

FAAG



Schmierung von Wälzlagern

Ein Unternehmen der
Schaeffler Gruppe

Schmierung von Wälzlagern

Publ.-Nr. WL 81 115/4 DA

Stand 2002

Inhalt

1	Der Schmierstoff im Wälzlager	3	5	Schäden durch mangelhafte Schmierung	52
1.1	Aufgaben der Schmierung bei Wälzlagern	3	5.1	Verunreinigungen im Schmierstoff	52
1.1.1	Unterschiedliche Schmierungszustände im Wälzlager	3	5.1.1	Feste Fremdstoffe	54
1.1.2	Der Schmierfilm bei Ölschmierung	4	5.1.2	Maßnahmen zur Verminderung der Konzentration von Fremdstoffen	54
1.1.3	Einfluß des Schmierfilms und der Sauberkeit auf die erreichbare Lagerlebensdauer	6	5.1.3	Ölfilter	54
1.1.4	Der Schmierfilm bei Fettschmierung	12	5.1.4	Flüssige Verunreinigungen	55
1.1.5	Schmierstoffschichten bei Trockenschmierung	13	5.2	Reinigung verschmutzter Lager	55
1.2	Berechnung des Reibungsmoments	14	5.3	Schadensverhütung und Schadensfrüherkennung durch Überwachung	56
1.3	Höhe der Betriebstemperatur	18			
2	Schmierverfahren	19	6	Glossar – Erläuterung schmiertechnischer Begriffe	57
2.1	Fettschmierung	19			
2.2	Ölschmierung	19			
2.3	Feststoffschmierung	19			
2.4	Wahl des Schmierverfahrens	19			
2.5	Beispiele zu unterschiedlichen Schmierverfahren	21			
2.5.1	Zentralschmieranlage	21			
2.5.2	Ölumlaufanlage	22			
2.5.3	Ölnebelanlage	22			
2.5.4	Öl-Luft-Schmieranlage	22			
2.5.5	Öl- und Fett-Sprühschmierung	24			
3	Auswahl des Schmierstoffs	24			
3.1	Auswahl des geeigneten Fettes	27			
3.1.1	Beanspruchung durch Drehzahl und Belastung	27			
3.1.2	Forderungen an die Laufeigenschaften	28			
3.1.3	Besondere Betriebsbedingungen und Umwelteinflüsse	28			
3.2	Auswahl des geeigneten Öles	30			
3.2.1	Empfohlene Ölviskosität	30			
3.2.2	Ölauswahl nach Betriebsbedingungen	31			
3.2.3	Ölauswahl nach Öleigenschaften	31			
3.3	Auswahl von Festschmierstoffen	33			
3.4	Biologisch schnell abbaubare Schmierstoffe	33			
4	Versorgung der Lager mit Schmierstoff	34			
4.1	Versorgung der Lager mit Fett	34			
4.1.1	Geräte	34			
4.1.2	Erstbefettung und Neubefettung	34			
4.1.3	Fettgebrauchsdauer	35			
4.1.4	Schmierfrist	35			
4.1.5	Nachschmierung, Nachschmierintervalle	36			
4.1.6	Beispiele zur Fettschmierung	40			
4.2	Versorgung der Lager mit Öl	43			
4.2.1	Geräte	43			
4.2.2	Tauchschrnierung	43			
4.2.3	Umlaufschmierung mit mittleren und größeren Ölmengen	44			
4.2.4	Minimalmengenschmierung	47			
4.2.5	Beispiele zur Ölschmierung	49			
4.3	Versorgung der Lager mit Festschmierstoff	52			

1 Der Schmierstoff im Wälzlager

1.1 Aufgaben der Schmierung bei Wälzlagern

Die Schmierung hat bei Wälzlagern – ähnlich wie bei Gleitlagern – vor allem die Aufgabe, eine metallische Berührung der Roll- und Gleitflächen zu verhindern oder zu mindern, also Reibung und Verschleiß gering zu halten.

Öl, das an den Oberflächen der aufeinander abrollenden Teile haftet, wird in die Kontaktbereiche der Wälzlager gefördert. Das Öl trennt die Berührungsflächen und verhindert so metallischen Kontakt («physikalische Schmierung»).

In den Kontaktflächen der Wälzlager treten außer Rollbewegungen auch noch Gleitbewegungen auf, allerdings in viel geringerem Ausmaß als bei Gleitlagern. Diese Gleitbewegungen haben ihre Ursache in elastischen Verformungen der aufeinander abrollenden Teile und in der gekrümmten Form von Rollflächen.

Wo in Wälzlagern reine Gleitbewegungen auftreten, also zwischen Rollkörpern und Käfig oder zwischen Rollenstirn- und Bordflächen, sind die Drücke in der Regel weit niedriger als im Rollbereich. Gleitbewegungen spielen in Wälzlagern nur eine untergeordnete Rolle. Selbst bei ungünstigen Schmierbedingungen sind die Verlustleistung und der Verschleiß sehr gering. Dadurch ist es möglich, Wälzlager mit Fetten unterschiedlicher Penetrationsklasse und mit Ölen unterschiedlicher Viskosität zu schmieren. So kann ein großer Drehzahlbereich und auch ein großer Belastungsbereich beherrscht werden.

Manchmal bildet sich kein voll tragender Schmierfilm aus, so daß zumindest in Teilbereichen die Trennung durch den Schmierfilm nicht gegeben ist. Auch in solchen Fällen ist verschleißarmer Betrieb möglich, wenn die dabei lokal auftretende hohe Temperatur chemische Reaktionen zwischen den Additiven im Schmierstoff und den Oberflächen der Rollkörper oder Lagerringe auslöst. Die dabei entstehenden tribomechanischen Reaktionschichten stellen schmierfähige Produkte

dar, man spricht in diesem Fall von »chemischer Schmierung«.

Die Schmierung wird nicht nur durch solche Reaktionen der Additive unterstützt, sondern auch durch Festschmierstoffe, die dem Öl oder Fett beigegeben sind, bei Fett auch durch den Verdicker. In Sonderfällen ist es möglich, Wälzlager nur mit Feststoff zu schmieren.

Zusätzliche Aufgaben des Schmierstoffs im Wälzlager sind der Korrosionsschutz, die Abfuhr von Wärme aus dem Lager (Ölschmierung), das Ausspülen von Verschleißteilchen und Verunreinigungen aus dem Lager (Ölumlauftschmierung mit Ölfilterung), die Unterstützung der Dichtwirkung von Lagerdichtungen (Fettkragen, Öl-Luft-Schmierung).

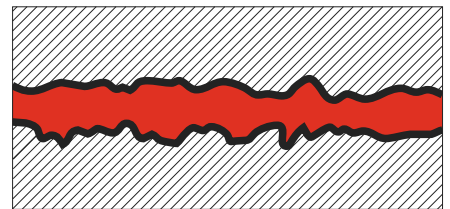
1.1.1 Unterschiedliche Schmierzustände im Wälzlager

Das Reibungs- und Verschleißverhalten und die erreichbare Lebensdauer des Wälzlagers hängen vom Schmierzustand ab. Im Wälzlager treten hauptsächlich folgende Schmierzustände auf:

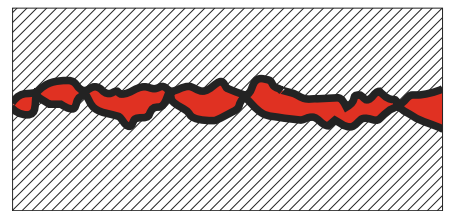
- Vollschmierung: Die Oberflächen der relativ zueinander bewegten Flächen sind ganz oder nahezu vollständig durch einen Schmierfilm getrennt (Bild 1a). Es herrscht fast reine Flüssigkeitsreibung. Dieser Schmierzustand, den man auch als Flüssigkeitsschmierung bezeichnet, sollte für den Dauerbetrieb stets angestrebt werden.
- Teilschmierung: Aufgrund zu geringer Schmierfilmdicke kommt es in Teilbereichen zu Festkörperkontakten (Bild 1b). Es tritt Mischreibung auf.
- Grenzschmierung: Enthält der Schmierstoff geeignete Zusätze (Additive), so kommt es bei den hohen Drücken und Temperaturen in den Festkörperkontakten zu Reaktionen zwischen den Zusätzen und den metallischen Oberflächen. Hierbei bilden sich schmierfähige Reaktionsprodukte, die eine dünne Grenzschicht entstehen lassen (Bild 1c).

Vollschmierung, Teilschmierung und Grenzschmierung treten sowohl bei Ölschmierung als auch bei Fettschmierung auf. Der Schmierzustand bei Fettschmierung wird hauptsächlich von der Viskosität des Grundöls bestimmt. Zusätzlich hat auch der Verdicker des Fettes eine Schmierwirkung.

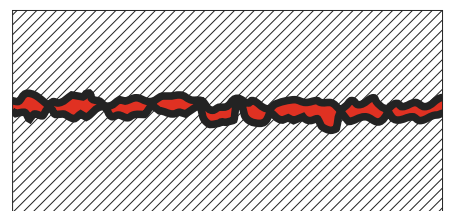
1: Unterschiedliche Schmierzustände



a) Vollschmierung
Die Oberflächen werden durch einen tragenden Ölfilm völlig getrennt



b) Teilschmierung
Sowohl der tragende Ölfilm als auch der Grenzfilm sind von Bedeutung



c) Grenzschmierung
Das Verhalten hängt in erster Linie von den Eigenschaften des Grenzfilms ab

■ Grenzfilm ■ Schmierstoffschicht

Der Schmierstoff im Wälzlager

Aufgaben der Schmierung bei Wälzlagern

– Trockenschmierung: Festschmierstoffe (z. B. Graphit und Molybdädisulfid), die als dünne Schicht auf den Funktionsflächen aufgebracht sind, können den metallischen Kontakt verhindern. Eine solche Schicht haftet allerdings nur bei geringen Umfangsgeschwindigkeiten und kleinen Drücken über längere Zeit. Auch Festschmierstoffe in Ölen oder Fetten verbessern die Schmierung bei Festkörperkontakten.

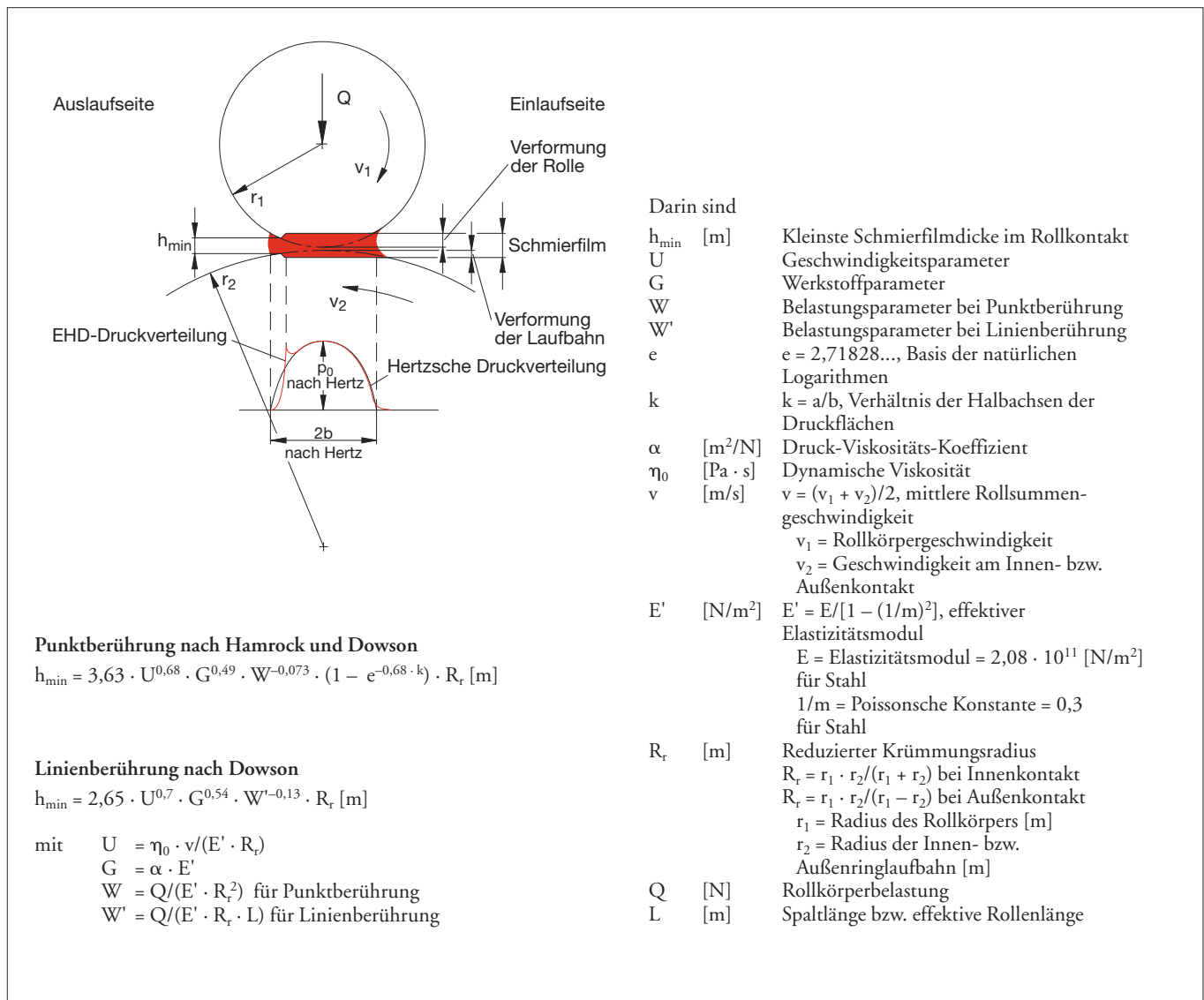
1.1.2 Der Schmierfilm bei Ölschmierung

Bei der Beurteilung des Schmierzustands wird von der Schmierfilmbildung zwischen den lastübertragenden Roll- und Gleitflächen ausgegangen. Der Schmierfilm zwischen den Rollflächen lässt sich mit Hilfe der Theorie der elastohydrodynamischen Schmierung (EHD-Schmierung) beschreiben. Die Schmier-

verhältnisse im Gleitkontakt, beispielsweise zwischen Rollenstirn und Bord von Kegelrollenlagern, werden dagegen durch die Theorie der hydrodynamischen Schmierung ausreichend wiedergegeben, denn in den Gleitkontakten treten kleinere Drücke auf als in den Rollkontakten.

Die minimale Schmierfilmdicke h_{\min} für EHD-Schmierung errechnet sich nach den in Bild 2 angegebenen Gleichungen für Punktberührung und für

2: Elastohydrodynamischer Schmierfilm. Schmierfilmdicke für Punkt- und Linienberührung



Linienberührung. Bei Punktberührung ist das seitliche Abfließen des Öles aus dem Spalt berücksichtigt. Die Gleichung zeigt den großen Einfluß der Rollgeschwindigkeit v , der dynamischen Viskosität η_0 und des Druck-Viskositäts-Koeffizienten α auf h_{\min} . Von geringem Einfluß ist die Belastung Q . Das liegt daran, daß mit zunehmender Belastung die Viskosität steigt und sich die Berührungsflächen aufgrund elastischer Verformungen vergrößern.

Anhand der errechneten Schmierfilmdicke kann man prüfen, ob sich unter den gegebenen Bedingungen ein ausreichend starker Schmierfilm ausbildet. Im allgemeinen sollte die minimale Dicke des Schmierfilms ein Zehntel bis einige Zehntel Mikrometer betragen. Unter günstigen Umständen werden mehrere Mikrometer erreicht.

Die Viskosität des Schmieröls ändert

sich mit dem Druck im Wälzkontakt.

Es gilt

$$\eta = \eta_0 \cdot e^{\alpha p}$$

η dynamische Viskosität bei Druck p [Pa s]

η_0 dynamische Viskosität bei Normaldruck [Pa s]

e (= 2,71828) Basis der natürlichen Logarithmen

α Druck-Viskositäts-Koeffizient [m^2/N]

p Druck [N/m^2]

Die Abhängigkeit vom Druck ist bei der Berechnung des Schmierzustands gemäß der EHD-Theorie für Schmierstoffe auf Mineralölbasis berücksichtigt. Das Druck-Viskositätsverhalten einiger Schmierstoffe zeigt das Diagramm, Bild 3. Der Bereich a-b für Mineralöle ist die Basis für das a_{23} -Diagramm, Bild 7 (Seite 7). Auch Mineralöle mit EP-Zusätzen zeigen α -Werte in diesem Bereich.

Bei erheblichem Einfluß des Druck-Viskositäts-Koeffizienten auf das Viskositätsverhältnis, z. B. bei Diester, Fluorkohlenwasserstoff oder Silikonöl, sind für das Viskositätsverhältnis κ die Korrekturfaktoren B_1 und B_2 zu berücksichtigen.

Es gilt

$$\kappa_{B_{1,2}} = \kappa \cdot B_1 \cdot B_2$$

κ Viskositätsverhältnis bei Mineralöl (siehe Abschnitt 1.1.3)

B_1 Korrekturfaktor für Druck-Viskositätsverhalten

$$= \alpha_{\text{Syntheseöl}} / \alpha_{\text{Mineralöl}}$$

(Werte für α siehe Bild 3)

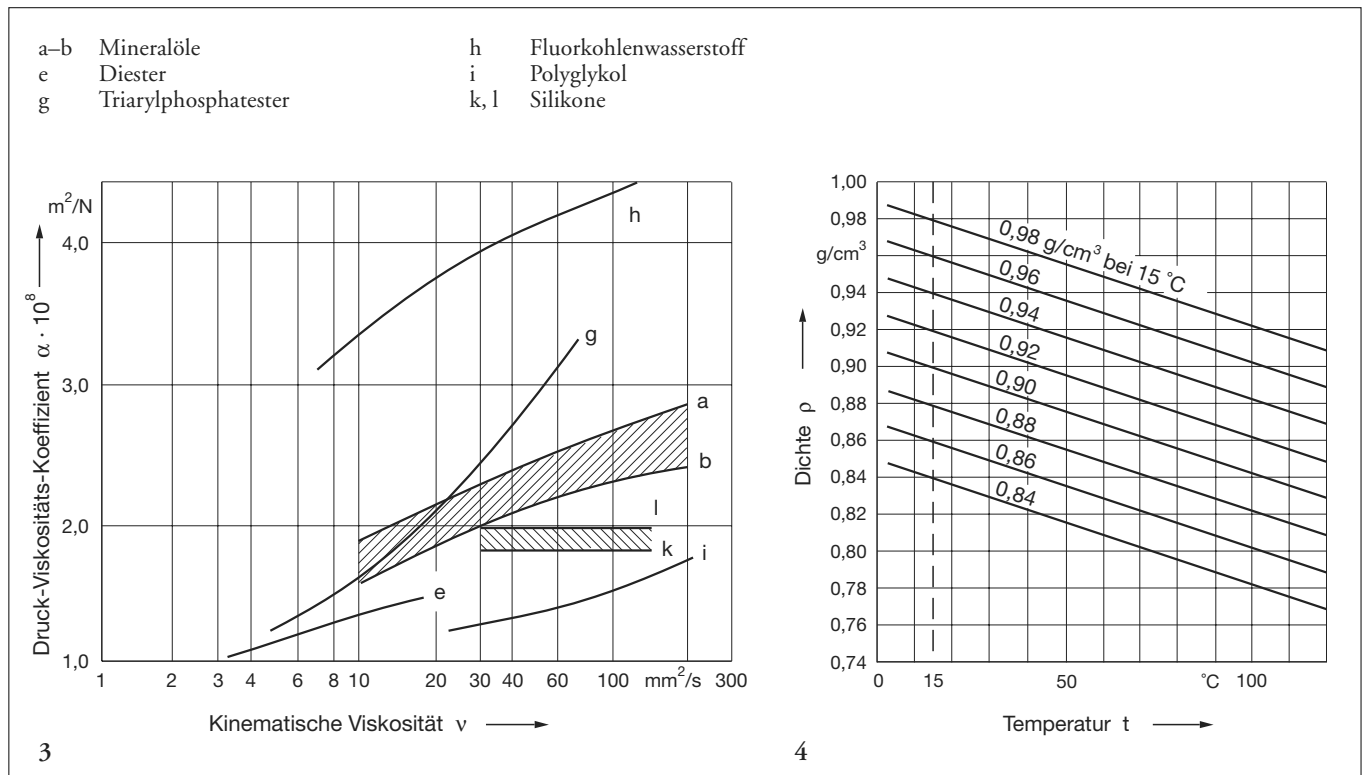
B_2 Korrekturfaktor für unterschiedliche Dichte

$$= \rho_{\text{Syntheseöl}} / \rho_{\text{Mineralöl}}$$

Das Diagramm, Bild 4, zeigt den Verlauf der Dichte ρ über der Temperatur für Mineralöle. Der Verlauf für ein Syntheseöl kann abgeschätzt werden, wenn die Dichte ρ bei 15 °C bekannt ist.

3: Druck-Viskositäts-Koeffizient α als Funktion der kinematischen Viskosität ν , gültig für Druckbereich 0 bis 2000 bar

4: Abhängigkeit der Dichte ρ der Mineralöle von der Temperatur t



Der Schmierstoff im Wälzlager

Aufgaben der Schmierung bei Wälzlagern

1.1.3 Einfluß des Schmierfilms und der Sauberkeit auf die erreichbare Lagerlebensdauer

Seit den 60er Jahren erkannte man aus Versuchen und Praxis immer deutlicher, daß bei einem trennenden Schmierfilm ohne Verunreinigungen in den Kontakten Rollkörper/Laufbahn die Lebensdauer eines mäßig belasteten Lagers wesentlich länger ist als die nach der klassischen Lebensdauergleichung $L = (C/P)^P$ ermittelte. 1981 wies FAG als erster Lagerhersteller die Dauerfestigkeit der Wälzlager nach. Aus diesen Erkenntnissen, internationalen Normempfehlungen und praktischen Erfahrungen wurde ein verfeinertes Verfahren zur Berechnung der erreichbaren Lebensdauer entwickelt.

Bedingungen für die Dauerfestigkeit sind:

- vollständige Trennung der Rollkontakte durch den Schmierfilm ($\kappa \geq 4$)
 - höchste Sauberkeit im Schmierpalt entsprechend $V = 0,3$
 - Belastungskennzahl $f_{s^*} \geq 8$.
- $f_{s^*} = C_0/P_{0^*}$
 C_0 statische Tragzahl [kN] siehe FAG-Katalog
 P_{0^*} äquivalente Lagerbelastung [kN], ermittelt aus
 $P_{0^*} = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a$ [kN] wobei X_0 und Y_0 Faktoren aus FAG-Katalog und
 F_r dynamische Radialkraft [kN]
 F_a dynamische Axialkraft [kN]

Erreichbare Lebensdauer nach FAG

$$L_{na} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L \text{ [} 10^6 \text{ Umdrehungen]} \text{ oder}$$

$$L_{hna} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_h \text{ [h]}$$

Der Faktor a_1 ist 1 für die übliche Ausfallwahrscheinlichkeit von 10 %.

Der Faktor a_{23} (Produkt aus Basiswert a_{23II} und Sauberkeitsfaktor s , siehe unten) erfaßt die Einflüsse von Werkstoff und Betriebsbedingungen, also auch die der Schmierung und der Sauberkeit im Schmierpalt, auf die erreichbare Lebensdauer.

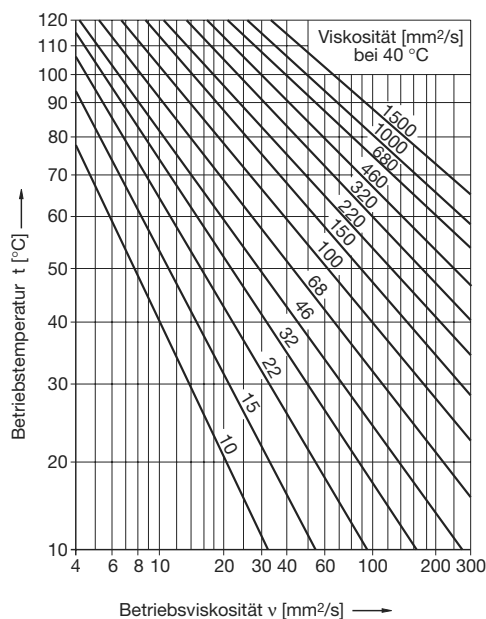
Der **nominellen Lebensdauer L** (DIN ISO 281) liegt das Viskositätsverhältnis $\kappa = 1$ zugrunde.

Das **Viskositätsverhältnis** $\kappa = \nu/\nu_1$ wird als Maß für die Schmierfilmbildung zur Bestimmung des Basiswerts a_{23II} (Diagramm, Bild 7) verwendet.

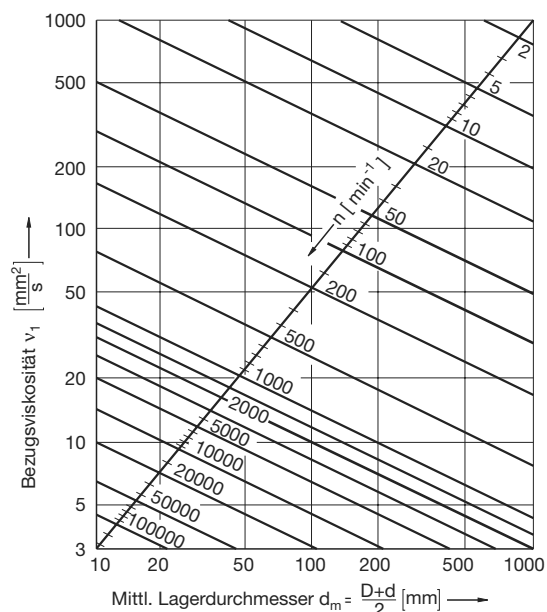
Darin sind ν die Viskosität des Schmieröls oder des Grundöls des verwendeten Fettes bei Betriebstemperatur (Diagramm, Bild 5) und ν_1 eine von der Lagergröße (mittlerer Durchmesser d_m) und der Drehzahl n abhängige **Bezugsviskosität** (Diagramm, Bild 6).

5: Viskositäts-Temperatur-Diagramm für Mineralöle

6: Bezugsviskosität ν_1 in Abhängigkeit von Lagergröße und Drehzahl; D = Lageraußendurchmesser, d = Bohrungsdurchmesser



5



6

Aus der Gleichung für die erreichbare Lebensdauer L_{na} und aus dem Diagramm, Bild 7, geht hervor, wie sich eine von der Bezugsviskosität abweichende Betriebsviskosität auf die erreichbare Lebensdauer auswirkt. Bei einem Viskositätsverhältnis $\kappa > 2$ bis 4 bildet sich zwischen den Kontaktflächen ein voll tragender Schmierfilm aus. Je weiter κ unter diesen Werten liegt, desto größer ist der Mischreibungsanteil und desto wichtiger die Schmierstoffadditivierung.

Die **Betriebsviskosität** ν des verwendeten Öles oder des Grundöls des verwendeten Fettes, also dessen kinematische Viskosität bei Betriebstemperatur, ist in den Datenblättern der Öl- bzw. Fetthersteller angegeben. Wenn die Vis-

kosität nur bei 40 °C bekannt ist, kann für Mineralöle mit durchschnittlichem Viskositäts-Temperatur-Verhalten die Viskosität bei Betriebstemperatur aus dem Diagramm, Bild 5, ermittelt werden.

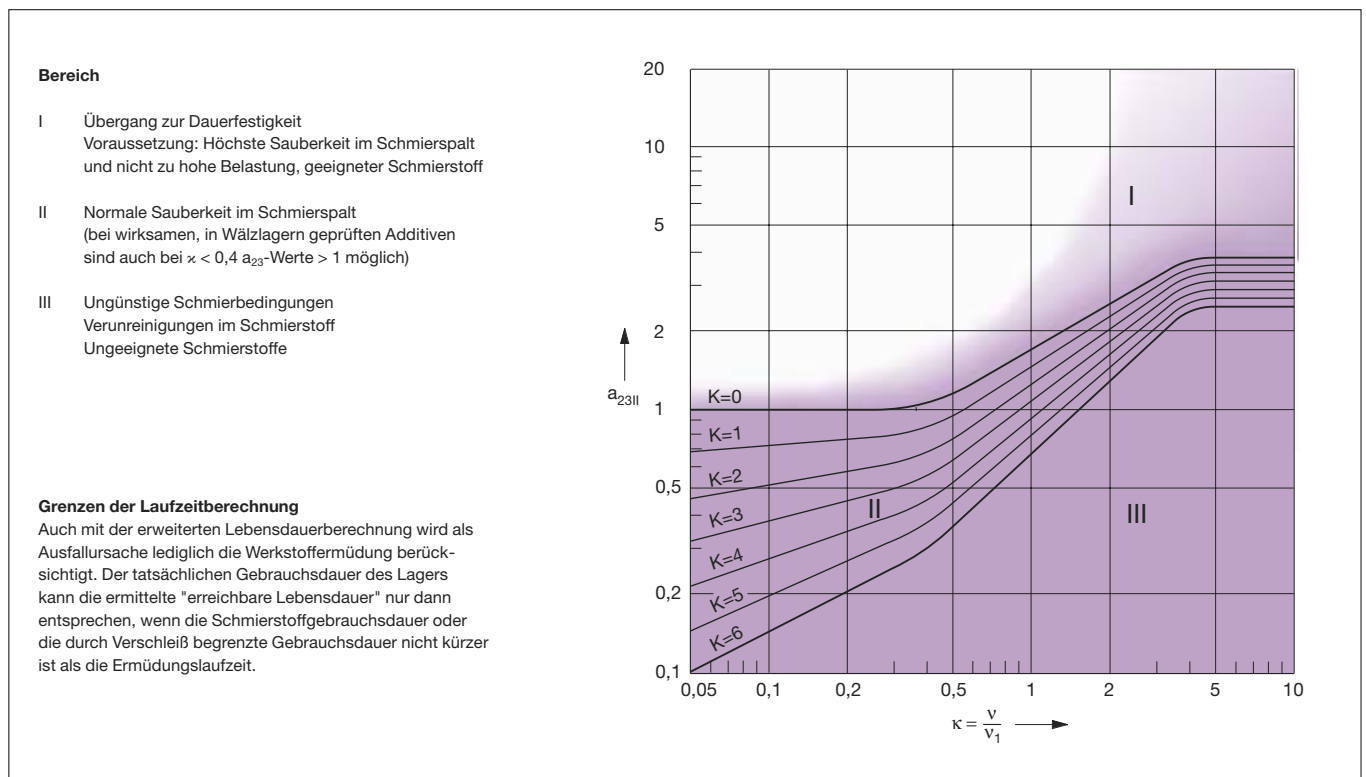
Die Betriebstemperatur zur Ermittlung von ν hängt von der erzeugten Reibungswärme ab, vgl. Abschnitt 1.2. Liegen keine Temperaturmeßwerte vergleichbarer Einbaustellen vor, kann man die Betriebstemperatur mittels einer Wärmebilanzrechnung abschätzen, siehe Abschnitt 1.3.

Als Betriebstemperatur ist durch Messen nur die Temperatur des nicht rotierenden Ringes und nicht die wirkliche Temperatur der Oberflächen des beanspruchten Kontaktbereichs bekannt. Bei

kinematisch günstigen Lagern (Kugellager, Zylinderrollenlager) kann man die Viskosität näherungsweise mit der Temperatur des nicht rotierenden Ringes bestimmen. Bei Fremderwärmung wird die Viskosität mit dem Mittelwert der Temperaturen der Lagerringe bestimmt.

Bei hochbelasteten Lagern und bei Lagern mit größeren Gleitanteilen (z. B. bei vollrolligen Zylinderrollenlagern, Pendelrollenlagern und axial belasteten Zylinderrollenlagern) ist die Temperatur im Kontaktbereich bis 20 K höher als die meßbare Betriebstemperatur. Das läßt sich in etwa ausgleichen, indem man nur den halben Wert ν der aus dem Diagramm abgelesenen Betriebsviskosität in die Formel $\kappa = \nu/\nu_1$ einsetzt.

7: Basiswert a_{23II} zur Ermittlung des Faktors a_{23}



Der Schmierstoff im Wälzlager

Aufgaben der Schmierung bei Wälzlagern

Zur Ermittlung des Basiswerts a_{23II} im Diagramm, Bild 7, benötigt man die Bestimmungsgröße $K = K_1 + K_2$.

Den Wert K_1 kann man dem Diagramm, Bild 8, in Abhängigkeit von der Lagerbauart und der Belastungskennzahl f_{s^*} entnehmen.

K_2 hängt ab vom Viskositätsverhältnis κ und von der Kennzahl f_{s^*} . Die Werte des Diagramms, Bild 9, gelten für nicht additivierte Schmierstoffe und für Schmierstoffe mit Additiven, deren be-

sondere Wirksamkeit in Wälzlagern nicht geprüft wurde.

Bei $K = 0$ bis 6 liegt a_{23II} auf einer der Kurven im Bereich II des Diagramms, Bild 7.

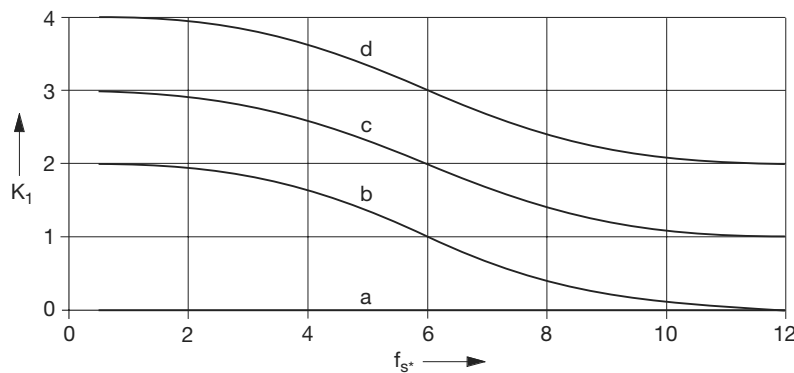
Bei $K > 6$ kann nur ein Faktor a_{23} im Bereich III erwartet werden. Man sollte in diesem Fall durch eine Verbesserung der Verhältnisse einen kleineren Wert K und damit den definierten Bereich II anstreben.

Anmerkung zu Additiven:

Sind die Oberflächen nicht vollständig durch einen Schmierfilm getrennt, sollten die Schmierstoffe zusätzlich zu Wirkstoffen für die Erhöhung des Korrosionsschutzes und der Alterungsbeständigkeit auch geeignete Additive zur Verschleißminderung und zur Erhöhung der Belastbarkeit enthalten. Dies gilt insbesondere bei $\kappa \leq 0,4$, weil dann der Verschleiß dominiert.

8: Bestimmungsgröße K_1 in Abhängigkeit von der Kennzahl f_{s^*} und der Lagerbauart

9: Bestimmungsgröße K_2 in Abhängigkeit von der Kennzahl f_{s^*} für nicht additivierte Schmierstoffe und für Schmierstoffe mit Additiven, deren Wirksamkeit in Wälzlagern nicht geprüft wurde



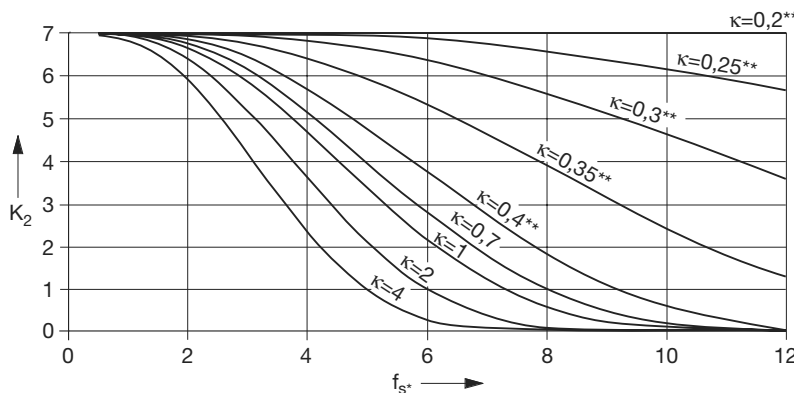
- a Kugellager
- b Kegelrollenlager
Zylinderrollenlager
- c Pendelrollenlager
Axial-Pendelrollenlager³⁾
Axial-Zylinderrollenlager^{1), 3)}
- d vollrollige Zylinderrollenlager^{1), 2)}

1) Nur in Verbindung mit Feinfiltration des Schmierstoffs entsprechend $V < 1$ erreichbar, sonst $K_1 \geq 6$ annehmen.

2) Beachte bei der Bestimmung von v : Die Reibung ist mindestens doppelt so hoch wie bei Lagern mit Käfigen. Das führt zu höherer Lagertemperatur.

3) Mindestbelastung beachten.

8



K_2 wird gleich 0 bei Schmierstoffen mit Additiven, für die ein entsprechender positiver Nachweis vorliegt.

** Bei $\kappa \leq 0,4$ dominiert der Verschleiß im Lager, wenn er nicht durch geeignete Additive unterbunden wird.

9

Die Additive in den Schmierstoffen reagieren mit den metallischen Oberflächen des Lagers und bilden trennende Reaktionsschichten, die bei voller Wirksamkeit als Ersatz für die fehlende Ölfilmtrennung dienen. Generell sollte jedoch zunächst eine Trennung durch einen ausreichend tragenden Ölfilm angestrebt werden.

Sauberkeitsfaktor s

Der Sauberkeitsfaktor s quantifiziert den Einfluß der Verschmutzung auf die Lebensdauer. Zur Ermittlung von s benötigt man die Verunreinigungsgröße V .

Für "normale Sauberkeit" ($V = 1$) gilt immer $s = 1$, d. h. $a_{23II} = a_{23}$.

Bei "erhöhter Sauberkeit" ($V = 0,5$) und "höchster Sauberkeit" ($V = 0,3$)

erhält man, ausgehend vom f_s -Wert und in Abhängigkeit vom Viskositätsverhältnis κ , über das rechte Feld (a) des Diagramms, Bild 10, einen Sauberkeitsfaktor $s \geq 1$.

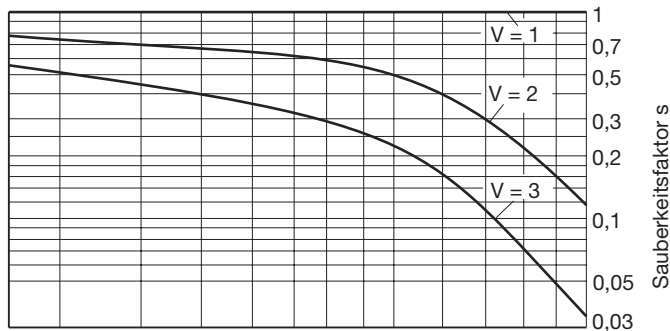
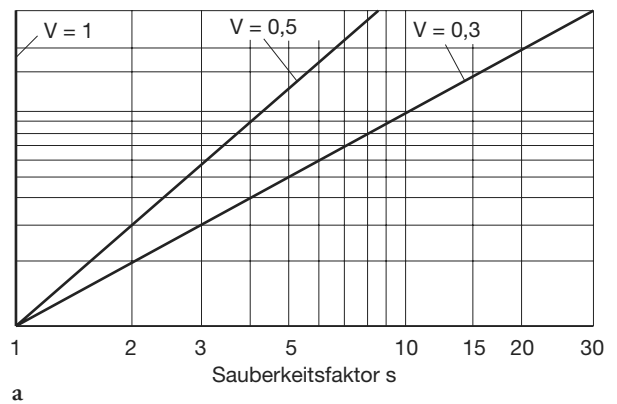
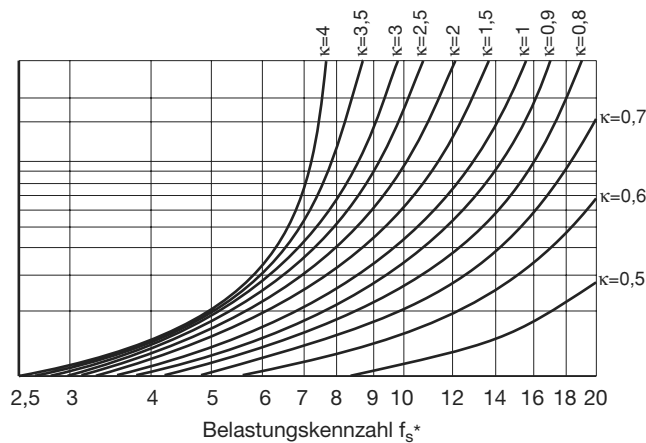
Bei $\kappa \leq 0,4$ gilt $s = 1$.

Bei $V = 2$ (mäßig verunreinigter Schmierstoff) und $V = 3$ (stark verunreinigter Schmierstoff) ergibt sich s aus dem Bereich b des Diagramms, Bild 10.

10: Diagramm zum Bestimmen des Sauberkeitsfaktors s

a Diagramm für erhöhte ($V = 0,5$) bis höchste ($V = 0,3$) Sauberkeit

b Diagramm für mäßig verunreinigten Schmierstoff ($V = 2$) und stark verunreinigten Schmierstoff ($V = 3$)



Ein Sauberkeitsfaktor $s > 1$ ist für vollrollige Lager nur erreichbar, wenn durch hochviskosen Schmierstoff und äußerste Sauberkeit (Ölreinheit nach ISO 4406 mindestens 11/7) Verschleiß in den Kontakten Rolle/Rolle ausgeschlossen ist.

Der Schmierstoff im Wälzlager

Aufgaben der Schmierung bei Wälzlagern

Verunreinigungskenngröße V

Die Verunreinigungskenngröße V hängt ab vom Lagerquerschnitt, von der Berührungsart im Rollkontakt und von der Ölreinheitsklasse, Tabelle, Bild 11.

Werden im höchstbeanspruchten Kontaktbereich eines Wälzlagers harte Partikel ab einer bestimmten Größe überrollt, führen Eindrücke in den Rollkontaktflächen zu vorzeitiger Werkstoffermüdung. Je kleiner die Kontaktfläche, desto schädlicher ist die Wirkung einer bestimmten Partikelgröße. Kleine Lager reagieren also bei gleichem Verschmutzungsgrad empfindlicher als große und Lager mit Punktberührung (Kugellager) empfindlicher als solche mit Linienberührung (Rollenlager).

