N-20
②	Polyharnstoff (Esterölbasis)	160 mm ² · s ⁻¹	DIN 51 825-KPE2R-30
③	Lithiumseifenfett (Mineralölbasis)	68 mm ² · s ⁻¹	DIN 51 825-K3N-30
④	Lithiumseifenfett (Diesterölbasis)	15 mm ² · s ⁻¹	DIN 51 825-KE2K-50

Tabelle 1 Verschiedene Befettungsmöglichkeiten

überschuß und hohen Drehzahlen führt die Walkarbeit zum Ansteigen der Flüssigkeitsreibung. Bedingt durch die Betriebstemperatur ändert sich die kinematische Viskosität des Fette, was dazu führen kann, daß mit steigender Temperatur die Schmierstoffreibung abnimmt.

$$M_0 = f_0 \cdot (v \cdot n)^{2/3} \cdot d_M^3 \cdot 10^{-7} \quad [1]$$

falls $v \cdot n \geq 2000$

$$M_0 = f_0 \cdot 160 \cdot d_M^3 \cdot 10^{-7}$$

falls $v \cdot n < 2000$

M_0 [Nmm] Reibungsmoment, verursacht durch die Flüssigkeitsreibung

f_0 [-] Lagerbeiwert für drehzahlabhängiges Reibungsmoment

v [mm²/s] kinematische Viskosität des Schmierstoffes bei Betriebstemperatur

d_M [mm] mittlerer Lagerdurchmesser $\frac{1}{2} \cdot (d+D)$

n [min⁻¹] Drehzahl

Durch spezielle Fette ist es möglich die Gesamtreibung zu reduzieren. Eine Optimierung des Schmierfettes hinsichtlich Schmierstoffreibung ist jedoch nicht immer möglich, da weitere Kriterien, wie Temperaturbeständigkeit, Belastungsfähigkeit, etc., berücksichtigt werden müssen.

Diagramm 1 zeigt die Schmierstoffreibung verschiedener Fettarten bei jeweils gleichem Lagertyp. Um die Dichtungs- und Rollreibung auszuschließen, wurden die lastfreien Versuche mit berührungslosen Dichtungen durchgeführt. Die prozentuale Verteilung der Reibmomente wurde bis zur Grenzdrehzahl des Lagers aufgenommen.

Größe und Art der Belastung sind Einflußfaktoren für die **Roll- und Gleitreibung M_1** . In Wälzlagern kommt es beim Abrollen zu einer Dehnung der Laufbahn und zu einer Stauchung des Rollkörpers. Bedingt durch die Belastung entsteht in den Berührungspunkten der Wälzkörperlaufbahnen eine Druckellipse.

Durch die unterschiedlichen Abstände dieser Berührfläche zur Lagerachse, ist eine reine Wälzbewegung nicht mehr möglich. Es entstehen zusätzliche Gleitbewegungen. Weitere Gleitbewegungen können beispielsweise an den Berührungsflächen zwischen Rollkörper und Käfig auftreten. Diese Gleitreibungen sind bei gutem Schmierzustand jedoch gering.

Das lastabhängige Reibungsmoment wird nach folgender Beziehung bestimmt:

$$M_1 = f_1 \cdot P_1 \cdot d_M \quad [1], [2]$$

M_1 [Nmm] Reibungsmoment, verursacht durch die Rollreibung

f_1 [-] Lagerbeiwert für lastabhängiges Reibungsmoment

P_1 [N] maßgebende Belastung

d_M [mm] mittlerer Lagerdurchmesser $\frac{1}{2} \cdot (d+D)$

Bei Lagern mit schleifenden Dichtungen wird das Reibmoment bzw. die Erwärmung der Lagereinheit maßgeblich von der Bauart und Vorspannung der Dichtung bestimmt. Die **Dichtungsreibung M_3** kann gegebenenfalls für einige Dichtungstypen abgeschätzt werden. Weil eine exakte Berechnung aufgrund der vielfältigen Einflußgrößen nicht möglich ist, muß sie über Versuche ermittelt werden.

Je nach Anwendungsfall und Pflichtenheft werden auch an die Abdichtung unterschiedliche Anforderungen gestellt. Daher bietet INA dem Konstrukteur unterschiedliche Dichtungsbauformen.

