

Wälzlager in Elektromotoren und Generatoren



® SKF, CARB, INSOCOAT, MARLIN, MICROLOG und SYSTEM 24 sind eingetragene Warenzeichen der SKF Gruppe.

© SKF 2005

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit unserer Genehmigung gestattet. Die Angaben in diesem Druckschrift wurden mit größter Sorgfalt auf ihre Richtigkeit hin überprüft. Trotzdem kann keine Haftung für Verluste oder Schäden irgendwelcher Art übernommen werden, die sich mittelbar oder unmittelbar aus der Verwendung der hier enthaltenen Informationen ergeben.

Druckschrift **6230 DE** - September 2005

Gedruckt in Dänemark auf umweltfreundlichem Papier.

1 Wälzlager in elektrischen Maschinen

1

2 Lageranordnungen

2

3 Toleranzen und Passungen

3

4 Schmierung und Abdichtung

4

5 Einbau und Ausbau

5

6 Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen

6

7 SKF Lösungen

7

Wälzlager in Elektromotoren und Generatoren

Handbuch für Konstrukteure und Endnutzer

Vorwort

Dieses SKF Handbuch für Anwendung, Schmierung und Wartung von Lagern in Elektromotoren und Generatoren wurde für Spezialisten verschiedener Industriezweige geschrieben. Konstrukteuren von elektrischen Maschinen¹⁾ bietet dieses Handbuch Informationen für die Optimierung zahlreicher Lageranordnungen. Fachkräfte aus verschiedenen Industriezweigen, die mit elektrischen Maschinen arbeiten, finden in diesem Buch Empfehlungen zur Verlängerung der Lagerlebensdauer durch die richtige Montage, Instandhaltung und Schmierung.

Die Empfehlungen basieren auf der Erfahrung, die SKF in jahrzehntelanger enger Zusammenarbeit mit Herstellern und Benutzern von elektrischen Maschinen auf der ganzen Welt gesammelt hat. Zusammen mit Vorschlägen und Wünschen der Kunden hat diese Erfahrung großen Einfluss auf die Produktentwicklung bei SKF und führt letztendlich zu neuen Produkten und Varianten.

Allgemeine Informationen zur Auswahl und Berechnung von Kugel- und Rollenlagern enthält der SKF Hauptkatalog. Dieses Handbuch beschäftigt sich mit Fragen, die sich aus der Verwendung von Wälzlagern in Elektromotoren und Generatoren ergeben. Daten des Hauptkatalogs werden nur wiederholt, wenn dies der besseren Verständlichkeit dient.

¹⁾ Wenn in diesem Handbuch der Begriff "elektrische Maschinen" verwendet wird, sind darunter sowohl industrielle Elektromotoren als auch Generatoren zu verstehen.



Das Markenzeichen SKF steht heute für wesentlich mehr als jemals zuvor und bietet damit kosten- und qualitätsbewussten Kunden zusätzlichen Mehrwert.

SKF konnte die Stellung als weltweit führender Hersteller von Qualitätslagern weiter ausbauen. Darüber hinaus hat SKF die traditionellen Geschäftsfelder um weitere hoch technische Komponenten, differenzierte Serviceangebote und Kompetenzpartnerschaften erweitert. SKF kann heute, als Komplettanbieter für Bewegungstechnik, weltweit Kunden mit Systemlösungen aller Art spürbare Wettbewerbsvorteile verschaffen.

SKF Kunden erhalten nicht nur hochentwickelte Lager und Systemlösungen zur Optimierung ihrer Maschinen, sondern auch hochentwickelte Softwarelösungen zum virtuellen Testen von Produkten oder für die Zustandsüberwachung. Die Umsetzung von Produktideen in die Praxis wird dadurch beschleunigt oder die Wirtschaftlichkeit ganzer Maschinenanlagen gesteigert.

Das Markenzeichen SKF steht nach wie vor für Spitzenqualität bei Wälzlagern – und heute gleichzeitig auch für Kompetenz in vielen anderen Geschäftsfeldern.