Die erforderliche Ölreinheitsklasse nach ISO 4406 (Bild 12) ist eine objektiv meßbare Größe für den Grad der Verschmutzung eines Schmierstoffs. Zu ihrer Bestimmung benutzt man die genormte Partikel-Zählmethode.

Dabei wird die Anzahl aller Partikel $> 5 \mu\text{m}$ und die aller Partikel $> 15 \mu\text{m}$ einer bestimmten ISO-Ölreinheitsklasse zugeordnet. So bedeutet eine Ölreinheit 15/12 nach ISO 4406, daß je 100 ml Flüssigkeit zwischen 16000 und 32000 Partikel $> 5 \mu\text{m}$ und zwischen 2000 und 4000 Partikel $> 15 \mu\text{m}$ vorhanden sind. Der Unterschied von einer Klasse zur nächsten besteht in einer Verdoppelung bzw. Halbierung der Partikelzahl.

Insbesondere Partikel mit einer Härte $> 50 \text{ HRC}$ wirken sich lebensdauermindernd im Wälzlager aus. Dies sind Teilchen aus gehärtetem Stahl, Sand und Schleifmittelrückstände. Vor allem letztere sind extrem schädlich, vgl. Bild 65.

Liegt – wie in vielen Anwendungsfällen – der überwiegende Anteil der vorhandenen Fremdstoffe im lebensdauermindernden Härtebereich, kann die mit einem Partikelzähler ermittelte Reinheitsklasse direkt mit den Werten der Tabelle, Bild 11, verglichen werden. Stellt sich jedoch bei der Untersuchung des Filterrückstands nach der Partikelzählung heraus, daß es sich z.B. nahezu ausschließlich um mineralische Verschmutzung wie besonders lebensdauermindernden Formsand oder Schleifkörner handelt, sind die

Meßwerte um eine bis zwei Reinheitsklassen zu erhöhen, bevor die Verunreinigungskenngröße V ermittelt wird. Umgekehrt sollte, wenn vorwiegend weiche Teilchen wie Holz, Fasern oder Farbe im Schmierstoff nachgewiesen werden, der Meßwert des Partikelzählers entsprechend verringert werden.

Um die geforderte Ölreinheit zu erzielen, sollte eine bestimmte Filterrückhalterate β_x vorhanden sein (vgl. Abschnitt 5.1.3). Bei Verwendung eines solchen Filters kann jedoch nicht automatisch auf eine Ölreinheitsklasse geschlossen werden.

Abstufung der Verunreinigungskenngröße

Normale Sauberkeit ($V = 1$) wird für häufig vorkommende Bedingungen angenommen:

- gute, auf die Umgebung abgestimmte Abdichtung
- Sauberkeit bei der Montage
- Ölreinheit entsprechend $V = 1$
- Einhalten der empfohlenen Ölwechselfristen

Höchste Sauberkeit ($V = 0,3$) liegt in der Praxis vor bei

- Lagern, die von FAG gefettet und mit Dicht- oder Deckscheiben gegen Staub abgedichtet sind. Bei dauerfester Auslegung begrenzt meist die Schmierstoffgebrauchsdauer die Lebensdauer.
- Fettschmierung durch den Anwender. Er achtet darauf, daß die im Lieferzustand gegebene Sauberkeit während der gesamten Betriebszeit erhalten bleibt, indem er die Lager unter Einhaltung höchster Sauberkeit in saubere Gehäuse einbaut, mit sauberem Fett schmiert und Vorkehrungen trifft, daß im Betrieb kein Schmutz ins Lager gelangen kann (geeignete FAG Wälzlagerfette Arcanol vgl. Seite 57).
- Lagern mit Ölumlaufschmierung, wenn vor Inbetriebnahme der saubermontierten Lager das Ölumlaufsystem

gespült wird (neues Öl über Feinstfilter einfüllen) und Ölreinheitsklassen entsprechend $V = 0,3$ während der gesamten Betriebszeit gewährleistet sind.

Stark verunreinigter Schmierstoff ($V = 3$) sollte durch Verbesserung der Bedingungen vermieden werden. Mögliche Gründe für starke Verunreinigungen:

- Das Gußgehäuse ist nicht oder schlecht gereinigt (Rückstände von Formsand, Partikel aus dem Bearbeitungsprozeß).
- Abrieb verschleißender Bauteile gelangt in den Ölkreislauf der Maschine.
- Von außen dringen wegen unzureichender Abdichtung Fremdpartikel in das Lager ein.
- Eingetretenes Wasser, auch Kondenswasser, verursacht Stillstandskorrosion oder verschlechtert die Schmierstoffeigenschaften.

Die Zwischengrößen $V = 0,5$ (erhöhte Sauberkeit) und $V = 2$ (mäßig verunreinigter Schmierstoff) soll der Anwender nur benutzen, wenn er genügend Erfahrung hat, um die Sauberkeit genau beurteilen zu können.

Zusätzlich erzeugen Partikel **Verschleiß**. FAG hat die Wärmebehandlung der Lagerteile so aufeinander abgestimmt, daß Lager mit geringen Gleitreibungsanteilen (z. B. Radial-Kugellager und -Zylinderrollenlager) bei $V = 0,3$ auch über sehr lange Zeiträume kaum Verschleiß aufweisen.

Axial-Zylinderrollenlager, vollrollige Zylinderrollenlager und andere Lager mit hohen Gleitanteilen reagieren stärker auf kleine, harte Verunreinigungen. Hier kann Schmierstoff-Feinstfilterung kritischen Verschleiß verhindern.

11: Orientierungswerte für die Verunreinigungskenngröße V

(D-d)/2 mm	V	Punktberührung erforderliche Ölreinheits- klasse nach ISO 4406 ¹⁾	Richtwerte für Filterrück- halterate nach ISO 4572	Linienberührung erforderliche Ölreinheits- klasse nach ISO 4406 ¹⁾	Richtwerte für Filterrück- halterate nach ISO 4572
≤ 12,5	0,3	11/8	$\beta_3 \geq 200$	12/9	$\beta_3 \geq 200$
	0,5	12/9	$\beta_3 \geq 200$	13/10	$\beta_3 \geq 75$
	1	14/11	$\beta_6 \geq 75$	15/12	$\beta_6 \geq 75$
	2	15/12	$\beta_6 \geq 75$	16/13	$\beta_{12} \geq 75$
	3	16/13	$\beta_{12} \geq 75$	17/14	$\beta_{25} \geq 75$
> 12,5 ... 20	0,3	12/9	$\beta_3 \geq 200$	13/10	$\beta_3 \geq 75$
	0,5	13/10	$\beta_3 \geq 75$	14/11	$\beta_6 \geq 75$
	1	15/12	$\beta_6 \geq 75$	16/13	$\beta_{12} \geq 75$
	2	16/13	$\beta_{12} \geq 75$	17/14	$\beta_{25} \geq 75$
	3	18/14	$\beta_{25} \geq 75$	19/15	$\beta_{25} \geq 75$
> 20 ... 35	0,3	13/10	$\beta_3 \geq 75$	14/11	$\beta_6 \geq 75$
	0,5	14/11	$\beta_6 \geq 75$	15/12	$\beta_6 \geq 75$
	1	16/13	$\beta_{12} \geq 75$	17/14	$\beta_{12} \geq 75$
	2	17/14	$\beta_{25} \geq 75$	18/15	$\beta_{25} \geq 75$
	3	19/15	$\beta_{25} \geq 75$	20/16	$\beta_{25} \geq 75$
> 35	0,3	14/11	$\beta_6 \geq 75$	14/11	$\beta_6 \geq 75$
	0,5	15/12	$\beta_6 \geq 75$	15/12	$\beta_{12} \geq 75$
	1	17/14	$\beta_{12} \geq 75$	18/14	$\beta_{25} \geq 75$
	2	18/15	$\beta_{25} \geq 75$	19/16	$\beta_{25} \geq 75$
	3	20/16	$\beta_{25} \geq 75$	21/17	$\beta_{25} \geq 75$

Die Ölreinheitsklasse als Maß für die Wahrscheinlichkeit der Überrollung lebensdauerermindernder Partikel im Lager kann anhand von Proben z. B. durch Filterhersteller und Institute bestimmt werden. Auf geeignete Probenahme (siehe z. B. DIN 51 750) ist zu achten. Auch Online-Meßgeräte stehen zur Verfügung. Die Reinheitsklassen werden erreicht, wenn die gesamte umlaufende Ölmenge das Filter in wenigen Minuten einmal durchläuft. Vor Inbetriebnahme der Lagerung ist zur Sicherung guter Sauberkeit ein Spülvorgang erforderlich.

Eine Filterrückhalterate $\beta_3 \geq 200$ (ISO 4572) bedeutet z. B., daß im sog. Multi-Pass-Test von 200 Partikeln $\geq 3 \mu\text{m}$ nur ein einziges das Filter passiert. Größere Filter als $\beta_{25} \geq 75$ sollen wegen nachteiliger Folgen auch für die übrigen im Ölkreislauf liegenden Aggregate nicht verwendet werden.

¹⁾ Es sind Partikel zu berücksichtigen, die eine Härte > 50 HRC aufweisen.

12: Ölreinheitsklassen nach ISO 4406 (Auszug)

Anzahl der Partikel pro 100 ml				Code
Über 5 μm		Über 15 μm		
Mehr als	Bis zu	Mehr als	Bis zu	
500000	1000000	64000	130000	20/17
250000	500000	32000	64000	19/16
130000	250000	16000	32000	18/15
64000	130000	8000	16000	17/14
32000	64000	4000	8000	16/13
16000	32000	2000	4000	15/12
8000	16000	1000	2000	14/11
4000	8000	500	1000	13/10
2000	4000	250	500	12/9
1000	2000	130	250	11/8
1000	2000	64	130	11/7
500	1000	32	64	10/6
250	500	32	64	9/6

Der Schmierstoff im Wälzlager

Aufgaben der Schmierung bei Wälzlagern

1.1.4 Der Schmierfilm bei Fettschmierung

Bei Schmierfetten erfolgt die Lager schmierung hauptsächlich durch das Grundöl, das der Verdicker mit der Zeit in kleinen Mengen absondert. Die Gesetzmäßigkeiten der EHD-Theorie gelten grundsätzlich auch für Fettschmierung. Bei der Ermittlung des Viskositätsverhältnisses $\kappa = \nu/\nu_1$ setzt man die Betriebsviskosität des Grundöls ein. Vor allem bei niedrigen κ -Werten tragen der Verdicker und die Zusätze zur wirksamen Schmierung bei.

Ist die gute Eignung des Fettes für den vorliegenden Anwendungsfall bekannt – z. B. bei den FAG Wälzlagerfetten Arcanol (siehe Seite 57) – und sind gute Sauberkeit sowie ausreichende Nachschmierung gegeben, können die gleichen K_2 -Werte angesetzt werden wie für geeignet additivierte Öle. Liegen diese Bedingungen nicht vor, sollte man sicherheitshalber bei der Bestimmung des a_{23II} -Wertes die untere Grenze des Bereichs II wählen. Dies gilt besonders bei nicht eingehaltener Schmierfrist. Die richtige Fettauswahl ist sehr wichtig bei Lagern mit höheren Gleitanteilen und bei großen sowie hoch beanspruchten Lagern. Bei hoher Belastung sind die Schmierfähigkeit des Verdickers und die Additivierung von besonderer Bedeutung.

Bei der Fettschmierung nimmt nur sehr wenig Schmierstoff aktiv am Schmiervorgang teil. Fett üblicher Konsistenz wird zum größten Teil aus dem Lager verdrängt und lagert sich seitlich ab oder verläßt die Lagerung über die Dichtung. Das Fett, das auf den Laufflächen und seitlich im oder am Lager bleibt, gibt kontinuierlich die erforderliche geringe Menge Öl zur Schmierung der Funktionsflächen ab. Die so zwischen den Rollkontaktflächen wirksame Schmierstoffmenge reicht bei mäßiger Beanspruchung über längere Zeit für die Schmierung aus.

Die Ölabgabe hängt ab von der Fettsorte, von der Grundölviskosität, von der Größe der ölabgebenden Fläche, von der Temperatur und von der mechanischen Beanspruchung des Fettes.

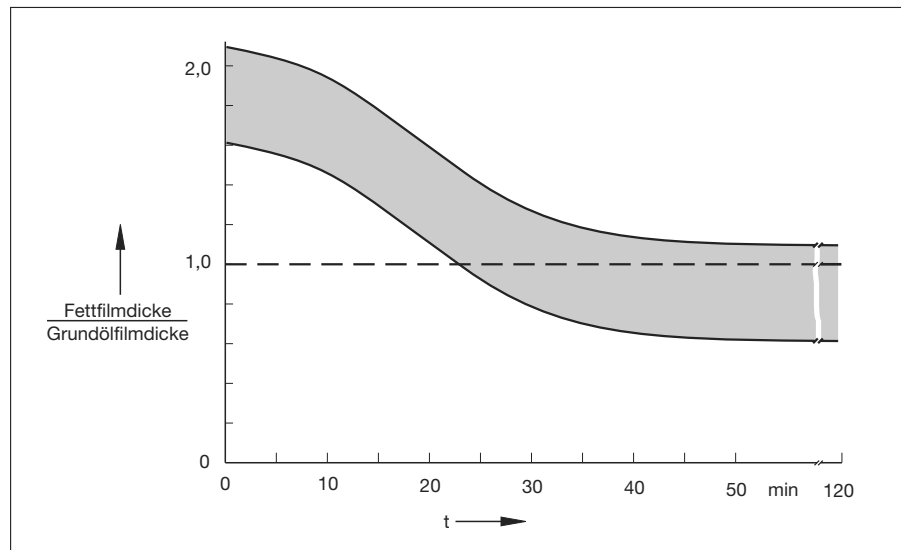
Erkennbar wird die Wirkung des Fettverdickers bei Messung der Filmdicke, abhängig von der Laufzeit. Beim Start des Lagers stellt sich, abhängig vom Verdickertyp, eine Filmdicke im Kontaktbereich ein, die deutlich über der des Basisöls liegt. Fettveränderung und Fettverdrängung bewirken rasch eine Abnahme der Filmdicke, Bild 13.

Trotz eventuell verringerter Filmdicke ist für die Dauer der Schmierfrist die Schmierwirkung ausreichend. Verdicker

und Wirkstoffe im Fett unterstützen entscheidend die Schmierung, so daß keine Lebensdauer mindering zu erwarten ist. Günstig für das Erreichen langer Schmierfristen ist es, wenn das Fett gerade so viel Öl abgibt, wie zur Schmierung des Lagers erforderlich ist. So bleibt die Öl abgabe über eine lange Zeit bestehen. Fette mit hochviskosem Grundöl haben eine reduzierte Öl abgabe rate. Mit ihnen läßt sich deshalb nur bei hohem Füllungsgrad von Lager und Gehäuse oder bei kurzfristiger Nachschmierung ein guter Schmierzustand erreichen.

Die Schmierwirkung des Verdickers zeigt sich vorzugsweise beim Betrieb von Wälzlagern im Mischreibungsbereich.

13: Verhältnis Fettdicke zu Grundölfilmstärke in Abhängigkeit von der Laufzeit



1.1.5 Schmierstoffschichten bei Trockenschmierung

Die Wirkungsweise der Trockenschmierung beruht zunächst auf dem Ausgleich von Oberflächenrauheiten, wodurch die wirksame Rauhtiefe der Oberflächen verringert wird. Während des Gleit- und Rollvorgangs wird je nach Belastung und Werkstoffart der Festschmierstoff in die Metalloberfläche eingearbeitet oder es werden chemische Reaktionen mit der Oberfläche angeregt.

Bei Festschmierstoffen mit Schichtgitterstruktur richten sich die Feststofflamellen unter Druck durch Gleitbewegung zur Oberfläche aus. Der Gleit-

vorgang spielt sich daher entfernt von der metallischen Oberfläche ab, Bild 14. Die kompressible Festschmierstoffschicht verteilt den Druck gleichmäßig auf eine größere Fläche. Festschmierstoffe ohne Schichtgitterstruktur sind Phosphate, Oxide, Hydroxide und Sulfide. Auch Weichmetallschichten zählen zu den Festschmierstoffen. Aufgrund ihrer geringen Scherfestigkeit zeigen sie ein meist günstiges Reibungsverhalten. Mit Trockenschmierung werden allgemein deutlich niedrigere Laufzeiten als mit Öl- oder Fettschmierung erreicht. Roll- und Gleitvorgänge beanspruchen die Festschmierstoffschicht und tragen sie ab.

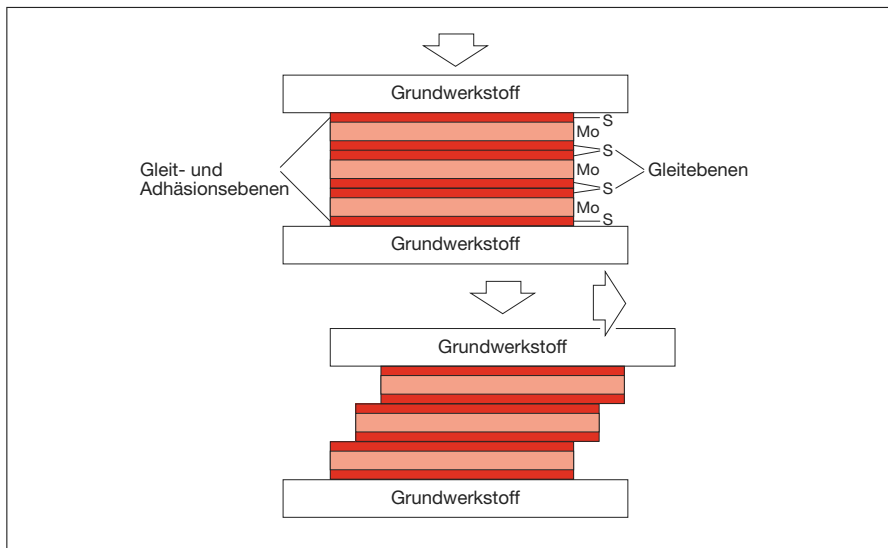
In Anwesenheit von Öl oder Fett re-

duziert sich die Gebrauchsdauer von Festschmierstoffschichten je nach Vorbehandlung der Flächen und Art des Festschmierstoffs. Lackoberflächen werden eventuell aufgeweicht und verändert, die Reibung zwischen den Lackoberflächen steigt an. Viele Schmierstoffe werden mit Zusatz von Festschmierstoff, vorrangig MoS_2 , angeboten. Üblich sind Zusätze von 0,5 bis 3 Gewichtsprozenten MoS_2 in kolloidaler Form bei Ölen und 1 bis 10 Gewichtsprozenten bei Fetten. Bei hochviskosen Ölen ist eine höhere Konzentration vom Molybdändisulfid nötig, um die Schmierung merklich zu verbessern. Die aus Teilchen $<1 \mu\text{m}$ bestehenden Dispersionen sind sehr stabil, die Teilchen setzen sich nicht ab.

Festschmierstoffe in Öl oder Fett tragen nur bei mangelhafter Trennung der Kontaktflächen zur Schmierung bei (Teilschmierung). Die Last wird günstiger im Kontaktbereich, d. h. mit geringerer Reibung und geringerem Verschleiß übertragen. Ein Festschmierstoffzusatz im Öl kann auch während der Einlaufphase von Vorteil sein, wenn sich infolge der Rauheit der Kontaktflächen noch stellenweise kein tragender Schmierfilm aufbaut.

Bei Lagern mit hohen Umfangsgeschwindigkeiten wirken sich Festschmierstoffzusätze eventuell störend aus, weil sie eine Steigerung der Lagerreibung und der Temperatur bewirken.

14: Wirkungsweise von Festschmierstoffen mit Schichtgitterstruktur, beispielsweise von MoS_2



Der Schmierstoff im Wälzlager

Berechnung des Reibungsmoments

1.2 Berechnung des Reibungsmoments

Das Reibungsmoment M eines Wälzlagers, also die Summe von Roll-, Gleit- und Schmierstoffreibung, ist der Widerstand, den das Lager seiner Bewegung entgegensetzt. Die Größe von M hängt ab von der Belastung, der Drehzahl und der Schmierstoffviskosität (Bild 15). Man unterscheidet einen lastunabhängigen Anteil M_0 und einen lastabhängigen Anteil M_1 des Reibungsmoments. Das schwarze Dreieck links von der strichpunktierten Linie zeigt, daß bei niedriger Drehzahl und hoher Belastung ein beträchtlicher Mischreibungsanteil R_M zu M_0 und M_1 hinzukommen kann, weil in diesem Bereich die Rollkontaktflächen noch nicht durch einen tragenden Schmierfilm getrennt sind. Der Bereich rechts von der strichpunktierten Linie zeigt, daß bei einem tragenden Schmierfilm, der sich unter normalen Betriebsbedingungen einstellt, das gesamte Reibungsmoment nur aus M_0 und M_1 besteht.

$$M = M_0 + M_1 \quad [\text{N mm}]$$

M [N mm] gesamtes Reibungsmoment des Lagers

M_0 [N mm] lastunabhängiger Anteil des Reibungsmoments

M_1 [N mm] lastabhängiger Anteil des Reibungsmoments

Mischreibung kann in der Laufbahn, an den Borden und am Käfig auftreten; sie kann bei ungünstigen Betriebsbedingungen sehr groß werden, ist aber schwer quantifizierbar.

Bei Radial-Kugellagern und rein radial belasteten Zylinderrollenlagern mit Käfig ist der Mischreibungsanteil nach Bild 15 unbedeutend klein. Das Reibungsmoment axial belasteter Zylinderrollenlager ermittelt man mit den am Ende des Abschnitts 1.2 genannten Formeln.

Lager mit **hohen Gleitanteilen** (vollrollige Zylinderrollenlager, Kegelrollenlager, Pendelrollenlager, Axiallager) laufen nach der Einlaufphase außerhalb des Mischreibungsbereichs, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$n \cdot \nu / (P/C)^{0,5} \geq 9000$$

n [min⁻¹] Drehzahl

ν [mm²/s] Betriebsviskosität des Öles bzw. Fettgrundöles

P [kN] dynamisch äquivalente Belastung

C [kN] dynamische Tragzahl

Der **lastunabhängige Reibungsmomentanteil M_0** hängt von der Betriebsviskosität ν des Schmierstoffs und von der Drehzahl n ab. Die Betriebsviskosität wiederum wird über die Lagertemperatur durch die Lagerreibung beeinflusst. Außerdem wirken sich der

mittlere Lagerdurchmesser d_m und besonders die Breite der Rollkontakte – von Bauart zu Bauart unterschiedlich stark – auf M_0 aus. Den lastunabhängigen Anteil M_0 des Reibungsmoments ermittelt man in guter Übereinstimmung mit Versuchsergebnissen aus

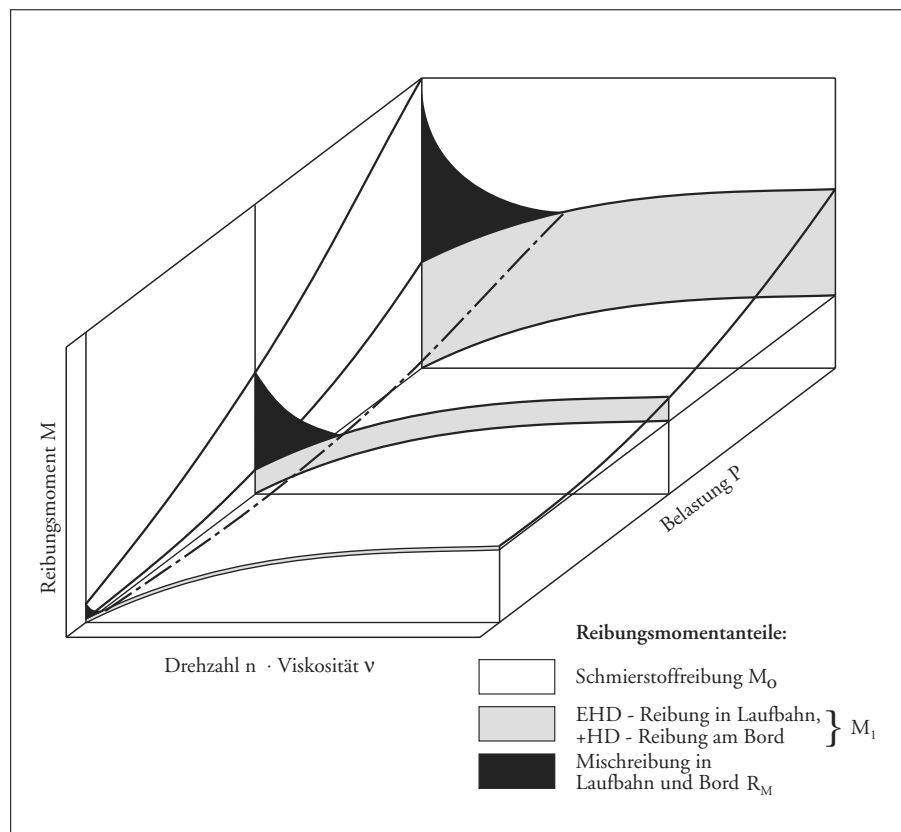
$$M_0 = f_0 \cdot 10^{-7} \cdot (\nu \cdot n)^{2/3} \cdot d_m^3 \quad [\text{N mm}]$$

wobei

M_0 [N mm] lastunabhängiger Anteil des Reibungsmoments
 f_0 Beiwert für Lagerbauart und Art der Schmierung (Tabelle, Bild 16)

15: Reibungsmoment von Wälzlagern in Abhängigkeit von Drehzahl, Schmierstoffviskosität und Belastung.

Bei Kugellagern (ausgenommen Axial-Kugellager) und bei nur radial belasteten Zylinderrollenlagern ist das Mischreibungsdreieck (links) unbedeutend klein, also $R_M \approx 0$.



ν [mm²/s] Betriebsviskosität des Öles bzw. Fettgrundöls (Bild 5, Seite 6)
 n [min⁻¹] Drehzahl des Lagers
 d_m [mm] (D + d)/2 mittlerer Lagerdurchmesser

Der Beiwert f_0 ist in der Tabelle, Bild 16, für Ölbad Schmierung angegeben, bei der der Ölstand bei stehendem Lager bis zur Mitte des untersten Rollkörpers reicht. f_0 wächst bei gleichem d_m mit der Größe der Kugeln oder der Rollenlänge, also indirekt auch mit der Größe des Lagerquerschnitts. In der Tabelle sind

deshalb breiten Baureihen größere f_0 -Werte zugeordnet als schmalen Baureihen. Laufen Radiallager auf senkrechter Welle unter Radiallast, muß man mit dem Doppelten des in der Tabelle, Bild 16, genannten Wertes rechnen, ebenso bei großem Kühllöhdurchsatz oder zu hohem Fettfüllungsgrad (d. h. mehr Fett, als seitlich verdrängt werden kann).

Frisch gefettete Lager haben in der Anlaufphase f_0 -Werte wie Lager mit Ölbad Schmierung. Nach der Fettverteilung ist der halbe f_0 -Wert aus der Tabelle, Bild 16, einzusetzen. Er ist dann so niedrig wie bei

Öl-Minimalmengenschmierung. Bei der Schmierung mit einem für den Betriebsfall richtig gewählten Fett ergibt sich das Reibungsmoment M_0 überwiegend aus dem inneren Reibungswiderstand des Grundöls.

Exakte M_0 -Werte für die unterschiedlichsten Fette können in praxisnahen Versuchen ermittelt werden. Auf Wunsch führt FAG diese Versuche mit dem dazu entwickelten Reibungsmomentmeßgerät R27 durch.

16: Beiwert f_0 zur Berechnung von M_0 , abhängig von Lagerbauart und -reihe für Ölbad Schmierung; bei Fettschmierung nach Fettverteilung und bei Öl-Minimalmengenschmierung 50 % dieser Werte einsetzen.

Lagerbauart Reihe	Beiwert f_0 bei Ölbad Schmierung	Lagerbauart Reihe	Beiwert f_0 bei Ölbad Schmierung
Rillenkugellager	1,5...2	Nadellager NA48, NA49	5...5,5
Pendelkugellager		Kegelrollenlager	
12	1,5	302, 303, 313	3
13	2	329, 320, 322, 323	4,5
22	2,5	330, 331, 332	6
23	3		
Schrägkugellager, einreihig		Pendelrollenlager	
72	2	213, 222	3,5...4
73	3	223, 230, 239	4,5
		231, 232	5,5...6
Schrägkugellager, zweireihig		240, 241	6,5...7
32	3,5		
33	6	Axial-Rillenkugellager	
		511, 512, 513, 514	1,5
Vierpunktlager	4	522, 523, 524	2
Zylinderrollenlager mit Käfig:		Axial-Zylinderrollenlager	
2, 3, 4, 10	2	811	3
22	3	812	4
23	4		
30	2,5	Axial-Pendelrollenlager	
vollrollig:		292E	2,5
NCF29V	6	293E	3
NCF30V	7	294E	3,3
NNC49V	11		
NJ23VH	12		
NNF50V	13		

Der Schmierstoff im Wälzlager

Berechnung des Reibungsmoments

Das lastabhängige Reibungsmoment M_1 ergibt sich aus der Rollreibung und aus der Gleitreibung an den Borden und an den Führungsflächen des Käfigs. Die Berechnung von M_1 (siehe folgende Gleichung) mit dem Beiwert f_1 (Tabelle, Bild 17) setzt einen trennenden Schmierfilm in den Rollkontaktflächen voraus ($\alpha = \nu/\nu_1 \geq 1$). Unter dieser Bedingung ändert sich M_1 kaum mit der Drehzahl, wohl aber mit der Größe der Kontaktflächen und damit der Schmiegun Rollkörper/Laufbahn und mit der Belastung des Lagers. Weitere Einflußgrößen sind auch hier die Lagerbauart und -größe.

Das lastabhängige Reibungsmoment M_1 errechnet sich aus

$$M_1 = f_1 \cdot P_1 \cdot d_m \text{ [N mm]}$$

wobei

M_1 [N mm] lastabhängiger Anteil des Reibungsmoments
 f_1 Beiwert, der die Höhe der Last berücksichtigt, siehe Tabelle, Bild 17
 P_1 [N] für M_1 maßgebende Belastung, siehe Tabelle, Bild 17
 d_m [mm] $(D + d)/2$ mittlerer Lagerdurchmesser

Der Beiwert f_1 ist bei Kugellagern und Pendelrollenlagern wegen der Druckflächenkrümmung proportional dem Ausdruck $(P_{0^*}/C_0)^s$; bei Zylinder- und Kegelrollenlagern bleibt f_1 konstant. Dabei bezeichnet P_{0^*} die äquivalente Belastung (mit dynamischen Kräften) und C_0 die statische Tragzahl. Die Größe des Exponenten s hängt bei Kugellagern vom Bohrreibungsanteil ab; für Kugellager mit geringer Bohrreibung ist $s = 0,5$; für Kugellager mit starker Bohrreibung, z. B. für Schrägkugellager mit dem Druckwinkel $\alpha_0 = 40^\circ$, gilt $s = 0,33$, vgl. Tabelle, Bild 17.

17: Faktoren für die Berechnung des lastabhängigen Reibungsmoments M_1

Lagerbauart, Reihe	f_1 *)	P_1 1)
Rillenkugellager	$(0,0005\dots 0,0009) \cdot (P_{0^*}/C_0)^{0,5}$	F_r oder $3,3 F_a - 0,1 F_r^2$
Pendelkugellager	$0,0003 (P_{0^*}/C_0)^{0,4}$	F_r oder $1,37 F_a/e - 0,1 F_r^2$
Schrägkugellager einreihig, $\alpha = 15^\circ$	$0,0008 (P_{0^*}/C_0)^{0,5}$	F_r oder $3,3 F_a - 0,1 F_r^2$
einreihig, $\alpha = 25^\circ$	$0,0009 (P_{0^*}/C_0)^{0,5}$	F_r oder $1,9 F_a - 0,1 F_r^2$
einreihig, $\alpha = 40^\circ$	$0,001 (P_{0^*}/C_0)^{0,33}$	F_r oder $1,0 F_a - 0,1 F_r^2$
zweireihige oder gepaarte einreihige	$0,001 (P_{0^*}/C_0)^{0,33}$	F_r oder $1,4 F_a - 0,1 F_r^2$
Vierpunktlager	$0,001 (P_{0^*}/C_0)^{0,33}$	$1,5 F_a + 3,6 F_r$
Zylinderrollenlager mit Käfig	$0,0002\dots 0,0004$	F_r^3
Zylinderrollenlager, vollrollig	$0,00055$	F_r^3
Nadellager	$0,0005$	F_r
Kegelrollenlager, einreihig	$0,0004$	$2 Y F_a$ oder F_r^2
Kegelrollenlager, zweireihig oder zwei einreihige in X- oder O-Anordnung	$0,0004$	$1,21 F_a/e$ oder F_r^2
Pendelrollenlager Reihe 213, 222	$0,0005 (P_{0^*}/C_0)^{0,33}$	$1,6 F_a/e$, wenn $F_a/F_r > e$ $F_r \{1 + 0,6 [F_a/(e \cdot F_r)]^3\}$, wenn $F_a/F_r \leq e$
Reihe 223	$0,0008 (P_{0^*}/C_0)^{0,33}$	
Reihe 231, 240	$0,0012 (P_{0^*}/C_0)^{0,5}$	
Reihe 230, 239	$0,00075 (P_{0^*}/C_0)^{0,5}$	
Reihe 232	$0,0016 (P_{0^*}/C_0)^{0,5}$	
Reihe 241	$0,0022 (P_{0^*}/C_0)^{0,5}$	
Axial-Rillenkugellager	$0,0012 (F_a/C_0)^{0,33}$	F_a
Axial-Zylinderrollenlager	$0,0015$	F_a
Axial-Pendelrollenlager	$0,00023\dots 0,00033$	F_a (wobei $F_r \leq 0,55 F_a$)

*) Den größeren Wert für die breiteren Reihen nehmen.

1) Wird $P_1 < F_r$, so ist mit $P_1 = F_r$ zu rechnen.

2) Der jeweils größere Wert von beiden ist einzusetzen.

3) Nur radial belastet. Bei zusätzlich axial belasteten Zylinderrollenlagern ist M_a zum Reibungsmoment M_1 hinzuzuzählen: $M = M_0 + M_1 + M_a$; M_a siehe Bild 18.

Verwendete Formelzeichen:

P_{0^*} [N] Äquivalente Belastung, ermittelt mit der dynamischen Radialkraft F_r und der dynamischen Axialkraft F_a sowie den statischen Faktoren X_0 und Y_0 (siehe FAG-Katalog WL 41520, Erweiterte Lebensdauerberechnung)

C_0 [N] Statische Tragzahl (siehe FAG-Katalog WL 41520)

F_a [N] Axialkomponente der dynamischen Lagerbelastung

F_r [N] Radialkomponente der dynamischen Lagerbelastung

Y, e Faktoren (siehe FAG-Katalog WL 41520)

Je größer die Lager sind, desto kleiner sind die Rollkörper im Verhältnis zum mittleren Lagerdurchmesser d_m . Die Bohrreibung zwischen Rollkörpern und Laufbahnen wächst also unterproportional zu d_m . Im Großlagerbereich können sich mit den Formeln vor allem bei dünnen Lagerquerschnitten höhere Reibungsmomente M_1 ergeben als in der Praxis.

Die für das lastabhängige Reibungsmoment M_1 maßgebende Belastung P_1 berücksichtigt, daß sich M_1 mit dem Lastwinkel $\beta = \arctan(F_a/F_r)$ ändert. Der einfacheren Berechnung wegen wurde hier als Bezugswert der Axialfaktor Y eingeführt, der ebenfalls von F_a/F_r und vom Druckwinkel α abhängt.

Bei der Ermittlung des Reibungsmoments von **Zylinderrollenlagern, die auch axial belastet werden**, ist das axiallastabhängige Reibungsmoment M_a zu M_0 und M_1 zu addieren. Hier gilt also

$$M = M_0 + M_1 + M_a \quad [\text{N mm}]$$

und

$$M_a = f_a \cdot 0,06 \cdot F_a \cdot d_m \quad [\text{N mm}]$$

f_a Beiwert, abhängig von der Axiallast F_a und vom Schmierzustand (Bild 18)

Mit den angeführten Beziehungen läßt sich das Reibungsmoment einer Lagerung hinreichend genau abschätzen. In der Praxis sind Abweichungen möglich, wenn sich die angestrebte Vollschrimerung nicht aufrechterhalten läßt und Mischreibung auftritt. Der günstigste Schmierzustand wird im Betrieb nicht immer erreicht.

Das Losbrechmoment der Wälzlager beim Anlauf von Maschinen kann beträchtlich über den errechneten Werten liegen, vor allem bei Kälte, und wenn die Lager berührende Dichtungen haben.

Für das Reibungsmoment von **Lagern mit integrierten berührenden Dichtungen** ist ein erheblicher Zuschlag zum errechneten Reibungsmoment zu berücksichtigen. Bei kleinen, fettgeschmierten Lagern kann der Faktor 8 (z. B. 6201.2RSR mit Standardfett nach Fettverteilung), bei größeren Lagern kann der

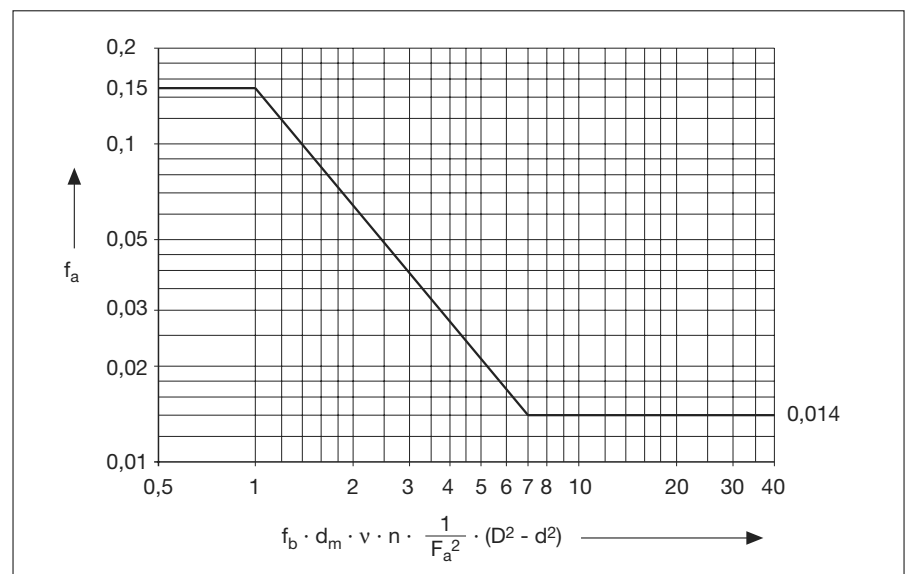
Faktor 3 (z. B. 6216.2RSR mit Standardfett nach Fettverteilung) betragen. Das Dichtungs-Reibungsmoment hängt auch von der Konsistenzklasse des Fettes und der Drehzahl ab.

Das FAG Meßsystem R27 eignet sich auch zur exakten Ermittlung des Dichtungs-Reibungsmoments.

18: Reibungsbeiwert f_a zur Ermittlung des axiallastabhängigen Reibungsmoments M_a von axial belasteten Zylinderrollenlagern

Zur Ermittlung benötigt man folgende Parameter:

$f_b =$	0,0048 für Lager mit Käfig 0,0061 für vollrollige Lager (ohne Käfig)
d_m [mm]	mittlerer Lagerdurchmesser = $0,5 \cdot (D + d)$
ν [mm ² /s]	Betriebsviskosität des Öles bzw. des Fettgrundöls
n [min ⁻¹]	Drehzahl des Innenrings
F_a [N]	Axialbelastung
D [mm]	Lageraußendurchmesser
d [mm]	Lagerbohrung



Der Schmierstoff im Wälzlager

Höhe der Betriebstemperatur

1.3 Höhe der Betriebstemperatur

Die Betriebstemperatur einer Lagerung steigt nach dem Anlauf an und bleibt konstant, wenn sich zwischen Wärmeerzeugung und Wärmeabgabe ein Gleichgewicht eingestellt hat (Beharrungstemperatur).

Die Beharrungstemperatur t kann aus der Gleichung des vom Lager erzeugten Wärmestromes Q_R [W] und des an die Umgebung abgeführten Wärmestromes Q_L [W] berechnet werden. Die Lagertemperatur t hängt stark von den Wärmeübergangsverhältnissen zwischen Lager, Umbauteilen und Umgebung ab. Die Gleichungen sind im folgenden dargestellt. Sind die dazu erforderlichen Daten K_t und q_{LB} (eventuell durch Versuche) bekannt, kann damit aus der Wärmebilanz auf die Lagerbetriebstemperatur t geschlossen werden.