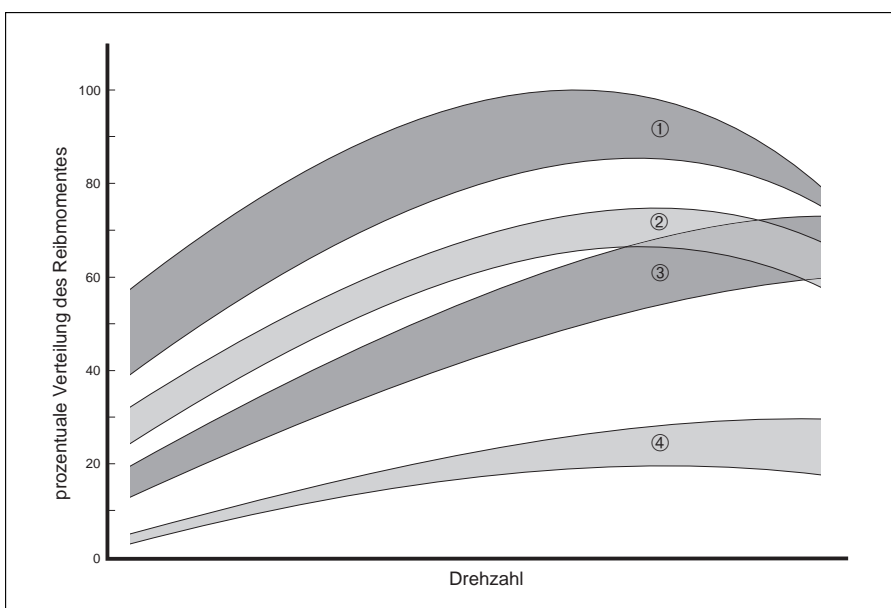


Diagramm 1 Reibmomentverteilung bei unterschiedlicher Befettung, siehe auch Tabelle 1

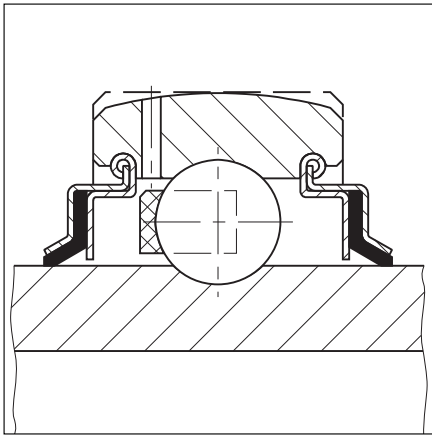


Bild 2 INA-R-Dichtung

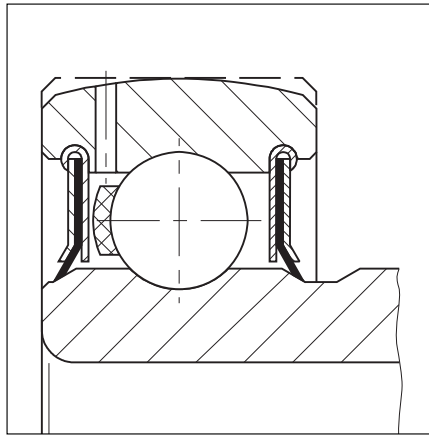


Bild 3 INA-P-Dichtung

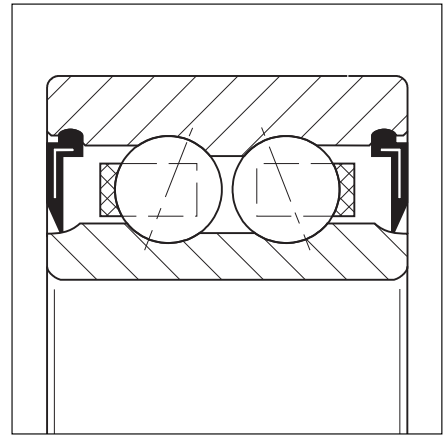


Bild 4 INA-RS-Dichtung

3. INA-Abdichtungen bei Wälzlagern

Prinzipiell wird zwischen schleifenden und nichtschleifenden Dichtungen unterschieden. Die geeignete Dichtungsform richtet sich nach dem jeweiligen Anwendungsfall und den damit verbundenen Umgebungseinflüssen.

Schleifende Dichtungen besitzen eine gute Dichtwirkung. Die Vorspannung der Dichtung beeinflusst jedoch stark das Gesamtdrehmoment des Lagers.

Die dreiteilige Ausführung der **INA-R-Dichtung** hat eine verzinkte Außen- und Innenkappe (Bild 2). Dazwischen liegt eine NBR-Dichtlippe, welche auf einer geschliffenen Schulter läuft.