SKF – Kompetenz für Bewegungstechnik

Inhalt

1 Wälzlager in elektrischen Maschinen

9 Konstruktionsanforderungen

15 Lagerauswahl

17 Berechnungsbeispiel

21 Rillenkugellager

23 Zylinderrollenlager

25 INSOCOAT® Lager

27 Hybridlager

29 Schrägkugellager

31 Pendelrollenlager

33 CARB® Toroidal-Rollenlager

35 Axial-Pendelrollenlager

2 Lageranordnungen

37 Wahl der Lageranordnung

47 Federvorspannung

3 Toleranzen und Passungen

52 Wellen- und Gehäusetoleranzen

54 Empfohlene Passungen

4 Schmierung und Abdichtung

- 59 Schmierung
- 62 Schmierstoffauswahl
- 64 Schmierfristen
- 70 Fettgebrauchsdauer in abgedichteten Lagern
- 72 Ölschmierung
- 74 Dichtungen

5 Einbau und Ausbau

- 77 Einbau
- 85 Ausbau

6 Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen

- 91 Schäden durch Stromdurchgang
- 94 Mangelhafte Schmierung
- 96 Lagerermüdung
- 96 Schwingungsschäden
- 97 Schäden durch unsachgemäße Installation und Inbetriebnahme
- 99 Zu geringe Lagerbelastung
- 99 Sonstige Schäden

7 SKF Servicedienstleistungen und Systemlösungen

- 104 SKF Beratungsdienstleistungen
- 105 SKF Berechnungshilfsmittel
- 107 Anwendungsspezifische Lösungen
- 111 Zustandsüberwachung

SKF – Kompetenz für Bewegungstechnik

Die Erfindung des Pendelkugellagers vor etwa 100 Jahren war der Start für SKF. Inzwischen hat sich die SKF Gruppe zu einem Kompetenzunternehmen für Bewegungstechnik mit fünf Plattformen weiterentwickelt. Die Verknüpfung dieser fünf Kompetenzplattformen ermöglicht besondere Lösungen für unsere Kunden. Zu diesen Plattformen gehören selbstverständlich Lager und Lagereinheiten sowie Dichtungen. Die weiteren Plattformen sind Schmiersysteme – in vielen Fällen die Grundvoraussetzung für eine lange Lagergebrauchsdauer –, außerdem Mechatronik – für integrierte Lösungen zur Erfassung und Steuerung von Bewegungsabläufen –, sowie umfassende Dienstleistungen, von der Beratung bis hin zu Komplettlösungen für Wartung und Instandhaltung oder Logistikunterstützung.

Obwohl das Betätigungsfeld größer geworden ist, ist die SKF Gruppe fest entschlossen, ihre führende Stellung bei Entwicklung, Herstellung und Vertrieb von Wälzlager- und verwandten Produkten wie z.B. Dichtungen, weiter auszubauen. Darüber hinaus nimmt SKF eine zunehmend wichtigere Stellung ein bei Produkten für die Lineartechnik, die Luftfahrt oder für Werkzeugmaschinen sowie bei Instandhaltungsdienstleistungen. Außer-

dem ist SKF ein renommierter Hersteller von Wälzlagerstählen hoher Qualität.

Die SKF Gruppe ist weltweit nach ISO 14001 zertifiziert, dem internationalen Standard für Umweltmanagementsysteme. Das Qualitätsmanagement der einzelnen Geschäftsbereiche ist zertifiziert und entspricht der Norm DIN EN ISO 9000 bzw. QS 9000.

Mit etwa 100 Produktionsstätten weltweit und eigenen Verkaufsgesellschaften in über 70 Ländern ist SKF ein wirklich global tätiges Unternehmen. Rund 15 000 Vertragshändler und Wiederverkäufer, ein Internet-Marktplatz und ein weltweites Logistiksystem sind die Basis dafür, dass SKF mit Produkten und Dienstleistungen immer nah beim Kunde ist. Das bedeutet, Lösungen von SKF sind verfügbar, wann und wo auch immer sie gebraucht werden.

Das Markenzeichen SKF und die SKF Gruppe sind stärker als je zuvor. Als Kompetenzunternehmen für Bewegungstechnik sind wir bereit, Ihnen mit Weltklasse-Produkten und dem zugrunde liegenden Fachwissen zu nachhaltigem Erfolg zu verhelfen.