Der durch die Lagerreibung **erzeugte Wärmestrom** Q_R errechnet sich aus dem Reibungsmoment M [N mm] (Abschnitt 1.2) und der Drehzahl n [min^{-1}].

$$Q_R = 1,047 \cdot 10^{-4} \cdot n \cdot M \text{ [W]}$$

Der an die Umgebung **abgeführte Wärmestrom** Q_L wird aus der Differenz [K] von Lagertemperatur t und Umgebungstemperatur t_u , aus der Größe der wärmeübertragenden Flächen ($2 d_m \cdot \pi \cdot B$) und der für normale Betriebsbedingungen üblichen Wärmestromdichte q_{LB} (Bild 19) sowie dem Kühlfaktor K_t berechnet. Für die Wärmeableitbedingungen bei üblichen Stehlagergehäusen gilt $K_t = 1$, in Fällen besserer oder schlechterer Wärmeableitung siehe unten.

$$Q_L = q_{LB} \cdot [(t-t_u)/50] \cdot K_t \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot d_m \cdot \pi \cdot B \text{ [W]}$$

q_{LB} [kW/m²] Bezugs-Wärmestromdichte, Diagramm, Bild 19

d_m [mm] (D + d)/2
 B [mm] Lagerbreite

K_t Kühlfaktor
 = 0,5 bei schlechter Wärmeableitung (warme Umgebung, Fremderwärmung)
 = 1 bei normaler Wärmeableitung (freistehendes Lagergehäuse)
 = 2,5 bei sehr guter Wärmeableitung (Fahrtwind)

Bei Ölumlaufschmierung führt das Öl zusätzliche Wärme ab. Der abgeführte Wärmestrom $Q_{Öl}$ ergibt sich aus der Einlauftemperatur t_E und der Ablauftemperatur t_A , aus der Dichte ρ und der spezifischen Wärmekapazität c des Öles sowie aus der in der Zeiteinheit durchlaufenden Ölmenge m [cm^3/min]. Die Dichte beträgt normalerweise 0,86 bis 0,93 kg/dm^3 , während die spezifische Entropie c – abhängig vom Öltyp – zwischen 1,7 und 2,4 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ liegt.

$$Q_{Öl} = m \cdot \rho \cdot c \cdot (t_A - t_E) / 60 \text{ [W]}$$

Bei üblichem Mineralöl mit $\rho = 0,89 \text{ kg}/\text{dm}^3$ und

$c = 2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ gilt vereinfacht

$$Q_{Öl} = 30 \cdot V_{Öl} \cdot (t_A - t_E) \text{ [W]}$$

mit

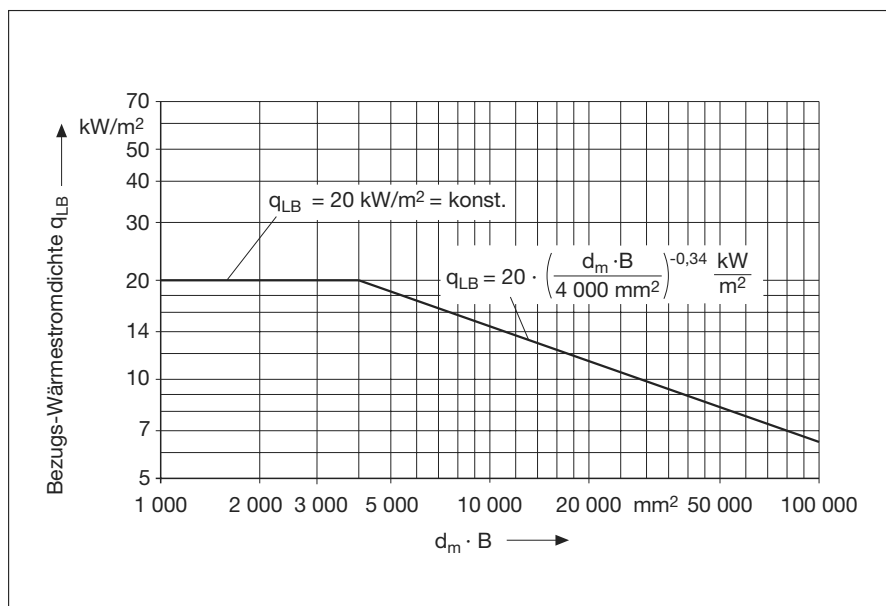
$V_{Öl}$ durchströmende Ölmenge [l/min]

Die Lagertemperatur t kann man berechnen, indem man gleichsetzt

$$Q_R = Q_L + Q_{Öl} \text{ [W]}$$

Das Ergebnis einer solchen Temperaturberechnung ist meist zu ungenau, weil die in die Berechnung eingehenden Größen, besonders q_L und K_t , in der Regel nicht genau bekannt sind. Eine brauchbare Grundlage erhält man erst, wenn man die Beharrungstemperatur in einem Laufversuch ermittelt und daraus den Kühlfaktor K_t bestimmt. Damit kann man dann für vergleichbare Einbau- und Betriebsbedingungen die Beharrungstemperatur von Lagern verschiedener Bauart bei unterschiedlichen Belastungen und Drehzahlen hinreichend genau abschätzen.

19: Lagerspezifische Bezugs-Wärmestromdichte bei den Bezugsbedingungen: 70 °C am stehenden Lagerring, 20 °C Umgebungstemperatur, Belastung 4...6 % von C_0



2 Schmierverfahren

Bei der Konstruktion einer Maschine sollte möglichst frühzeitig das Verfahren zur Schmierung der eingebauten Wälzlager festgelegt werden. Dabei kann man Fett- oder Ölschmierung, in Sonderfällen auch Feststoffschmierung vorsehen. Einen Überblick über die gebräuchlichen Schmierverfahren gibt die Tabelle, Bild 20 (Seite 20).

2.1 Fettschmierung

Fettschmierung wird bei ca. 90 % aller Wälzlagerungen angewandt. Die wesentlichen Vorteile einer Fettschmierung sind:

- sehr geringer konstruktiver Aufwand
- gute Unterstützung der Abdichtung durch das Fett
- hohe Gebrauchsdauer bei wartungsfreier Schmierung ohne Aufwand für Schmiergeräte
- Eignung für Drehzahlkennwerte $n \cdot d_m$ bis $1,8 \cdot 10^6 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$ (n Drehzahl, d_m mittlerer Lagerdurchmesser)
- längere Ausfallphase beim Zusammenbruch der Schmierung nach Ablauf der Fettgebrauchsdauer bei mäßigen Drehzahlkennwerten
- niedriges Reibungsmoment

Bei normalen Betriebs- und Umgebungsverhältnissen ist oft eine for-life-Schmierung (Lebensdauerschmierung) möglich.

Eine Nachschmierung in angemessenen Zeitintervallen ist einzuplanen, wenn hohe Beanspruchungen (Drehzahl, Temperatur, Belastung) vorliegen. Hierzu müssen Fettzu- und -abführungskanäle sowie ein Auffangraum für das Altfett vorgesehen werden, bei kurzen Nachschmierintervallen eventuell auch eine Fettpumpe und ein Fettmengenregler.

2.2 Ölschmierung

Ein Schmierverfahren mit Öl bietet sich an, wenn benachbarte Maschinenelemente bereits mit Öl versorgt werden

oder wenn durch den Schmierstoff Wärme abgeführt werden soll. Wärmeabfuhr kann erforderlich sein, wenn hohe Drehzahlen und/oder hohe Belastungen vorliegen oder wenn die Lagerung einer Fremderwärmung ausgesetzt ist.

Bei Ölschmierung mit kleinen Mengen (Minimalmengenschmierung), ausgeführt als Tropfschmierung, Ölnebel-schmierung oder Öl-Luft-Schmierung, ist es möglich, die Ölmenge genau zu dosieren.

Das bietet den Vorteil, daß Planschreibung vermieden und die Lagerreibung niedrig gehalten wird.

Bei Verwendung von Luft als Trägermedium können eine gerichtete Zuführung und eine die Abdichtung unterstützende Strömung erreicht werden.

Öl-Einspritzschmierung mit größerer Menge ermöglicht die gezielte Versorgung aller Kontaktstellen sehr schnell drehender Lager und eine gute Kühlung.

2.3 Feststoffschmierung

Die Feststoffschmierung ist eine for-life-Schmierung, wenn eine feste Bindung des Schmierstoffs mit den Funktionsflächen vorliegt, z. B. bei **Gleitlack**, und wenn Betriebsbedingungen gefahren werden, die nur zu einem mäßigen Abtrag der Schicht führen. Werden Festschmierstoffe in Form von **Pasten** oder **Pulver** verwendet, so ist eine Nachschmierung möglich. Überschüssiger Schmierstoff führt allerdings zu Laufhemmungen.

Bei der **Transfer-Schmierung** nehmen die Rollkörper kleine Mengen des Festschmierstoffs mit und fördern sie in den Kontaktbereich. Der Festschmierstoff läuft dabei als feste Masse mit dem Rollkörpersatz um oder ist in Sonderfällen als Legierungsbestandteil im Werkstoff des Lagerkäfigs enthalten. Diese Schmierung ist sehr wirkungsvoll und führt zu relativ langen Laufzeiten. Sie sorgt für kontinuierliche Nachschmierung, bis die Festschmierstoffteile verbraucht sind.

2.4 Wahl des Schmierverfahrens

Bei der Wahl des Schmierverfahrens sind folgende Gesichtspunkte zu beachten:

- Betriebsbedingungen für die Wälzlager
- Anforderungen an das Lauf-, Geräusch-, Reibungs- und Temperaturverhalten der Lager
- Anforderungen an die Betriebssicherheit, also Sicherheit gegen vorzeitigen Ausfall durch Verschleiß, Ermüdung, Korrosion und Schäden durch eingedrungene Medien aus der Umgebung (z. B. Wasser, Sand)
- Kosten für die Installation des Schmier Systems und dessen Wartung während des Betriebs

Wichtige Voraussetzungen für eine hohe Betriebssicherheit sind eine ungestörte Schmierstoffversorgung der Lager und ständige Schmierstoffanwesenheit an allen Funktionsflächen. Die Schmierstoffanwesenheit ist nicht bei allen Schmierverfahren gleich sicher. Eine überwachte kontinuierliche Ölzuführung ist eine sichere Versorgung. Bei Lagerungen mit Ölsumpfschmierung muß der Ölstand regelmäßig kontrolliert werden, wenn hohe Anforderungen an die Betriebssicherheit gestellt werden.

Fettgeschmierte Lager sind ausreichend betriebssicher, wenn die Nachschmierintervalle oder bei for-life geschmierten Lagerungen die Fettgebrauchsdauer nicht überschritten werden. Bei Schmierverfahren mit Schmierstoffergänzung in kurzen Intervallen hängt die Betriebssicherheit von der Zuverlässigkeit der Versorgungsgeräte ab. Bei schmutzgeschützten Lagern, d. h. Wälzlager mit Dichtscheiben auf beiden Seiten (z. B. Clean Bearings für ölgeschmierte Getriebe), bleibt die Betriebssicherheit nach Ablauf der Fettgebrauchsdauer durch Schmierung mit Öl erhalten.

Ausführliche Hinweise zu den gebräuchlichen Schmierverfahren sind in der Tabelle, Bild 20, enthalten.

Schmierverfahren

Wahl des Schmierverfahrens

20: Schmierverfahren

Schmierstoff	Schmierverfahren	Geräte für das Schmierverfahren	Konstruktive Maßnahmen	Erreichbarer Drehzahlkennwert $n \cdot d_m$ in $\text{min}^{-1} \cdot \text{mm}^1$)	Geeignete Lagerbauarten, Betriebsverhalten
Festschmierstoff	for-life-Schmierung	-	-	≈ 1500	Vorwiegend Rillenkugellager
	Nachschmierung	-	-		
Fett	for-life-Schmierung	-	-	$\approx 0,5 \cdot 10^6$ $\approx 1,8 \cdot 10^6$ für geeignete Sonderfette und Lager, Schmierfristen nach Diagramm, Bild 33 (Seite 36)	Alle Lagerbauarten, außer Axial-Pendelrollenlager, jedoch abhängig von Drehgeschwindigkeit und Fettart. Niedrige Reibung und günstiges Geräuschverhalten mit Sonderfetten
	Nachschmierung	Handpresse, Fettpumpe	Zuführbohrungen, eventuell Fettmengenregler, Auffangraum für Altfett		
	Sprühschmierung	Verbrauchsschmieranlage ²⁾	Zuführung durch Rohre oder Bohrungen, Auffangraum für Altfett		
Öl (größere Ölmenge)	Ölumpfschmierung	Peilstab, Standrohr, Niveauekontrolle	Gehäuse mit ausreichendem Ölvolumen, Überlaufbohrungen, Anschluß für Kontrollgeräte	$\approx 0,5 \cdot 10^6$	Alle Lagerbauarten. Geräuschdämpfung abhängig von der Ölviskosität, höhere Lagerreibung durch Ölplanschverluste, gute Kühlwirkung, Abführung von Verschleißteilchen bei Umlauf- und Spritzschmierung
	Ölumlaukschmierung durch Eigenförderung der Lager oder dem Lager zugeordnete Fördererlemente		Ölzulaufbohrungen, Lagergehäuse mit ausreichendem Volumen. Fördererlemente, die auf Ölviskosität und Drehgeschwindigkeit abgestimmt sind. Förderwirkung der Lager beachten.	Muß jeweils ermittelt werden	
	Ölumlaukschmierung	Umlaufschmieranlage ²⁾	ausreichend große Bohrungen für Ölzulauf und Öl Ablauf	$\approx 1 \cdot 10^6$	
	Öleinspritzschmierung	Umlaufschmieranlage mit Spritzdüsen ⁵⁾	Ölzulauf durch gerichtete Düsen, Öl Ablauf durch ausreichend große Bohrungen	bis $4 \cdot 10^6$ erprobt	
Öl (Minimalmenge)	Öl impulschmierung Öl tropfschmierung	Verbrauchsschmieranlage ³⁾ , Tropföler, Ölsprühschmieranlage	Ablaufbohrungen	$\approx 2 \cdot 10^6$ abhängig von Lagerbauart, Ölviskosität, Ölmenge, konstruktiver Ausbildung	Alle Lagerbauarten. Geräuschdämpfung abhängig von der Ölviskosität, Reibung von der Ölmenge und der Ölviskosität abhängig
	Ölnebel schmierung	Ölnebelanlage ³⁾ , evtl. Öl abscheider	eventuell Absaugvorrichtung		
	Öl-Luft-Schmierung	Öl-Luft-Schmieranlage ⁴⁾	eventuell Absaugvorrichtung		

¹⁾ Von Lagerbauart und Einbauverhältnissen abhängig.

²⁾ Zentralschmieranlage aus Pumpe, Behälter, Filter, Rohrleitungen, Ventilen, Drosseln. Umlaufanlage mit Ölrückführung, eventuell mit Kühler (siehe Bilder 21, 22). Verbrauchsanlage mit zeitlich gesteuerten Dosierventilen geringer Fördermenge ($5 \dots 10 \text{ mm}^3/\text{Hub}$).

³⁾ Ölnebelanlage bestehend aus Behälter, Mikronebelöler, Leitungen, Rückverdichterdüsen, Steuerung, Druckluftversorgung (siehe Bild 23).

⁴⁾ Öl-Luft-Schmieranlage bestehend aus Pumpe, Behälter, Leitungen, volumetrischem Öl-Luft-Dosierverteiler, Düsen, Steuerung, Druckluftversorgung (siehe Bild 24).

⁵⁾ Auslegung der Düsen (siehe Bild 51, Seite 45).

2.5 Beispiele zu unterschiedlichen Schmierverfahren

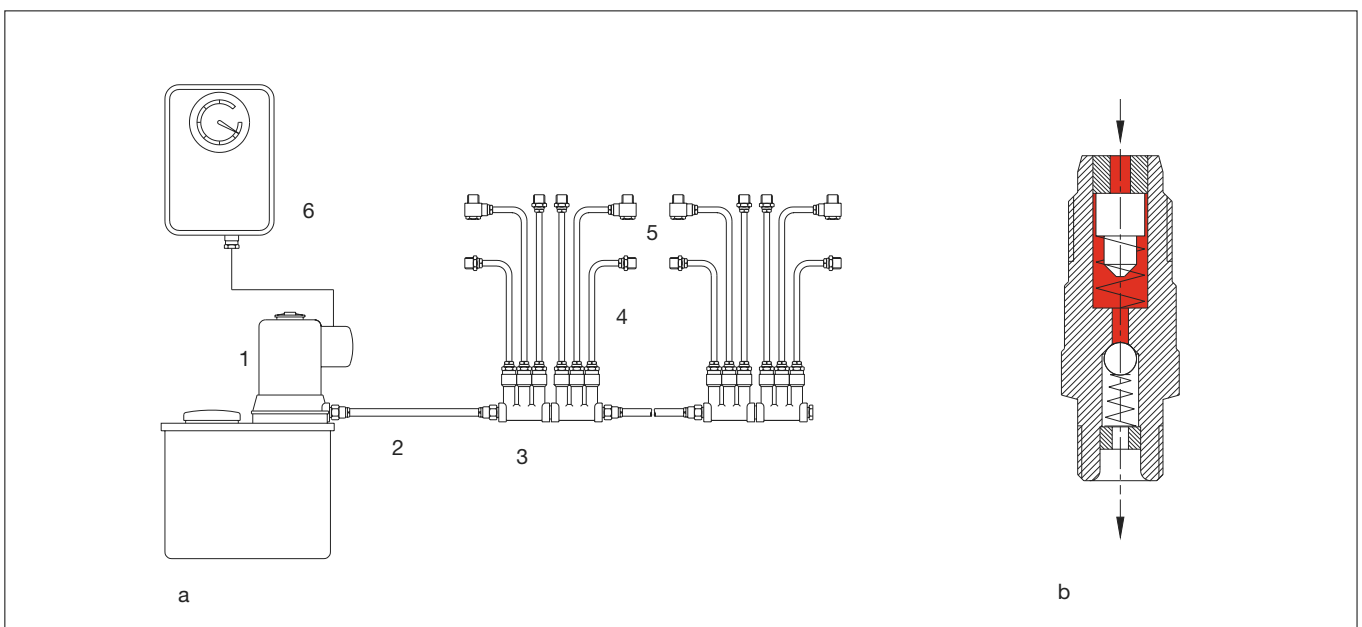
2.5.1 Zentralschmieranlage

Bild 21: Sie wird eingesetzt bei Verbrauchsschmierung und Umlaufschmierung. Eine zeitgesteuerte Pumpe führt Öl bzw. Fließfett zu Dosierventilen. Mit solchen Ventilen können Mengen von 5 bis 500 mm³ je Hub weitergegeben werden. Die Festlegung der Intervallzeit und die

Wahl der vom Ventil weitergegebenen Menge ermöglichen es, auch bei Verwendung nur einer Pumpe mehrere Lagerstellen mit unterschiedlichem Schmierstoffbedarf mit einer definierten Menge Öl oder Fließfett zu versorgen. Für Fette der Konsistenzklasse 2 bis 3 eignen sich sogenannte Zweileitungsanlagen, Progressivanlagen und Mehrleitungsanlagen. Bei Mehrleitungsanlagen versorgt jeder Pumpenanschluß eine eigene Schmierstelle mit Fett oder mit Öl.

21a: Aufbau einer Zentralschmieranlage (Einleitungsanlage). 1 = Pumpe, 2 = Hauptleitung, 3 = Dosierventil, 4 = Schmierstellenleitung, 5 = Schmierstellen, 6 = Steuergerät

21b: Beispiel für ein Dosierventil



Schmierverfahren

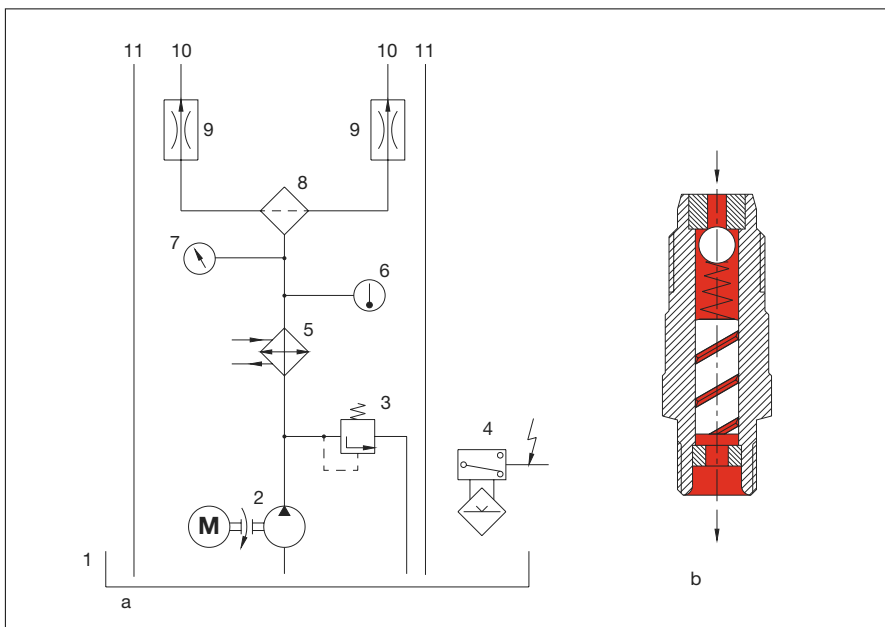
Beispiele

2.5.2 Ölumlaufanlage

Bild 22: Bei Ölumlaufschmierung mit größeren Mengen kann die Ölaufteilung auch über Drosseln erfolgen, da die den Lagern zugeführte Ölmenge meistens in geringen Grenzen schwanken darf. Über Drosseln können mehrere Liter Öl je Minute geleitet werden (Kühlschmierung). Im Ölkreislauf sind je nach Bedarf und Anforderungen an die Betriebssicherheit vorzusehen: Druckbegrenzungsventil, Kühler, Filter, Manometer, Thermometer, Ölstandskontrolle und Behälterheizung. Die Menge, die das Lager durchläßt, hängt von der Ölviskosität und damit auch von der Öltemperatur ab.

22a: Schema einer Ölumlaufanlage (Beispiel). 1 = Behälter, 2 = Ölpumpenaggregat, 3 = Druckbegrenzungsventil, 4 = elektrische Ölstandskontrolle, 5 = Kühler, 6 = Thermometer, 7 = Manometer, 8 = Filter, 9 = Verteiler (Stromregelventil, Drossel), 10 = Schmierstelle, 11 = Ölrücklaufleitung.

22b: Beispiel für eine Drossel



2.5.3 Ölnebelanlage

Bild 23: Die in einem Druckluftfilter gereinigte Luft durchläuft eine Venturidüse und saugt über ein Rohr aus einem Behälter Öl an. Das angesaugte Öl wird teilweise als Ölnebel mitgenommen. Größere, nicht vernebelte Tropfen fallen aus dem Luftstrom wieder aus und fließen in den Behälter zurück. Die Öltropfen im Nebel sind 0,5 bis 2 µm groß. Der Ölnebel läßt sich gut durch Rohrleitungen transportieren. Er benetzt aber schlecht. Daher wird kurz vor dem zu schmierenden Wälzlager durch eine Ver-

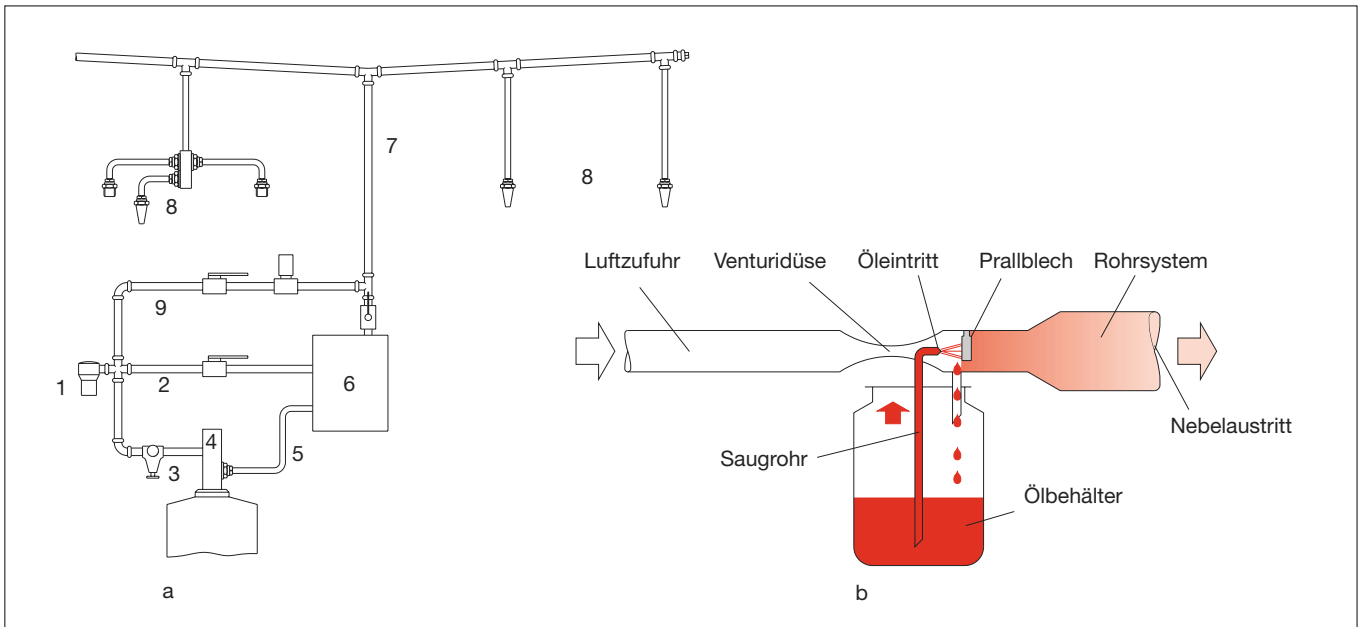
dichterdüse oder Rückverneblerdüse rückverdichtet, so daß das ausgefallene Öl in makrofeiner Form durch den Luftstrom zum Lager gelangt.

Da die Rückverdichtung nicht immer voll wirksam ist, muß man in Kauf nehmen, daß auch Öl mit der abströmenden Luft in die Umgebung gelangt. Ölnebel ist umweltbelastend. Für Ölnebelschmierung werden Öle bis zur Viskositätsklasse ISO VG 460 angewandt. Zähre Öle müssen zum Vernebeln so erwärmt werden, daß ihre Viskosität unter 300 mm²/s liegt.

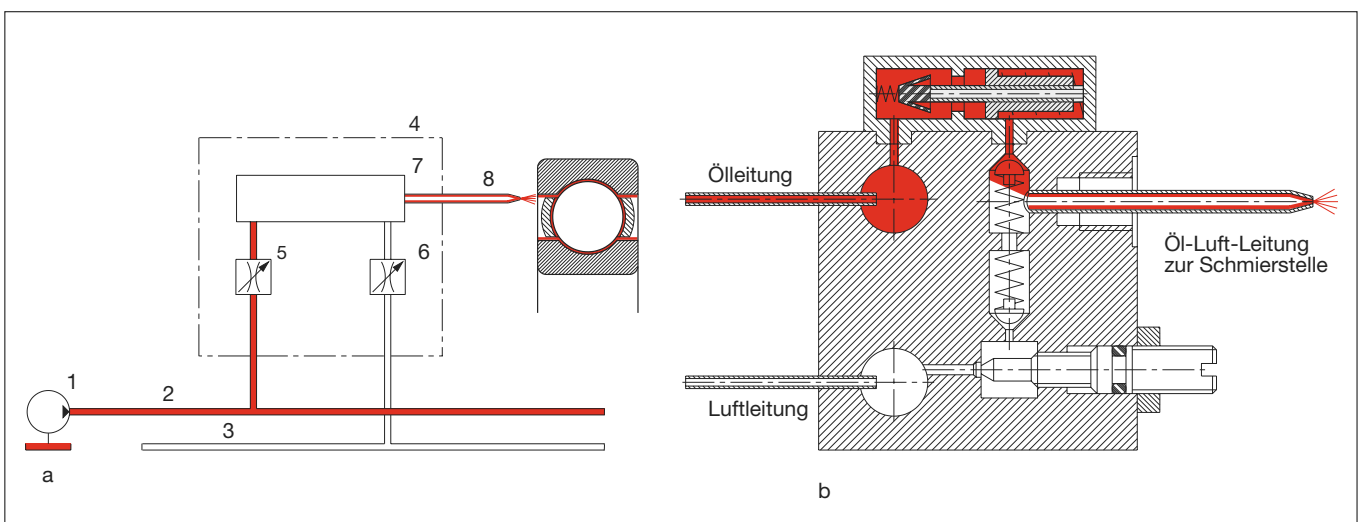
2.5.4 Öl-Luft-Schmieranlage

Bild 24: In einer Öl-Luft-Mischeinheit, Bild 24b, wird Öl über ein Dosierventil periodisch in einen kontinuierlichen Luftstrom eingespritzt. Ein Steuer- und Überwachungsgerät übernimmt die periodische Schaltung der Ölpumpe. Die eingespritzte Ölmenge wird an der Rohrwandung entlang sicher vom Luftstrom zur Lagerstelle transportiert. Zur Führung des Öl-Luft-Stroms wird ein durchsichtiger Kunststoffschlauch empfohlen, damit der Ölfluß beobachtet werden kann. Der Schlauch soll eine lichte Weite von 2 bis 4 mm haben und mindestens 400 mm lang sein, um eine gleichmäßige Ölzufuhr sicherzustellen. Die Bildung von Ölnebel wird weitgehend vermieden. Es können Öle bis ISO VG 1500 verwendet werden (Viskosität bei Raumtemperatur ca. 7000 mm²/s). Die Öl-Luft-Schmierung hat gegenüber der Ölnebelschmierung den Vorteil, daß die größeren Ölteilchen besser auf den Lagerflächen haften und das meiste Öl im Lager verbleibt, so daß über die Luftaustrittsöffnungen nur wenig Öl in die Umgebung entweicht.

- 23a: Aufbau einer Ölnebelanlage. 1 = Luftfilter, 2 = Luftzuführung, 3 = Druckregler, 4 = Pumpe, 5 = Hauptleitung, 6 = Ölnebelgerät, 7 = Ölnebelleitung, 8 = Rückverneblerdüsen (Schmierstellen), 9 = Ausblasluftleitung.
 23b: Schema eines Ölnebelgerätes (Venturidüse)



- 24a: Prinzip der Öl-Luft-Schmierung (nach Woerner). 1 = zeitgesteuerte Ölpumpe, 2 = Ölleitung, 3 = Luftleitung, 4 = Öl-Luft-Mischeinheit, 5 = Öldosierung, 6 = Luftdosierung, 7 = Mischkammer, 8 = Öl-Luft-Leitung.
 24b: Öl-Luft-Mischeinheit

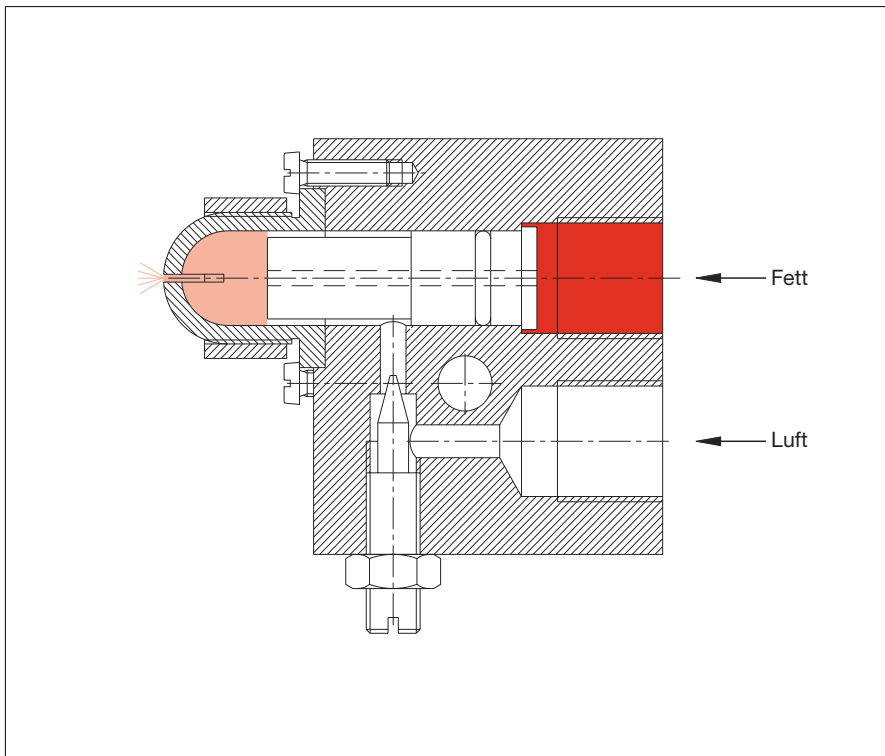


2.5.5 Öl- und Fett-Sprühschmierung

Die hierfür erforderliche Anlage hat den gleichen Aufbau wie die Öl-Luft-Schmieranlage. Ein Steuergerät öffnet ein Magnetventil für Sprühluft. Der Luftdruck betätigt seinerseits ein pneumatisches Schmierstoff-Absperrventil für die Dauer des Sprühimpulses. Der Schmierstoff wird mit einer pneumatischen Zentralschmierpresse dem Sprühkopf zuge-

führt. Die Luft nimmt im Sprühkopf, Bild 25, den zugeführten Schmierstoff mit. Das entstehende Sprühbild hängt von der Form und der Größe der Öffnung ab. Erforderlich ist ein Luftdruck von 1 bis 2 bar. Feine Sprühbilder werden mit 4 bis 5 bar erreicht. Es können Fette der Konsistenzklassen 000 bis 3 und Öle bis zu ISO VG 1500 (Viskosität bei Raumtemperatur etwa $7000 \text{ mm}^2/\text{s}$) versprüht werden.

25: Fett-Sprühkopf



3 Auswahl des Schmierstoffs

Bei den meisten in der Praxis vorkommenden Betriebsbedingungen stellen Wälzlager an die Schmierung keine besonders hohen Anforderungen. Viele Lager werden sogar im Mischreibungsbereich betrieben. Will man aber das Leistungsvermögen der Wälzlager voll ausnutzen, sind die folgenden Hinweise zu beachten.

Die von den Wälzlagerherstellern empfohlenen Fette, Öle oder Festschmierstoffe erfüllen die nachfolgend genannten Spezifikationen für Wälzlagerschmierstoffe. Sie ermöglichen bei richtiger Auswahl für einen breiten Drehzahl- und Belastungsbereich eine zuverlässige Schmierung.

Wälzlagerfette sind nach DIN 51825 genormt. Sie müssen z. B. bei der oberen Gebrauchstemperaturgrenze in der FAG-Wälzlagerfett-Prüfmaschine FE9 (DIN 51821) eine bestimmte Laufzeit F_{50} erreichen.

Schmierstoffe für den Mischreibungsbereich bei hoher Belastung oder mit niedriger Betriebsviskosität bei hoher Temperatur werden aufgrund ihres Reibungs- und Verschleißverhaltens beurteilt. Hier kann Verschleiß nur vermieden werden, wenn trennende Grenzschichten in den Kontaktzonen entstehen, z. B. durch die Reaktion von Additiven mit den metallischen Oberflächen aufgrund hohen Drucks und einer dem Additiv entsprechenden Temperatur im Wälzkontakt. Zur Prüfung dieser Schmierstoffe werden FAG-FE8-Prüfstände (E DIN 51819) eingesetzt.

Bei besonders hoch additivierten Mineralölen, beispielsweise Hypoidölen, und bei Syntheseölen ist die Verträglichkeit mit Dichtungswerkstoffen und Lagerwerkstoffen (insbesondere mit dem Käfigmaterial) zu beachten.

26: Fettauswahl nach verschiedenen Kriterien

Kriterien für die Auswahl des Fettes	Eigenschaften des zu wählenden Fettes (siehe auch Abschnitt 3.1)
Betriebsbedingungen Drehzahlkennwert $n \cdot d_m$ Belastungsverhältnis P/C	Fettauswahl nach Diagramm, Bild 28 (Seite 27). Bei hohem Drehzahlkennwert $n \cdot d_m$: Konsistenzklasse 2-3, bei hohem Belastungsverhältnis P/C: Konsistenzklasse 1-2
Forderung an Laufeigenschaften geringe Reibung, auch beim Start niedrige und konstante Reibung im Beharrungszustand, aber höhere Startreibung zulässig geringes Laufgeräusch	Fett der Konsistenzklasse 1-2 mit synthetischem Grundöl niedriger Viskosität Fett der Konsistenzklasse 3-4, Füllungsgrad $\approx 30\%$ des freien Lagerraumes oder Fett der Konsistenzklasse 2-3, Füllungsgrad $< 20\%$ des freien Lagerraumes geräuscharmes Fett (hoher Reinheitsgrad) der Konsistenzklasse 2
Einbauverhältnisse Lagerachse schräg oder senkrecht Außenring dreht, Innenring steht oder Fliehkräfteinwirkung auf das Lager	haftfähiges Fett der Konsistenzklasse 3-4 Fett mit hohem Verdickeranteil, Konsistenzklasse 2-4 Füllungsgrad abhängig von der Drehzahl
Wartung häufige Nachschmierung gelegentliche Nachschmierung, for-life-Schmierung	weiches Fett der Konsistenzklasse 1-2 walkstabilen Fett der Konsistenzklasse 2-3, obere Einsatztemperatur deutlich höher als Betriebstemperatur
Umweltverhältnisse hohe Temperatur, for-life-Schmierung hohe Temperatur, Nachschmierung tiefe Temperatur staubige Umgebung Kondenswasser Spritzwasser aggressive Medien (Säuren, Basen usw.) radioaktive Strahlung Schwingungsbeanspruchung Vakuum	temperaturstabilen Fett mit synthetischem Grundöl und mit temperaturstabilem (evtl. synthetischem) Verdicker Fett, das bei hoher Temperatur keine Rückstände bildet, lange Gebrauchsdauer bei hoher Temperatur Fett mit niedrigviskosem synthetischem Grundöl und geeignetem Verdicker Konsistenzklasse 1-2 festes Fett der Konsistenzklasse 3 emulgierendes Fett, wie z. B. Natronseifenfett wasserabweisendes Fett, z. B. Kalziumseifenfett der Konsistenzklasse 3 Sonderfett, bei FAG oder Schmierstoffhersteller erfragen bis Energiedosis $2 \cdot 10^4$ J/kg, Wälzlagerfette nach DIN 51 825 bis Energiedosis $2 \cdot 10^7$ J/kg, bei FAG zurückfragen Lithium EP-Fett der Konsistenzklasse 2, häufige Nachschmierung. Bei mäßiger Schwingungsbeanspruchung Lithiumseifenfett der Konsistenzklasse 3 bis 10^{-5} mbar, abhängig von Temperatur und Grundöl, Wälzlagerfette nach DIN 51 825, bei FAG zurückfragen

Auswahl des Schmierstoffs

Fett

27: Eigenschaften von Schmierfetten

Fettart			Eigenschaften						
Verdicker Art	Grundöl Seife	Grundöl	Temperaturbereich °C	Tropfpunkt °C	Wasserbeständigkeit	Druckbeständigkeit	Preisrelation*	Eignung für Wälzlager	Besondere Hinweise
normal	Aluminium Kalzium	Mineralöl	-20...70	120	++	+	2,5...3	+	Quillt mit Wasser
			-30...50	80...100	+++	+	0,8	+	Gute Dichtwirkung gegen Wasser
	Lithium Natrium	Mineralöl	-35...130	170...200	+++	+	1	+++	Mehrzweckfett
			-30...100	150...190	-	++	0,9	++	Emulgiert Wasser
Lithium	PAO	-60...150	170...200	+++	++	4...10	+++	Für tiefe und höhere Temperatur, hohe Drehzahlen	
Lithium	Ester	-60...130	190	++	+	5...6	+++	Für tiefe Temperatur, hohe Drehzahlen	
komplex	Aluminium Barium Kalzium	Mineralöl	-30...160	260	+++	+	2,5...4	+++	Mehrzweckfett
			-30...140	220	++	++	4...5	+++	Mehrzweckfett, dampfbest.
			-30...140	240	++	++	0,9...1,2	+++	Mehrzweckfett, neigt zum Verhärten
	Lithium Natrium	Mineralöl	-30...150	240	++	++	2	++	Mehrzweckfett
			-30...130	220	+	+	3,5	+++	Mehrzweckfett für hohe Temperatur
	Aluminium Barium Kalzium	PAO	-60...160	260	+++	++	10...15	+	Für weiten Temperaturbereich, gut förderbar
			-60...160	220	+++	+++	15...20	+++	Für tiefe und höhere Temperatur, für hohe Drehzahlen
			-60...160	240	+++	+++	15...20	+++	Für tiefe und höhere Temperatur, für hohe Drehzahlen
			-40...180	240	++	+++	15	+++	Für breiten Temperaturbereich
	Barium Kalzium	Ester	-40...130	200	++	++	7	+++	Für tiefe Temperatur und höhere Drehzahlen
-40...130			200	+++	++	7	+++	Belastung mäßig	
Lithium	Ester	-40...180	240	++	+	10	+++	Für besonders breiten Temperaturbereich	
Lithium	Silikonöl	-40...180	240	++	-	20	++	Für besonders breiten Temperaturbereich, P/C<0,03	
Bentonite	Mineralöl PAO	-20...150	ohne	+++	+	2...6	++	Für höhere Temperatur bei niedrigen Drehzahlen	
		-50...180	ohne	+++	+	12...15	++	Für breiten Temperaturbereich	
Polyharnstoff	Mineralöl PAO	-25...160	250	+++	++	3	+++	Für höhere Temperatur bei mittleren Drehzahlen	
		-30...200	250	+++	+++	10	+++	Hochtemperaturfett mit guter Langzeitwirkung	
	Silikonöl Fluorsilikonöl	-40...200	250	+++	-	20	++	Für hohe und niedrige Temperatur, geringe Belastungen	
		-40...200	250	+++	+	100	+++	Für hohe und niedrige Temperatur, mäßige Belastungen	
PTFE oder FEP	Alkoxyfluoröl Fluorsilikonöl	-50...250	ohne	+++	++	100...150	+++	Beide Fette für sehr hohe und tiefe Temperatur	
		-40...200	ohne	+++	++	80...100	+++	Sehr gute Beständigkeit gegen Chemikalien und Lösungsmittel	

* Bezogen auf Lithiumseifenfett/Mineralölbasis (=1)

+++ sehr gut
 ++ gut
 + mäßig
 - schlecht

3.1 Auswahl des geeigneten Fettes

Schmierfette unterscheidet man vor allem nach ihren Hauptbestandteilen Verdicker und Grundöl. Als Verdicker werden meist normale Metallseifen verwendet, aber auch Komplexseifen sowie Bentonite, Polyharnstoff, PTFE oder FEP. Als Grundöl eingesetzt wird Mineralöl oder Syntheseöl. Die Viskosität des Grundöls bestimmt zusammen mit dem Verdickeranteil die Konsistenz des Schmierfetts und den Aufbau des Schmierfilms.

Wie die Schmieröle enthalten die Schmierfette zusätzlich Wirkstoffe (Additive) zur Verbesserung der chemischen oder physikalischen Fetteigenschaften wie z. B. der Oxidationsstabilität, des Korrosionsschutzes oder des Verschleißschutzes bei hoher Belastung (EP-Zusätze).

Einen Überblick über die wichtigsten für die Wälzlagerschmierung geeigneten Fettarten gibt die Tabelle, Bild 27. Die in der Tabelle enthaltenen Angaben sind Durchschnittswerte. Die meisten der aufgeführten Fette werden mit unterschiedlicher Walkpenetration hergestellt. Ge-

naue Daten nennen die Fetthersteller. Anhand der Tabelle ist eine erste Orientierung möglich.

Ausführliche Hinweise zur Fettauswahl geben die folgenden Ausführungen und die Zusammenfassung in der Tabelle, Bild 26 (Seite 25).