Der Anpreßdruck der Dichtlippe ergibt sich aus der radialen Vorspannung.

Der Aufbau der **INA-P-Dichtung** ähnelt dem der R-Dichtung (Bild 3). Zwischen verzinkter Innen- und Außenkappe läuft eine radial und axial vorgespannte Dichtlippe in einem Dichtungseinstich.

Die **INA-RS-Dichtung** basiert auf dem gleichen Funktionsprinzip, wobei jedoch eine einteilige, vulkanisierte Dichtung verwendet wird (Bild 4).

Der Vorteil der R-Dichtung gegenüber der P- und RS-Dichtung liegt in dem für die Befettung zur Verfügung stehenden Raum. Hierdurch ist ein größeres Fettreservoir gegeben.

Die Dichtwirkung nichtschleifender Dichtungen beruht auf einem oder mehreren engen Spalten. Durch diese berührungslose Dichtungsform und den sich daraus ergebenden reibungsarmen Lauf ist die Wärmeentwicklung des Lagers deutlich geringer. Dadurch ergeben sich einmal höhere zulässige Drehzahlen, sowie längere Schmierintervalle bzw. es ist kein Nachschmieren erforderlich.

Die Dichtwirkung der **INA-Z-Deckscheibe** ist jedoch begrenzt und findet ihren Einsatz bei geringer Verschmutzung bzw. bei Einbausituationen, bei denen eine zusätzliche Abdichtung verwendet wird (Bild 5).

Eine wesentlich verbesserte Dichtwirkung bietet die dreiteilige **INA-Labyrinth-Dichtung** (Bild 6). Sie besteht aus einer äußeren und einer inneren Stahlblechscheibe, welche im Außenring fest verrollt sind. Dazwischen ist ein Winkelring aus Stahlblech berührungslos angeordnet, der auf den Innenring aufgepreßt ist. Alle Bauteile der L-Dichtung sind zur Verbesserung des Korrosionsschutzes allseitig verzinkt.

Durch die in axialer Richtung verbreiterte Dichtungsform wird der Fettraum vergrößert, wodurch sich längere Schmierintervalle ergeben (Bild 7).