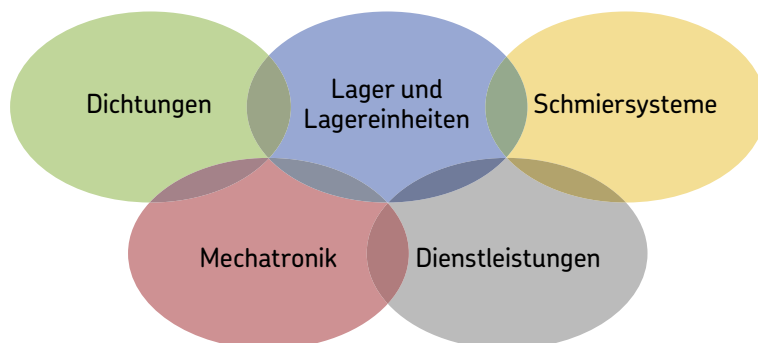


© Airbus – photo: e'm company, H. Goussé

By-wire-Technik forcieren

SKF verfügt über umfangreiches Wissen und vielfältige Erfahrungen auf dem schnell wachsenden Gebiet der By-wire-Technik, insbesondere zur Steuerung von Flugbewegungen, zur Bedienung von Fahrzeugen und zur Steuerung von Arbeitsabläufen. SKF gehört zu den Ersten, die die By-wire-Technik im Flugzeugbau praktisch zum Einsatz gebracht haben und arbeitet seitdem eng mit allen führenden Herstellern in der Luft- und Raumfahrtindustrie zusammen. So sind z.B. praktisch alle Airbus-Flugzeuge mit By-wire-Systemen von SKF ausgerüstet.

SKF ist auch führend bei der Umsetzung der By-wire-Technik im Automobilbau. Zusammen mit Partnern aus der Automobilindustrie entstanden verschiedene Konzeptfahrzeuge, bei denen SKF Mechatronik-Bauteile zum Lenken und Bremsen im Einsatz sind. Weiterentwicklungen bei der By-wire-Technik haben SKF außerdem veranlasst einen vollelektrischen Gabelstapler zu bauen, in dem ausschließlich Mechatronik-Bauteile zum Steuern der Bewegungsabläufe eingesetzt werden – anstelle der Hydraulik.





Die Kraft des Windes nutzen

Windenergieanlagen liefern saubere, umweltfreundliche elektrische Energie. SKF arbeitet mit den weltweit führenden Herstellern an der Entwicklung leistungsfähiger und vor allem störungsunanfälliger Anlagen eng zusammen. Ein breites Sortiment von auf den Einsatzfall abgestimmten Lagern und Zustandsüberwachungssystemen hilft, die Verfügbarkeit der Anlagen zu verbessern und ihre Instandhaltung zu optimieren – auch in einem extremen und oft unzugänglichem Umfeld.



Extremen Temperaturen trotzen

In sehr kalten Wintern, vor allem in nördlichen Ländern, mit Temperaturen weit unter null Grad, können Radsatzlagerungen von Schienenfahrzeugen aufgrund von Mangelschmierung ausfallen. Deshalb entwickelte SKF eine neue Familie von Schmierfetten mit synthetischem Grundöl, die auch bei extrem tiefen Temperaturen ihre Schmierfähigkeit behalten. Die Kompetenz von SKF hilft Herstellern und Anwendern Probleme mit extremen Temperaturen zu lösen – egal ob kalt oder heiß. SKF Produkte arbeiten in sehr unterschiedlichen Umgebungen, wie zum Beispiel in Backöfen oder Gefrieranlagen der Lebensmittelindustrie.



Alltägliches verbessern

Der Elektromotor und seine Lagerung sind das Herz vieler Haushaltsmaschinen. SKF arbeitet deshalb eng mit den Herstellern dieser Maschinen zusammen, um deren Leistungsfähigkeit zu erhöhen, Kosten zu senken, Gewicht einzusparen und den Energieverbrauch zu senken. Eine der letzten Entwicklungen, bei denen SKF beteiligt war, betrifft eine neue Generation von Staubsaugern mit höherer Saugleistung. Aber auch die Hersteller von motorgetriebenen Handwerkzeugen und Büromaschinen profitieren von den einschlägigen Erfahrungen von SKF auf diesen Gebieten.



Mit 350 km/h forschen

Zusätzlich zu den namhaften SKF Forschungs- und Entwicklungszentren in Europa und den USA, bieten die Formel-1-Rennen hervorragende Möglichkeiten, die Grenzen in der Lagerungstechnik zu erweitern. Seit über 50 Jahren haben Produkte, Ingenieurleistungen und das Wissen von SKF mit dazu beigetragen, dass die Scuderia Ferrari eine dominierende Stellung in der Formel-1 einnehmen konnte. In jedem Ferrari Rennwagen leisten mehr als 150 SKF Bauteile Schwerarbeit. Die hier gewonnenen Erkenntnisse werden wenig später in verbesserte Produkte umgesetzt – insbesondere für die Automobilindustrie, aber auch für den Ersatzteilmarkt.