3.1.1 Beanspruchung durch Drehzahl und Belastung

Der Einfluß von Drehzahl und Belastung auf die Fettauswahl ist im Diagramm, Bild 28, dargestellt. Zur Beurteilung sind erforderlich:

- C [kN] dynamische Tragzahl
- P [kN] dynamisch äquivalente Belastung des Lagers (Berechnung siehe FAG-Katalog)
- n [min⁻¹] Drehzahl
- d_m [mm] mittlerer Durchmesser (D+d)/2 des Lagers
- k_a Faktor zur Berücksichtigung des Gleitreibungsanteils der Lagerbauart

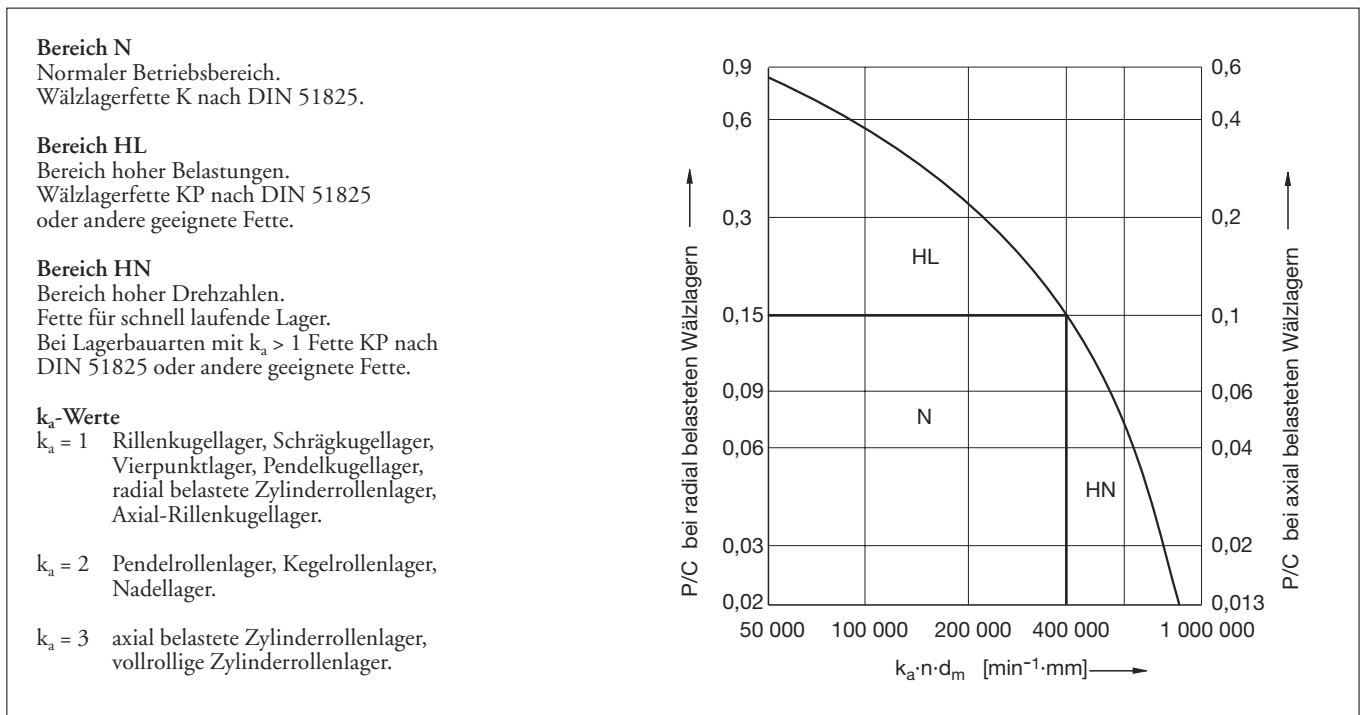
Das Diagramm, Bild 28, ist in drei Beanspruchungsbereiche aufgeteilt. Bei radialer Belastung benutzt man die linke Ordinate, bei axialer Belastung die rechte.

Bei Fällen, die im **Bereich N** liegen, können zur Schmierung fast alle Wälzlagerfette K nach DIN 51 825 verwendet werden. Ausgenommen sind Fette mit extremer Grundölviskosität und Fette mit extremer Konsistenz sowie einige Sonderfette, beispielsweise Silikonfette, die nur bis zu Belastungen von P/C = 0,03 eingesetzt werden sollen.

Liegen die Beanspruchungen in der rechten oberen Ecke des Bereichs N, treten also gleichzeitig hohe Belastung und hohe Drehzahl auf, so kann wegen höherer Betriebstemperatur ein temperaturbeständiges Fett erforderlich sein. Die obere Gebrauchstemperatur der Fette sollte deutlich über der Betriebstemperatur liegen.

Im **Bereich HL** liegen hochbelastete Lagerungen. Hier sollten Fette mit höherer Grundölviskosität, mit EP-Zusätzen und eventuell Festschmierstoff-Zusätzen gewählt werden. Bei hoch belasteten und

28: Fettauswahl nach Belastungsverhältnis P/C und lagerbezogenem Drehzahlkennwert k_a · n · d_m



Auswahl des Schmierstoffs

Fett

langsam laufenden Lagern bewirken diese Zusätze, daß an die Stelle der teilweise fehlenden hydrodynamischen Schmierung (Teilschmierung) die "chemische Schmierung" und die Feststoffschmierung treten.

Die Beanspruchungen im **Bereich HN** sind gekennzeichnet durch hohe Drehzahlen und niedrige Belastungen. Bei hohen Drehzahlen muß vor allem die vom Fett verursachte Reibung niedrig sein, und das Fett sollte gut haften. Diese Voraussetzungen treffen für Fette mit niedrigviskosem Ester-Grundöl zu. Grundsätzlich sind die von den Fettherstellern angegebenen Richtwerte für den zulässigen Drehzahlkennwert eines Fettes um so höher, je niedriger die Viskosität des Grundöls ist.

3.1.2 Forderungen an die Laufeigenschaften

Eine **geringe, konstante Reibung** ist bei Lagerungen von Bedeutung, die Einstellbewegungen ruckfrei ausführen sollen, z. B. Lagerungen von Teleskopen. In solchen Fällen finden Lithium-EP-Fette mit hochviskosem Grundöl und MoS₂-Zusatz Verwendung. Die Reibung muß auch gering sein, wenn die Antriebsleistung zum großen Teil von der Verlustleistung des Lagers bestimmt wird, beispielsweise bei kleinen Elektromotoren geringer Leistung. Laufen solche Lagerungen aus dem kalten Zustand rasch an, so eignen sich besonders Fette der Konsistenzklasse 2 mit einem synthetischen Grundöl niedriger Viskosität.

Für normale Temperatur kann eine niedrige Reibung – ausgenommen während der kurzen Zeit der Fettverteilung – durch die Wahl eines steiferen Fettes der Konsistenzklasse 3 bis 4 erreicht werden. Von solchen Fetten wird nur wenig von den umlaufenden Lagerteilen mitgeschleppt, wenn sich überschüssiges Fett im freien Raum des Lagergehäuses absetzen kann.

Schmierfette für **geräuscharme Lager** dürfen keine festen Bestandteile aufweisen. Solche Fette sollten deshalb besonders gefiltert und homogenisiert sein. Eine höhere Grundölviskosität wirkt be-

sonders im oberen Frequenzbereich geräuschmindernd.

Als Standardfett für geräuscharme Rillenkugellager wird bei normaler Temperatur meist ein gefiltertes Lithiumseifenfett der Konsistenzklasse 2 mit einer Grundölviskosität von etwa 60 mm²/s bei 40 °C verwendet. FAG Lager, die standardmäßig Deck- oder Dichtscheiben haben, sind mit einem besonders geräuscharmen Fett gefüllt.

3.1.3 Besondere Betriebsbedingungen und Umwelteinflüsse

Hohe Temperatur tritt auf bei hohen Belastungen und/oder hohen Umfangsgeschwindigkeiten und bei einer Fremderwärmung der Lagerung. Es sind dann Hochtemperaturfette einzusetzen. Dabei ist die "Grenztemperatur" (siehe 4.1.3) des Fettes zu beachten, bei deren Überschreitung die Fettgebrauchsdauer stark absinkt. Bei Lithiumseifenfett liegt sie bei ca. 70 °C, bei Hochtemperaturfetten, die Mineralöl und einen temperaturstabilen Verdicker enthalten, liegt sie je nach Fettart bei 80 bis 110 °C. Hochtemperaturfette mit synthetischem Grundöl haben bei hoher Temperatur weniger Abdampfverluste und höhere Alterungsbeständigkeit. Fette mit hochviskosem Alkoxyfluoröl als Grundöl sind in Rillenkugellagern bis zu einem Drehzahlkennwert von $n \cdot d_m = 140\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$ noch gut geeignet, auch bei einer Temperatur bis zu 250 °C. Bei mäßiger Temperatur können Hochtemperaturfette ungünstiger sein als Standardfette.

Gelegentlich schmiert man bei hoher Betriebstemperatur die Lager auch mit weniger temperaturstabilen Fetten, wobei in kurzen Zeitabständen nachgeschmiert werden muß. Dafür sind Fette zu wählen, die sich während der Verweilzeit im Lager nicht verfestigen. Eine Verfestigung behindert den Fettaustausch und kann zum Blockieren des Lagers führen.

Bei **tiefer Temperatur** kann mit Tieftemperaturfetten eine niedrigere Startreibung erreicht werden als mit Standardfetten. Tieftemperaturfette sind Schmierfette mit niedrigviskosem Grundöl und

meist Lithiumseife als Verdicker. Mehrzweckfette sind bei Verwendung im Tieftemperaturbereich sehr steif und verursachen daher eine hohe Startreibung. Bei gleichzeitig niedriger Lagerbelastung kann dann im Lager Schlupf mit Verschleiß an den Rollkörpern und Laufbahnen auftreten. Die Ölabgabe und damit die Schmierwirkung von Standard-, Hochlast- und Hochtemperaturfetten ist bei niedriger Temperatur deutlich herabgesetzt. Die untere Temperatureinsatzgrenze wird entsprechend DIN 51 825 nach der Förderbarkeit festgelegt. Diese Begrenzung bedeutet nicht, daß bei dieser Temperatur die Schmierung ausreicht. Ab einer bestimmten Mindestdrehzahl wirkt sich die tiefe Temperatur in Verbindung mit einer ausreichenden Belastung aber meistens nicht schädlich aus. Nach kurzer Laufzeit steigt auch bei Mehrzweckfetten die Temperatur auf übliche Werte an. Nachdem das Fett verteilt ist, sinkt die Reibung auf normale Werte ab.

Generell kritisch sind jedoch Lagerungen, die unter extremer Kühlwirkung betrieben werden, besonders wenn sie sich nur gelegentlich oder sehr langsam drehen.

Kondenswasser kann sich in der Lagerung bilden und zu Korrosion führen, wenn die Maschine in feuchter Umgebung arbeitet, z. B. im Freien, und die Lagerung während längerer Betriebspausen abkühlt. Kondenswasser tritt besonders dann auf, wenn große Freiräume im Lager oder Gehäuse vorliegen. Günstig sind dann Natron- und Lithiumseifenfette. Natronseifenfett nimmt größere Mengen Wasser auf, d. h. es emulgiert mit Wasser, wird aber unter Umständen so weich, daß es aus dem Lagerraum austritt. Lithiumseifenfett emulgiert nicht mit Wasser, es bietet mit entsprechenden Zusätzen einen guten Korrosionsschutz.

Bei **Spritzwassereinwirkung** wird ein wasserabweisendes Fett empfohlen, z. B. ein Kalziumseifenfett der Konsistenzklasse 3. Weil Kalziumseifenfette kein Wasser binden, enthalten sie einen Rostschutzzusatz.

Beständig gegen **besondere Medien** (kochendes Wasser, Dampf, Laugen, Säuren, aliphatische und chlorierte Kohlenwasserstoffe) sind gewisse Sonderfette.

Liegen solche Bedingungen vor, sollte FAG befragt werden.

Eine **Unterstützung der Dichtung** durch Fett trägt dazu bei, Verunreinigungen vom Lager fernzuhalten. Steife Fette (Konsistenzklasse 3 oder höher) bilden am Wellendurchtritt einen schützenden Kragen, halten sich gut im Dichtspalt von Labyrinthen und betten Fremdkörper ein. Bei berührenden Dichtungen muß das Fett auch die Gleitfläche Dichtlippe/Welle schmieren. Es ist die Verträglichkeit des Fettes mit dem Dichtungsmaterial zu überprüfen.

Kritische Belastungen durch **radioaktive Strahlung** können beispielsweise in Kernkraftanlagen auf die Lagerung und damit auf das Fett einwirken. Maßgebend ist die gesamte Energiedosis, also entweder die Strahleneinwirkung kleiner Intensität über lange Zeit oder hoher Intensität (Energiedosisrate) über kurze Zeit. Hierbei darf die Energiedosisrate allerdings einen Wert von $10 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ nicht überschreiten. Folgen von Strahlungsbeanspruchung sind Änderung der Konsistenz und des Tropfpunktes, Verdampfungsverluste und Gasentwicklung. Die Gebrauchsdauer eines durch Strahlung beanspruchten Fettes errechnet sich

aus $t = S/R$, sofern nicht andere Beanspruchungskriterien zu einer geringeren Gebrauchsdauer führen. In dieser Formel sind t die Gebrauchsdauer in h, S die für das Fett mögliche Energiedosis in J/kg , R die Energiedosisrate in $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{h})$. Normale Fette vertragen eine Energiedosis bis $S = 2 \cdot 10^4 \text{ J}/\text{kg}$, besonders strahlungsresistente Sonderfette eine Energiedosis bis $S = 2 \cdot 10^7 \text{ J}/\text{kg}$, wenn Gammastrahlung vorliegt (siehe auch Anhang, Stichwort Strahlung). Im Primärkreislauf von Kernkraftanlagen sind bestimmte Stoffe (beispielsweise Molybdändisulfid, Schwefel, Halogene) starken Veränderungen unterworfen. Es ist daher darauf zu achten, daß im Primärkreislauf eingesetzte Fette solche Stoffe nicht enthalten.

Schwingungen bringen bei vielen Fetten eine häufige, zufällige Fettergänzung an den Kontaktflächen durch Fettumverteilung am und im Lager mit sich; sie können das Fett in Öl und Verdicker aufspalten. Es wird empfohlen, ein Fett nach der Tabelle, Bild 26, zu wählen und kurzfristig, z. B. wöchentlich, nachzuschmieren. Günstige Erfahrungen liegen auch mit schwingungsstabilen Mehrzweckfetten der Konsistenzklasse 3 vor, beispielsweise bei Vibrationsmotoren.

Bei **Lagerungen im Vakuum** verdampft das Grundöl des Fettes je nach Unterdruck und Temperatur mit der Zeit. Deck- und Dichtscheiben halten das Fett im Lager und verringern Abdampfverluste. Die Fettwahl erfolgt nach der Tabelle, Bild 26.

Bei **schräg und senkrecht angeordneten Wellen** besteht die Gefahr, daß das Fett infolge der Schwerkraft aus dem Lager austritt. Es sollte nach der Tabelle, Bild 26 (Seite 25), ein haftfähiges Fett der Konsistenzklasse 3 bis 4 vorgesehen werden, das mit Stauscheiben im Lager gehalten wird.

Bei häufig **stoßartiger Beanspruchung** oder sehr hoher Belastung sind Fette der Konsistenzklasse 1 bis 2 mit hoher Grundölviskosität (ISO VG 460 bis ISO VG 1500) von Vorteil. Diese Fette bilden einen dicken hydrodynamischen Schmierfilm, der Stöße gut dämpft und Verschleiß besser verhindert als eine durch EP-Zusätze erreichte chemisch wirksame Schmierung. Nachteil der Fette mit hoher Grundölviskosität ist, daß wegen ihrer geringen Ölabbgabe die wirksame Anwesenheit des Schmierstoffs durch

29: Wirkung von Schmierstoffzusätzen

Zusätze (Additive)

Oxidationsinhibitoren
Korrosionsschutzstoffe
Detergentien
Dispersantien

Schmierungsverbessernde polare Zusätze
EP-Zusätze, Verschleißschutzzusätze
Rostschutzstoffe
Metalldeaktivatoren
Pourpointverbesserer
Viskositätsindexverbesserer
Schauminhibitoren

Wirkung der Zusätze

Verhindern die frühzeitige Entstehung von Alterungsrückständen
Verhindern Korrosion auf Metallflächen
Alterungsrückstände werden abgelöst
Schlamm bildende, unlösliche Verbindungen werden in Schwebelage gehalten.
Es kommt nicht zu Ablagerungen auf Metallteilen. Auch Wasser wird als stabile Emulsion in Schwebelage gehalten.
Verringern Reibung und Verschleiß beim Betrieb im Mischreibungsbereich
Verringern Reibung und Verschleiß, Fressen wird reduziert
Rostverhinderung auf Metallteilen während Stillstandsperioden
Katalytische Einflüsse von Metallen auf den Oxidationsprozeß werden vermieden
Pourpoint wird herabgesetzt
Minderung des Viskositätsabfalls bei zunehmender Temperatur
Schaumbildung wird verringert

Auswahl des Schmierstoffs

Fett · Öl

hohen Füllungsgrad oder kurzfristigeres Nachschmieren gesichert werden muß.

Fettwahl für **for-life-Schmierung** oder für häufige **Nachschmierung** nach der Tabelle, Bild 26 (Seite 25). Anhand der in den Tabellen, Bilder 26 und 27, aufgelisteten Beanspruchungen kann man die erforderlichen Eigenschaften des Schmierfetts festlegen und danach ein geeignetes FAG-Fett oder ein Fett aus den Listen der Fetthersteller wählen. Im Zweifelsfall bitte bei FAG rückfragen.

3.2 Auswahl des geeigneten Öles

Zur Schmierung von Wälzlagern sind grundsätzlich Mineralöle und Synthese-

öle geeignet. Schmieröle auf Mineralölbasis werden heute am häufigsten verwendet. Diese Mineralöle müssen mindestens die Anforderungen nach DIN 51 501 erfüllen. Sonderöle, oft synthetische Öle, werden eingesetzt, wenn extreme Betriebsbedingungen vorliegen oder besondere Anforderungen an die Beständigkeit des Öles bei erschweren Bedingungen (Temperatur, Strahlung usw.) gestellt werden. Namhafte Ölhersteller weisen eigene erfolgreiche FE8-Prüfungen nach. Wichtige chemisch-physikalische Daten von Ölen und Angaben zu ihrer Eignung sind in der Tabelle, Bild 30, enthalten. Die Wirkung von Zusätzen zeigt die Tabelle, Bild 29. Besondere Bedeutung haben die Zusätze für den Lagerbetrieb im Mischreibungsbereich.

3.2.1 Empfohlene Ölviskosität

Die erreichbare Lebensdauer und die Sicherheit gegen Verschleiß sind um so höher, je besser die Kontaktflächen durch einen Schmierfilm getrennt sind. Da die Schmierfilmdicke mit der Viskosität des Öles zunimmt, sollte nach Möglichkeit ein Öl mit hoher Betriebsviskosität ν gewählt werden. Sehr lange Lebensdauer läßt sich erreichen, wenn das Viskositätsverhältnis $\kappa = \nu/\nu_1 = 3 \dots 4$ beträgt, Diagramme, Bilder 5 bis 7. Hochviskose Öle bringen jedoch nicht nur Vorteile. Mit steigender Viskosität nimmt die Schmierstoffreibung zu; bei tiefer, aber auch bei normaler Temperatur können Probleme mit der Zu- und Abführung des Öles auftreten (Stau).

30: Kennwerte verschiedener Öle

Ölart	Mineralöl	Polyalphaolefine	Polyglykol (wasserunlöslich)	Ester	Silikonöl	Alkoxyfluoröl
Viskosität bei 40 °C in mm ² /s	2...4500	15...1500	20...2000	7...4000	4...100 000	20...650
Einsatz für Ölsumpf-Temperatur in °C bis	100	150	100...150	150	150...200	150...220
Einsatz für Ölumlauft-Temperatur in °C bis	150	200	150...200	200	250	240
Pourpoint in °C	-20 ²⁾	-40 ²⁾	-40	-60 ²⁾	-60 ²⁾	-30 ²⁾
Flammpunkt in °C	220	230...260 ²⁾	200...260	220...260	300 ²⁾	-
Verdampfungsverluste	mäßig	niedrig	mäßig bis hoch	niedrig	niedrig ²⁾	sehr niedrig ²⁾
Wasserbeständigkeit	gut	gut	gut ²⁾ , schlecht trennbar, da gleiche Dichte	mäßig bis gut ²⁾	gut	gut
V-T-Verhalten	mäßig	mäßig bis gut	gut	gut	sehr gut	mäßig bis gut
Eignung für hohe Temperaturen (≈ 150 °C)	mäßig	gut	mäßig bis gut ²⁾	gut ²⁾	sehr gut	sehr gut
Eignung für hohe Last	sehr gut ¹⁾	sehr gut ¹⁾	sehr gut ¹⁾	gut	schlecht ²⁾	gut
Verträglichkeit mit Elastomeren	gut	gut ²⁾	mäßig, bei Anstrichen prüfen	mäßig bis schlecht	sehr gut	gut
Preisrelationen	1	6	4...10	4...10	40...100	200...800

¹⁾ mit EP-Zusätzen

²⁾ abhängig vom Öltyp

Das Öl ist daher so zäh zu wählen, daß sich eine möglichst hohe Ermüdungslaufzeit ergibt, aber auch ständig die ausreichende Versorgung der Lager mit Öl sichergestellt ist.

In Einzelfällen kann die Betriebsviskosität nicht in der gewünschten Höhe realisiert werden,

- weil die Ölauswahl noch von anderen Komponenten der Maschine bestimmt wird und diese ein dünnflüssiges Öl erfordern,
- weil für eine Umlaufschmierung ein ausreichend fließfähiges Öl vorgesehen werden soll, um Verunreinigungen und Wärme aus der Lagerung abführen zu können,
- weil zeitweise höhere Temperatur oder sehr niedrige Umfangsgeschwindigkeit vorliegt und dann die Betriebsviskosität, die mit dem zähesten anwendbaren Öl erreicht werden kann, noch unterhalb der angestrebten Viskosität liegt.

In solchen Fällen kann auch ein Öl verwendet werden, das eine niedrigere Viskosität als die empfohlene hat. Dann muß das Öl jedoch wirksame EP-Zusätze enthalten und seine Eignung durch eine Prüfung auf dem FAG Prüfstand FE8 nachgewiesen sein. Anderenfalls ist je nach Abweichung vom Sollwert mit verminderter Ermüdungslaufzeit und Verschleißerscheinungen an den Funktionsflächen zu rechnen, wie die Berechnung der "erreichbaren Lebensdauer" ausweist. Bei besonders hoch additivierten Mineralölen ist die Verträglichkeit mit Dichtungswerkstoffen und Käfigwerkstoffen zu beachten.

3.2.2 Ölauswahl nach Betriebsbedingungen

- Normale Betriebsbedingungen: Bei normalen Betriebsbedingungen (Atmosphärendruck, Temperatur maximal 100 °C bei Ölsumpf und 150 °C bei Ölumlauflauf, Belastungsverhältnis $P/C < 0,1$, Drehzahl bis zur zulässigen Drehzahl) können unlegierte Öle, bevorzugt aber inhibierte Öle

(Korrosions- und Alterungsschutz, Kennbuchstabe L nach DIN 51 502) verwendet werden. Wenn die gegebenen Viskositätsempfehlungen nicht eingehalten werden können, sind Öle mit geeigneten EP-Additiven und Verschleißschutzzusätzen vorzusehen.

- Hohe Drehzahlkennwerte: Liegen hohe Umfangsgeschwindigkeiten vor ($k_a \cdot n \cdot d_m > 500\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$), ist ein oxidationsstabiles Öl mit guter Schaumdämpfung und mit günstigem Viskositäts-Temperatur-Verhalten (V-T-Verhalten) vorteilhaft, bei dem die Viskosität mit steigender Temperatur weniger stark abnimmt. Geeignete synthetische Öle mit gutem V-T-Verhalten sind Ester, Polyalphaolefine und Polyglykole. In der Anlaufphase, wenn die Temperatur meistens niedrig ist, wird hohe Planschreibung und damit Erwärmung vermieden; bei der höheren Beharrungstemperatur bleibt eine ausreichende Viskosität zur Sicherstellung der Schmierung erhalten.
- Hohe Belastungen: Sind die Lager hoch belastet ($P/C > 0,1$) oder ist die Betriebsviskosität ν kleiner als die Bezugsviskosität ν_1 , sollten Öle mit Verschleißschutzzusätzen verwendet werden (EP-Öle, Kennbuchstabe P nach DIN 51 502). EP-Zusätze mindern die schädlichen Auswirkungen der stellenweise auftretenden metallischen Berührung. Die Eignung von EP-Additiven ist unterschiedlich und meist stark temperaturabhängig. Die Wirksamkeit kann nur durch eine Prüfung im Wälzlager (FAG Prüfstand FE8) beurteilt werden.
- Hohe Temperatur: Bei Ölen für hohe Betriebstemperaturen hat neben der Einsatztemperaturgrenze das V-T-Verhalten besondere Bedeutung. Die Auswahl ist anhand von Öleigenschaften zu treffen, siehe Abschnitt 3.2.3.

3.2.3 Ölauswahl nach Öleigenschaften

Mineralöle sind nur bis ca. 150 °C beständig. Je nach Temperatur und Verweilzeit im Heißbereich entstehen Alterungs-

produkte, die die Schmierwirkung beeinträchtigen und sich als feste Rückstände (Ölkohle) im Lager oder in Lagernähe absetzen. Mineralöle sind bei Wasserzutritt nur bedingt gut einsetzbar, auch wenn sie Wirkstoffe zur Verbesserung der Wasser-Verträglichkeit enthalten. Es werden zwar Korrosionsschäden vermieden, aber das in Form einer stabilen Emulsion vorliegende Wasser kann zu verminderter Lebensdauer und erhöhter Rückstandsbildung führen. Der zulässige Wasseranteil kann zwischen wenigen Promillen und mehreren Prozenten liegen. Er ist vom Ölaufbau und der Additivierung abhängig.

Ester (Diester und sterisch gehinderte Ester) sind thermisch stabil (–60 bis +200 °C), haben ein günstiges V-T-Verhalten, zeigen eine geringe Flüchtigkeit und eignen sich daher gut für den Einsatz bei hohen Drehzahlkennwerten und hoher Temperatur. Ester sind meist mit Mineralölen mischbar und können mit Zusätzen angereichert werden. Bei Zutritt von Wasser reagieren Ester je nach Typ unterschiedlich. Manche Arten verseifen und spalten sich in ihre Komponenten auf, hauptsächlich dann, wenn sie basische Zusätze enthalten.

Polyalkylenglykole haben ein günstiges V-T-Verhalten und einen tiefen Stockpunkt. Sie eignen sich daher für den Einsatz bei hoher und tiefer Temperatur (–50 bis +200 °C). Ihre hohe Oxidationsbeständigkeit ermöglicht es, im Hochtemperaturbetrieb die Ölwechselintervalle auf den 2- bis 5fachen Wert der bei Mineralöl üblichen Intervalle anzuheben. Die meisten als Schmierstoffe eingesetzten Polyalkylenglykole sind nicht wasserlöslich, und sie haben ein schlechtes Wasserabscheidevermögen. Grundsätzlich sind Polyalkylenglykole nicht mit Mineralölen mischbar. Zu beachten ist, daß ihr Druck-Viskositäts-Koeffizient kleiner ist als der anderer Öle. Polyalkylenglykole können unter Umständen Dichtungen und Lack im Gehäuse sowie Käfige, z. B. aus Aluminium, angreifen.

Auswahl des Schmierstoffs

Öl

Polyalphaolefine sind synthetisch hergestellte Kohlenwasserstoff-Verbindungen, die sich in einem breiten Temperaturbereich (–40 bis +200 °C) einsetzen lassen. Ihre gute Oxidationsbeständigkeit führt dazu, daß im Vergleich zu ähnlich viskosen Mineralölen bei gleichen Bedingungen eine mehrfache Standzeit erreicht wird. Polyalphaolefine sind in jedem Verhältnis mit Mineralölen mischbar. Sie haben ein gutes Viskositäts-Temperatur-Verhalten.

Silikonöle (Phenyl-Methyl-Siloxane) können bei extremer Temperatur (–60 bis +250 °C) eingesetzt werden, denn sie weisen ein günstiges V-T-Verhalten auf, haben eine geringe Flüchtigkeit und sind thermisch sehr stabil. Ihre Belastbarkeit ($P/C \leq 0,03$) und ihr Verschleißschutzvermögen sind allerdings gering.

Alkoxyfluoröle sind oxidations- und auch wasserbeständig, aber teuer. Der Druck-Viskositäts-Koeffizient und die Dichte sind höher als bei Mineralölen mit der gleichen Viskosität. Ihr Temperatur-Einsatzbereich ist –30 bis +240 °C.

Schwer entflammare Hydraulikflüssigkeiten nehmen eine Sonderstellung ein. Sie werden aus sicherheitstechnischen Gründen seit vielen Jahren im Untertagebetrieb im Bergbau, auf Schiffen, in Flugzeugen und feuergefährdeten Industrieanlagen eingesetzt. Gründe für ihre zunehmende Verwendung sind:

- bessere Entsorgung als Mineralöl
- Preis
- Verfügbarkeit
- Brandschutz

Die schwer entflammaren Hydraulikflüssigkeiten müssen definierte Anforderungen erfüllen hinsichtlich Schwerent-

flammbarkeit, Arbeitshygiene und ökologischer Unbedenklichkeit. Die unterschiedlichen Flüssigkeitsgruppen sind im 7. Luxemburger Bericht definiert, siehe Tabelle, Bild 31.

Anwendungsbeispiele:

Die Flüssigkeitstypen HFA-E und HFA-S mit bis zu 99 Vol.-% Wasser werden vorwiegend in Chemieranlagen, hydraulischen Pressen und im hydraulischen Strebausbau eingesetzt.

Die Flüssigkeiten des Typs HFC mit bis zu 45 Vol.-% Wasser wendet man meist in Arbeitsmaschinen an, z. B. in Hydroladern, Bohrhämmern und Druckmaschinen.

Die synthetischen HFD-Flüssigkeiten werden in Seilbahnmaschinen, Walzenladern, hydrostatischen Kupplungen, Pumpen sowie in Druckmaschinen verwendet.

31: Einteilung der schwer entflammaren Hydraulikflüssigkeiten nach dem 7. Luxemburger Bericht und weitere Kenndaten

Flüssigkeitsgruppe	Zusammensetzung der Flüssigkeit	ISO VG Klasse	Üblicher Betriebstemperaturbereich °C	Schwerentflammbarkeit	Dichte bei 15 °C g/cm ³	Normen und Vorschriften	Erreichbarer a ₂₃ -Faktor
HFA-E	Öl-in-Wasser-Emulsion mit Emulgierölgehalt max. 20 Vol.-%, übliche Gehalte 1 bis 5 Vol.-% in Wasser gelöste Flüssigkeitskonzentrate üblicher Gehalt ≤ 10 Vol.-%	keine Festlegung	+5 ... +55	sehr gut	ca. 1	DIN 24 320	< 0,05
HFA-S							
HFB	Öl-in-Wasser-Emulsion mit ca. 40 Vol.-% Wasser	32, 46, 68, 100	+5 ... +60	gut	0,92 ... 1,05		-
HFB-LT*							
HFC	Wäßrige Polymerlösung (Polyglykole) mit mindestens 35 Vol.-% Wasser	15, 22, 32, 46, 68, 100	-20 ... +60	sehr gut	1,04 ... 1,09		< 0,2
HFD	Wasserfreie Flüssigkeiten	15, 22, 32, 46, 68, 100	-20 ... +150	gut	1,10 ... 1,45	VDMA 24317	
HFD-R	Phosphorsäureester						< 0,8
HFD-S	chlorierte Kohlenwasserstoffe						< 0,5
HFD-T	Gemisch aus Phosphorsäureester und chlorierten Kohlenwasserstoffen						< 1
HFD-U	andere Verbindungen						≤ 1 (z. B. synth. Ester)

* Der Zusatz LT kennzeichnet HFB-Flüssigkeiten, die eine gute Emulsionsbeständigkeit bei niedrigen Temperaturen haben und somit besser für Langzeitlagerung geeignet sind.

3.3 Auswahl von Festschmierstoffen

Mit Festschmierstoffen wird nur in Sonderfällen geschmiert, bei denen Keramiklager oder eine Schmierung mit Fett oder Öl nicht möglich sind. Solche Anwendungsfälle sind beispielsweise

- Lagerungen im Vakuum, wo Öl intensiv abdampft
- Lagerungen bei extrem hoher Temperatur, z. B. Brennofenwagen der keramischen Industrie
- Lagerungen, bei denen infolge der auftretenden Kräfte Öl oder Fett auf Dauer nicht im Lager verbliebe, z. B. bei Verstellschauellagerungen von Gebläsen (Fliehkraft)
- Lagerungen in den Bereichen Kern- und Raumfahrttechnik bei hoher radioaktiver Bestrahlung

Die gebräuchlichsten Festschmierstoffe sind Graphit und Molybdändisulfid (MoS_2). Sie werden als Pulver, gebunden mit Öl als Paste oder in Verbindung mit Kunststoff als Gleitlack verwendet. Zu den Festschmierstoffen zählen auch Polytetrafluoräthylen (PTFE) und Weichmetallfilme (beispielsweise Kupfer oder Gold). Sie werden allerdings nur selten vorgesehen.

Die Oberflächen werden meist phosphatiert, um eine bessere Haftung des Pulverfilms zu erreichen. Stabilere Schichten erhält man durch Aufbringen von Gleitlack auf phosphatierten Oberflächen. Gleitlackfilme sind allerdings nur bei geringer Belastung anwendbar. Besonders dauerhaft sind Metallfilme, die elektrolytisch abgeschieden oder durch Kathodenzerstäubung im Ultrahochvakuum aufgebracht sind. Günstig ist eine Nachbehandlung mit Molybdändisulfid. Bei einer Schmierung mit Feststoffen verringert sich die Lagerluft um den 4fachen Betrag der Festschmierstoff-Schichtstärke im Kontakt. Es sind deshalb Wälzlager mit entsprechend größerer Lagerluft vorzusehen. Die thermische und chemische Beständigkeit von Festschmierstoffen ist begrenzt.

Langsam umlaufende Wälzlager ($n \cdot d_m < 1\,500 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$) können mit Molybdändisulfid- oder Graphit-Pasten geschmiert werden. Das in der Paste enthaltene Öl verdampft bei einer Temperatur von etwa 200 °C nahezu rückstandsfrei. Liegt der Drehzahlkennwert über $n \cdot d_m = 1\,500 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$, werden Wälzlager statt mit Pasten meist mit Pulver oder Gleitlack geschmiert. Ein Pulverfilm wird durch Einreiben von Festschmierstoff in die mikroskopisch feinen Unebenheiten der Oberflächen erzielt.

Graphit kann bis zu einer Betriebstemperatur von 450 °C eingesetzt werden, da er über einen großen Temperaturbereich oxidationsbeständig ist. Gegen Strahlung ist Graphit nicht besonders beständig.

Molybdändisulfid ist bis 400 °C einsetzbar. Es behält seine guten Gleiteigenschaften auch bei tiefer Temperatur. In Gegenwart von Wasser neigt es zu elektrolytischer Korrosion. Gegenüber Säuren und Laugen hat Molybdändisulfid nur geringe Beständigkeit.

Bei **Gleitlack** ist die Verträglichkeit mit den Umgebungsmedien zu beachten. Organische Binder von Gleitlack entweichen bei hoher Temperatur, worunter die Haftfähigkeit des Gleitlackes leidet. Anorganischer Lack enthält als Bindemittel anorganische Salze. Diese Lacke sind thermisch hoch belastbar und gasen im Hochvakuum nicht aus. Der bei allen Lacken nur mäßige Korrosionsschutz ist bei anorganischen Lacken etwas ungünstiger als bei organischen.

Pasten teigen an und verfestigen sich, wenn Staub in die Lager gelangt. Bei staubiger Umgebung verhalten sich Gleitlackfilme daher günstiger.

In Sonderfällen können Wälzlager auch mit "selbstschmierenden" Käfigen ausgestattet sein, das sind Käfige mit eingelagerten Festschmierstoffen oder mit einer Füllung aus einer Mischung von Festschmierstoff und Bindemittel. Die Rollkörper übertragen den Schmierstoff auf die Laufbahnen.

3.4 Biologisch schnell abbaubare Schmierstoffe

Für die Schmierung von Wälzlagern stellen die Schmierstoffhersteller seit einigen Jahren Fette und Öle zur Verfügung, die teils auf der Basis von Pflanzenöl (meist Rapsöl), in der Regel jedoch auf synthetischer Basis (Esteröle) aufgebaut sind. Die biologische Abbaubarkeit wird nach CEC-L33-A93 sowie in Anlehnung an DIN 51828 geprüft. Meist wird daneben eine geringe Wassergefährdungsklasse (WGK) gefordert, häufig auch eine gesundheitliche Unbedenklichkeit. Dadurch ist die Möglichkeit einer wirksamen Additivierung oft behindert.

Biologisch abbaubare Schmierstoffe auf Pflanzenölbasis sind nur für einen eingeschränkten Temperaturbereich geeignet.

Synthetische Schmierstoffe auf Esterbasis bewegen sich dagegen auf einem höheren Leistungsniveau und entsprechen damit etwa denen auf herkömmlicher Basis. Wegen ihrer biologischen Abbaubarkeit werden sie bevorzugt bei Verlustschmierung eingesetzt, also dort, wo der verbrauchte Schmierstoff direkt in die Umwelt gelangen kann. Grundsätzlich ist ein gleich großer Streubereich in der Qualität zu erwarten wie bei den herkömmlichen Schmierstoffen.

Versorgung der Lager mit Schmierstoff

Fett

4 Versorgung der Lager mit Schmierstoff

Die Schmierstoffmenge, die ein Wälzlager benötigt, ist außerordentlich gering. In der Praxis bemißt man sie wegen der Betriebssicherheit der Lagerung meist reichlicher. Zu viel Schmierstoff im Lager kann jedoch schaden. Wenn überschüssiger Schmierstoff nicht entweichen kann, entstehen durch Plansch- oder Walkarbeit Temperaturen, bei denen der Schmierstoff geschädigt oder gar zerstört werden kann.

Allgemein wird eine ausreichende Versorgung sichergestellt

- durch Wahl der richtigen Schmierstoffmenge und -verteilung im Lager
- durch Beachtung der Gebrauchsdauer des Schmierstoffes und darauf abgestimmte Schmierstoffergänzung oder Schmierstoffwechsel
- durch die konstruktive Gestaltung der Lagerstelle
- durch das Schmiervorgehen und die dafür erforderlichen Geräte, Tabelle, Bild 20 (Seite 20)

4.1 Versorgung der Lager mit Fett

4.1.1 Geräte

Bei Fettschmierung ist meist kein oder nur geringer Geräteaufwand erforderlich, um die Lager ausreichend zu schmieren. Bei der Lagermontage werden die Lager meist von Hand gefettet, wenn nicht bereits vom Hersteller gefettete Lager eingebaut werden. Manchmal verwendet man zur Befettung auch Injektionsspritzen oder Fettpressen.

Geräte für die Nachfettung sind im Abschnitt 4.1.5 aufgeführt.

4.1.2 Erstbefettung und Neubefettung

Beim Befetten der Lager sind folgende Hinweise zu beachten:

- Lager so mit Fett füllen, daß alle Funktionsflächen sicher Fett erhalten.
- Gehäuseraum neben dem Lager nur so weit mit Fett füllen, daß das aus dem

Lager verdrängte Fett noch gut Platz findet. Hierdurch wird vermieden, daß zu viel Fett im Lager mit umläuft. Schließt an das Lager ein größerer und ungefüllter Gehäuseraum an, dann entweicht das aus dem Lager tretende Fett aus der unmittelbaren Lagerumgebung, und die schmierunterstützende Wirkung für das Lager geht verloren. In einem solchen Fall sollte man Lager mit Deck- oder Dichtscheiben einbauen oder durch Stauscheiben dafür sorgen, daß genügend Fett im Lagerinnenraum bleibt. Empfohlen wird eine Fettfüllung von ca. 30 % des freien Lagerinnenraums.

- Sehr schnell umlaufende Lager, beispielsweise Spindellager, nur teilweise befüllen (20 bis 30 % des freien Raumes), um die Fettverteilung beim Anlauf der Lager zu erleichtern und zu beschleunigen.
- Langsam umlaufende Lager ($n \cdot d_m < 50\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$) und deren Gehäuse voll mit Fett füllen. Die auftretende Walkreibung ist unbedeutend.

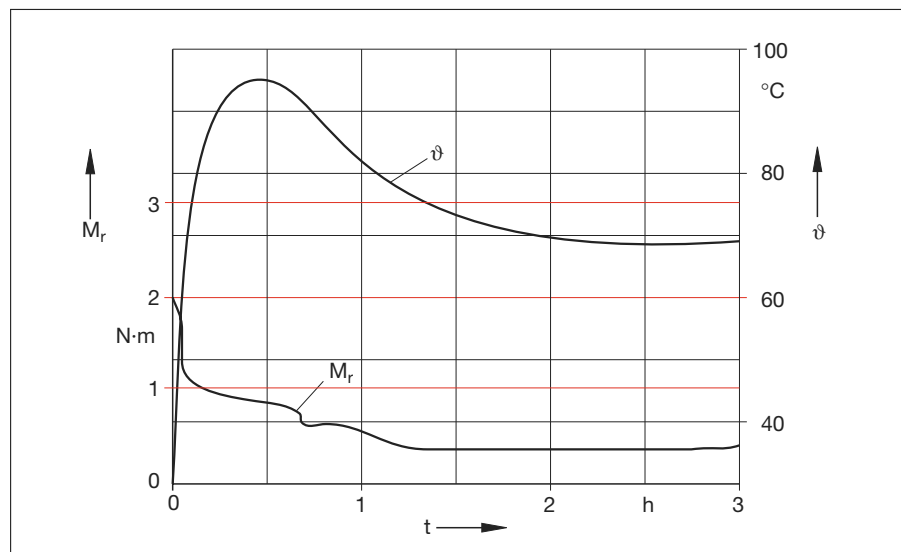
Beidseitig mit Dichtscheiben (2RSR oder 2RS) oder Deckscheiben (2ZR oder 2Z) abgedichtete Rillenkugellager werden gefettet geliefert (siehe Erläuterungen zum Bild 39 auf Seite 40). Die eingebrachte Fettmenge füllt ca. 30 % des freien Lagerraumes aus. Diese Füllmenge wird auch bei hohen Drehzahlkennwerten ($n \cdot d_m > 400\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$) gut vom Lager gehalten. Bei noch schneller drehenden Lagern ist der Füllungsgrad etwa 20 % des freien Lagerraumes. Ein höherer Füllungsgrad abgedichteter Lager führt zu mehr oder weniger kontinuierlichem Fettverlust, so lange, bis der normale Füllungsgrad erreicht ist.