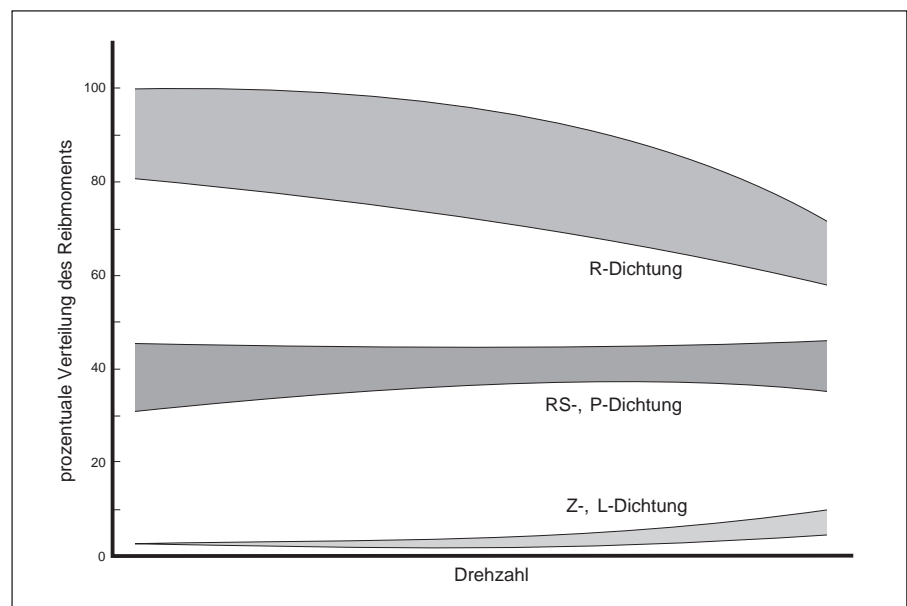


Diagramm 2 Lastfreies Reibmoment als Funktion der Drehzahl

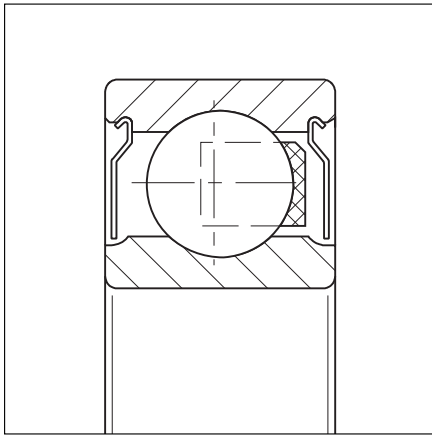


Bild 5 INA-Z-Dichtung

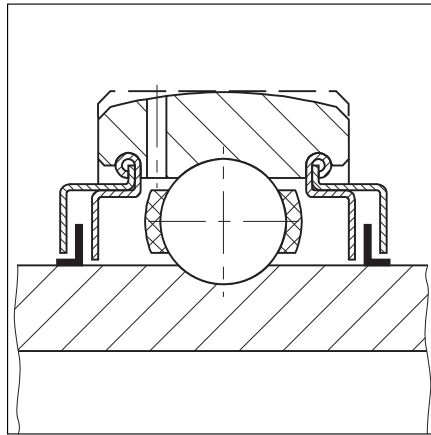


Bild 6 INA-Labyrinthdichtung



Bild 7 Textillager mit INA-Labyrinthdichtung

4. Vergleich der Reibmomente einzelner Dichtungsbauformen

Bei Lagern mit kleiner bis mittlerer Belastung haben die Reibungsverluste durch die Abdichtung den größten Anteil an der Gesamtreibung. Anhand von empirischen Versuchsreihen wurden die Unterschiede im Reibmoment der einzelnen Dichtungsformen ermittelt. Bei gleicher Lagerbaugröße und Befettung ist der Reibmomentenverlauf bei Betriebstemperatur über dem zulässige Drehzahlbereich dargestellt. Der Anteil der Rollreibung konnte unberücksichtigt bleiben, da die Lager lastfrei geprüft wurden. Um eine Aussage unabhängig von der Baugröße treffen zu können, sind keine absoluten Werte angegeben. Diagramm 2 zeigt eine prozentuale Verteilung der Reibmomente (Schmierstoffreibung und Dichtungsreibung) als Funktion der Drehzahl.

Die Reibmomentenverläufe von P- und RS-Dichtung, sowie von Z- und L-Dichtung sind aufgrund ihrer gleichen Wirkungsweise und Ergebnisse zu einem Bereich zusammengefaßt. Da bei der Z- und L-Dichtung keine Dichtungsreibung vorhanden ist, kann man das gemessene, lastfreie Reibmoment als reine Schmierstoffreibung interpretieren. Die Differenz zu den Reibwerten von P-, RS- und R-Dichtung ist der Reibungsanteil der schleifenden Dichtungen.

Der Abfall der R-Dichtung im höheren Drehzahlbereich ist u. a. dadurch zu erklären, daß durch die starke Erwärmung des Lagers die kinematische Viskosität des Fettes abnimmt sowie die Vorspannung des Dichtungswerkstoffes und somit auch die Gesamtreibung. Der Nachteil dieses Effektes ist jedoch, daß bei Betriebstemperaturen größer 70 °C die Fettgebrauchsdauer bei Standardfetten erheblich reduziert wird.

Den Einfluß der Dichtungsart auf die Lagerbeharrungstemperatur zeigt Diagramm 3.



Diagramm 3 Beharrungstemperatur als Funktion der Drehzahl

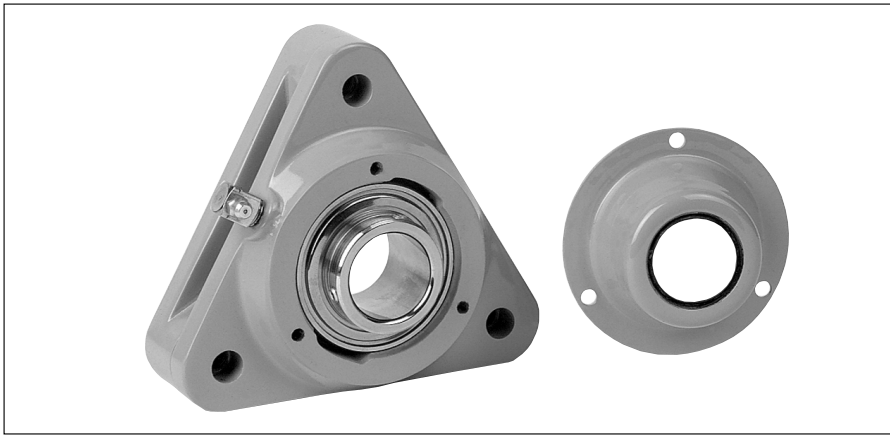


Bild 8 Sondergehäuseeinheit für den Textilbereich mit integrierter INA-Labyrinthdichtung