Die Anlageneffizienz optimieren

Über die SKF Reliability Systems bietet SKF ein umfangreiches Sortiment an Produkten und Dienstleistungen für mehr Anlageneffizienz an. Es beinhaltet unter anderem Hard- und Softwarelösungen für die Zustandsüberwachung, technische Unterstützung, Beratung hinsichtlich Instandhaltungsstrategien oder auch komplette Programme für mehr Anlagenverfügbarkeit. Um die Anlageneffizienz zu optimieren und die Produktivität zu steigern, lassen einige Unternehmen alle anfallenden Instandhaltungsarbeiten durch SKF ausführen – unter einem Vertrag mit festen Preis- und Leistungsvereinbarungen.



Für Nachhaltigkeit sorgen

Von ihren Eigenschaften her sind Wälzlager von großem Nutzen für unsere Umwelt: verringerte Reibung erhöht die Effektivität von Maschinen, senkt den Energieverbrauch und reduziert den Bedarf an Schmierstoffen. SKF legt die Messlatte immer höher und schafft durch ständige Verbesserungen immer neue Generationen von noch leistungsfähigeren Produkten und Geräten. Der Zukunft verpflichtet, legt SKF besonderen Wert darauf, nur Fertigungsverfahren einzusetzen, die die Umwelt nicht belasten und sorgsam mit den begrenzten Ressourcen dieser Welt umgehen. Dieser Verpflichtung ist sich SKF bewusst und handelt danach.

1 Wälzlager in elektrischen Maschinen

9 Konstruktionsanforderungen

15 Lagerauswahl

17 Berechnungsbeispiel

21 Rillenkugellager

23 Zylinderrollenlager

25 INSOCOAT Lager

27 Hybridlager

29 Schrägkugellager

31 Pendelrollenlager

33 CARB Toroidal-Rollenlager

35 Axial-Pendelrollenlager



Wälzlager in elektrischen Maschinen

Wälzlager werden in elektrischen Maschinen eingesetzt, um den Rotor zu stützen und zu führen, um den Luftspalt klein und konstant zu halten und um Belastungen von der Welle an das Motorgehäuse weiterzuleiten. Die Lager sollen sowohl hohe als auch niedrige Drehzahlen ermöglichen, die Reibung auf ein Mindestmaß reduzieren und Energie sparen. Bei der Auswahl von Lagerart und -anordnung muss der Konstrukteur zahlreiche Parameter berücksichtigen, um die Anforderungen eines speziellen Anwendungsfalls zu erfüllen. Die Konstruktion sollte unter allen Umständen wirtschaftlich gestaltet sein, sowohl aus Sicht der Herstellung als auch aus Sicht der Instandhaltung.

Konstruktionsanforderungen

Die Konstruktionsparameter einer elektrischen Maschine sind in der Regel Motorleistung, Abmessungen sowie die Werkstoffe von Welle und Gehäuse. Im Falle eines Drehstrommotors ist dazu auch noch die Zahl der erforderlichen Pole ein wichtiger Konstruktionsparameter.

Zu beachten sind ferner die zu erwartenden Betriebsbedingungen, die verlangte Betriebsdauer oder Verfügbarkeit, Wartungsbedingungen sowie Herstellungsverfahren (→ **Bild 1, Seite 10**).

Ein- und Ausbauverfahren sind bereits während der Konstruktionsphase zu berücksichtigen (→ **Kapitel 5** "Einbau und Ausbau", ab **Seite 77**). Auch die Auswahl des richtigen Schmierstoffs und Schmiervfahrens kann große Auswirkungen auf die Lebensdauer der Maschine haben. Die Zustandsüberwachung (→ **Kapitel 7** "SKF Servicedienstleistungen und Systemlösungen", ab **Seite 103**) kann

unvorhergesehene Störungen reduzieren und die Zuverlässigkeit erhöhen.

Auf den folgenden Seiten werden die wichtigsten Kriterien und Schritte, die bei der Konstruktion zu beachten sind, aufgeführt (→ **Tabelle 1, Seite 11**). Ein Beispiel für die Auslegung einer Lagerung eines Elektromotors gehört dazu.

1 Wälzlager in elektrischen Maschinen

Konstruktionsanforderungen

Abmessungen

In den meisten Fällen bestimmt die Motorleistung die Wellengröße, die ihrerseits den Bohrungsdurchmesser des Lagers bestimmt. Seit einigen Jahren geht die Tendenz in Richtung von Lagern mit kleineren Querschnitten wegen ihres geringeren Platzbedarfs.