Lager mit drehendem Außenring können bei höheren Umfangsgeschwindigkeiten nur eine Füllung von ca. 15 % des freien Lagerraumes halten.

Richtiger Füllungsgrad schafft günstiges Reibungsverhalten und geringen Fettverlust.

Bei höheren Drehzahlkennwerten stellt sich meistens während der Anlaufphase, gelegentlich auch über mehrere Stunden, erhöhte Lagertemperatur ein, Bild 32.

32: Reibungsmoment M_r und Temperatur ϑ eines frisch gefetteten Rillenkugellagers



Die Temperatur ist um so höher und die Phase der erhöhten Temperatur um so länger, je stärker die Lager und die Räume neben den Lagern mit Fett gefüllt sind und je mehr der freie Fettaustritt erschwert wird. Abhilfe bringt ein sogenannter Intervalleinlauf mit entsprechend festgelegten Stillstandszeiten zur Abkühlung, wie er z. B. für Spindellagerungen von Werkzeugmaschinen angewandt wird.

Voraussetzung für eine Lebensdauer-schmierung ist, daß das eingebrachte Fett durch Dichtungen oder Stauscheiben im Lager oder in Lagernähe gehalten wird. Dieses Fett in Lagernähe bewirkt grundsätzlich eine Verlängerung der Schmierfrist, da bei höherer Temperatur das Depotfett Öl abgibt, das, zumindest teilweise, zur Lagerschmierung beiträgt und durch Erschütterung gelegentlich wieder Frischfett aus der Umgebung in das Lager gelangt (Nachschmierung).

Wenn eine hohe Temperatur am Lager zu erwarten ist, sollte neben dem Lager ein Fettdepot mit einer zum Lager hin freien, möglichst großen ölabgebenden Fläche vorgesehen werden. Das kann beispielsweise durch eine abgewinkelte Stauscheibe erreicht werden, Bild 40 (Seite 40). Die günstige Menge für das Fettdepot beträgt das 3- bis 5fache des normalen Füllungsgrades entweder auf einer Seite, oder besser zu gleichen Teilen rechts und links vom Lager.

Bei unterschiedlichem Druck vor und hinter dem Lager kann eine Luftströmung das Fett und das abgegebene Grundöl aus dem Lager herausfördern, andererseits jedoch auch Schmutz ins Lager hineinbringen. In solchen Fällen ist ein Druckausgleich über Durchbrüche und Bohrungen an den Umbauteilen erforderlich.

4.1.3 Fettgebrauchsdauer

Die Fettgebrauchsdauer ist die Zeit vom Anlauf bis zum Ausfall eines Lagers als Folge eines Versagens der Schmierung. Sie hängt ab von

- Fettmenge
- Fettart (Verdicker, Grundöl, Additive)

- Lagerbauart und -größe
- Höhe und Art der Belastung
- Drehzahlkennwert
- Lagertemperatur
- Einbauverhältnissen

Die Fettgebrauchsdauer wird durch Versuche – z. B. mit dem FAG Wälzlagerfettprüfgerät FE9 – im Labor ermittelt. Solche Versuche können nur statistisch ausgewertet werden, da selbst unter gleichen Versuchsbedingungen (gleiche Betriebsparameter, qualitativ gleiche Lager, gleiche Fettcharge) je nach Fettart mit einer Streuung der Fettausfallzeiten bis 1 : 10 zu rechnen ist. Fettgebrauchsdauerwerte lassen sich daher, ähnlich wie bei der Ermüdungslebensdauer der Wälzlager, nur für eine gewisse Ausfallwahrscheinlichkeit angeben. Die Fettgebrauchsdauer F_{10} eines bestimmten Fettes gilt für 10 % Ausfallwahrscheinlichkeit.

4.1.4 Schmierfrist

Die Schmierfrist wird definiert als die mindestens erreichte Fettgebrauchsdauer F_{10} von Standardfetten, die die Mindestanforderungen nach DIN 51 825 erfüllen. Spätestens nach Ablauf der Schmierfrist ist das Lager neu zu befetten oder nachzuschmieren, siehe Abschnitt 4.1.5.

Für Standardfette auf Lithiumseifenbasis ist in Bild 33 die Schmierfrist t_f für übliche Praxisfälle bei günstigen Umgebungsbedingungen aufgetragen. Ausgegangen wird von Lithiumseifenfetten der Konsistenzklasse 2–3 und Betriebstemperaturen bis 70 °C (gemessen am Lageraußenring), die kleiner als die Grenztemperatur des Fettes sind, sowie Belastungen entsprechend $P/C < 0,1$.

Bei höheren Belastungen oder Temperaturen ist die Schmierfrist geringer.

Ab 70 °C (Grenztemperatur) ist bei Lithiumseifenfetten mit mineralischem Grundöl die Schmierfrist auf $f_3 \cdot t_f$ verkürzt. Bei Natron- und Kalziumseifenfetten liegt die Grenztemperatur bei 40 bis 60 °C, bei Hochtemperaturfetten bei 80 bis 100 °C oder höher.

In Bild 33 ist die Schmierfrist in Abhängigkeit von $k_f \cdot n \cdot d_m$ aufgetragen. Für die einzelnen Lagerbauarten gelten unterschiedliche Faktoren k_f . Wenn Spannen genannt werden, sind für die schwereren Reihen die größeren Werte, für die leichteren Reihen die kleineren Werte anzusetzen.

Gegenüber der Fettgebrauchsdauer unter Idealbedingungen sind in Bild 33 für die Schmierfrist bei günstigen Praxisbedingungen gewisse Sicherheiten berücksichtigt. Wälzlageranwender rechnen mit der Schmierfrist, wenn die Fettgebrauchsdauer F_{10} für das verwendete Fett nicht bekannt ist. Soll die ganze Leistungsfähigkeit eines Fettes ausgenutzt werden, so kann man bei idealen Betriebsbedingungen von der experimentell ermittelten Fettgebrauchsdauer F_{10} ausgehen, oder man richtet sich nach Erfahrungswerten.

Ungünstige Betriebs- und Umgebungsbedingungen bewirken eine Minderung der Schmierfrist. Die verminderte Schmierfrist t_{fq} ermittelt man nach der Beziehung

$$t_{fq} = t_f \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \cdot f_6$$

Minderungsfaktoren f_1 bis f_6 siehe Tabelle, Bild 34 (Seite 37).

Als besonders fristverkürzend wirkt sich bei Spaltdichtungen eine Luftströmung durch das Lager aus. Die durchströmende Luft altert den Schmierstoff, führt Fett oder Öl aus dem Lager mit sich und transportiert auch Verunreinigungen in das Lagerinnere.

Fett mit hoher Grundölviskosität ($v_{40} \geq 400 \text{ mm}^2/\text{s}$) gibt nur wenig Öl ab, besonders bei niedriger Temperatur. Sein Einsatz bedingt kurze Schmierfristen. Durch die Dichtungen eingedrungene Verunreinigungen (auch Wasser) beeinträchtigen die Fettgebrauchsdauer.

Für eine Reihe von Lagerungen in der Praxis läßt sich ein Gesamt-minderungsfaktor q angeben, der alle ungünstigen Betriebs- und Umweltbedingungen berücksichtigt, Tabelle, Bild 35 auf Seite 37. Die verminderte Schmierfrist t_{fq} ergibt sich aus

$$t_{fq} = q \cdot t_f$$

Versorgung der Lager mit Schmierstoff

Fett

Liegen außergewöhnliche Betriebs- und Umweltbedingungen vor (hohe oder tiefe Temperatur, hohe Belastung, hohe Umfangsgeschwindigkeit) und wird mit Sonderfetten geschmiert, die sich für diese Betriebsbedingungen als günstig erwiesen haben, kann in der Regel die sich aus dem Diagramm, Bild 33, ergebende Schmierfrist angesetzt werden.

Die Schmierfrist-Minderungsfaktoren f_1 , f_2 , f_5 und f_6 gelten grundsätzlich auch für Sonderfette. Die Last und Temperatur betreffenden Minderungsfaktoren f_3 und f_4 sowie die Grenztemperatur hierfür sind vom Schmierstoffhersteller – bei Arcanol-Fetten bei FAG – zu erfragen.

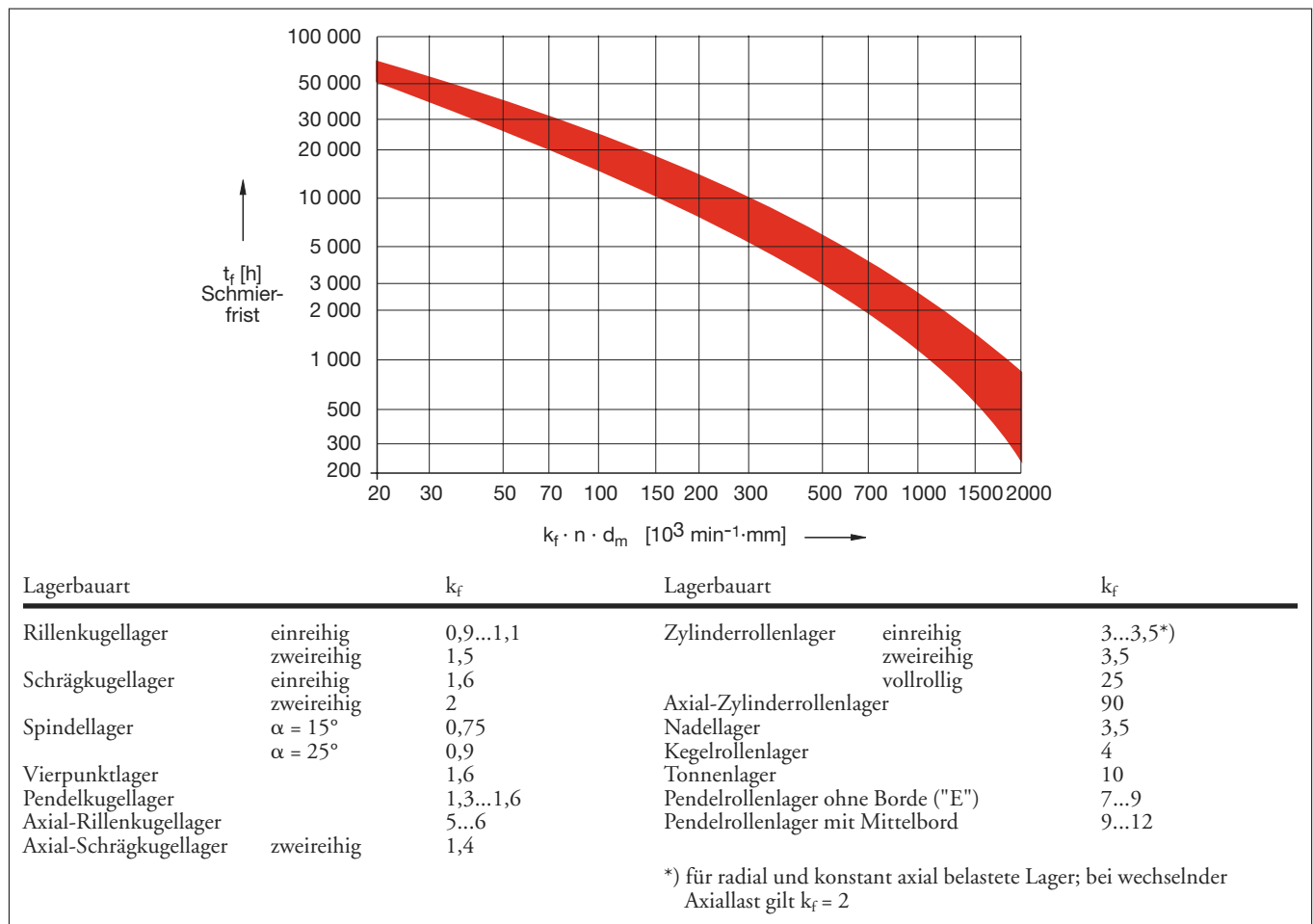
4.1.5 Nachschmierung, Nachschmierintervalle

Eine Nachschmierung oder ein Fettwechsel ist erforderlich, wenn die Fettgebrauchsdauer geringer ist als die zu erwartende Lagerlebensdauer.

Nachgeschmiert wird mit Fettpressen über Schmiernippel. Bei häufiger Nachschmierung sind Fettpressen und volumetrische Dosierverteiler erforderlich (Zentralschmierung, Fett-Sprühschmierung, siehe Seite 21 und 24). Wichtig ist, daß das Altfett vom Neufett verdrängt werden kann, damit es zum Fettaus-tausch, nicht aber zur Überschmierung kommt.

Werden die nach Bild 33 bis 35 ermittelten Schmierfristen merklich überschritten, ist je nach Fettqualität mit einer erhöhten Lagerausfallrate aufgrund versagenden Schmierstoffs zu rechnen. Deshalb ist ein rechtzeitiger Fettwechsel oder eine Nachschmierung einzuplanen. Fettwechselfristen sollten so festgelegt werden, daß sie nicht länger als die verminderten Schmierfristen t_{fq} sind.

33: Schmierfristen bei günstigen Umgebungsbedingungen. Fettgebrauchsdauer F_{10} für Standardfette auf Lithiumseifenbasis nach DIN 51825, bei 70 °C, Ausfallwahrscheinlichkeit 10 %.



34: Minderungsfaktoren $f_1 \dots f_6$ für ungünstige Betriebs- und Umweltverhältnisse

Einfluß von Staub und Feuchtigkeit an den Funktionsflächen des Lagers

mäßig	$f_1 = 0,9 \dots 0,7$
stark	$f_1 = 0,7 \dots 0,4$
sehr stark	$f_1 = 0,4 \dots 0,1$

Einfluß von stoßartiger Belastung, Vibrationen und Schwingungen

mäßig	$f_2 = 0,9 \dots 0,7$
stark	$f_2 = 0,7 \dots 0,4$
sehr stark	$f_2 = 0,4 \dots 0,1$

Einfluß höherer Lagertemperatur

mäßig (bis 75 °C)	$f_3 = 0,9 \dots 0,6$
stark (75 bis 85 °C)	$f_3 = 0,6 \dots 0,3$
sehr stark (85 bis 120 °C)	$f_3 = 0,3 \dots 0,1$

Einfluß hoher Belastung

P/C = 0,1...0,15	$f_4 = 1,0 \dots 0,7$
P/C = 0,15...0,25	$f_4 = 0,7 \dots 0,4$
P/C = 0,25...0,35	$f_4 = 0,4 \dots 0,1$

Einfluß von Luftströmung durch das Lager

geringe Strömung	$f_5 = 0,7 \dots 0,5$
starke Strömung	$f_5 = 0,5 \dots 0,1$

Bei Zentrifugalwirkung oder bei senkrechter Welle

je nach Abdichtung	$f_6 = 0,7 \dots 0,5$
--------------------	-----------------------

35: Gesamtminderungsfaktoren q für verschiedene Anwendungsgebiete

	Staub Feuchtigkeit	Stoßbelastung Vibrationen Schwingungen	höhere Lauf-temperatur	hohe Belastung	Luftströmung	Faktor q
Stationärer E-Motor	-	-	-	-	-	1
Reitstockspitze	-	-	-	-	-	1
Schleifspindel	-	-	-	-	-	1
Flächenschleifmaschine	-	-	-	-	-	1
Kreissägewelle	•	-	-	-	-	0,8
Schwungrad einer Karosseriepresse	•	-	-	-	-	0,8
Hammermühle	•	-	-	-	-	0,8
Leistungsbremse	-	-	•	-	-	0,7
Radsatzlagerung für Lokomotiven	•	•	-	-	-	0,7
Elektromotor belüftet	-	-	-	-	•	0,6
Seil-Umlenkscheiben einer Bergbahn	••	-	-	-	-	0,6
Pkw-Vorderrad	•	•	-	-	-	0,6
Textilspindel	-	•••	-	-	-	0,3
Backenbrecher	••	••	-	•	-	0,2
Vibrationsmotor	•	•••	•	-	-	0,2
Siebsaugwalze	•••	-	-	-	-	0,2
Naßpreßwalze	•••	-	-	-	-	0,2
Arbeitswalze (Walzwerk)	•••	-	•	-	-	0,2
Zentrifuge	•	-	-	••	-	0,2
Schaufelradlagerung eines Abraumberäts	•••	-	-	•	-	0,1
Sägegatter	•	•••	-	-	-	<0,1
Vibrationswalze	•	•••	•••	-	-	<0,1
Schwingsieb	•	•••	-	-	-	<0,1
Schwenkgetriebe eines Baggers	••	-	-	•••	-	<0,1
Futterpresse	•	-	•	•••	-	<0,1
Trommel eines Gurtförderers	•••	-	-	•	-	<0,1

• = mäßiger Einfluß

•• = starker Einfluß

••• = sehr starker Einfluß

Versorgung der Lager mit Schmierstoff

Fett

Bei einer **Nachschmierung** wird ein Austausch von Neufett gegen Altfett meist nur teilweise erreicht, weshalb die Nachschmierintervalle entsprechend kürzer anzusetzen sind (übliche Nachschmierintervalle 0,5 bis $0,7 \cdot \tau_{iq}$). Welche Nachschmiermengen in solchen Fällen üblich sind, kann dem Bild 36 entnommen werden.

36: Fett-Nachschmiermengen

Nachschmiermenge m_1 bei wöchentlicher bis jährlicher Nachschmierung

$$m_1 = D \cdot B \cdot x \text{ [g]}$$

Nachschmierung	x
wöchentlich	0,002
monatlich	0,003
jährlich	0,004

Nachschmiermenge m_2 bei extrem kurzem Nachschmierintervall

$$m_2 = (0,5 \dots 20) \cdot V \text{ [kg/h]}$$

Nachschmiermenge m_3 vor Wiederinbetriebnahme nach mehrjährigem Stillstand

$$m_3 = D \cdot B \cdot 0,01 \text{ [g]}$$

$$V = \text{freier Raum im Lager} \\ \approx \pi/4 \cdot B \cdot (D^2 - d^2) \cdot 10^{-9} - G/7800 \text{ [m}^3\text{]}$$

d = Lagerbohrungsdurchmesser [mm]

D = Lageraußendurchmesser [mm]

B = Lagerbreite [mm]

G = Lagergewicht [kg]

Nur eine **Fettergänzung** ist vorzunehmen, wenn bei der Nachschmierung das Altfett nicht abgeführt werden kann (keine Freiräume im Gehäuse, keine Fettaustrittsbohrung, kein Fettventil). Die zugeführte Fettmenge sollte dann begrenzt werden, um eine Überschmierung zu vermeiden.

Eine reichliche Nachschmierung ist angebracht, wenn im Gehäuse große Freiräume sind, Fettmengenregler, Fettaustrittsbohrung oder Fettventile vorhanden sind oder bei geringen Drehzahlen entsprechend $n \cdot d_m \leq 100\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$. In solchen Fällen ist die Temperaturerhöhung durch Fettwalkreibung gering.

Reichliche Nachschmierung verbessert den Austausch von Alt- gegen Neufett und unterstützt die Abdichtung gegen Staub und Feuchtigkeit. Günstig ist eine Nachschmierung bei betriebswarmem und umlaufendem Lager.

Ein **Fettaustausch** ist bei langen Schmierfristen anzustreben. Einen weitgehenden Austausch von Alt- gegen Neufett erreicht man mit Hilfe einer größeren Fettmenge. Eine große Nachschmiermenge ist vor allem dann erforderlich, wenn aufgrund höherer Temperatur das Altfett vorgeschädigt ist. Um möglichst viel Altfett durch den "Spüleffekt" abzuführen, wird mit einer Menge nachgeschmiert, die bis zu dreimal so groß ist wie die in Bild 36 angegebene Fettmenge. Nicht alle Fette eignen sich für eine Spülschmierung. Geeignete Fette empfehlen die Schmierstoffhersteller. Eine gleichmäßige Fettführung über den Lagerumfang erleichtert den Fettaustausch. Konstruktive Beispiele hierzu zeigen die Bilder 42 bis 46. Voraussetzung für einen weitgehenden Austausch von Alt- gegen Neufett ist, daß das Altfett frei entweichen kann oder ein ausreichend großer Raum zur Aufnahme des Altfettes zur Verfügung steht.

Sehr kurze Nachschmierintervalle (täglich oder kürzer) ergeben sich dann, wenn extreme Beanspruchungen vorliegen ($n \cdot d_m > 500\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$; $P/C > 0,3$; $t > 140 \text{ }^\circ\text{C}$ oder Kombinationen auch niedrigerer Werte). In solchen Fällen ist der Einsatz einer Schmierfettpumpe gerechtfertigt. Es ist darauf zu achten, daß das Fett im Lager, im Gehäuse und in der Zuführleitung ausreichend förderbar bleibt. Bei sehr hoher Temperatur kann an diesen Stellen eine Verfestigung auftreten, die eine weitere Nachschmierung verhindert. Die Folge einer solchen Verfestigung kann auch ein Blockieren der Dosierventile sein.

Eine **Unterstützung der Abdichtung durch austretendes Fett** erreicht man, wenn ständig in kurzen Abständen kleine Mengen nachgeschmiert werden. Die Nachschmiermenge pro Stunde kann hierbei $1/2$ - bis mehrfach so groß wie die in den freien Lagerinnenraum passende Fettmenge sein. Bei Anwendung der in Bild 36 empfohlenen Mengen m_2 für extrem kurze Nachschmierintervalle beträgt

die Austrittsgeschwindigkeit des Fettes am Dichtspalt je nach Spaltweite 2 cm/Tag und mehr.

Bei **hoher Temperatur** ist Fettschmierung entweder mit billigem, nur kurzzeitig stabilem Fett oder teurem, temperaturstabilem Fett möglich. Für die kurzzeitig stabilen Fette haben sich Nachschmiermengen entsprechend 1 bis 2 % des freien Lagerraumes pro Stunde für die Schmierung gut bewährt. Bei stabilen und sehr teuren Sonderfetten reichen bereits deutlich geringere Nachschmiermengen aus. Bei solch kleinen Mengen ist allerdings die Zuführung direkt in das Lager unbedingt erforderlich. Kleine Nachschmiermengen sind auch bei hohen Umfangsgeschwindigkeiten möglich. Sie erhöhen Reibungsmoment und Temperatur nur wenig. Kleine Nachschmiermengen belasten die Umwelt weniger. Allerdings ist dafür ein höherer Aufwand erforderlich. Eine gezielte Fettzuführung mit sehr kleinen Dosiermengen kann mit der Fettsprühschmierung erreicht werden, Bild 25 (Seite 24).

Eine **Mischung unterschiedlicher Fettsorten** läßt sich oft nicht ausschließen, wenn nachgeschmiert wird. Als relativ unbedenklich haben sich Mischungen aus Fetten gleicher Verseifungsbasis erwiesen. Die grundsätzliche Mischbarkeit von Ölen und Fetten zeigen die Tabellen, Bilder 37 und 38.

Bei der Mischung nicht verträglicher Fette kann es zu starken Strukturänderungen kommen, auch eine starke Erweichung des Mischfettes ist möglich. Wird bewußt auf eine andere Fettsorte umgestellt, so sollte eine Nachschmierung mit großer Menge (Fettspülung) vorgenommen werden, sofern die konstruktive Ausbildung der Einbaustelle dies zuläßt. Eine eventuell weitere Nachschmierung sollte nach einem verkürzten Zeitraum vorgenommen werden.

37: Mischbarkeit von Ölen

Grundöle	Mineralöl	Polyalphaolefin	Esteröl	Polyglykolöl	Silikonöl (Methyl)	Silikonöl (Phenyl)	Polyphenyl-etheröl	Alkoxyfluoröl
Mineralöl	+	+	+	²⁾	-	o	o	-
Polyalphaolefin	¹⁾	+	+	²⁾	-	o	o	-
Esteröl	¹⁾	+	+	o	-	o	+	-
Polyglykolöl	²⁾	²⁾	o	+	-	-	-	-
Silikonöl (Methyl)	-	-	-	-	+	+	-	-
Silikonöl (Phenyl)	o	o	o	²⁾	+	+	+	-
Polyphenyl-etheröl	¹⁾	¹⁾	¹⁾	²⁾	-	¹⁾	+	-
Alkoxyfluoröl	-	-	-	-	-	-	-	+

+ Mischung zulässig

o meist verträglich, im Einzelfall zu prüfen

- Mischung nicht zulässig

¹⁾ zwar mischbar, jedoch soll prinzipiell nicht mit einem Schmierstoff nachgeschmiert werden, der ein geringeres Leistungsvermögen hat als der Ausgangsschmierstoff

²⁾ in der Regel nicht verträglich, im Einzelfall zu prüfen

38: Mischbarkeit von Schmierfetten

Verdicker Ausgangsfett	Verdicker Nachschmierfett									
	Li-Seife	Li-Komplex	Na-seife	Na-Komplex	Ca-Komplex	Ba-Komplex	Al-Komplex	Bentonit/Hectorit	Polyharnstoff	PTFE
Li-Seife	+	+	-	o	o	o	-	-	o	-
Li-Komplex	¹⁾	+	-	o	o	o	o	-	o	-
Na-Seife	-	-	+	+	o	o	-	-	+	-
Na-Komplex	-	o	¹⁾	+	o	o	o	-	o	-
Ca-Komplex	¹⁾	o	-	o	+	+	o	-	o	-
Ba-Komplex	¹⁾	o	-	o	+	+	o	-	o	-
Al-Komplex	¹⁾	o	-	o	o	o	+	-	o	-
Bentonit/Hectorit	-	o	-	o	o	o	-	+	o	-
Polyharnstoff	¹⁾	o	-	o	o	o	-	-	+	-
PTFE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+

+ in der Regel gut verträglich

o meist verträglich, im Einzelfall zu prüfen

- in der Regel nicht verträglich

¹⁾ zwar mischbar, jedoch soll prinzipiell nicht mit einem Schmierstoff nachgeschmiert werden, der ein geringeres Leistungsvermögen hat als der Ausgangsschmierstoff

Versorgung der Lager mit Schmierstoff

Fett

4.1.6 Beispiele zur Fettschmierung

Bild 39: Abgedichtete und bei der Herstellung mit Fett gefüllte Wälzlager ermöglichen einfache Konstruktionen. Deckscheiben oder Dichtscheiben werden, je nach Anwendungsfall, als einzige Abdichtung oder zusätzlich zu einer weiteren Vordichtung vorgesehen. Berührende (Ausführung RSR oder RS) Dichtscheiben erhöhen die Lagertemperatur durch die Dichtungsreibung. Deckscheiben (ZR oder Z) und nicht berührende Dichtscheiben (RSD) bilden einen Spalt zum Innenring und beeinflussen daher die Reibung nicht. Die beidseitig abgedichteten Rillenkugellager sind standardmäßig mit einem Lithiumseifenfett der Konsistenzklasse 2 oder 3 gefettet, wobei das weichere Fett für kleine Lager verwendet wird. Die eingebrachte Fettmenge füllt ca. 30 % des freien Lagerraumes aus. Sie ist so festgelegt, daß bei normalen Betriebs- und Umweltbedingungen eine hohe Gebrauchsdauer erreicht wird. Das Fett verteilt sich während einer kurzen Einlaufphase und setzt sich zum großen Teil im ungestörten Teil des freien Lagerraumes ab, also an den Innenseiten der Scheiben. Danach ist keine nennenswerte

Umlaufteilnahme mehr festzustellen, und das Lager läuft reibungsarm. Nach Beendigung der Einlaufphase beträgt die Reibung nur noch 30 bis 50 % der Startreibung.

Bild 40: Das Rillenkugellager ist einseitig abgedichtet. Auf der anderen Seite ist eine Stauscheibe mit Fettdepot angeordnet. So verfügt das Lager über eine größere Fettmenge in Lagernähe, jedoch nicht im Lager selbst. Bei hoher Temperatur gibt das Fettdepot intensiv und langfristig Öl an das Rillenkugellager ab. So werden längere Laufzeiten erzielt, ohne daß zusätzliche Schmierstoffreibung auftritt. Geeignete Fette empfiehlt FAG auf Anfrage.

Bild 41: Bei Lagern mit Förderwirkung oder bei Lagerungen mit senkrechter Welle bewirkt eine Stauscheibe, daß das Fett nicht oder nicht so rasch aus dem Lager austritt. Besonders bei Lagerbauarten, die höhere Gleitanteile und eine ausgeprägte Förderwirkung haben (z. B. Kegellager), ist bei höheren Umfangsgeschwindigkeiten eine vorgeschaltete Stauscheibe vorteilhaft, wenn auch nicht immer ausreichend. Eine weitere Maßnahme, die Fettversorgung zu sichern, ist die kurzfristige Nachschmierung.

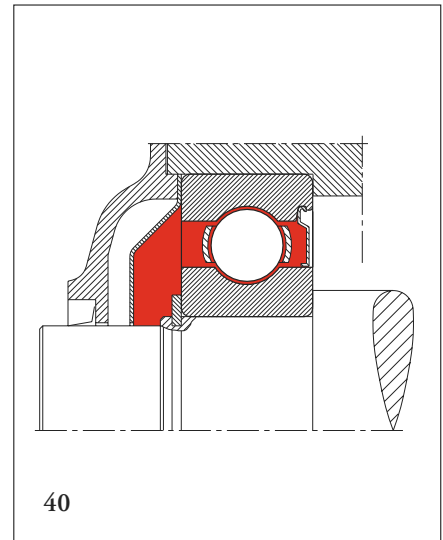
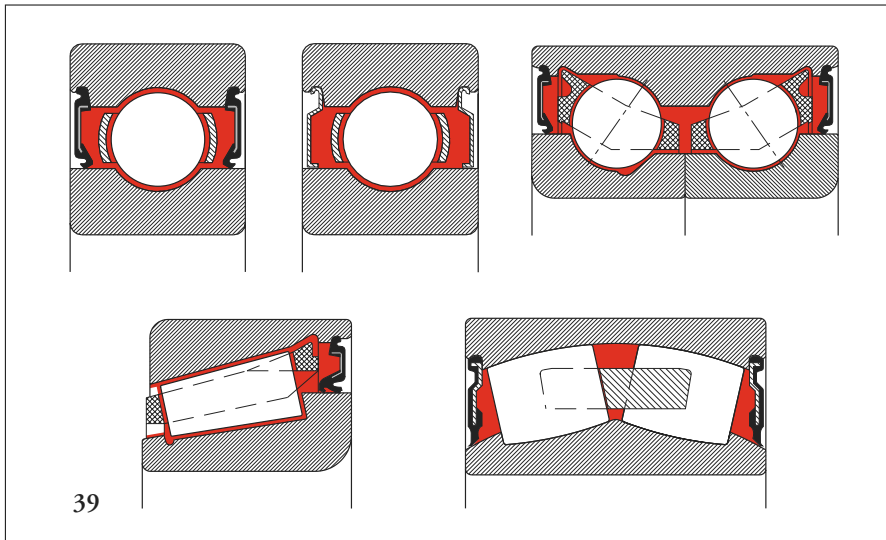
Bild 42: Über eine Schmiernut und mehrere Schmierbohrungen im Lageraußenring wird Fett in das Lagerinnere gepreßt. Durch die unmittelbare und symmetrische Zuführung des Fettes wird eine gleichmäßige Versorgung der beiden Rollenreihen erreicht. Für die Aufnahme des Altfettes sind auf beiden Seiten ausreichend große Räume oder Fettaustrittsöffnungen vorzusehen.

Bild 43: Das Pendelrollenlager wird von der Seite aus nachgeschmiert. Auf der Gegenseite soll beim Nachschmieren Fett austreten. Dabei kann ein Fettstau auftreten, wenn häufig große Mengen nachgeschmiert werden und gegen den Austritt Widerstand geboten wird. Abhilfe bringt eine Fettaustrittsbohrung oder ein Fettventil. Während der Anlaufphase kommt es infolge der Fettbewegung zu einer Temperatursteigerung (rund 20 bis 30 K über der Beharrungstemperatur), die eine oder mehrere Stunden andauern kann. Starken Einfluß auf den Temperaturverlauf haben Fettart und -konsistenz.

Bild 44: Ist ein Fettmengenregler eingebaut, so besteht bei größeren Nachschmierintervallen, höheren Umfangsgeschwindigkeiten und Verwendung eines gut förderbaren Fettes die Gefahr,

39: Abgedichtete und vom Wälzlagerhersteller gefettete Lager

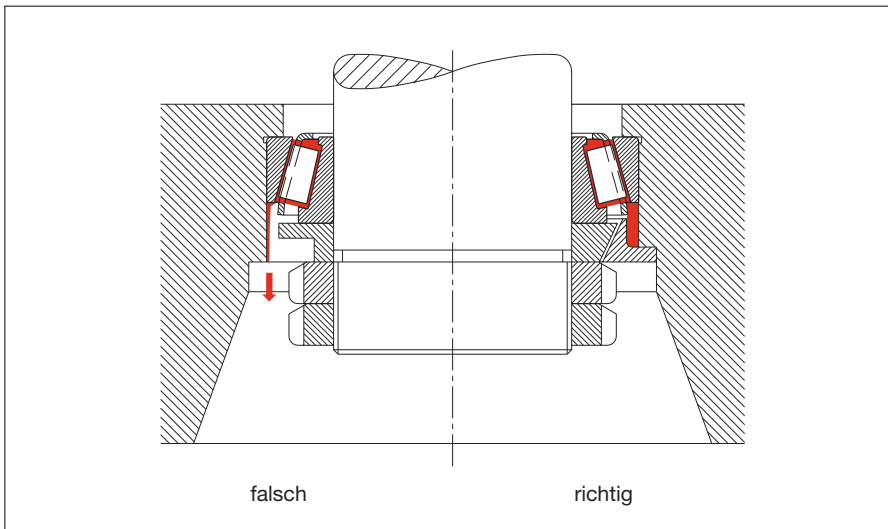
40: Durch die winkelige Stauscheibe zwischen Lager und Dichtung wird ein Fettdepot geschaffen.



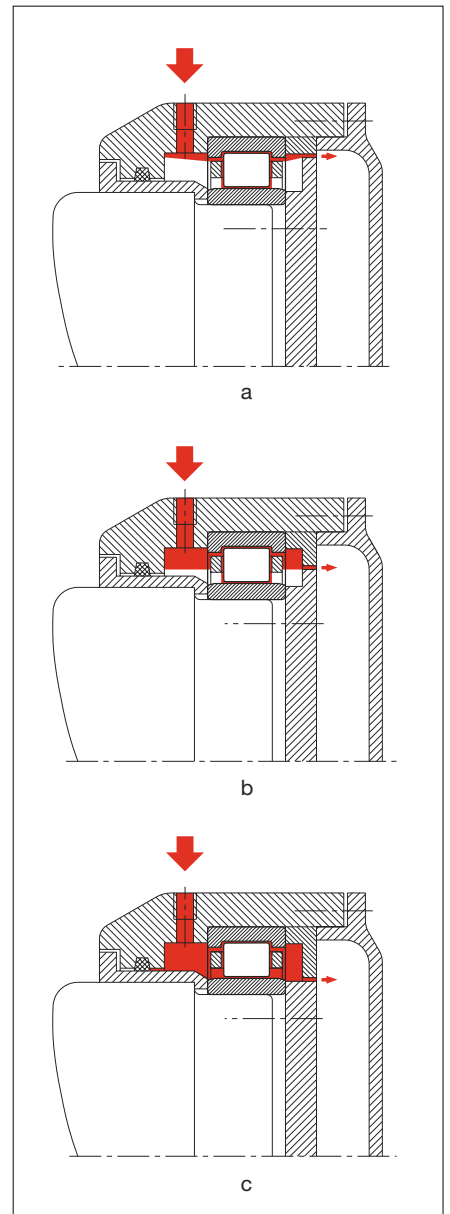
daß nur wenig Fett auf der Seite der Reglerscheibe im Lager verbleibt. Abhilfe kann dadurch geschaffen werden, daß der Spalt zwischen der umlaufenden Reglerscheibe und dem stillstehenden äußeren Teil zur Welle hin verlagert wird. Bei einem normalen Fettmengenregler mit außen liegendem Spalt, Bild 44a, ergibt

sich eine starke Förderwirkung. Eine mäßige Förderwirkung wird erzielt, wenn der Spalt etwa auf dem Teilkreisdurchmesser des Lagers angeordnet ist, Bild 44b. Bei innen liegendem Spalt, Bild 44c, wird praktisch keine Förderwirkung mehr erzielt; die Scheibe wirkt als Stauscheibe und hält das Fett am Lager.

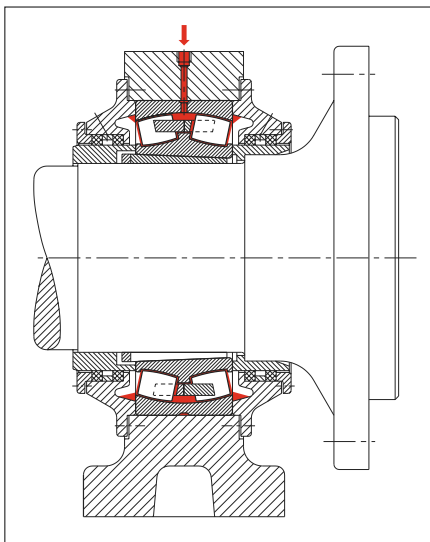
41: Durch eine Stauscheibe wird Fett im Lager und in der Lagernähe gehalten.



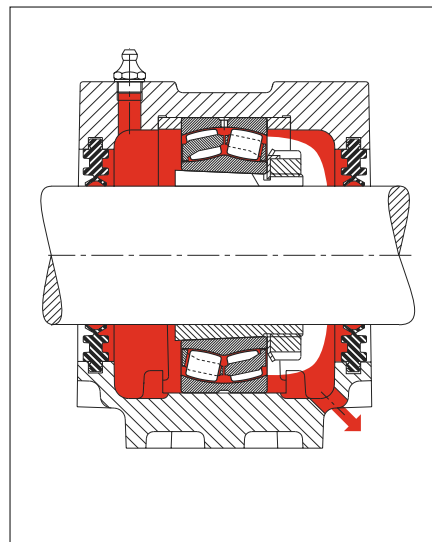
44: Die Förderwirkung der Reglerscheibe richtet sich nach dem Scheibendurchmesser.



42: Zuführung des Fettes durch den Lageraußenring



43: Fettnachschmierung. Überschmierung wird durch die Austrittsbohrung verhindert.



Versorgung der Lager mit Schmierstoff

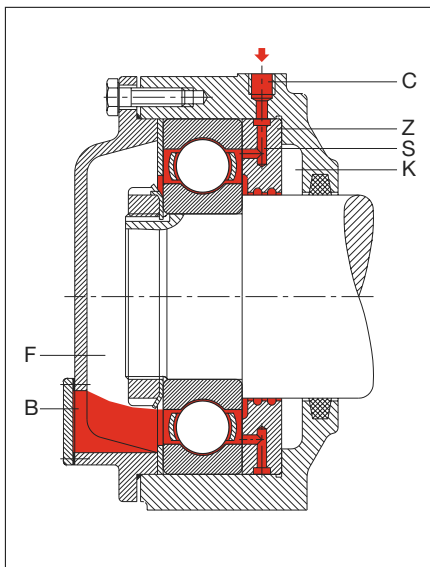
Fett

Bild 45: Bei der Nachschmierung gelangt das Fett über die Bohrung S in der Scheibe Z unmittelbar in den Ringspalt zwischen Käfig und Außenring. Das bei der Nachschmierung verdrängte Fett sammelt sich im Raum F, der von Zeit zu Zeit über die Öffnung B entleert werden muß. Die Kammer K auf der rechten Lagerseite wird bei der Montage mit Fett gefüllt; sie soll die Abdichtung verbessern. Bei der Nachschmierung im Stillstand wird ein guter Austausch von Alt- gegen Neufett erreicht, wenn die Bohrungen S über dem Umfang so angeordnet sind, daß das Fett gleichmäßig über den Umfang zum Lager gelangt. Die Bohrungen S, die im Bereich der Einfüllbohrung C liegen, müssen daher weiter voneinander entfernt sein als die diametral liegenden Bohrungen. So wird ein gleichmäßiger Strömungswiderstand erreicht, und das nachgeschmierte Fett schiebt das Altfett gleichmäßig aus dem Lager. Große Nachschmiermengen begünstigen den Austausch von Alt- gegen Neufett.

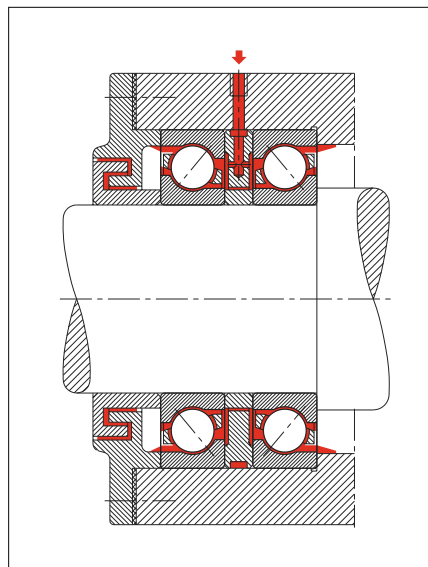
Bild 46: Das Schrägkugellagerpaar wird durch Schmierbohrungen in der zwischen den Lagern angebrachten Scheibe mit frischem Fett versorgt. Ein Fettstau wird dadurch vermieden, daß am kleinen Durchmesser der Innenringe Fett zugeführt wird; die Zentrifugalkraft fördert es zum größeren Durchmesser nach außen. Diese Wirkung tritt natürlich nur auf bei Lagern mit asymmetrischem Querschnitt, also bei Schrägkugellagern und Kegelrollenlagern. Wird ein Lagerpaar mit symmetrischem Querschnitt von der Mitte aus geschmiert, so sollte neben jedem einzelnen Lager eine Reglerscheibe oder Austrittsöffnung angeordnet werden. Wichtig ist, daß der Austrittswiderstand an jeder Stelle etwa gleich groß ist. Ist das nicht der Fall, dann entsteht eine Fettführung vorzugsweise zur Seite des geringeren Austrittswiderstands. Der Gegenseite droht Mangelschmierung.