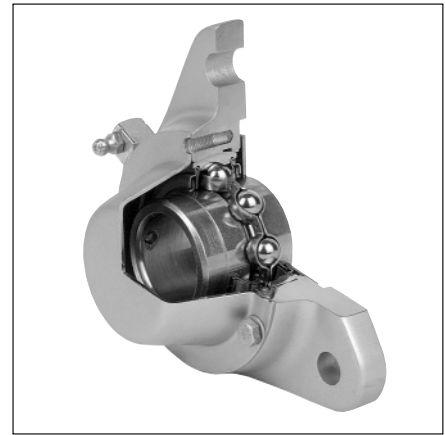


Bild 9 Textil-Leichtlauflagerung mit Spezialbefettung

5. Konsequenzen für den Anwendungsfall

Je nach Anwendungsfall kann die Einsparung von Antriebsenergie eine nicht unbedeutende Rolle spielen. Vor allem in Bereichen, wo Maschinen mit einer hohen Anzahl von Lagerstellen eingesetzt werden, kann man dies bereits konstruktiv bei der Dimensionierung der Antriebseinheit berücksichtigen. Ein kurzes Rechenbeispiel soll die Aussage von Diagramm 2 präzisieren:

Beispiel: INA-Spannlager GE 30 KLLH(B) (Bild 11) mit $d = 30 \text{ mm}$ unter radialer Belastung:

Lager:

$$\begin{aligned} C_0 &= 11\,300 \text{ N} \\ C &= 19\,500 \text{ N} \\ d_M &= 46 \text{ mm} \end{aligned}$$

Belastung:

$$\begin{aligned} n &= 500 \text{ min}^{-1} \\ P &= 1\,950 \text{ N} \\ C/P &= 10 \\ f_1 &= 0,0006 \cdot (P/C_0)^{1/2} = 2,49 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

Reibmomente:

Schmierstoffreibung:

$$M_0 = \text{aus Versuch}$$

Rollreibung:

$$\begin{aligned} M_1 &= f_1 \cdot P \cdot d_M = 2,49 \cdot 10^{-4} \cdot 1\,950 \cdot 46 \\ &= 22,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Dichtungsreibung:

$$M_3 = \text{aus Versuch}$$

Lager mit schleifender RS-Dichtung

$$\begin{aligned} M_0+M_3 &= 53,4 \text{ Nmm} \\ M_{\text{ges}} &= 75,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Lager mit berührungsloser Labyrinth-Dichtung

$$\begin{aligned} M_0+M_3 &= 2,5 \text{ Nmm} \\ M_{\text{ges}} &= 24,9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Einsparung} &= 50,9 \text{ Nmm/Lager} \\ &= 67,2 \% \end{aligned}$$