Belastungen

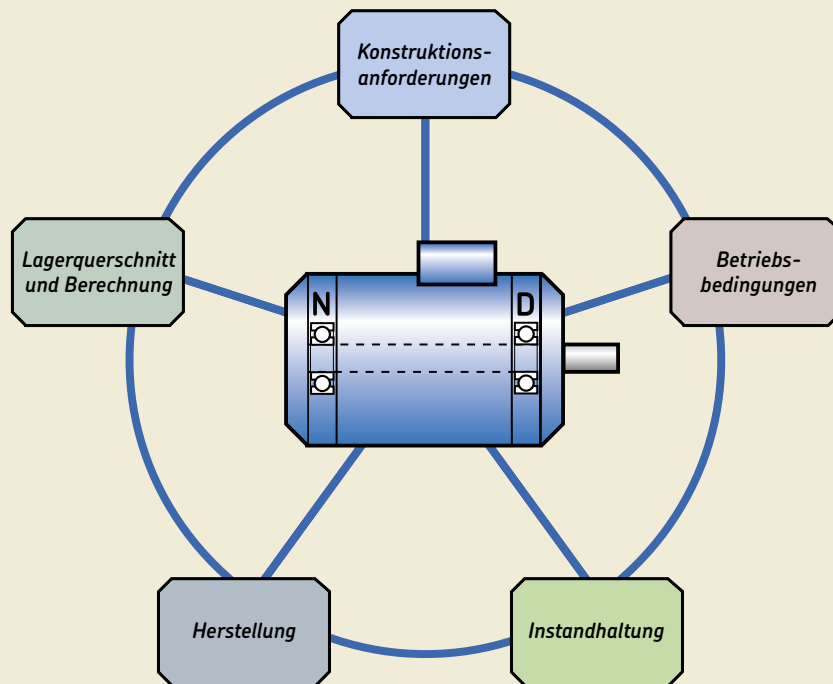
Um das beste Lager für einen bestimmten Anwendungsfall auszuwählen, müssen sämtliche Belastungen berücksichtigt werden und nicht nur die Gewichte der Teile und die von der übertragenen Leistung verursachten Kräfte. Es muss sichergestellt sein, dass auch zusätzliche Kräfte, wie der sich aus asymmetrischen Luftspalten ergebende magnetische Zug, dynamische Kräfte durch ungenaue Ausrichtung, Unwuchten, Teilungsfehler von Zahnrädern sowie alle axialen Belastungen einbezogen werden.

Rollenlager nehmen in der Regel große Belastungen auf, während sich Kugellager eher für leichtere Belastungen eignen. Antriebskräfte werden nur bei der Verwendung von Riemen oder Zahnrädern berücksichtigt. Belastungen können radial, axial oder als Kombination beider Formen auftreten.

Einige Lager, wie beispielsweise Zylinderrollenlager, nehmen in der Regel ausschließlich radiale Belastungen auf, während andere Lager, wie Schrägkugellager, besser für axiale Belastungen geeignet sind.

Für einen störungsfreien Betrieb muss auf Wälzlager stets eine bestimmte Mindestbelastung wirken. Nähere Angaben dazu finden Sie in den entsprechenden Produktabschnitten des SKF Hauptkatalogs.

Bild 1



Bei der Konstruktion einer elektrischen Maschine zu berücksichtigende Parameter
N = antriebslose Seite
D = Antriebsseite

1 Wälzlager in elektrischen Maschinen

Konstruktionsanforderungen

Tabelle 1

Konstruktionskriterien und Betriebsbedingungen

- Außenabmessungen
- Größe und Richtung der Belastungen
- Drehzahlen: fest, variabel oder hoch
- Wellen- und Gehäusewerkstoff
- Kupplungs-, Riemen- oder Zahnradantrieb
- Waagerechte oder senkrechte Anordnung
- Umgebung
- Schwingungsniveau
- Geräuschpegel
- Temperatur
- Erforderliche Lagerlebensdauer
- Schmierung: Fett oder Öl
- Instandhaltung
- Zustandsüberwachung

Herstellung

- Produktverfügbarkeit
- Erforderliche Genauigkeit
- Handhabung und Transport
- Montagewerkzeuge

Wichtige Parameter bei der Auswahl der geeigneten Lager für einen Elektromotor oder Generator