Wie die Beispiele zeigen, ist eine zweckmäßige Fettführung meist aufwendig. Diesen Aufwand treibt man vorzugsweise bei teuren Maschinen oder schwierigen Betriebsverhältnissen wie hoher Drehzahl, Belastung oder Temperatur. In diesen Fällen muß der Austausch des verbrauchten Fettes gewährleistet und eine Überschmierung ausgeschlossen sein. Daß der erwähnte Aufwand andererseits im normalen Anwendungsfall nicht nötig ist, beweisen betriebssichere Lagerungen mit seitlichen Fettpolstern. Diese Fettpolster zu beiden Lagerseiten geben allmählich Öl zur Schmierung der Kontaktflächen ab und bieten einen zusätzlichen Schutz vor Verunreinigung des Lagerinneren. Bei Nachschmierung ist hier jedoch nicht sicher, daß das Neufett alle Kontaktstellen erreicht. Da dabei außerdem Verunreinigungen in das Lager gelangen können, ist es in solchen Fällen besser, auf regelmäßige Nachschmierung zu verzichten und eine Langzeitschmierung vorzusehen. Bei einer Maschinenüberholung kann man die Lager ausbauen, auswaschen und mit neuem Fett füllen.

45: Gezielte seitliche Nachschmierung durch Scheibe mit Bohrungen



46: Schmierung eines Lagerpaares von der Mitte aus



4.2 Versorgung der Lager mit Öl

4.2.1 Geräte

Wenn keine Tauchschmierung vorgesehen ist, muß das Öl über Geräte den Lagerstellen zugeführt werden. Der Geräteaufwand hängt von dem gewählten Schmierverfahren ab. Öl wird zugeführt durch Pumpen, wenn mit größeren und kleineren Mengen geschmiert wird, durch Ölnebelanlagen, Öl-Luft-Anlagen, Öl-zentralschmieranlagen bei Schmierung mit kleinen und sehr kleinen Mengen. Die Dosierung des Öles erfolgt mit Hilfe von Dosierelementen, Drosseln und Düsen. Ausführlichere Hinweise zu den gebräuchlichsten Schmieranlagen sind im Kapitel 2 "Schmierverfahren" enthalten.

4.2.2 Tauchschmierung

Bei der Tauchschmierung, auch als Badschmierung oder Sumpfschmierung bezeichnet, steht das Lager zum Teil im Ölsumpf. Der Ölstand bei horizontaler Lagerachse ist so zu bemessen, daß der unterste Rollkörper des Lagers im Stillstand zur Hälfte oder ganz in das Öl eintaucht, Bild 47.

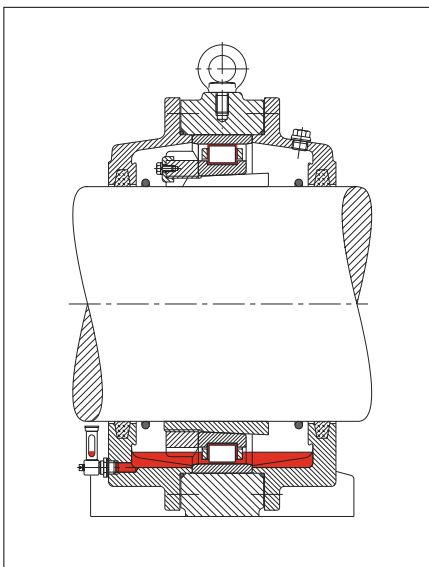
Das Öl wird bei umlaufendem Lager teilweise von den Rollkörpern und vom Käfig mitgenommen und so über den Umfang verteilt. Bei Lagern mit asymmetrischem Querschnitt, die das Öl fördern, müssen für das Öl Rücklaufkanäle vorgesehen werden, so daß sich ein Umlauf einstellt. Ein Ölstand über den untersten Rollkörper hinaus führt vor allem bei hohen Umfangsgeschwindigkeiten infolge der Planschreibung zu erhöhter Lagertemperatur und oft auch zu Schaumbildung. Bei Drehzahlkennwerten von $n \cdot d_m < 150\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$ darf der Ölstand auch höher sein. Läßt es sich nicht vermeiden, daß ein Wälzlager vollständig im Öl steht, beispielsweise bei vertikaler Lagerachse, ist das Reibungsmoment zwei- bis dreimal so hoch wie bei normalem Ölstand. Die Grenze der Tauchschmierung liegt normalerweise bei einem Drehzahlkennwert von $n \cdot d_m = 300\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$, bei häufigem Ölwechsel auch bis $500\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$. Ab $n \cdot d_m = 300\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$ liegt die Lagertemperatur oft über 70°C . Bei Tauchschmierung sollte der Ölstand regelmäßig kontrolliert werden.

Die Ölwechselfrist hängt von der Verschmutzung und vom Alterungszustand

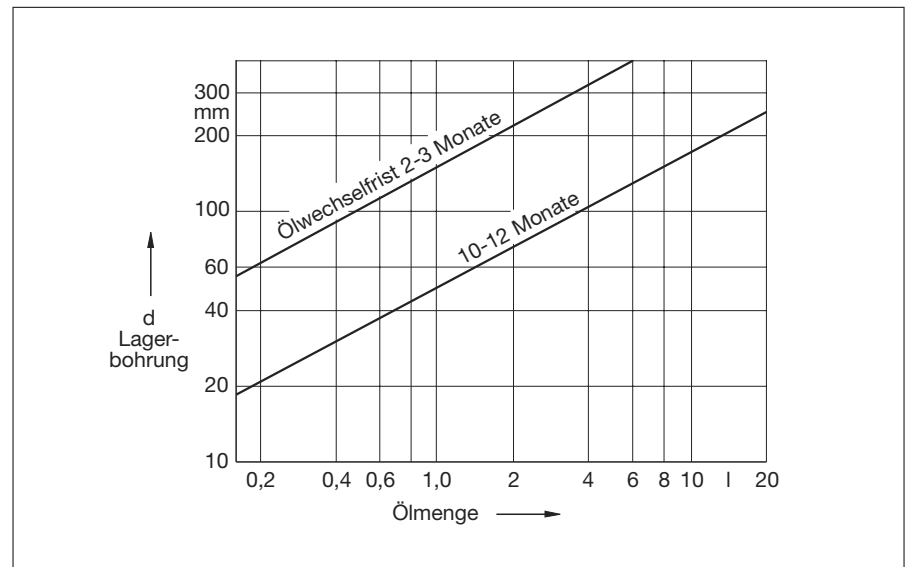
des Öles ab. Die Alterung wird durch die Anwesenheit von Sauerstoff, Metallabrieb (Katalysator) und hohe Temperatur gefördert. Aus der Änderung der Neutralisationszahl NZ und der Verseifungszahl VZ können der Ölhersteller und der mit der entsprechenden Ölsorte gut vertraute Praktiker den Alterungszustand beurteilen.

Unter normalen Bedingungen sollten Ölwechselfristen, wie sie im Diagramm, Bild 48, angegeben sind, eingehalten werden. Vorausgesetzt ist dabei, daß die Lagertemperatur 80°C nicht übersteigt und daß die Verschmutzung durch Fremdstoffe und Wasser gering bleibt. Wie aus dem Diagramm hervorgeht, erfordern Gehäuse mit geringen Ölmenge einen häufigen Ölwechsel. In der Einlaufperiode kann der Ölwechsel wegen der höheren Temperatur und stärkeren Verschmutzung durch Verschleißpartikel bereits nach sehr kurzer Zeit notwendig werden. Das gilt besonders für Wälzlager, die gemeinsam mit Zahnrädern geschmiert werden. Oft wird wegen des steigenden Gehaltes an festen und flüssigen Verunreinigungen ein vorzeitiger Ölwechsel vorgenommen. Die zulässigen Mengen an festen Verunreinigungen richten sich nach Größe und Härte der Teil-

47: Ölstand bei Tauchschmierung



48: Ölmenge und Ölwechselfrist in Abhängigkeit von der Lagerbohrung



Versorgung der Lager mit Schmierstoff

Öl

chen (siehe Abschnitt 5.1.1 "Feste Fremdstoffe", Seite 54).

Der zulässige Wassergehalt im Öl hängt von der Ölsorte ab und ist vom Ölhersteller zu erfragen. Freies Wasser führt zur Korrosion, beschleunigt die Ölalterung durch Hydrolyse, bildet mit den EP-Zusätzen aggressive Stoffe und beeinträchtigt die Ausbildung eines tragenden Schmierfilms. Gelangt Wasser durch die Dichtung in die Lagerung oder tritt Kondenswasser auf, ist die schnelle Trennung von Wasser und Öl, möglichst unterstützt durch gutes Wasserabscheidevermögen des Öles, wichtig. Eine Wasserabscheidung wird durch Behandlung des Öles im Separator oder durch Verdampfen im Vakuum erreicht. Problematisch ist allerdings die Trennung von Wasser und Öl bei Polyglykölölen, da deren Dichte etwa bei 1 liegt. Wasser setzt sich deshalb nicht im Ölbehälter ab, doch bei einer Temperatur über 90 °C verdampft das Wasser.

In kritischen Einsatzfällen sollte die Ölwechselfrist aufgrund wiederholter Öluntersuchungen festgelegt werden. Es wird empfohlen, zunächst nach 1 bis 2 Monaten, später je nach Ergebnis längerfristig, die Neutralisationszahl NZ, die Verseifungszahl VZ, den Gehalt an festen Fremdstoffen, den Wassergehalt und die Viskosität des Öles zu ermitteln. Es ist zu berücksichtigen, daß die Lagerlebensdauer bereits bei konstant niedrigem Wassergehalt drastisch zurückgehen kann. Eine grobe Abschätzung des Alterungs- und Verschmutzungsgrads ermöglicht je ein Tropfen Frischöl und Gebrauchtöl auf Fließpapier. Große Farbunterschiede deuten auf starke Alterung bzw. Verschmutzung hin.

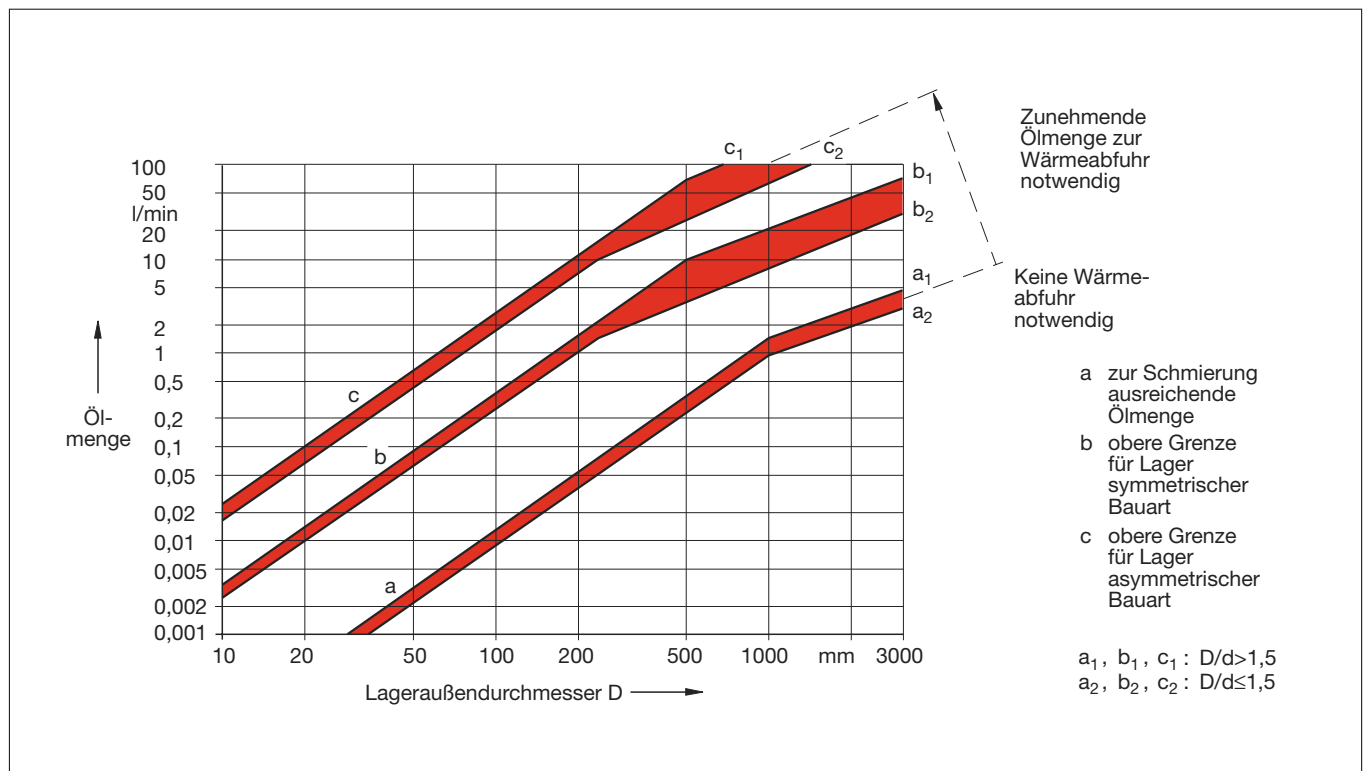
4.2.3 Umlaufschmierung mit mittleren und größeren Ölmengen

Bei der Umlaufschmierung wird das Öl nach dem Durchlauf durch die Lager

in einen Ölsammelbehälter geleitet und erneut den Lagern zugeführt. Unbedingt erforderlich ist bei der Ölumlaufrschmierung ein Filter zum Aussondern von Verschleißteilchen und Verunreinigungen, siehe auch Abschnitt 5.1.3. Die negative Auswirkung von Verunreinigungen auf die erreichbare Lebensdauer wird im Abschnitt 1.1.3 näher beschrieben.

Die **Umlaufmengen** werden den Betriebsverhältnissen angepaßt. Mengen, die bei Viskositätsverhältnissen $\kappa = \nu/\nu_1$ von 1 bis 2,5 einen mäßigen Lagerdurchlaufwiderstand erzeugen, sind dem Diagramm, Bild 49, zu entnehmen. Zur Schmierung der Lager selbst ist nur eine sehr geringe Ölmenge erforderlich. Im Vergleich hierzu sind die im Diagramm, Bild 49, als zur Schmierung ausreichend angegebenen Mengen (Linie a) groß. Diese Ölmengen werden empfohlen, um sicherzugehen, daß auch bei ungünstiger Zufuhr des Öles zum Lager, d. h. nicht

49: Ölmengen bei Umlaufschmierung



direkt in das Lager, alle Kontaktflächen noch sicher mit Öl versorgt werden. Mit den angegebenen Mindestmengen schmiert man, wenn eine geringe Reibung erwünscht ist. Die sich hierbei einstellende Temperatur liegt in gleicher Höhe wie bei der Tauchschmierung.

Ist eine Wärmeabfuhr erforderlich, sind größere Ölmengen notwendig. Da jedes Lager dem durchfließenden Öl einen Widerstand entgegensetzt, gibt es für die Ölmengen auch obere Grenzen. Für Lager mit asymmetrischem Querschnitt (Schrägguggellager, Kegelrollenlager, Axial-Pendelrollenlager) sind größere Durchlaufmengen zulässig als für Lager mit symmetrischem Querschnitt, da die Lager mit asymmetrischem Querschnitt wegen ihrer Förderwirkung dem Öldurchfluß weniger Widerstand entgegensetzen. Bei den im Diagramm, Bild 49, angegebenen Grenzen wird druckloser Zulauf und Aufstau des Öles auf der Zu-

führseite des Lagers bis knapp unter die Welle vorausgesetzt. Welche Ölmenge im Einzelfall zugeführt werden muß, um eine befriedigend niedrige Lagertemperatur zu erhalten, hängt von den Bedingungen der Wärmez- und -abfuhr ab. Die richtige Ölmenge kann man bei der Inbetriebnahme der Maschine durch Messung der Temperatur bestimmen und dann entsprechend einregeln.

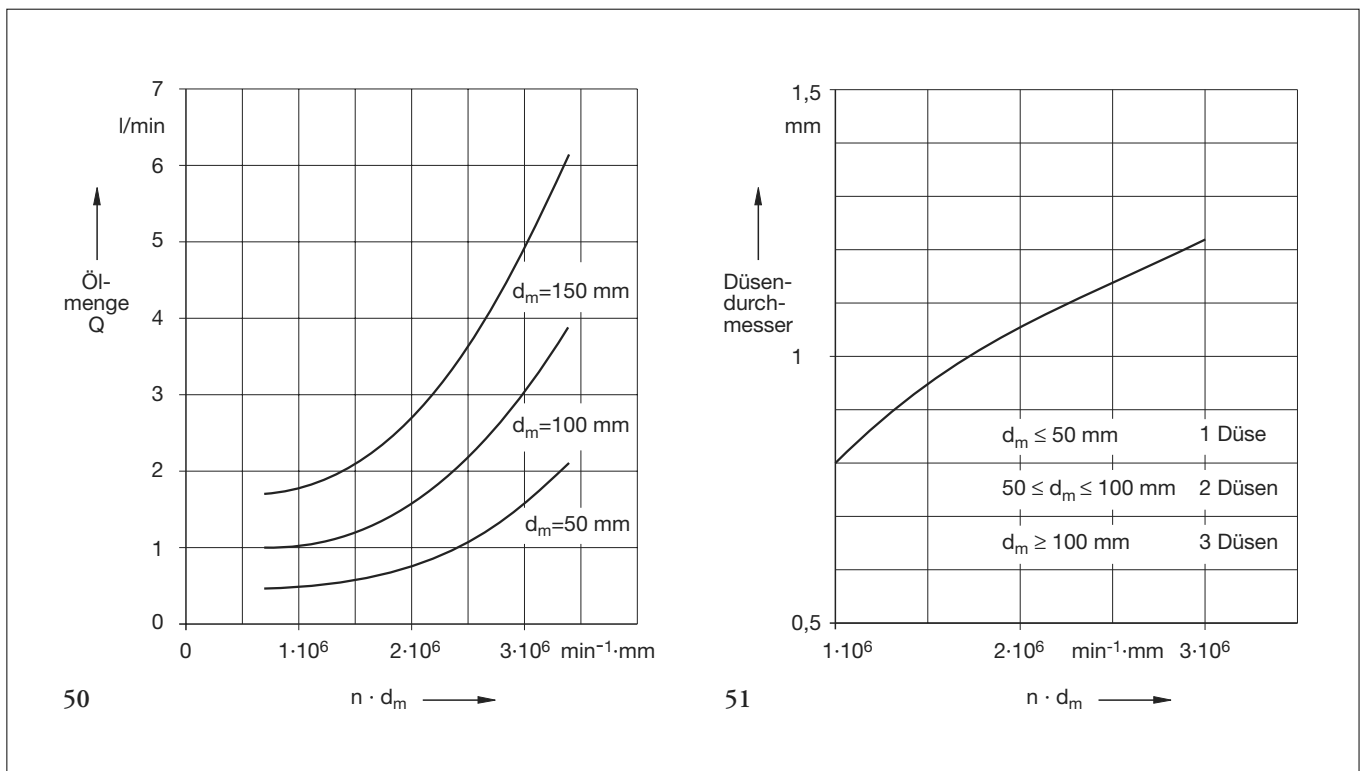
Mit steigender Umfangsgeschwindigkeit setzen Lager mit symmetrischem Querschnitt dem durchfließenden Öl einen zunehmenden Widerstand entgegen. Bei schnell drehenden Wälzlagern wird daher das Öl gezielt in den Spalt zwischen Käfig und Lagerring eingespritzt, wenn größere Ölumlaufrufen vorgesehen sind. Durch die Öleinspritzung treten geringere Planschverluste auf.

Bei **Einspritzschmierung** gebräuchliche Ölmenngen sind im Diagramm, Bild 50, in Abhängigkeit vom Drehzahlkenn-

wert und der Lagergröße angegeben. Aus dem Diagramm, Bild 51, geht hervor, wie die Düsen auszulegen sind. Der Ölstaup vor dem Lager wird dadurch verhindert, daß man das Öl an Stellen einspritzt, die einen freien Durchtritt durch das Lager ermöglichen. Ausreichend bemessene Abflußkanäle sorgen dafür, daß das vom Lager nicht aufgenommene und das durch das Lager gelaufene Öl zwangsfrei ablaufen kann, Bilder 62 und 63.

Für den Bereich hoher Umfangsgeschwindigkeiten, der bei Einspritzschmierung üblich ist, haben sich Öle bewährt, mit denen eine Betriebsviskosität ν von 5 bis 10 mm²/s ($\alpha = 1$ bis 4) erreicht wird. Die Diagramme im Bild 52 zeigen in Abhängigkeit vom Druckabfall Δp die Ölmenge Q und die Strahlgeschwindigkeit v bei einer Düsenlänge $L = 8,3$ mm für die Betriebsviskositäten 7,75 und 15,5 mm²/s und für verschiedene Düsendurchmesser.

50: Richtwerte für die Ölmenge bei Einspritzschmierung
51: Durchmesser und Anzahl der Düsen bei Einspritzschmierung



Versorgung der Lager mit Schmierstoff

Öl

Diese Angaben stammen aus Versuchen. Der Öldurchsatz durch das schnell drehende Lager sinkt mit steigender Drehzahl. Er steigt mit wachsender Einspritzgeschwindigkeit, wobei 30 m/s die sinnvolle Obergrenze sind.

Wälzlager müssen bereits beim **Einschalten der Maschine mit Schmierstoff versorgt** sein. Bei einer Ölumlaufschmierung sollte daher die Pumpe bereits vor dem Start des Lagers anlaufen. Ein Vorlauf der Pumpe ist allerdings nicht erforderlich, wenn durch konstruktive Maßnahmen dafür gesorgt ist, daß das Öl nicht ganz aus dem Lager ablaufen kann und ein gewisser Ölsumpf zurückbleibt. Ein zusätzlich zur Umlaufschmierung vorgesehener Ölsumpf trägt außerdem zur Betriebssicherheit bei, da bei Ausfall der Pumpe die Ölversorgung wenigstens noch eine gewisse Zeit aus dem Sumpf er-

folgt. Bei tiefer Temperatur kann die Ölumlaufmenge bis zur Erwärmung des Öles im Behälter zunächst auf die zur Schmierung notwendige Menge (aus Bild 49, Kurven a) reduziert werden. Das erleichtert die Auslegung der Umlaufanlage (Pumpenantrieb, Ölrücklauf).

Wird mit größerer Ölmenge geschmiert, dann muß durch **Abflußkanäle** dafür gesorgt werden, daß kein Ölstau auftritt, der vor allem bei hohen Umfangsgeschwindigkeiten zu beachtlichen Leistungsverlusten führt. Der erforderliche Durchmesser der Abflußleitung hängt von der Viskosität des Öles und den Gefällewinkeln der Ableitrohre ab. Für Öle mit einer Betriebsviskosität bis 500 mm²/s kann der Ablaufquerschnitt überschlägig angegeben werden mit:

$$d_a = (15...25) \cdot \sqrt{m} \quad [\text{mm}]$$

Für eine genauere Dimensionierung im Gefällebereich der Abflußleitung von 1 bis 5 % benutzt man die Formel

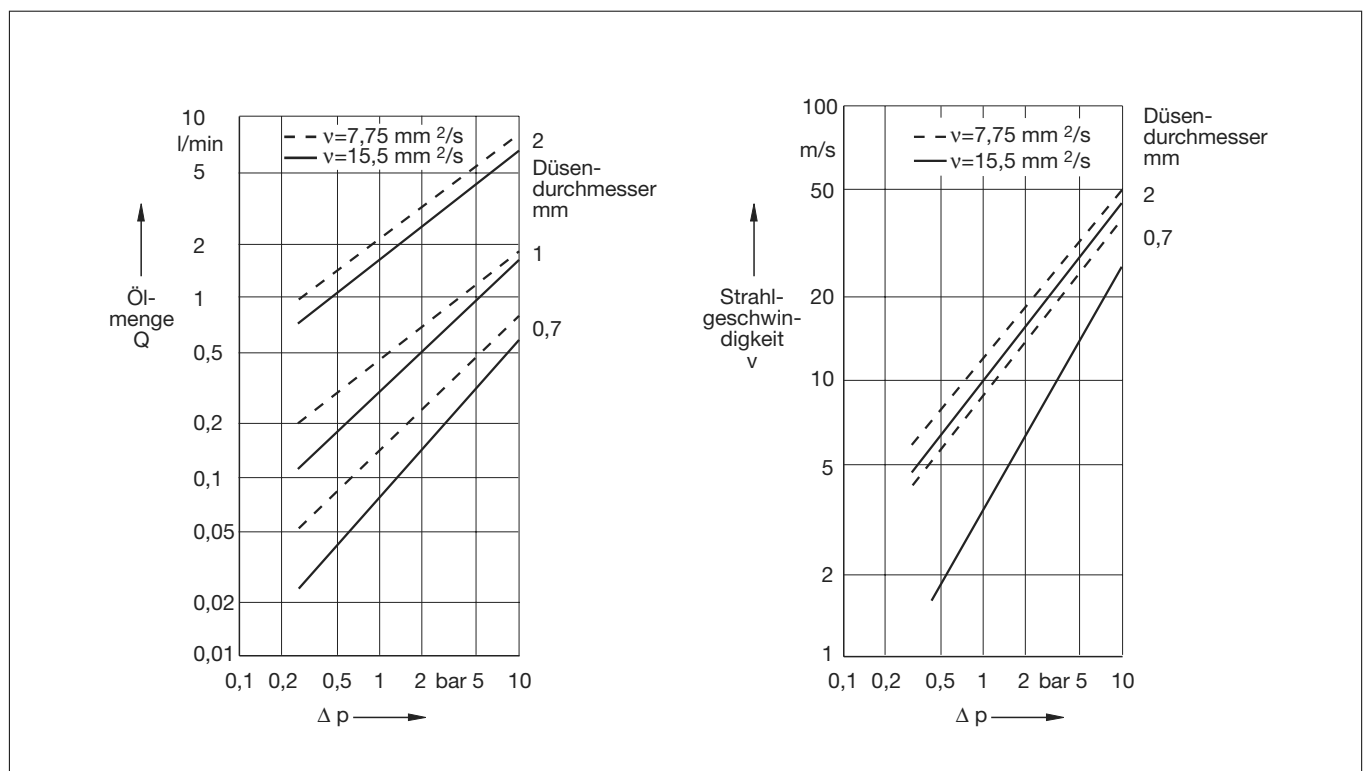
$$d_a = 11,7 \cdot \sqrt[4]{m \cdot \nu / G} \quad [\text{mm}]$$

Darin sind d_a in mm der lichte Durchmesser der Abflußleitung, m in l/min die Öldurchsatzmenge, ν die Betriebsviskosität im mm²/s, G das Gefälle in %.

Die **Füllmenge M des Ölbehälters** richtet sich nach der Durchsatzmenge m . In der Regel wird die Füllmenge so gewählt, daß sie in der Stunde etwa $z = 3$ bis 8mal umgewälzt wird.

$$M = m \cdot 60 / z \quad [\text{l}]$$

52: Druckverlust und Einspritzgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Ölmenge, Betriebsviskosität und Düsendurchmesser



Bei niedriger Umwälzzahl setzen sich Verunreinigungen im Ölbehälter gut ab, das Öl kann abkühlen und altert nicht so rasch.

4.2.4 Minimalmengenschmierung

Die dem Wälzlager zugeführte Ölmenge kann noch unter die im Diagramm, Bild 49, angegebene untere Grenze verringert werden, wenn eine möglichst niedrige Lagertemperatur ohne den Aufwand für Ölkühlung angestrebt wird. Das setzt allerdings voraus, daß die Lagerreibung und die Wärmeableitverhältnisse dies zulassen. In den Diagrammen, Bilder 53 und 54, ist am Beispiel eines zweireihigen Zylinderrollenlagers gezeigt, wie sich bei Minimalmengenschmierung das Reibungsmoment und

die Lagertemperatur, abhängig von der Öldurchlaufmenge, ändern. Insbesondere ist in diesem Beispiel zu sehen, daß das zweireihige Zylinderrollenlager mit Borden am Außenring empfindlich gegen Überschmierung ist. Besser geeignet sind hier zweireihige Zylinderrollenlager mit Borden am Innenring (NN30..) oder einreihige Zylinderrollenlager der Reihen N10 und N19. Das Reibungsminimum und das Temperaturminimum (Beginn der Vollschröpfung) werden bereits bei einer Ölmenge von 0,01 bis 0,1 mm³/min erreicht. Bis zu einer Steigerung der Ölmenge auf 10⁴ mm³/min steigt die Lagertemperatur. Erst mit einer noch größeren Ölmenge ist eine durch Wärmeabfuhr sinkende Lagertemperatur festzustellen.

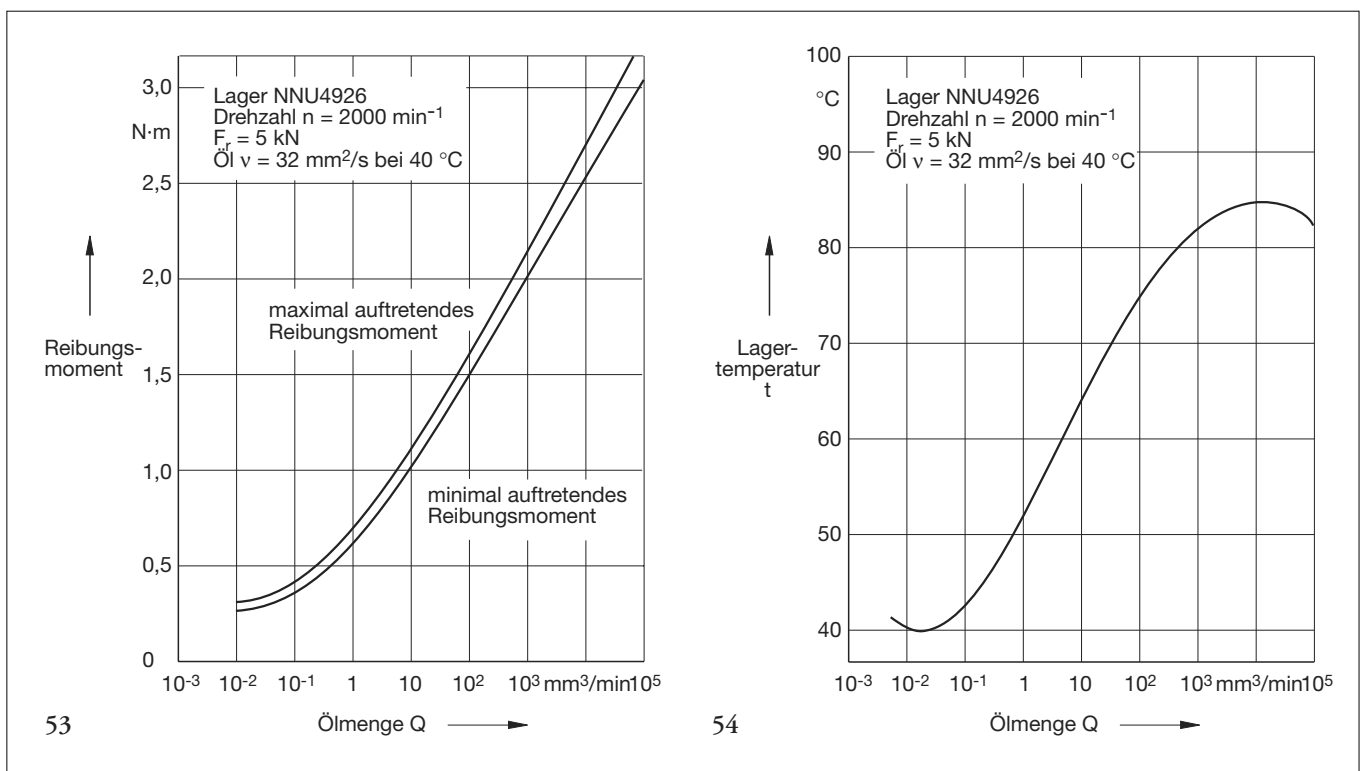
Die zur ausreichenden Versorgung nötige Ölmenge hängt stark von der Lager-

bauart ab. So benötigen Lager, die eine Förderwirkung in Strömungsrichtung haben, eine relativ große Ölmenge. Der Ölbedarf zweireihiger Lager ohne Förderwirkung ist dagegen extrem gering, wenn das Öl zwischen den Rollenreihen zugeführt wird. Die umlaufenden Rollkörpersätze hindern das Öl am Abfließen.

Die Schmierung mit sehr kleinen Mengen setzt voraus, daß die kleine Ölmenge alle Kontaktflächen im Lager, besonders die schmiertechnisch anspruchsvollen Gleitkontaktflächen (Bord-, Käfigführungsflächen), ausreichend benetzt. Bei Werkzeugmaschinenlagerungen mit Kugellagern und Zylinderrollenlagern hat sich die Ölzufuhr direkt in das Lager, bei Schrägkugellagern in Förderrichtung, gut bewährt. Das Diagramm, Bild 55, zeigt die Ölmenge bei Minimalmengenschmierung für einige Lagerbauarten in

53: Reibungsmoment bei Minimalmengenschmierung in Abhängigkeit von der Ölmenge

54: Lagertemperatur bei Minimalmengenschmierung in Abhängigkeit von der Ölmenge



Versorgung der Lager mit Schmierstoff

Öl

Abhängigkeit von der Lagergröße, dem Druckwinkel (Förderverhalten) und dem Drehzahlkennwert. Bei Lagern mit Förderwirkung sollte in Abhängigkeit von der Drehzahl die Ölmenge gesteigert werden, da mit der Drehzahl auch der Mindestölbedarf steigt und die Förderwirkung zunimmt.

Bei Lagern mit Bord-Rollenstirnberührung (beispielsweise Kegelrollenlagern) hat sich die Ölzufuhr direkt zu den Rollenstirnflächen, entgegengesetzt zur Förderrichtung, als günstig erwiesen.

Die extrem niedrigen Ölmenge setzen eine sichere Zufuhr der Öl-Luft zwi-

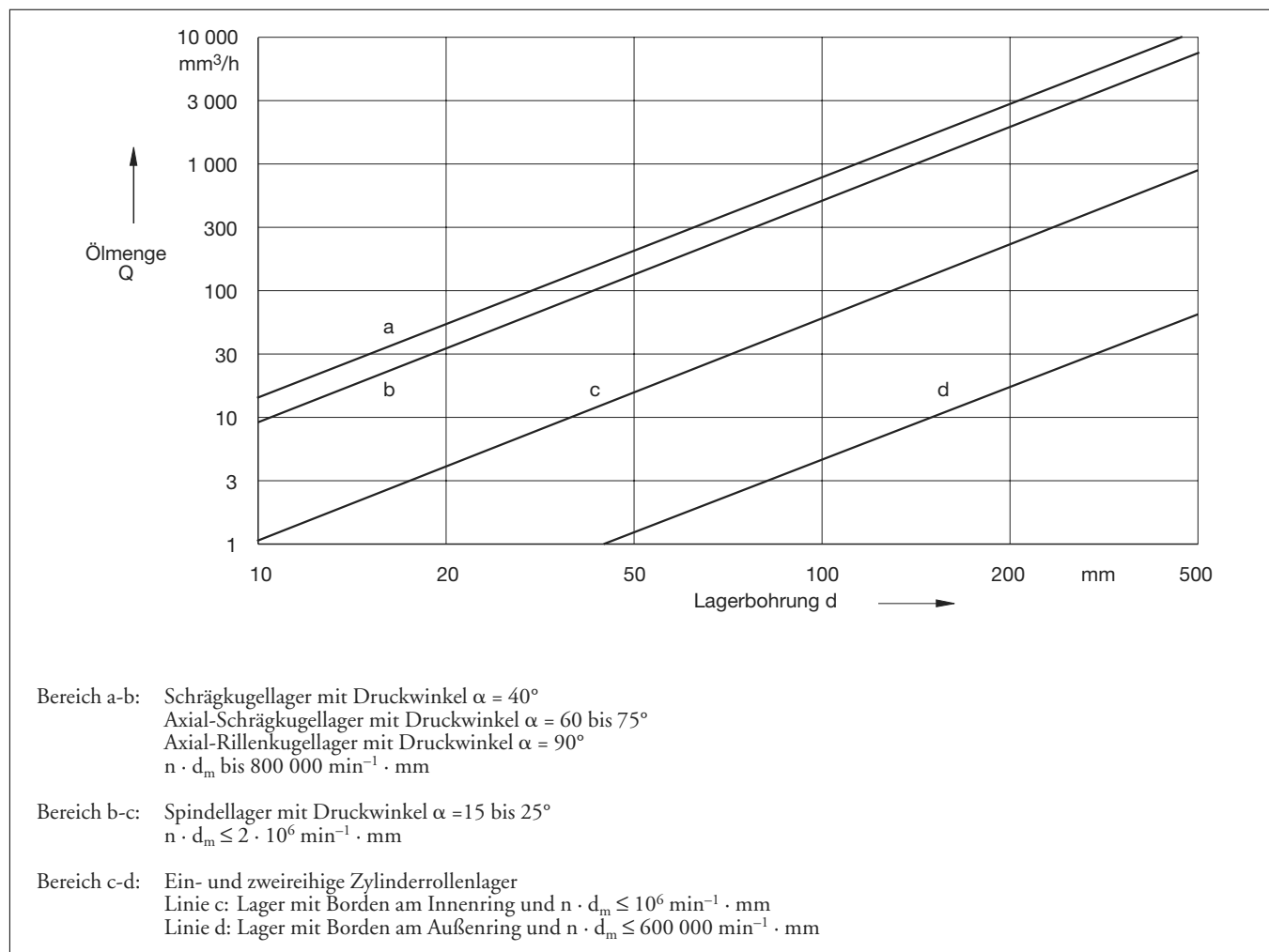
schen Käfig und Innenring voraus sowie eine hohe Maßgenauigkeit der Umbauteile. Die Viskosität des Öles soll bei einer extrem kleinen Ölmenge dem Viskositätsverhältnis $\kappa = \nu/\nu_1 = 8$ bis 10 entsprechen und geeignete EP-Wirkstoffe enthalten.

Die gleichmäßige Zufuhr einer großen Ölmenge oder die impulsartige Zufuhr selbst kleiner Mengen führt dagegen bei Radial-Zylinderrollenlagern besonders bei hohen Umfangsgeschwindigkeiten zu einem spontanen Anstieg der Schmierstoffreibung und zu einem ungleichmäßigen Erwärmen der Lagerringe. Das kann

bei Lagern mit kleiner Radialluft, z. B. bei Werkzeugmaschinenlagerungen, durch Radialverspannungen den Ausfall der Lager zur Folge haben.

Bild 56 zeigt ein Beispiel zur Wahl der Ölmenge bei Minimalmengenschmierung für das zweireihige Zylinderrollenlager NNU4926. Der Mindestölbedarf in Abhängigkeit vom Drehzahlkennwert ist aus der Geraden a ersichtlich. Die Gerade b gibt an, wie groß die Ölmenge sein darf, um Radialverspannungen zu vermeiden. Vorausgesetzt sind eine gleichmäßige Ölzufuhr (Öl-Luft-Schmierung) und durchschnittliche Wärmeableitbe-

55: Ölmenge bei Minimalmengenschmierung



dingungen. Der Schnitt der Geraden a und b liefert den Drehzahlkennwert, bis zu dem noch eine Minimalmengenschmierung möglich ist. Für zweireihige Radial-Zylinderrollenlager zeigt das Diagramm, Bild 55, mit der Linie d die geeignete Ölmenge. Da die Mindestölmenge und die zulässige Ölmenge nicht nur vom Lager, sondern auch von der Ölart, der Ölzuführung und den Wärmeableitbedingungen abhängig sind, läßt sich ein allgemeiner Ansatz zur Ermittlung dieses Kennwerts und der dazugehörigen optimalen kleinen Ölmenge nicht angeben. Die Viskosität des Öles ist entsprechend

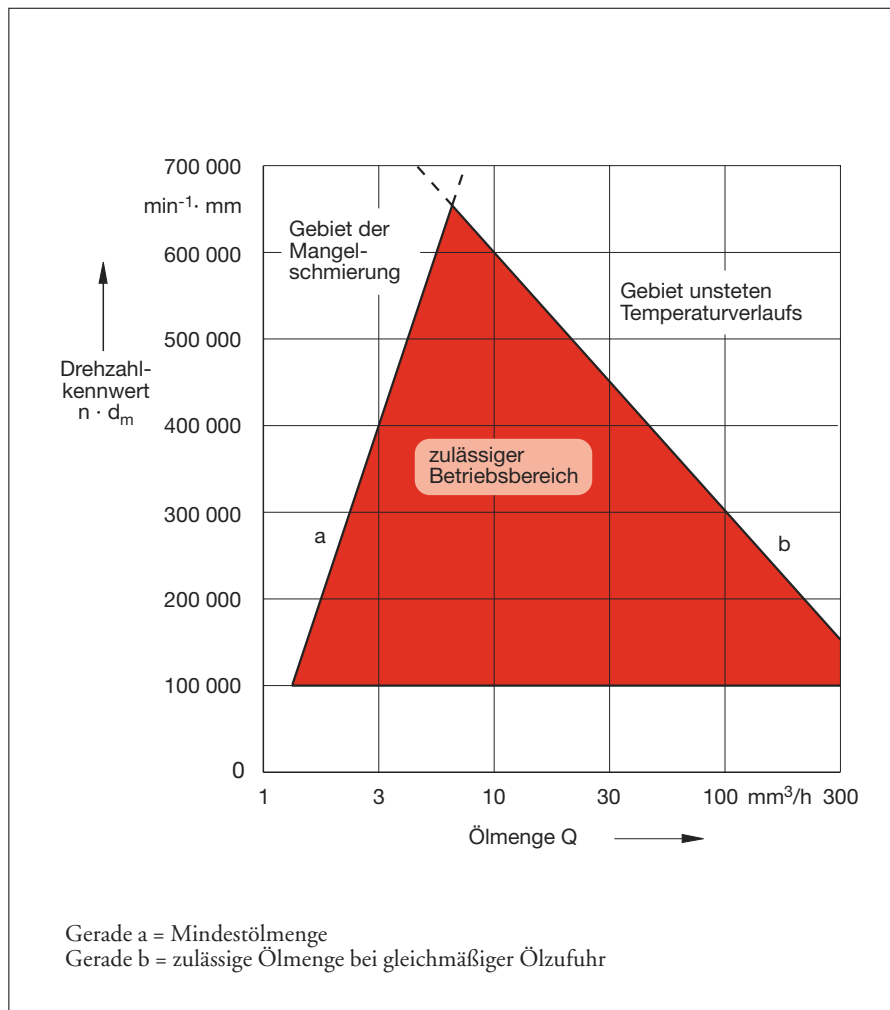
einem Viskositätsverhältnis $\kappa = 2$ bis 3 auszuwählen.