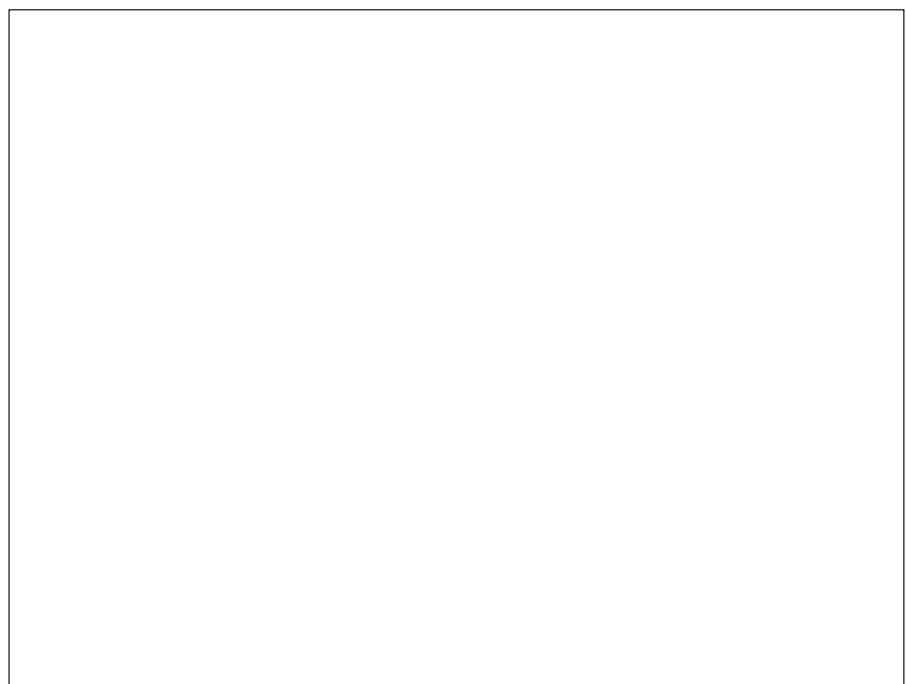


Bild 11 Papierleitwalzenlagerung

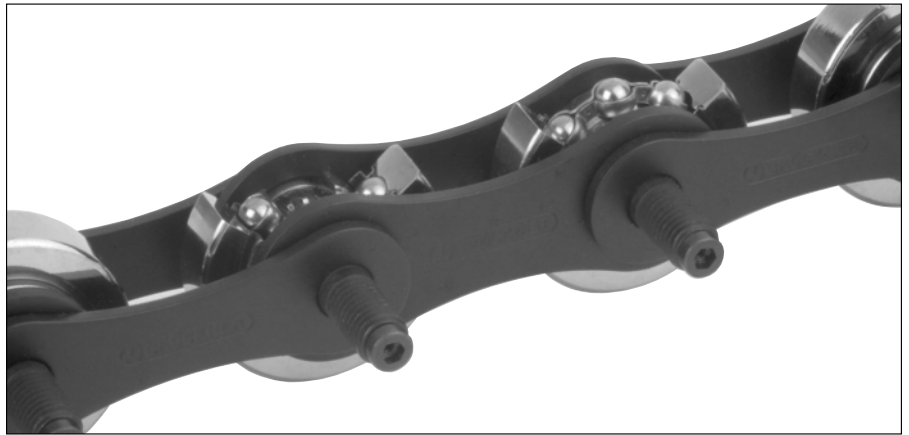


Bild 10 Textil-Kettenlagerung

6. Anwendungen für Lager mit Labyrinth-Dichtung

Vor allem im Bereich der Textil- und Papiermaschinen findet sich ein breites Anwendungsspektrum für Lager mit geringster Reibung, die sich hauptsächlich für den Einsatz in Leit-, Faltenleger- und Absatzwalzen eignen.

Insbesondere in der textilverarbeitenden Industrie bietet die INA-Labyrinth-Dichtung Vorteile gegenüber den übrigen Dichtungsarten. Bei Wälzlagern mit schleifender Dichtung oder 2 Z-Deckscheibe bildet sich zwischen Dichtlippe und Dichtungseinstich ein dünner Schmier-

film. An diesem Schmierfilm kommt es zum Anhaften von Stoffflusen. Diese Flusen entziehen, durch ihre 'Kapillarkapillarwirkung', dem Schmierstoff das Grundöl. Durch den konstruktiven Aufbau der Labyrinth-Dichtung ist ein Kontakt zwischen Flusen und Schmierfett ausgeschlossen. Den gleichen Vorteil bietet diese Dichtung beispielsweise bei Papierstaub. Ein Optimum stellt selbstverständlich die Kombination von Leichtlauf fett (siehe Diagramm 1) mit Labyrinthdichtungen dar (Bilder 8, 9 und 10).

Bei Maschinen mit einer großen Anzahl von Lagerstellen können durch geringste Reibung die Antriebsleistungen reduziert werden, wodurch Herstell- und Energiekosten eingespart werden können.

Literaturverzeichnis

[1] Eschmann, P., Hasbargen, L. und Weigand K.: Die Wälzlagerpraxis, R. Oldenbourg Verlag München-Wien, 1978

[2] Hauptkatalog D 515, INA Schaeffler Wälzlager Homburg/Saar, Ausgabe 1995

Autorenhinweis:

Dipl.-Ing. Günter Gerhart ist Leiter für Technik/Vertrieb

Dipl.-Ing. Michael Kurz ist Leiter für Anwendungstechnik

beschäftigt bei Firma Schaeffler Wälzlager oHG Homburg/Saar



Schaeffler Wälzlager oHG

Postfach 15 53
D-66406 Homburg (Saar)
Telefon (0 68 41) 7 01-0