Die bei Walzwerkslagern angewandte Öl-Luft-Schmierung wird meist im Zusammenhang mit einem Ölsumpf betrieben und stellt keine Minimalmengenschmierung dar. Die zugeführte Ölmenge ergänzt den Ölsumpf und sollte größer als $1\,000\text{ mm}^3/\text{h}$ angesetzt werden.

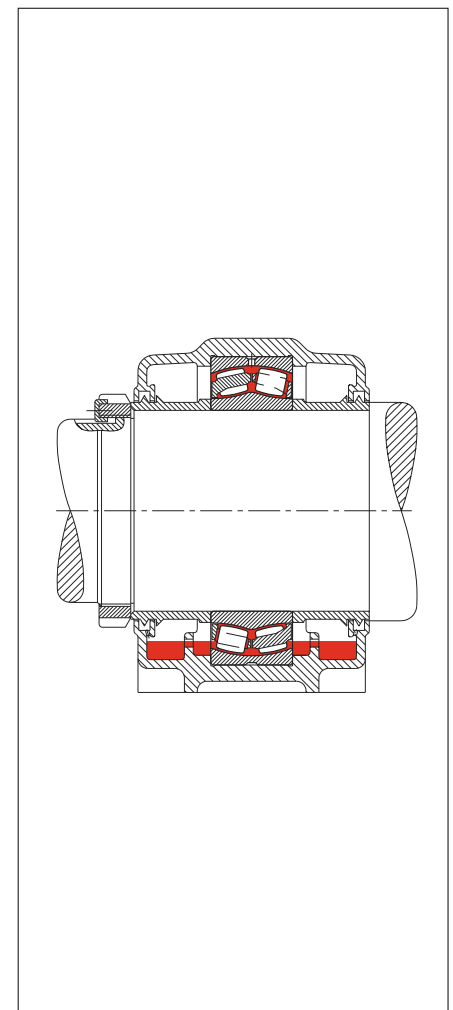
4.2.5 Beispiele zur Ölschmierung

Bild 57: Bei größeren Gehäusen mit entsprechend großem Ölinhalt sollte der Ölsumpf durch Stauwände mit Durchgangsbohrungen aufgeteilt werden. Dadurch erreicht man, daß vor allem bei höheren Umfangsgeschwindigkeiten nicht die gesamte Ölmenge in Bewegung gerät. Verunreinigungen setzen sich in den Nebenkammern ab und werden nicht fortwährend aufgewirbelt.

56: Wahl der Ölmenge bei Minimalmengenschmierung für das zweireihige Zylinderrollenlager NNU4926 (d = 130 mm, geringe Radialluft)



57: Lagergehäuse mit Ölstauwänden



Versorgung der Lager mit Schmierstoff

Öl

Bild 58: Das Pendelrollenlager taucht in einen kleinen Ölsumpf ein. Ölverluste werden ausgeglichen durch die Nachführung von Öl aus dem größeren Ölsumpf im unteren Teil des Gehäuses. Der Ring R hat einen erheblich größeren Durchmesser als die Welle und taucht in den unten liegenden Ölsumpf ein; das Lager steht damit nicht direkt in Verbindung. Im Lauf wälzt sich der Ring R auf der Welle ab und fördert Öl zum Lager. Überschüssiges Öl läuft über die Bohrungen A in den unteren Ölsumpf zurück. Ölförderringe sind bis zu einem Drehzahlkennwert $n \cdot d_m = 400\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$ einsetzbar. Bei höheren Werten tritt ein deutlicher Verschleiß des Förderrings auf.

Bild 59: Kegelrollenlager haben wie alle Bauarten mit asymmetrischem Querschnitt eine Förderwirkung. Diese stark von der Umfangsgeschwindigkeit abhängige Förderwirkung kann bei Ölumlaufschmierung ausgenutzt werden. Die Abflußbohrungen sind so auszulegen, daß neben dem Lager kein Ölstau entsteht.

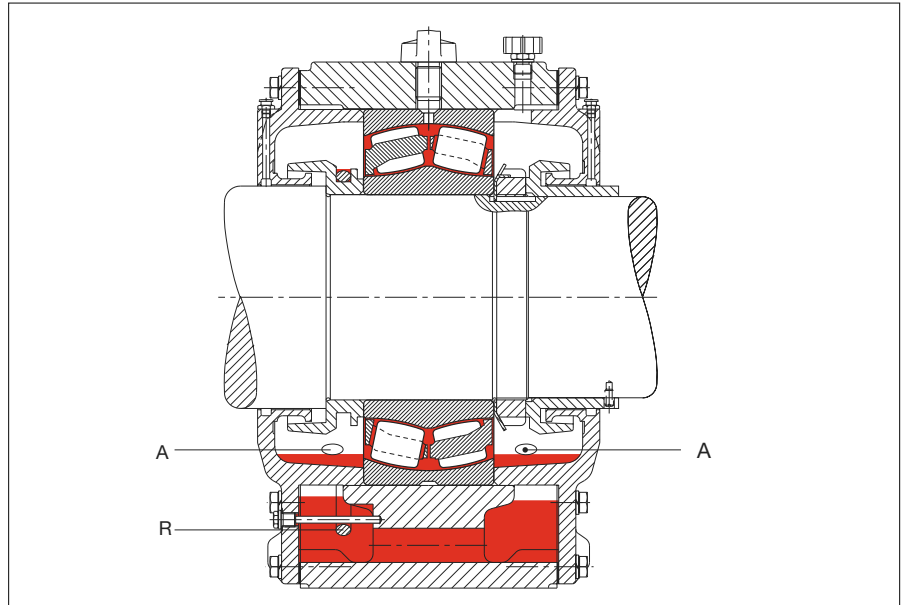
Bild 60: Bei senkrecht angeordneten, schnell umlaufenden Spindeln bildet man mitunter das Spindelende kegelig aus oder baut einen mit der Spindel umlaufenden Kegel ein, dessen kleinerer Durchmesser in den Ölbehälter eintaucht. Das Öl steigt in dem Spalt S hoch, wird in die Ringnut und von dort zu einer oberhalb des Lagers angeordneten Dosiereinrichtung gefördert. Durch eine derartige Anordnung lassen sich relativ große Fördermengen erreichen, wenn die Förderhöhe klein und die Ölviskosität gering ist.

Bild 61: In Getrieben genügt oft das von Zahnrädern abgespritzte Öl zur Schmierung der Wälzlager. Es muß aber sichergestellt sein, daß bei allen Betriebszuständen das Spritzöl in die Lager gelangt. In dem gezeigten Beispiel wird Spritzöl in einer Tasche über dem Zylinderrollenlager gesammelt und dem Lager über Bohrungen zugeführt. Im unteren Bereich ist neben dem Zylinderrollenlager ein Staublech angeordnet. Dadurch wird erreicht, daß immer ein minimaler

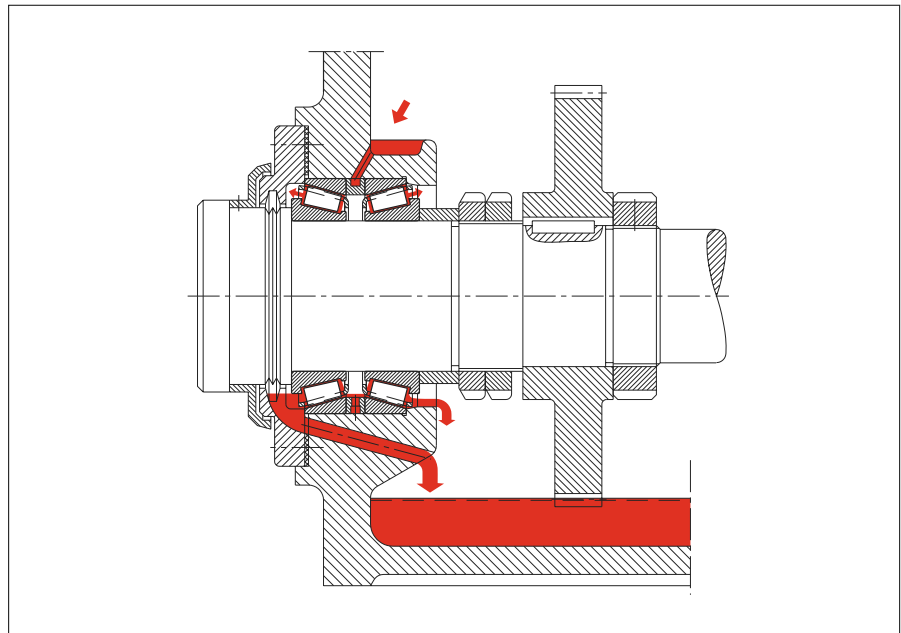
Ölsumpf im Lager vorhanden ist und das Lager bereits beim Anfahren geschmiert wird.

Bilder 62 und 63: Bei Öleinspritzschmierung wird das Öl zwischen Käfig und Innenring eingespritzt. Ein Ölstau vor und hinter den Lagern wird durch

58: Ölschmierung mit Ölförderring



59: Verstärkung des Ölumlaufs bei Lagern mit Förderwirkung

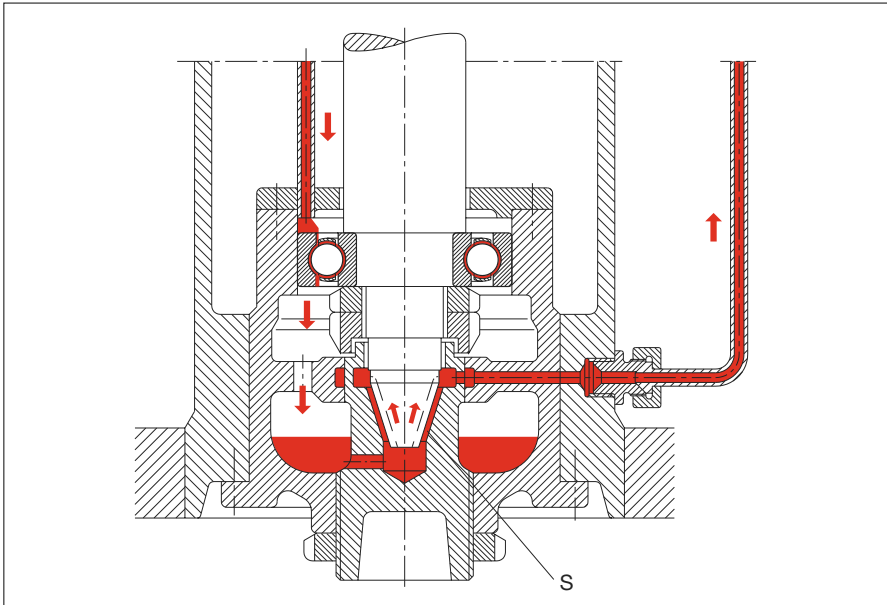


Ölabflußkanäle verhindert. Haben die Lager eine Förderwirkung, erfolgt die Öleinspritzung auf der Seite des kleineren Laufbahndurchmessers. Bei sehr schnell

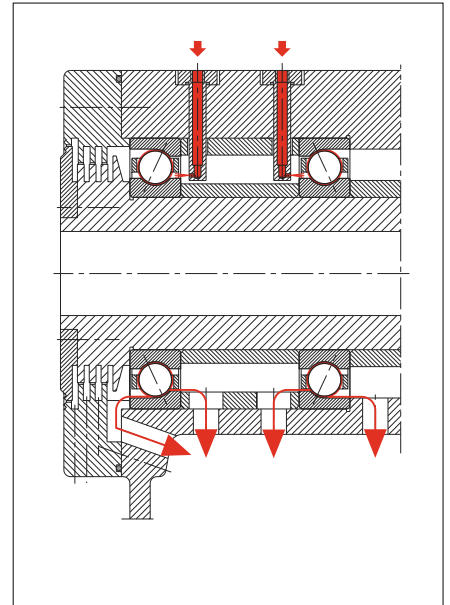
umlaufenden Kegelrollenlagern werden auf der anderen Seite zusätzlich die Rollenstirnflächen angespritzt. Hierdurch wird einer Mangelschmierung zwischen

Bord und Rollenstirnflächen entgegengewirkt.

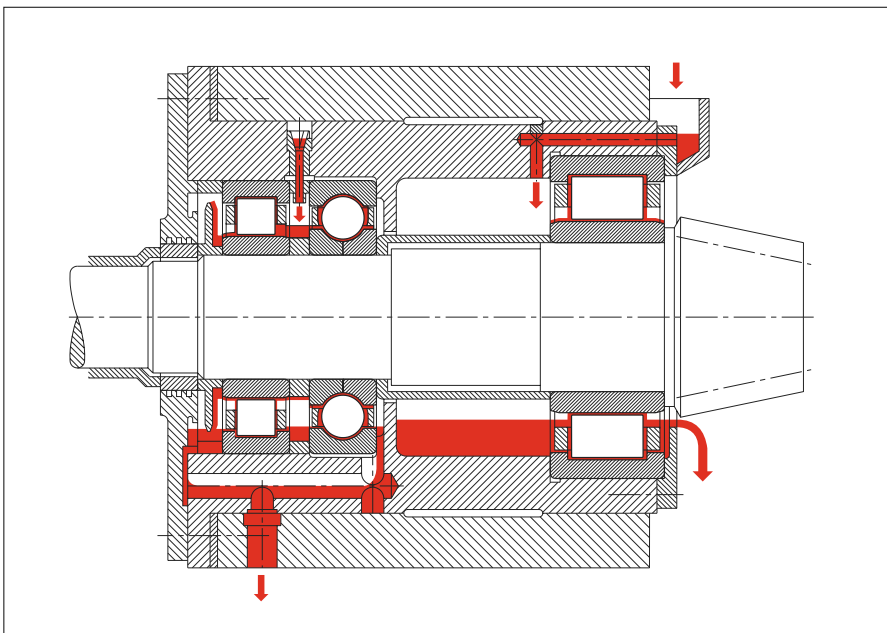
60: Ölumlau durch Förderkegel



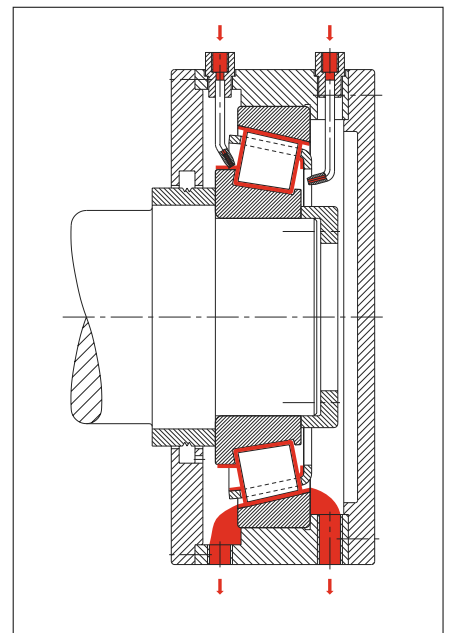
62: Öleinspritzschmierung mit Spritzdüse



61: Spritzöl wird in einer Fangtasche gesammelt und über Bohrungen dem Zylinderrollenlager zugeleitet.



63: Öleinspritzschmierung: Beidseitige Ölzufuhr bei schnelllaufendem Kegelrollenlager



4.3 Versorgung der Lager mit Festschmierstoff

Als Festschmierstoffe werden hauptsächlich Graphit und Molybdändisulfid verwendet. Die Schmierung erfolgt durch Pulverfilme oder Lackfilme auf den Laufbahnen oder auch durch Pasten. Zum Auftragen der Pulverfilme verwendet man Bürsten, Leder oder Stoff; Gleitlackfilme werden mit der Sprühpistole aufgebracht. Bei vielen Gleitlacken kann durch Einbrennen eine Steigerung der Gebrauchsdauer erzielt werden. Pasten trägt man mit einem Pinsel auf die Oberflächen auf. Mit Festschmierstoffen geschmierte Wälzlager werden meistens phosphatiert (Manganphosphatüberzug, Bonder-

schicht). Auf der Phosphatschicht haften die Festschmierstoffe besser. Sie schützt außerdem vor Korrosion und bietet in gewissem Umfang auch Notlaufeigenschaften. Bei hohen Anforderungen an den Korrosionsschutz werden die Lager zink-eisenbeschichtet. Pulverfilme und Lackschichten lassen sich an fettigen Lagern nicht oder nur teilweise aufbringen. Ein einwandfreies und gleichmäßiges Aufbringen ist nur bei der Fertigung vor dem Zusammenbau der Lager möglich. Pasten können vor dem Einbau der Lager eingebracht werden. Mit ihnen läßt sich auch nachschmieren oder neu schmieren; dabei sollte eine Überschmierung vermieden werden.

Eine wirkungsvolle Versorgung stellt die **Transferschmierung** dar. Durch Ausfüllen des Lagerinnenraums mit einem Festschmierstoff-Compound, das nach dem Verfestigen mit dem Käfig umläuft, erhalten die Rollkörper beim Angleiten immer wieder Schmierstoff. Diese ständige "Nachschmierung" führt zu einer langen Gebrauchsdauer, weit länger als bei der einmaligen Versorgung mit einer Gleitlackschicht oder Pastenfüllung. Der durch die Rollkörper als Pulver abgeriebene Festschmierstoff tritt durch den Dichtspalt aus. Wenn dies stört, kann ein Zwischenraum zwischen Dichtung und Vordichtung vorgesehen werden, in dem sich der Abrieb sammelt.

5 Schäden durch mangelhafte Schmierung

Über 50 % aller Wälzlagerschäden sind auf fehlerhafte Schmierung zurückzuführen. An vielen weiteren Schäden, die sich nicht direkt auf eine Schmierstörung zurückführen lassen, ist sie mitbeteiligt. Eine mangelhafte Schmierung in den Kontaktstellen führt zu Verschleiß, Anschmierungen, Verschürfungen und Freßspuren. Außerdem können Ermüdungsschäden (Abblätterungen) auftreten. Gelegentlich kommt es auch zu einem Heißlauf der Lager, wenn sich bei Schmierstoffmangel oder Überschmierung die Lagerringe infolge ungünstiger Wärmeabfuhr ungleichmäßig erwärmen und dadurch eine Spielverminderung oder sogar eine Verspannung auftritt.

Die hauptsächlichlichen Ursachen der in Bild 64 aufgeführten Schäden sind:

- ungeeigneter Schmierstoff (Öl zu geringer Viskosität, fehlende oder ungeeignete Additivierung, korrosive Wirkung von Additiven)
- Schmierstoffmangel in den Kontaktbereichen
- Verunreinigungen im Schmierstoff (fest und flüssig)
- Änderung der Schmierstoffeigenschaften
- Überschmierung

Gegen Schmierstoffmangel und Überschmierung hilft die konstruktiv und verfahrensmäßig auf den Anwendungsfall abgestimmte Schmierstoffversorgung. Schäden durch ungeeigneten Schmierstoff oder durch Veränderungen der Schmierstoffeigenschaften lassen sich vermeiden durch Berücksichtigung aller Be-

triebsbedingungen bei der Auswahl des Schmierstoffs und durch rechtzeitige Schmierstofferneuerung. Ausführliche Hinweise hierzu sind in den vorhergehenden Kapiteln enthalten. Über die Auswirkungen von Verunreinigungen im Schmierstoff und die sich daraus ergebenden Folgerungen wird im Anschluß berichtet.

5.1 Verunreinigungen im Schmierstoff

In der Praxis gibt es kaum Schmierstoffe, die völlig frei von Verunreinigungen sind. Wie sich Verunreinigungen auf die Lebensdauer auswirken, ist im Abschnitt 1.1.3 dargestellt. Alle Schmierstoffe enthalten bereits von der Fertigung her einen gewissen Anteil an Verunreinigungen.

64: Schäden durch mangelhafte Schmierung

Schadensbild, Mangelerscheinung	Ursache	Hinweise
Geräusch	Schmierstoffmangel	Stellenweise Festkörperberührung, kein zusammenhängender, tragender und dämpfender Schmierfilm.
	Ungeeigneter Schmierstoff	Zu dünner Schmierfilm, weil das Öl oder das Grundöl des Fettes eine zu geringe Viskosität hat. Bei Fett kann die Verdickerstruktur ungünstig sein. Teilchen wirken geräuschanregend.
	Verunreinigungen	Schmutzteilchen unterbrechen Schmierfilm und erzeugen Geräusche.
Käfigverschleiß	Schmierstoffmangel	Stellenweise Festkörperberührung, kein zusammenhängender, tragender Schmierfilm.
	Ungeeigneter Schmierstoff	Zu geringe Viskosität des Öles oder Grundöls ohne Verschleißschutzzusätze, kein Grenzschieftaufbau.
Verschleiß an Rollkörpern, Laufbahnen, Bordflächen	Schmierstoffmangel	Stellenweise Festkörperberührung, kein zusammenhängender, tragender Schmierfilm. Tribokorrosion bei oszillierenden Relativbewegungen, Gleitmarkierungen.
	Ungeeigneter Schmierstoff	Zu geringe Viskosität des Öles oder Grundöls. Schmierstoff ohne Verschleißschutzzusätze oder EP-Additive (bei hoher Belastung oder hoher Gleitung).
	Verunreinigungen	Feste, harte Teilchen oder flüssige, korrosiv wirkende Medien.
Ermüdung	Schmierstoffmangel	Stellenweise Festkörperberührung und hohe Tangentialspannungen an der Oberfläche. Verschleiß.
	Ungeeigneter Schmierstoff	Zu geringe Viskosität des Öles oder Grundöls. Schmierstoff enthält Stoffe, deren Viskosität sich bei Druck nur geringfügig erhöht, beispielsweise Wasser. Unwirksame Additive.
	Verunreinigungen	Harte Teilchen werden eingewalzt und führen zu Stellen hoher Pressung. Korrosive Medien verursachen Korrosionsstellen, von denen Ermüdung bevorzugt ausgeht.
Hohe Lager-temperatur, verfärbte Lagerteile, Freßstellen (Heißlauf)	Schmierstoffmangel	Stellenweise Festkörperberührung, kein zusammenhängender, tragender Schmierfilm.
	Ungeeigneter Schmierstoff	Hohe Reibung und hohe Temperatur wegen stellenweiser Festkörperberührung.
	Schmierstoffüberschuß	Bei mittleren oder hohen Drehzahlen hohe Schmierstoffreibung, insbesondere bei plötzlicher Schmierstoffzufuhr.
Geschädigter Schmierstoff (Farbänderung, Verfestigung, Verlust der Schmierwirkung)	Ungeeigneter Schmierstoff	Einsatztemperatur höher als die für den Schmierstoff zulässige Temperatur (Bildung von Rückständen).
	Zu lange Einsatzzeit	Nachschmierintervall oder Schmierstoff-Wechselfrist zu lang.
	Verunreinigungen, Veränderungen des Schmierstoffs	Von außen in den Lagerraum eingedrungene oder aus dem Lagerverschleiß stammende Teilchen. Reaktionen zwischen Schmierstoff und Lagermaterial.

Schäden durch mangelhafte Schmierung

Die in DIN-Normen festgelegten Mindestanforderungen für Schmierstoffe nennen u. a. Grenzwerte für die zulässige Verschmutzung im Anlieferungszustand. Oft gelangen auch bei der Erstmontage Verunreinigungen durch unzureichende Reinigung der Maschinenteile, der Ölleitungen usw. und während des Betriebs durch unzureichende Abdichtungen, durch offene Stellen der Schmieranlage (Ölbehälter, Pumpe) in das Lager. Auch bei der Wartung können Verunreinigungen in das Lager gebracht werden, z. B. durch Schmutz am Schmiernippel, durch Schmutz am Mundstück der Fettpresse, beim Fetten von Hand usw.

Bei der Beurteilung des schädlichen Einflusses von Verunreinigungen sind besonders wichtig:

- Art und Härte der Fremdstoffe
- Konzentration der Fremdstoffe im Schmierstoff
- Teilchengröße der Fremdstoffe

5.1.1 Feste Fremdstoffe

Feste Fremdstoffe führen zu Laufgeräuschen, Verschleiß und vorzeitiger Ermüdung. Harte Teilchen verursachen in Wälzlagern abrasiven Verschleiß, besonders an Stellen mit hohen Gleitanteilen, z. B. im Kontaktbereich Rollstirn/Bord bei Kegelrollenlagern oder an den Laufbahnen von Rollen aus Axial-Zylinderrollenlagern. Der Verschleiß nimmt mit der Härte der Teilchen zu. Er steigt auch etwa proportional mit der Konzentration der Teilchen im Schmierstoff und mit der Partikelgröße. Verschleiß entsteht auch noch bei extrem kleinen Partikeln. Abrasiver Verschleiß in Wälzlagern ist bis zu einem bestimmten Ausmaß erträglich. Die zulässige Größe hängt vom jeweiligen Einsatzfall ab. Werden größere Teilchen (Größenordnung 0,1 mm) überrollt, so entstehen auf den Laufbahnen Eindrücke. Plastisch verformtes Material wird an den Rändern des Eindrucks aufgeworfen und beim weiteren Überrollen nur teilweise zurückverformt. Im Bereich der Randaufwulstung wirken bei jedem weiteren Überrollvorgang erhöhte Beanspruchungen, die eine verminderte Ermüdungs-

laufzeit zur Folge haben. Je größer die Härte der überrollten Teilchen ist (beispielsweise Eisenspäne, Schleifspäne, Formsand, Korund) und je kleiner die Lager sind, um so stärker wird die Lebensdauer gemindert, siehe Bild 65.

5.1.2 Maßnahmen zur Verminderung der Konzentration von Fremdstoffen

Es sind folgende Vorkehrungen zu treffen:

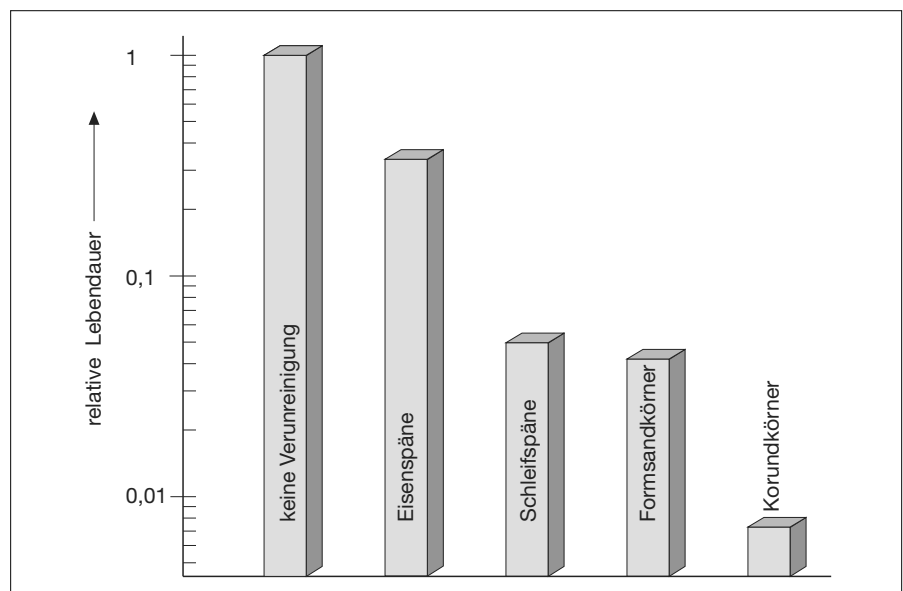
- gründliche Reinigung der Lagerumgebungsteile
- Sauberkeit bei Montage, Inbetriebnahme und Wartung
- bei Ölschmierung Filterung des Öles (siehe Abschnitt 1.1.3)
- bei Fettschmierung ausreichend kurze Fettwechselfrist

5.1.3 Ölfilter

Bei modernen Filterelementen wird bei jedem Durchgang des Ölolumens ein breites Partikelspektrum abgeschieden. Deshalb wurden Testmethoden genormt, die diesem Abscheidespektrum und Mehrfachdurchgang (Multipass) Rechnung tragen. Die Rückhalterate β_x ist das Maß für die Abscheidefähigkeit des Filters bei bestimmten Partikelgrößen. Der β_x -Wert, gemessen nach ISO 4572, ist das Verhältnis aller Partikel $> x \mu\text{m}$ vor und nach dem Filterdurchgang, Bild 66. Zum Beispiel bedeutet $\beta_{12} = 75$, daß von 75 Schmutzteilen, die $12 \mu\text{m}$ groß sind, nur ein Partikel das Filter passiert.

Der Einfluß fester Verunreinigungen auf die erreichbare Lebensdauer der Wälzlager wird im Abschnitt 1.1.3 näher beschrieben.

65: Lebensdauerminde rung durch feste Verunreinigungen am Beispiel eines Schrägkugellagers 7205B



5.1.4 Flüssige Verunreinigungen

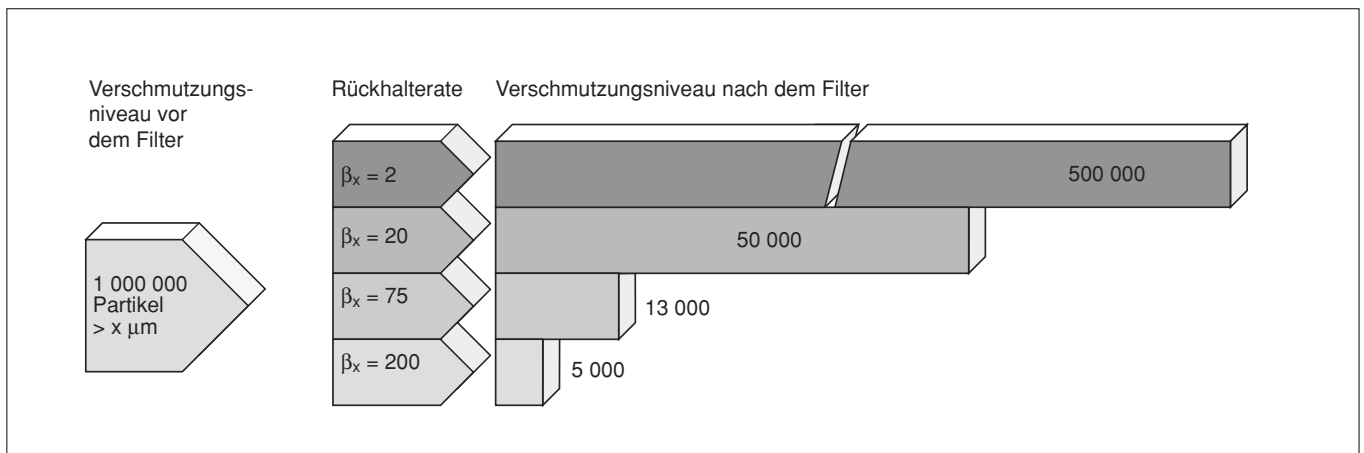
Als flüssige Verunreinigungen im Schmierstoff kommen hauptsächlich Wasser oder aggressive Flüssigkeiten, wie Säuren, Basen oder Lösungsmittel vor. In Ölen kann Wasser frei, dispergiert oder gelöst auftreten. Bei freiem Wasser im Öl, durch Ölverfärbung (weiß-grau) erkennbar, besteht Korrosionsgefahr. Diese wird verstärkt durch Hydrolyse des im Schmierstoff gebundenen Schwefels. Wasser in dispergierter Form als Wasser-in-Öl-Emulsion beeinträchtigt den Schmierzustand erheblich. Erfahrungsgemäß nimmt die Ermüdungslebensdauer bei Schmierung mit wasserhaltigen Ölen sehr stark ab. Sie kann sich bis auf wenige Prozent der normalen Ermüdungslaufzeit verringern. Im

Fett verursacht Wasser Strukturveränderungen, abhängig von der Art des Verdickers. Ähnlich wie bei der Wasser-in-Öl-Emulsion verringert sich die Ermüdungslaufzeit. Bei Wasserzutritt ist die Fettwechselfrist entsprechend der anfallenden Wassermenge zu verkürzen. Aggressive Stoffe (Säuren, Basen), Lösungsmittel und dergleichen führen zu starken Veränderungen der chemisch-physikalischen Kennwerte und hauptsächlich zu einer Schmierstoffalterung. Ist mit solchen Verunreinigungen zu rechnen, sind die Verträglichkeitsangaben der Schmierstoffhersteller zu beachten. An Stellen im Lager, die nicht vom Schmierstoff geschützt sind, wird je nach Aggressivität der Verunreinigungen Korrosion auftreten, die letztlich zur Oberflächenzerstörung führt.

5.2 Reinigung verschmutzter Lager

Zur Reinigung von Wälzlagern können Waschbenzin, Petroleum, Spiritus, Dewatering-Fluids, wäßrige neutrale und auch alkalische Reinigungsmittel verwendet werden. Dabei ist zu beachten, daß Petroleum, Waschbenzin, Spiritus und Dewatering-Fluids feuergefährlich und alkalische Mittel ätzend sind. Für den Waschvorgang sollten Pinsel oder Bürsten bzw. faserfreie Lappen verwendet werden. Nach dem Waschen und nachdem das möglichst frische Lösungsmittel verdunstet ist, müssen die Lager sofort konserviert werden, um Korrosion zu vermeiden. Die Verträglichkeit der Konservierung mit dem nachfolgenden Schmierstoff ist zu beachten. Wenn die Lager verharzte Öl- und Fettrückstände enthalten, empfiehlt sich eine mechanische Vorreinigung und ein längeres Aufweichen mit einem wäßrigen, stark alkalischen Reinigungsmittel.

66: Filterrückhalterate β_x



Schäden durch mangelhafte Schmierung

5.3 Schadensverhütung und Schadensfrüherkennung durch Überwachung

Durch mangelhafte Schmierung bedingte Ausfälle lassen sich durch die Überwachung einer Lagerung vermeiden, und zwar:

- durch die Überwachung des Lagers selbst mit Hilfe von Schwingungsmessung, Verschleißmessung und Temperaturmessung
- durch die Überwachung der Lager-schmierung, wobei Schmierstoffproben untersucht und die Schmierstoffzuführung kontrolliert werden.

Die Temperaturmessung ist zum Erkennen schmierstoffbedingter Schäden sehr zuverlässig und relativ einfach anzuwenden. Normales Temperaturverhalten liegt vor, wenn die Lagerung im stationären Betrieb die Beharrungstemperatur erreicht. Schmierstoffmangel zeigt sich durch einen plötzlichen Temperaturanstieg. Ein unruhiger Temperaturverlauf mit in der Tendenz ansteigenden Maximalwerten deutet auf eine allgemeine Verschlechterung des Schmierzustands, z. B. bei erreichter Fettgebrauchsdauer.

Nicht geeignet sind Temperaturmessungen, um Ermüdungsschäden früh-

zeitig zu registrieren. Bei solchen örtlich eng begrenzten Schäden bewährt sich am besten die Schwingungsmessung.

Durch kontinuierliche oder diskontinuierliche Schmierstoffanalysen erkennt man Lagerschäden, die mit Verschleiß verbunden sind.

Eine Überwachung der Lagerschmierung liefert außerdem wichtige Hinweise für die Wartung. In der Tabelle, Bild 67, sind die gebräuchlichen Verfahren zur Überwachung der Lager und die damit erfassbaren Schäden aufgeführt. Die Tabelle, Bild 68, gibt entsprechende Hinweise für die Überwachung der Schmierung.

67: Überwachung der Lager

Meßgröße	Meßverfahren, Meßgerät	Erfassbare Schäden
Schwingungen Vibrationen Luftschall Körperschall	subjektives Abhören Frequenzanalyse (Schwingweg, Schwinggeschwindigkeit, Schwingbeschleunigung) Stoßimpulsmessung	Ermüdung Bruch Riffelbildung Riefen
Verschleiß	Überwachung des Abriebs durch Messung der Verlagerung der Wälzlagerteile zueinander (induktiv, kapazitiv, Wirbelstrommeßverfahren) Radionukleidmessung Schmierstoffanalyse	Verschleiß der Wälzlagerteile
Temperatur	Thermometer Thermoelement Thermowiderstand Thermoplates (Anzeigeplättchen) Vergleich von Meßwerten	Heißläufer Trockenlauf Freßerscheinungen

68: Überwachung der Schmierung

Überwachte Größe	Verfahren	Erfassbare bzw. vermeidbare Schadensart
Schmierstoff	Analyse (Gehalt an Wasser, festen Verunreinigungen, Neutralisationszahl, Verseifungszahl)	Ermüdung Verschleiß Korrosion Gebrauchsuntüchtiger Schmierstoff
Schmiersystem	Öldruck Ölstand Öldurchflußmenge Öltemperatur	Heißläufer Verschleiß

6 Erläuterung schmier-technischer Begriffe

Ablagerungen

Ablagerungen bestehen vorwiegend aus Schmierstoffrückständen, Ruß- und Schmutzpartikeln. Sie entstehen durch Ölalterung, mechanischen Verschleiß unter dem Einfluss von starker Wärme und zu langen Ölwechselintervallen. Sie setzen sich ab im Ölsumpf, in den Lagern, in Filtern und in Schmierstoffzuführungen. Ablagerungen können die Betriebssicherheit gefährden.

Additive

Ausdruck für Zusätze und Wirkstoffe, die Schmierstoffen zugesetzt werden.
-> Wirkstoffe.

Alterung

ist die unerwünschte chemische Veränderung von mineralischen und synthetischen Produkten (z. B. Schmierstoffen, Kraftstoffen) während des Gebrauchs und während der Aufbewahrung; ausgelöst durch Reaktionen mit Sauerstoff (Bildung von Peroxiden, Kohlenwasserstoff-Radikale); Wärme, Licht sowie katalytische Einflüsse von Metallen und anderen Verunreinigungen beschleunigen die Oxidation. Es kommt zur Bildung von Säuren und Schlamm; Alterungsschutzstoffe
-> Antioxidantien (AO) – verzögern die Alterung.

Aluminiumkomplexseifenfette

Sie haben eine gute Wasserbeständigkeit und mit EP-Zusätzen eine hohe Druckbelastbarkeit. Sie sind, je nach Basisöl, bis etwa 160 °C verwendbar.

Aluminiumseifenfette

Schmierfette aus Aluminiumseife und Mineralölen. Sie werden vorwiegend in Getrieben zur Schmierung der Zahnräder eingesetzt.

Analysendaten

Zu den Analysendaten von Schmierstoffen zählen: Dichte, Flammpunkt, Viskosität, Stockpunkt, Tropfpunkt, Penetration, Neutralisationszahl, Verseifungszahl. Die Analysendaten kennzeichnen die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Schmierstoffe und lassen – in gewissem Rahmen – Rückschlüsse auf ihre Verwendbarkeit zu.
-> Spezifikationen.

Antioxidantien

Wirkstoffe, die die Schmierölalterung erheblich verzögern.

Arcanol

FAG Wälzlagerfette sind bewährte Schmierfette. Ihren Anwendungsbereich ermittelte FAG mit modernsten Prüfmethoden (Prüfstände FE8 und FE9) bei unterschiedlichsten Betriebsbedingungen und mit Wälzlagern aller Bauarten. Mit den in der Tabelle auf Seite 58 aufgeführten Arcanol-Fetten lassen sich fast alle Anforderungen an die Schmierung von Wälzlagern erfüllen.

Aromaten

Ungesättigte Kohlenwasserstoffverbindungen mit ringförmiger Molekularstruktur (Benzol, Toluol, Naphthalin). Aromaten haben ein schlechtes Viskositäts-Temperatur-Verhalten und beeinflussen die Oxidationsbeständigkeit von Schmierstoffen ungünstig.

Aschegehalt

Unter dem Aschegehalt versteht man die unverbrennbaren Rückstände eines Schmierstoffes. Die Asche kann verschiedenen Ursprungs sein: sie kann von im Öl gelösten Wirkstoffen herrühren; auch Graphit und Molybdändisulfid sowie Seifen und andere Verdicker in Schmierfetten liefern Asche. Frische unlegierte Mineralöl-Raffinate müssen völlig frei von Asche sein. Gebrauchte Öle enthalten auch unlösliche Metallseifen, die sich im Betrieb bilden, ferner unverbrennbare Rückstände von Verunreinigungen, z. B. Abrieb von Lagerteilen und Dichtungen etc. Anhand des Aschegehaltes kann man mitunter sich anbahnende Lagerschäden feststellen.



Glossar

FAG Wälzlagerfette Arcanol · Chemisch-physikalische Daten · Hinweise zur Anwendung

Bezeichnung	Verdicker	Grundöl- viskosität bei 40 °C mm ² /s	Konsistenz NLGI-Klasse	Gebrauchs- temperatur °C	Dauergrenz- temperatur °C	Hauptcharakteristik Anwendungsbeispiele
Arcanol						
MULTITOP (bisher L135V)	Lithiumseife mit EP-Zusatz Mineralöl +Ester	85	2	-40...+150	80	Universalfett für Kugel- und Rollenlager bei angehobener Drehzahl, hoher Belastung, tiefer und hoher Temperatur Walzwerke, Baumaschinen, Kraftfahrzeuge, Spinn- und Schleifspindeln
MULTI2 (bisher L78V)	Lithiumseife Mineralöl	ISO VG 100	2	-30...+140	75	Universalfett für Kugellager mit $\Delta D \leq 62$ mm kleine E-Motoren, Land- und Baumaschinen, Haus- haltsgeräte
MULTI3 (bisher L71V)	Lithiumseife Mineralöl	80	3	-30...+140	75	Universalfett für Kugellager mit $\Delta D > 62$ mm große E-Motoren, Land- und Baumaschinen, Lüfter
LOAD220 (bisher L215V)	Lithium-/ Kalziumseife mit EP-Zusatz Mineralöl	ISO VG 220	2	-20...+140	80	Spezialfett für Kugel- und Rollenlager bei hoher Belastung, großem Drehzahlbereich, hoher Feuchtigkeit Walzwerksanlagen, Schienenfahrzeuge
LOAD400 (bisher L186V)	Lithium-/ Kalziumseife mit EP-Zusatz Mineralöl	400	2	-25...+140	80	Spezialfett für Kugel- und Rollenlager bei höchster Belastung, mittlerer Drehzahl, mittlerer Temperatur Bergwerksmaschinen, Baumaschinen
LOAD1000 (bisher L223V)	Lithium-/ Kalziumseife mit EP-Zusatz Mineralöl	ISO VG 1000	2	-20...+140	80	Spezialfett für Kugel- und Rollenlager bei höchster Belastung, mittlerer Temperatur, niedriger Drehzahl Bergwerksmaschinen, Baumaschinen, vorzugsweise bei Stoßbelastung und großen Lagern
TEMP90 (bisher L12V)	Kalzium- Polyharnstoff mit EP-Zusatz PAO-Öl	130	2	-40...+160	90	Spezialfett für Kugel- und Rollenlager bei hoher Temperatur, hoher Belastung Kupplungen, E-Motoren, Kfz
TEMP110 (bisher L30V)	Lithium- Komplexseife Esteröl	ISO VG 150	2	-40...+160	110	Spezialfett für Kugel- und Rollenlager bei hoher Temperatur, hoher Drehzahl E-Maschinen, Kfz
TEMP120 (bisher L195V)	Polyharnstoff mit EP-Zusatz PAO/Esteröl	ISO VG 460	2	-35...+180	120	Spezialfett für Kugel- und Rollenlager bei hoher Temperatur, hoher Belastung Stranggießanlagen
TEMP200 (bisher L79V)	PTFE Fluoriertes Polyetheröl	400	2	-40...+260	200	Spezialfett für Kugel- und Rollenlager bei höchster Temperatur, chemisch aggressiver Umgebung, Laufrollen in Backautomaten, Kolbenbolzen in Kompressoren, Ofenwagen, chemische Anlagen
SPEED2,6 (bisher L75)	Polyharnstoff PAO/Esteröl	ISO VG 22	2-3	-50...+120	80	Spezialfett für Kugellager bei höchster Drehzahl, tiefer Temperatur Werkzeugmaschinen, Instrumente
VIB3 (bisher L166V)	Lithium- Komplexseife mit EP-Zusatz Mineralöl	170	3	-30...+150	90	Spezialfett für Kugel- und Rollenlager bei hoher Temperatur, hoher Belastung, oszillierender Bewegung Blattverstellung in Rotoren von Windkraftanlagen, Verpackungsmaschinen
BIO2	Lithium-/ Kalziumseife Esteröl	58	2	-30...+120	80	Spezialfett für Kugel- und Rollenlager in umweltgefährdenden Anwendungen
FOOD2	Aluminium- komplexseife Weißöl	192	2	-30...+120	70	Spezialfett für Kugel- und Rollenlager in Anwendungen mit Lebensmittelkontakt; H1 nach USDA

ASTM

Abkürzung für American Society for Testing Materials. Institut, das unter anderem die amerikanischen Mineralölnormen aufstellt.

ATF

Abkürzung für Automatic Transmission Fluid. Spezialschmierstoffe, die auf die Anforderungen in automatischen Getrieben abgestimmt sind.

Ausbluten

Das im Schmierfett enthaltene Schmieröl trennt sich vom Verdicker. Mögliche Ursachen: ungenügende Walkstabilität und/oder Temperaturbeständigkeit des Fettes.

Bariumkomplexseifenfette

Schmierfette aus Bariumkomplexseifen und Mineralölen oder synthetischen Ölen. Wasserabweisend, sehr walkstabil, hohe Belastbarkeit des Schmierfilms.

Basisöl

-> Grundöl.

Bentonite

Mineralien (zum Beispiel Aluminium-Silikate), die zur Herstellung temperaturbeständiger Schmierfette mit guten Kälteeigenschaften verwendet werden.

Betriebsviskosität

Kinematische Viskosität eines Öles bei Betriebstemperatur. Sie wird mit ν bezeichnet. Die Betriebsviskosität kann mit Hilfe eines Viskositäts-Temperatur-Diagrammes ermittelt werden. Für Mineralöle mit durchschnittlichem Viskositäts-Temperatur-Verhalten kann das Diagramm, Bild 5, benutzt werden.

Bezugsviskosität

Die Bezugsviskosität ist die einem definierten Schmierungszustand zugeordnete

kinematische Viskosität. Sie kann mit Hilfe des mittleren Lagerdurchmessers und der Lagerdrehzahl aus dem Diagramm, Bild 6, abgelesen werden. Ein Vergleich der Bezugsviskosität ν_1 mit der Betriebsviskosität ν ermöglicht eine Beurteilung des Schmierungszustandes.

Brennpunkt

Niedrigste Temperatur, bezogen auf einen bestimmten Druck, bei der die Dämpfe einer gleichmäßig höher erwärmten Flüssigkeit nach der Entzündung durch eine Flamme mindestens fünf Sekunden lang weiterbrennen: DIN ISO 2592.

Brightstock

Hochviskoser, raffinierter Schmierölrückstand, gewonnen bei der Vakuum-Destillation. Mischkomponente für Schmieröle, verbessert das Schmierverhalten.

Centipoise (cP)

Früher gebräuchliche Einheit der dynamischen Viskosität.
1 cP = 1 mPa s

Centistoke (cSt)

Früher gebräuchliche Einheit der kinematischen Viskosität.
1 cSt = 1 mm²/s

Dampfturbinenöle

Hochraffinierte, alterungsbeständige Öle (Schmieröle T), die zur Schmierung der Dampfturbinen-Getriebe und -Lager verwendet werden. Die Öle sind legiert (EP) und unlegiert erhältlich: DIN 51 515 T1.

Demulgiervermögen

Trennvermögen von Ölen aus Öl-Wassergemischen.

Destillate

Kohlenwasserstoffgemische, die bei der Destillation des Erdöls gewonnen werden.

Detergents

Wirkstoffe, die die Fähigkeit haben, Rückstände zu lösen und zu schmierende Flächen von Ablagerungen zu reinigen.

Dichte

Die Dichte von Mineralölprodukten wird mit ρ bezeichnet, in g/cm³ angegeben und auf 15 °C bezogen. Die Dichte von mineralischen Schmierölen liegt bei $\rho = 0,9 \text{ g/cm}^3$. Die Dichte ist abhängig vom chemischen Aufbau des Öles. Sie nimmt bei Ölen gleichen Ursprungs mit der Viskosität zu sowie mit steigendem Raffinationsgrad ab. Die Dichte allein ist kein Gütemaßstab.

Dichtungen, Verhalten von Dichtungen

Gegenüber Ölen und Schmierfetten verhalten sich Dichtungsmaterialien sehr unterschiedlich. In manchen Fällen quellen, schrumpfen, verspröden die Dichtungen oder lösen sich sogar auf. Dabei spielen die Betriebstemperatur und die Zusammensetzung des Schmierstoffes sowie die Einwirkdauer eine erhebliche Rolle. Über die Beständigkeit von Dichtungen geben die Hersteller und die Mineralölfirmen Auskunft.

Dispersants

Wirkstoffe in Schmierölen, die Schmutzstoffe in feinsten Verteilung in Schwebe halten, bis sie ausgefiltert oder durch Ölwechsel entfernt werden.

Dispersionsfettung

Methode zur Einbringung des Schmierstoffes. Das Wälzlager wird in das Dispersionsbad (Dispergiermittel und Fett) getaucht. Nach dem Abdampfen des Dispergiermittels verbleibt eine 1 bis 100 μm dicke Schmierstoffschicht auf den Lageroberflächen. Vorteil: geringste Reibung. Nachteil: geminderte Fettgebrauchsdauer.

Druckviskosität

-> Viskositäts-Druck-Verhalten.

Dynamische Viskosität

-> Viskosität.

Emcor-Verfahren

Prüfung der Korrosionseigenschaften von Wälzlagerfetten nach DIN 51 802.

Emulgatoren

Stoffe, die auf die Emulgierbarkeit von Ölen wirken.

Emulgierbarkeit

Neigung eines Öles, mit Wasser eine Emulsion zu bilden.

Emulsion

Mischung nicht löslicher Stoffe, bei Mineralölen meist mit Wasser unter der Mitwirkung von Emulgatoren.

Entspannungsverhalten von Schmierfetten

Das Entspannungsverhalten von Schmierfetten ermöglicht Aussagen über die Eignung bei der Verwendung in Zentralschmieranlagen (DIN 51 816 T2).

EP-Schmierstoffe

Extreme-Pressure-Schmierstoffe. Öle oder Fette, die EP-Wirkstoffe gegen Verschleiß enthalten.

Ester (synthetische Schmieröle)

Verbindung zwischen Säuren und Alkoholen unter Wasseraustritt. Ester höherer Alkohole mit zweiwertigen Fettsäuren bilden die sogenannten Diesteröle (synthetische Schmieröle). Thermisch besonders stabil sind Esteröle, die aus mehrwertigen Alkoholen und unterschiedlichen organischen Säuren aufgebaut sind.

Farbe von Ölen

Gebrauchte Öle werden häufig nach ihrer Farbe beurteilt. Da jedoch die Farbe des frischen Öles bereits mehr oder weniger dunkel sein kann, ist bei einer solchen Beurteilung Vorsicht geboten. Ob die dunkle Farbe auf Oxidation zurückzuführen ist, läßt sich nur durch Vergleich mit einer Probe des entsprechenden Frischöles feststellen. Auch eine Verunreinigung durch Staub und Ruß oder Abrieb (selbst in kleinster Menge) ist mitunter die Ursache der dunklen Farbe.

Feste Fremdstoffe

Als feste Fremdstoffe allgemein bezeichnet man alle in n-Heptan bzw. in Lösungsmittelgemisch nach DIN 51 813 unlöslichen artfremden Verunreinigungen. Bestimmung der festen Fremdstoffe in Schmierölen nach DIN 51 592 E, in Schmierfetten nach DIN 51 813, in Lösungsmittelgemisch nach DIN 51 813.

Festschmierstoffe

In Schmierölen und Schmierfetten suspendierte oder direkt angewendete Stoffe, beispielsweise Graphit und Molybdändisulfid.

Fettgebrauchsdauer

Die Fettgebrauchsdauer ist die Zeit vom Anlauf bis zum Ausfall eines Lagers als Folge eines Versagens der Schmierung. Die Fettgebrauchsdauer hängt ab von der

- Fettmenge,
- Fettart (Verdicker, Grundöl, Additive),
- Lagerbauart und -größe,
- Höhe und Art der Belastung,
- Drehzahlkennwert,
- Lagertemperatur.

Fettgebrauchsdauerkurve, F₁₀

Der F₁₀-Wert ist die Fettgebrauchsdauer eines bestimmten Fettes für eine Ausfallwahrscheinlichkeit 10 %. Die Fettgebrauchsdauer F₁₀ wird durch Versuche, z. B. mit dem FAG Wälzlagerfettprüfgerät FE9, im Labor ermittelt.

Flammpunkt

Der Flammpunkt ist die niedrigste Temperatur, bei der sich unter vorgeschriebenen Prüfbedingungen so viel Öldampf entwickelt, daß das Öl-Luft-Gemisch erstmals an einer Zündflamme aufzündet. Der Flammpunkt gehört zu den Kenndaten eines Öles, hat aber für seine Beurteilung kaum Bedeutung.

Fließdruck

Druck, der erforderlich ist, um einen Schmierfettstrang aus einer Düse herauszupressen. Er gibt Aufschluß über Konsistenz und Fließverhalten. Bestimmung nach DIN 51 805 (nach DIN 51 825 bestimmt er die untere Einsatztemperatur).

Fließfette

Fließfette sind Schmierfette von halbflüssiger bis pastöser Konsistenz. Zur Erhöhung des Druckaufnahmevermögens können die – meist für Getriebeschmierung verwendeten – Fließfette Hochdruckzusätze oder Festschmierstoffe erhalten.

Gelfette

Gelfette enthalten einen anorganischen-organischen Verdicker, der aus sehr fein verteilten festen Teilchen besteht; die poröse Oberfläche dieser Teilchen hat die Eigenschaft, Öle zu absorbieren. Gelfette haben einen weiten Temperatur-Einsatzbereich und sind wasserbeständig. Vorsicht ist geboten bei hohen Drehzahlen und hohen Belastungen.

Getriebefette

Getriebefette sind meist natriumverseifte, langziehende weiche bis halbflüssige Fließfette (NLGI 0 und 00) für Getriebe und Getriebemotoren. Solche Fette werden teilweise EP-legiert geliefert.

Getriebeschmieröle

Schmieröle für Getriebe aller Art nach DIN 51 509, 51 517 T1/T2/T3 (Schmieröle C, CL, CLP).

Grundöl

Das in einem Schmierfett enthaltene Öl wird als Grundöl oder Basisöl bezeichnet. Der Anteil wird, je nach Verdicker und Verwendungszweck des Fettes, verschieden hoch gewählt. Mit dem Anteil des Grundöls und seiner Viskosität ändern sich die Penetration und das Reibungsverhalten des Fettes.

Haftschmieröle

Zähklebrige, meist bituminöse, hochviskose Schmierstoffe, meist vorgelöst zu verwenden.

HD-Öl

Heavy-Duty-Öle sind Motorenöle, die durch Wirkstoffzusätze speziell den schweren Anforderungen in Verbrennungsmotoren angepaßt sind.

Heißlagerfette

Eine andere Bezeichnung für Hochtemperaturfette. Lithiumfette können bei Dauertemperaturen bis zu 130 °C und Polyharnstofffette bis zu 200 °C eingesetzt werden. Spezielle Synthesefette sind bis maximal 270 °C verwendbar.

Hochdruck-Schmierstoffe

-> EP-Schmierstoffe.

Homogenisierung

Endphase bei der Schmierfetherstellung. Um eine einheitliche Struktur und feinste Dispergierung des Verdickers zu erreichen, wird das Schmierfett in einer dafür ausgebildeten Maschine einer starken Scherung ausgesetzt.

Hydraulikflüssigkeiten

Druckflüssigkeiten zur hydraulischen Kraftübertragung und Steuerung. Schwer entflammare Hydraulikflüssigkeiten -> Seite 32.

Hydrauliköle

Alterungsbeständige, dünnflüssige, nichtschäumende, hochraffinierte Druckflüssigkeiten aus Mineralöl mit tiefem Stockpunkt für den Einsatz in Hydraulikanlagen.

Hypoidöle

Hochdruckschmieröle mit EP-Zusätzen für Hypoidgetriebe, hauptsächlich für Achsantriebe von Kraftfahrzeugen.

Inhibitoren

Wirkstoffe, die bestimmte Reaktionen eines Schmierstoffes verzögern. Sie werden vorzugsweise gegen Alterungs- und Korrosionsvorgänge in Schmierstoffen verwendet.

Kältemaschinenöle

Sie werden als Schmieröle in Kältemaschinen verwendet und dabei der Einwirkung des Kältemittels ausgesetzt. Kältemaschinenöle sind entsprechend den Kältemitteln in Gruppen unterteilt. Die Mindestanforderungen sind in DIN 51 503 enthalten.

Kälteverhalten

-> Stockpunkt und Fließdruck.

Kalkseifenfette, Kalziumfette

Kalkseifenfette oder Kalziumfette sind völlig wasserabweisend und deshalb ausgezeichnete Dichtfette gegen Wasser. Da Kalkseife jedoch kaum Schutz vor Korrosion bietet, müssen die Kalkseifenfette Korrosionsschutz-Additive enthalten. Kalkseifenfette mit Zusätzen haben sich als Dichtfette auch bei starker Wasserbeaufschlagung bewährt. Temperatureinsatzgrenzen normaler Kalkseifenfette: circa -20 °C bis +50 °C.

Kenndaten

Unter den Kenndaten eines Schmieröles versteht man im allgemeinen den Flammpunkt, die Dichte, die Nennviskosität, den Stockpunkt und Angaben über die Zusätze.

Schmierfette werden gekennzeichnet durch die Art des Verdickers, die Art und Viskosität des Grundöls, den Tropfpunkt, die Walkpenetration und ggf. durch die Zusätze.

Kinematische Viskosität

-> Viskosität.

Komplexfette

enthalten außer Metallseifen aus hochmolekularen Fettsäuren auch Metallsalze aus niedermolekularen organischen Säuren. Diese Salze bilden mit den Seifen Komplexe, die günstigere Eigenschaften als einfache Seifenfette haben, soweit es die Temperaturgrenzen, das Verhalten gegen Wasser, den Korrosionsschutz und die Druckaufnahmefähigkeit betrifft.

Konsistenz

Maß für die Verformbarkeit von Schmierfetten. -> Penetration.

Korrosionsschutzfette, Korrosionsschutzöle

Sie schützen korrosionsempfindliche Metalloberflächen gegen den Angriff der Feuchtigkeit und des Luftsauerstoffes.

Kupferstreifenprüfung

Verfahren zur qualitativen Feststellung von aktivem Schwefel in Mineralölen (DIN 51 759) und in Schmierfetten (DIN 51 811).

Legierte Schmierstoffe

Schmieröle oder Schmierfette, die einen oder mehrere Wirkstoffe zur Verbesserung spezieller Eigenschaften enthalten -> Wirkstoffe.

Lithiumseifenfette

Lithiumseifenfette zeichnen sich aus durch eine verhältnismäßig gute Wasserbeständigkeit und einen weiten Bereich der Gebrauchstemperatur. Sie enthalten oft Oxidationsverzögerer, Korrosionsver-

zögerer und Hochdruck-Zusätze (EP). Wegen ihrer guten Eigenschaften werden Lithiumseifenfette in großem Umfang zur Schmierung von Wälzlagern eingesetzt. Die Einsatzgrenzen normaler Li-Fette liegen bei -35 °C und $+130\text{ °C}$.

Mechanisch-dynamische Schmierstoffprüfung

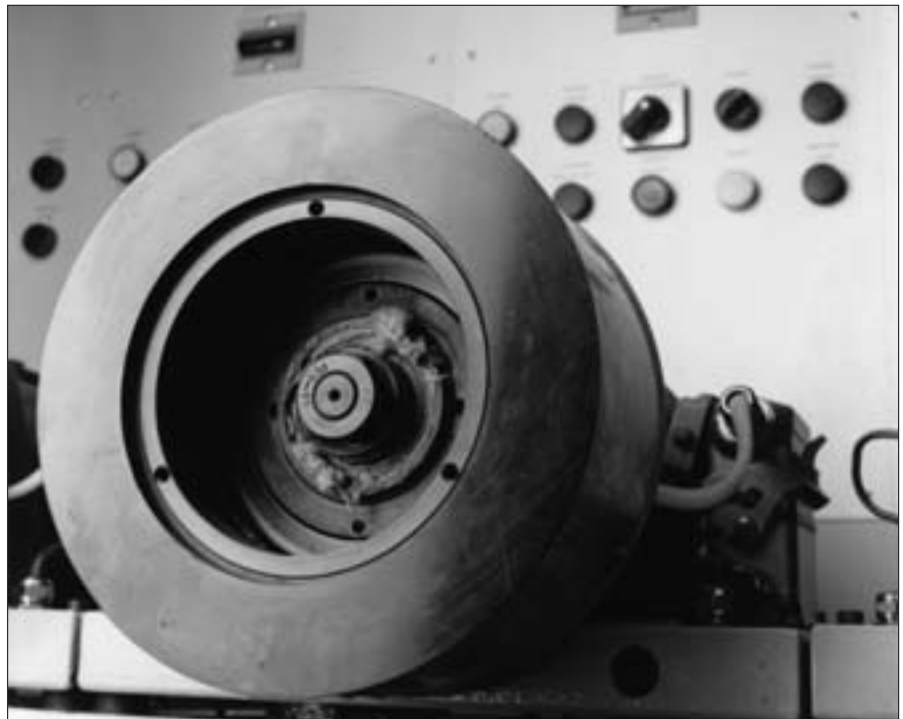
Die Wälzlagerfette werden unter betriebsnahen Verhältnissen, also bei Betriebsbedingungen und Umweltbedingungen geprüft. Aus dem Verhalten von Prüfelement und Schmierstoff während der Prüfung und aus deren Zustand nach der Prüfung wird die Beurteilung des Schmierstoffes abgeleitet. Prüfungen in Modellprüfgeräten liefern nur bedingt Ergebnisse, die auf Wälzlager übertragen werden können. Es werden daher heute solche Prüfungen bevorzugt, die Wälzlager als Prüfelemente benutzen.

In der Norm DIN 51 825 für Wälzlagerfette ist das FAG-Wälzlagerfett-Prüfgerät FE9 nach DIN 51 821 enthalten. Mit dieser Maschine wird die Fettgebrauchsdauer mit Wälzlagern als Prüfelementen getestet.

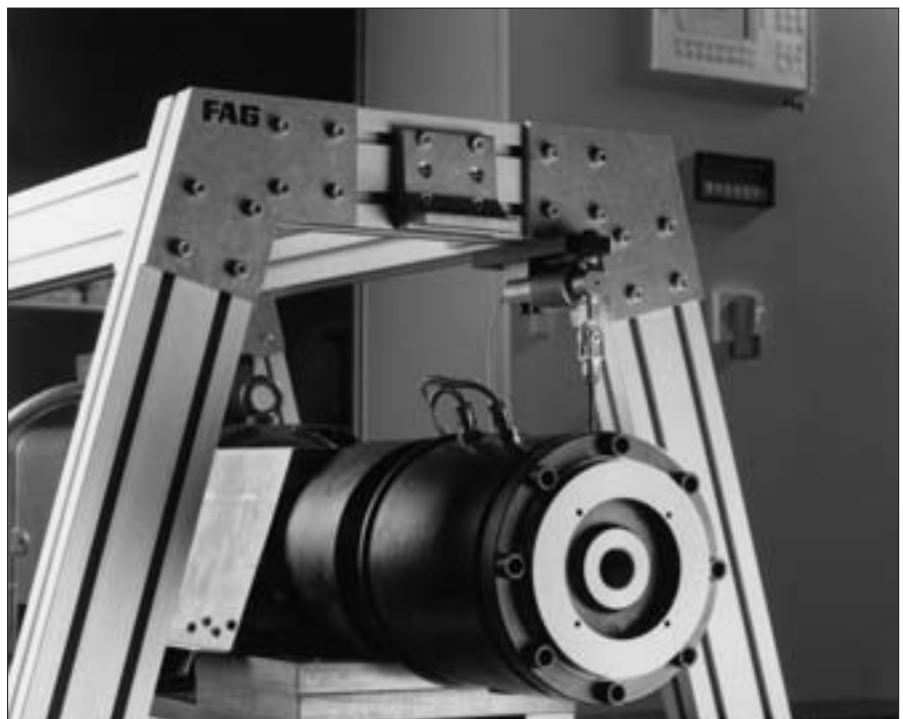
Beim FAG-Prüfsystem FE9 mit Wälzlagern können Drehzahlen, Belastungen und Einbaubedingungen gewählt werden. Außerdem kann die Betriebstemperatur durch eine Heizung variiert werden. Die Schmierfähigkeit wird aufgrund der erreichten Laufzeiten sowie der aufgenommenen Antriebsleistung beurteilt.

Beim FAG-Prüfsystem FE8 (Entwurf DIN 51 819) können zusätzlich die Wälzlagerbauart und in beschränktem Umfang auch die Wälzlagergröße frei gewählt werden. Außerdem ist die Messung der Lagerverlustleistung und des Lagerverschleißes möglich. Da eine Streuung der Meßwerte in Kauf genommen werden muß, sind die Meßergebnisse statistisch abzusichern.

FAG-Prüfsystem FE9



FAG-Prüfsystem FE8



Mehrbereichsöle

Motorenöle und Getriebeöle mit verbessertem Viskositäts-Temperatur-Verhalten.

MIL-Spezifikationen

Spezifikationen der US-Streitkräfte mit Mindestanforderungen für die zu liefernden Betriebsstoffe. Motoren- und Maschinenhersteller stellen zum Teil gleiche Mindestanforderungen an die Schmierstoffe. Die Erfüllung der Mindestforderungen gilt als Qualitätsmaßstab.

Mineralöle

Erdöle bzw. deren flüssige Derivate.

Mischbarkeit von Fetten

-> Seite 38.

Mischbarkeit von Ölen

Öle verschiedener Sorten oder verschiedener Hersteller sollten nicht bedenkenlos gemischt werden. Eine Ausnahme bilden HD-Motorenöle; sie dürfen fast immer miteinander gemischt werden. Werden Frischöle mit Gebrauchtölen gemischt, so kann sich Schlamm absetzen. In allen Fällen, in denen Schlammbildung gefürchtet werden muß, empfiehlt es sich, Proben in einem Becherglas zu mischen.

Nachschmierintervall

Zeitraum, nach dem die Lager nachgeschmiert werden. Das Nachschmierintervall sollte kürzer als die Schmierfrist festgelegt werden.

Natronseifenfette (Natriumseifenfette)

Natronseifenfette zeichnen sich durch gute Haftfähigkeit aus; sie bilden auf den Roll- und Gleitflächen von Wälzlagern einen gleichmäßigen, geschmeidigen Schmierfilm. Sie emulgieren mit Wasser, sind also nicht wasserbeständig. Geringe Mengen Feuchtigkeit werden ohne Nachteil aufgenommen; bei größeren Mengen wird das Fett flüssig und fließt aus dem

Lageraum. Na-Fette zeigen schlechtes Kälteverhalten. Temperatur-Einsatzgrenzen: circa $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Nennviskosität

-> Viskosität.

Neutralisationszahl NZ

Die Neutralisationszahl NZ ist ein Maß für die Alterung eines Mineralöles. Sie gibt an, wieviel mg Kaliumhydroxid für die Neutralisation der in 1 g Öl enthaltenen freien Säuren nötig sind. Bei legierten Ölen liegt die NZ auch im frischen Zustand wegen der Wirkstoffe meistens über Null. Eine Änderung der NZ gegenüber dem Neuzustand sollte den Wert 2 nicht überschreiten.

NLGI-Klasse

-> Penetration.

Normalschmieröle

Schmieröle L-AN nach DIN 51 501. Sie werden verwendet, wenn keine besonderen Anforderungen an den Schmierstoff gestellt werden.

Ölabscheidung

Schmierfette können bei längerer Lagerung oder erhöhter Temperatur Öl abscheiden. Die Ölabscheidung wird nach DIN 51 817 bestimmt. Eine Langzeitschmierung erfordert eine langfristige, geringe Ölabgabe, die jedoch so groß sein muß, daß die Versorgung der Kontaktflächen sichergestellt ist.

Oxidation

-> Alterung.

Penetration

Die Penetration ist ein Maß für die Konsistenz eines Schmierfettes. Sie wird festgestellt, indem man einen genormten Kegel in ein mit Fett gefülltes Gefäß eindringen läßt und die Eindringtiefe – in Zehntel mm – mißt (Einsinkdauer 5 s).

Im Handel wird die sogenannte Walkpenetration bei $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ angegeben. Die Walkpenetration ist ebenfalls eine Eindringtiefe, nur muß das Fett vorher unter genau festgelegten Bedingungen durchgewalkt werden. Die Penetrationsklassen reichen von 000 bis 6 (DIN 51 818).

Penetration üblicher Wälzlagerfette

Konsistenzenteilung nach NLGI-Klassen (Penetrationsklassen)	Walkpenetration [0,1 mm]
1	310-340
2	265-295
3	220-250
4	175-205

Pourpoint

Der Pourpoint eines Mineralöles ist die Temperatur, bei der eine Probe beim Abkühlen unter bestimmten Bedingungen eben noch fließt.

Quellverhalten

Prüfung des Quellverhaltens von Kautschuk und Elastomeren unter dem Einfluß von Schmierstoffen: DIN 53 521.

Raffinate

Bei der Schmierölherstellung erzielt man durch eine Raffination der Destillate eine befriedigende Alterungsbeständigkeit. Dabei werden instabile Verbindungen, in die Schwefel, Stickstoff, Sauerstoff und Metallsalze eingelagert sein können, ausgeschieden. Es gibt verschiedene Raffinationsverfahren, deren wichtigste die Schwefelsäure-Raffination (Schwefelsäure-Raffinat) und die Lösungsmittel-Raffination (Solvent-Raffinat) sind.

Ruhpenetration

Bei $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ gemessene Penetration einer Schmierfettprobe, die nicht im Fettknetvorbehandelt worden ist.

SAE-Klassifikation

In englisch sprechenden Ländern und in der Kraftfahrzeugtechnik bezeichnet man die Viskosität von Schmierölen nach

SAE-Klassifikation (Society of Automotive Engineers). Umrechnung für Motoren-Schmieröle siehe DIN 51 511, für Kfz-Getriebeöle siehe DIN 51 512.

Saybolt-Universal-Viskosimeter

In den USA gebräuchliches Viskosimeter, das zur Bestimmung der konventionellen Viskosität in SSU (Second Saybolt Universal) oder SUS (Saybolt Universal Seconds) verwendet wird.

Schaum

Schaum ist in Mineralölen unerwünscht. Er begünstigt die Ölalterung. Überschäumen kann zu Ölverlusten führen.

Schlamm Bildung

Durch den Einfluß von Luft und Wasser kann es bei Mineralölerzeugnissen zur Bildung von Oxidationsprodukten und Polymerisaten kommen. Die Ausscheidungen setzen sich als Schlamm ab.

Schmierfette

Schmierfette sind konsistente Gemische aus Verdickern und Ölen. Man unterscheidet zwischen

- Metallseifenschmierfetten, die sich aus Metallseifen als Verdickern und Schmierölen zusammensetzen,
 - seifenfreien Schmierfetten mit anorganischen Gelbildnern oder organischen Verdickern und Schmierölen,
 - synthetischen Schmierfetten, die sich aus organischen oder anorganischen Verdickern und Syntheseölen zusammensetzen.
- > Tabelle, Bild 27.

Schmierfrist

Die Schmierfrist entspricht der mindestens erreichten Fettgebrauchsdauer F_{10} von Standardfetten nach DIN 51 825. Die Schmierfrist wird in Abhängigkeit von $k_f \cdot n \cdot d_m$, gültig für 70 °C aufgetragen, siehe Diagramm "Schmierfristkurve", Bild 33. Dieser Wert wird zur Abschätzung genommen, wenn die Fettgebrauchsdauer F_{10} für das verwendete Fett

nicht bekannt ist. Soll die ganze Leistungsfähigkeit eines Fettes ausgenutzt werden, so ist die praxisnah experimentell ermittelte Fettgebrauchsdauer F_{10} anzusetzen, oder man richtet sich nach Erfahrungswerten. Einflüsse, die eine Minderung der Schmierfrist bewirken, werden durch Minderungsfaktoren berücksichtigt.

Schmieröle B

Dunkle, bitumenhaltige Mineralöle mit gutem Haftvermögen: DIN 51 513.

Schmieröle C, CL, CLP

Getriebeöle für Umlaufschmierung: DIN 51 517 T1/T2/T3.

Schmieröle CG

Gleitbahnöle.

Schmieröle K

Kältemaschinenöle: DIN 51 503.

Schmieröle N

Normalschmieröle: DIN 51 501.

Schmieröle T

Dampfturbinen-Schmier- und Regleröle: DIN 51 515 T1.

Schmieröle V

Luftverdichteröle: DIN 51 506.

Schmieröle Z

Dampfzylinderöle: DIN 51 510.

Schmierstoffzusätze

-> Wirkstoffe.

Silikonöle

Syntheseöle, die bei speziellen Betriebsverhältnissen eingesetzt werden. Sie haben günstigere Kennwerte als die Mineralöle, jedoch schlechtere Schmier-

eigenschaften und geringeres Druckaufnahmevermögen. Siehe auch Tabelle, Bild 30.

Solvate

Solvent-Raffinat, mit Lösungsmitteln raffiniertes Mineralöl.

Spezifikationen

Militärische und Firmen-Vorschriften für Schmierstoffe, in denen physikalische und chemische Eigenschaften sowie Prüfmethoden festgelegt sind.

Spindelöle

Dünnflüssige Schmieröle mit einer Viskosität von etwa 10 bis 90 mm²/s bei 40 °C.

Stick-slip-Zusätze

Additive, die Schmierstoffen zugegeben werden, um das Ruckgleiten, zum Beispiel bei Führungsbahnen von Werkzeugmaschinen, zu verhindern.

Stockpunkt

Der Stockpunkt eines Schmieröles ist die Temperatur, bei der das Öl – wenn es unter festgelegten Bedingungen abgekühlt wird – zu fließen aufhört. Der Stockpunkt liegt 2 bis 5 K niedriger als der Pourpoint. Das Kälteverhalten der Öle unmittelbar oberhalb des Stockpunktes kann schon ungünstig sein und muß daher durch eine Viskositätsmessung bestimmt werden.

Strahlung

Neben den SI-Einheiten sind teilweise noch die älteren Einheiten rd und rem gebräuchlich.

Es gilt für die Energiedosis:

1 J/kg = 1 Gy (Gray)

1 Gy = 100 rd (Rad)

Für die Äquivalentdosis gilt:

1 J/kg = 1 Sv (Sievert)

100 rem = 1 Sv

1 rd = 1 rem

Suspension

Kolloidale Aufschwemmung von festen Körpern in Flüssigkeiten, zum Beispiel von ö unlöslichen Wirkstoffen in Schmierstoffen.

Synthetische Schmierstoffe

Durch Synthese hergestellte Schmieröle, die teilweise, abgestimmt auf ihre Anwendung, folgende Eigenschaften aufweisen: sehr niedriger Stockpunkt, gutes V-T-Verhalten, geringer Verdampfungsverlust, lange Lebensdauer, hohe Oxidationsstabilität.

Thixotropie

Schmierfette verhalten sich thixotrop, wenn sich ihre Konsistenz durch mechanische Beanspruchung verringert und in der Ruhe wieder ansteigt. Auch besonders additivierte Konservierungsöle verhalten sich thixotrop.

Tropfpunkt

Temperatur, bei der eine Probe bei Erwärmung unter Prüfbedingungen durch die Öffnung eines Nippels fließt und auf den Boden des Prüfrohrs fällt.
Fett: DIN ISO 2176

Umlaufteilnahme

Unter Umlaufteilnahme versteht man die Mitnahme des Fettes durch umlaufende Teile. Dadurch gelangen immer wieder Fettklumpen zwischen Rollkörper und Laufbahnen, und die Walkreibung wird groß. Bei hohen Drehzahlen muß daher ein Fett gewählt werden, das nicht zur Umlaufteilnahme neigt. Die Umlaufteilnahme hängt ab vom Verdicker, der Penetration, der Temperatur und auch der Lagerbauart. Besonders Natronfette neigen zur Umlaufteilnahme.

Verdampfungsverlust

Bei höheren Temperaturen auftretender Verlust durch Verdampfung eines Schmieröles. Er kann gleichbedeutend mit gesteigertem Ölverbrauch sein und zu einer Änderung der Eigenschaften des Öles führen.

Verdicker

Verdicker und Grundöl sind die Bestandteile von Schmierfetten. Die häufigsten Verdicker sind Metallsenfen (Li-, Ca-, Na-12-Hydroxystearate u.a.) sowie Verbindungen vom Typ Polyharnstoff, PTFE und Mg-Al-Schichtsilikate.

Verschleißschutzzusätze

Wirkstoffe, die im Mischreibungsgebiet den Verschleiß herabsetzen sollen. Man unterscheidet

- mild wirkende Zusätze wie Fettsäuren, Fettöle,
- Hochdruckzusätze, beispielsweise Schwefel-, Phosphor-, Zinkverbindungen,
- Festschmierstoffe, zum Beispiel Graphit, Molybdändisulfid.

Verseifungszahl VZ

Die Verseifungszahl VZ kann bei ungebrauchten und gebrauchten Mineralölen, auch solchen mit Zusätzen, zur Kennzeichnung der Änderung des Öles herangezogen werden. Sie gibt an, wieviel mg Kaliumhydroxid erforderlich sind, um die in einem Gramm Öl enthaltenen freien und gebundenen Säuren zu neutralisieren und die vorhandenen Ester zu verseifen.

Vier-Kugel-Apparat

Gerät zur Prüfung von Schmierstoffen (DIN 51 350). Bei vier pyramidenförmig angebrachten Kugeln dreht sich die obere Kugel. Die Belastung kann bis zum Verschweißen der Kugeln gesteigert werden (Schweißkraft). Die Belastung in N dient als VKA-Wert. Als Verschleißkennwert wird nach einer einstündigen Prüfzeit der Kalottendurchmesser der drei ruhenden Kugeln gemessen und zur Bewertung herangezogen. Zur Identifikationsprüfung von Schmierstoffen geeignet.

Viskosität

Die Viskosität ist die grundlegende physikalische Eigenschaft von Schmierölen, aus der sich die Tragfähigkeit des Ölfil-

mes im Lager bei flüssiger Reibung ergibt. Sie nimmt mit steigender Temperatur ab und mit fallender Temperatur zu (siehe V-T-Verhalten). Daher muß bei jedem Viskositätswert die Temperatur, auf die er sich bezieht, angegeben werden. Die Nennviskosität ist die kinematische Viskosität bei 40 °C. Siehe auch Viskositätsklassifikation. Im physikalischen Sinne ist Viskosität der Widerstand, den benachbarte Schichten einer Flüssigkeit ihrer gegenseitigen Verschiebung entgegenzusetzen. Man unterscheidet zwischen der dynamischen Viskosität η und der kinematischen Viskosität ν . Die kinematische Viskosität ist hierbei die auf die Dichte bezogene dynamische Viskosität. Es besteht also der Zusammenhang $\eta = \rho \cdot \nu$. Hierbei ist ρ die Dichte. Die SI-Einheiten (internationales Einheitensystem) für die dynamische Viskosität sind Pa s oder mPa s. Sie haben die früher gebräuchlichen Einheiten Poise (P) und Centipoise (cP) ersetzt. Umrechnung: 1 cP = 10^{-3} Pa s. SI-Einheiten für die kinematische Viskosität sind m^2/s und mm^2/s . Die früher gebräuchliche Einheit Centistoke (cSt) entspricht der SI-Einheit mm^2/s .

Viskositäts-Druck-Verhalten

Abhängigkeit der Viskosität eines Schmieröles vom Druck. Mit steigendem Druck nimmt die Viskosität von Mineralölen zu (Diagramm, Bild 3).

Viskositätsindex VI

Durch den Viskositätsindex VI wird das Viskositäts-Temperatur-Verhalten eines Öles zahlenmäßig zum Ausdruck gebracht.

Viskositätsindex-Verbesserer

Wirkstoffe, die im Mineralöl gelöst sind und das Viskositäts-Temperatur-Verhalten verbessern. Bei hohen Temperaturen bewirken sie eine höhere Viskosität, bei tiefen Temperaturen verbessern sie das Fließverhalten.

Viskositätsklassifikation

In den Normen ISO 3448 und DIN 51 519 sind für flüssige Industrie-Schmierstoffe 18 Viskositätsklassen im Bereich von 2 bis 1500 mm²/s bei 40 °C festgelegt (siehe folgende Tabelle).

Viskositätsklassen nach ISO

Viskositätsklasse	Mittelpunktsviskosität bei 40 °C mm ² /s	Grenzen der kinematischen Viskosität bei 40 °C	
		min.	max.
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1000	1000	900	1100
ISO VG 1500	1500	1350	1650

V-T-Verhalten

Mit dem Ausdruck V-T-Verhalten bezeichnet man bei Schmierölen die Änderung der Viskosität mit der Temperatur. Man spricht von günstigem V-T-Verhalten, wenn das Öl seine Viskosität mit der Temperatur nicht stark ändert.
-> Viskositätsindex (VI).

Walkpenetration

Penetration von Schmierfetten, gemessen bei 25 °C, nach der Behandlung der Probe im Fettkneter (DIN 51 804 T2 und DIN ISO 2137).

Wasserabscheidevermögen (WAV)

Eigenschaft eines Öles, Wasser abzuscheiden. Die Prüfung erfolgt nach DIN 51 589.

Wasserbeständigkeit

Die Wasserbeständigkeit von Schmierfetten wird nach DIN 51 807 (statische Prüfung) geprüft und stellt nur eine Eigenschaftskennzeichnung dar, die keine Rückschlüsse auf die Wasserbeständigkeit des Fettes in der Praxis zulässt. Es wird geprüft, ob und in welcher Art ruhendes destilliertes Wasser bei verschiedenen Temperaturen auf ein nicht beanspruchtes Fett einwirkt.

Wassergehalt

Enthält ein Schmieröl Wasser, so wird der Schmierfilm durch Wassertropfen unterbrochen und dadurch die Schmierfähigkeit vermindert. Wasser im Öl beschleunigt im übrigen die Alterung und führt zu Korrosion. Der Wassergehalt kann durch Destillation oder mit einer Absetzprobe im Reagenzglas bestimmt werden, wobei sich das Wasser wegen seines höheren spezifischen Gewichtes am Boden absetzt. Bei emulgierenden Ölen muß man die Probe erwärmen. Geringer Wassergehalt wird mit der Spratzprobe nachgewiesen; das Öl wird dabei im Reagenzglas über einer Flamme erwärmt. Wenn Spuren von Wasser vorhanden sind, ist ein knackerndes Geräusch – ein Spratzen – zu hören.

Wirkstoffe

Wirkstoffe, auch als Zusätze oder Additive bezeichnet, sind öllösliche Stoffe, die Mineralölen oder Mineralölprodukten zugegeben werden. Sie verändern oder verbessern durch chemische und oder physikalische Wirkung die Eigenschaften der Schmierstoffe (Oxidationsstabilität, EP-Wirkung, Schaumbildung, Viskositäts-Temperatur-Verhalten, Stockpunkt, Fließfähigkeit und so weiter).

Zähigkeit

-> Viskosität.

FAG Kugelfischer AG & Co. oHG
Postfach 1260
D-97419 Schweinfurt
Georg-Schäfer-Straße 30
D-97421 Schweinfurt
Phone: +49 9721 912349
Fax: +49 9721 914327
E-Mail: Richard.Karbacher@de.fag.com
www.fag.de

Alle Angaben wurden sorgfältig erstellt und überprüft. Für eventuelle Fehler oder Unvollständigkeiten können wir jedoch keine Haftung übernehmen. Änderungen, die dem Fortschritt dienen, behalten wir uns vor.
© by FAG 2004.
Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit unserer Genehmigung.

WL 81 115/4 DA