1

Betriebsdrehzahlen

Die Betriebsdrehzahl beeinflusst sowohl die Lebensdauer des Lagers als auch die Lebensdauer des Schmierstoffs. Bei der Auswahl eines Lagers für eine bestimmte Drehzahl sind vor allem Lagergröße, Käfigausführung, Schmierung, Lagerluft und Dichtung zu berücksichtigen.

bieten. Als Grundlage für diese Entscheidung ist eine Analyse des dynamischen Verhaltens der Maschine erforderlich. Zu den Faktoren, die die Lebensdauer des Lagers bei hohen Drehzahlen beeinflussen, gehören Käfig, Schmierstoff, Laufgenauigkeit und Lagerluft sowie die Eigenfrequenz des Systems und die Auswuchtung der umlaufenden Bauteile.

Feste Drehzahlen

In einem Drehstrommotor hängt die Drehzahl von der Zahl der Pole ab. So hat ein zweipoliger Motor bei 50 Hz eine Nenndrehzahl von $3\,000\text{ min}^{-1}$ und bei 60 Hz eine Nenndrehzahl von $3\,600\text{ min}^{-1}$.

Variable Drehzahlen

Wenn ein Motor mit unterschiedlichen Drehzahlen betrieben wird, sind bei der Dimensionierung des Lagers und der Berechnung seiner Lebensdauer alle Betriebsphasen zu berücksichtigen.

Bei Drehstrommotoren, deren Drehzahl über Frequenzumrichter gesteuert wird, ist der Auswahl des richtigen Lagers besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Moderne Frequenzumrichter, die mit Pulsbreitenmodulation (PWM) und Halbleitern mit hoher Schaltfrequenz arbeiten, sind oft die Ursache für Stromdurchgang durch die Lager (→ Kapitel 6 "Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen", ab Seite 91).

Hohe Drehzahlen

Im Normalfall sind Kugellager für Anwendungsfälle mit hohen Drehzahlen besser geeignet als Rollenlager. Bei Anwendungen mit extrem hohen Drehzahlen können Hochgenauigkeits- oder Hybridlager Vorteile

Wellen- und Gehäusewerkstoffe

Wegen der Wärmedehnung ist bei der Auswahl des Materials für Welle und Gehäuse unbedingt der Ausdehnungskoeffizient zu beachten. Wärmedehnungen wirken sich nicht nur auf Wellen- und Gehäusepassungen aus, sondern auch auf die Lagerluft (→ Kapitel 3 "Toleranzen und Passungen", ab Seite 51).

Kupplungs-, Riemen- und Zahnradantriebe

Die Art der Verbindung zwischen dem Motor und der angetriebenen Einheit wirkt sich auf die Belastungen der Lager im Motor aus.

Es gibt zwei verschiedene Arten für die Verbindung von Antrieben: flexibel oder starr. Eine gute Ausrichtung ist in beiden Fällen wichtig, da die Lagerung sonst zusätzlichen Kräften ausgesetzt wäre, was sich ungünstig auf die Lebensdauer auswirken würde. Besonders wichtig ist eine korrekte Ausrichtung bei einer starren Kupplung, bei der die Welle in der Regel dreifach gelagert ist. Wenn starre Kupplungen exakt ausgerichtet sind, beispielsweise mit einem Lasergerät, kann das Lager auf der Antriebsseite relativ stark entlastet werden, da die Last von den Lagern am antriebslosen Ende und an der angekuppelten Welle aufgenommen wird. In diesem Fall empfiehlt sich für die Antriebsseite ein Rillenkugellager.

Bei einem Riemen- oder Zahnradantrieb werden die Lager im Motor oft höher belastet als bei einem Kupplungsantrieb. Daher werden bei Riemen- und Zahnradantrieben auf der Antriebsseite meist Zylinderrollenlager verwendet. In Anwendungsfällen, in denen hohe Belastungen auftreten und Fehlausrichtungen und/oder Wellendurchbiegungen möglich sind, sollte die Verwendung eines CARB Toroidal-Rollenlagers in Betracht gezogen werden.

Siehe auch typische Anordnungen für Kupplungs- und Riemenantriebe in **Kapitel 2** "Lageranordnungen" ab **Seite 37**.

Senkrechte Anordnung

Maschinen mit senkrechter Welle benötigen besondere Aufmerksamkeit, sowohl bei der Auswahl der korrekten Lageranordnung (→ **Kapitel 2** "Lageranordnungen", ab **Seite 37**) als auch bei der Berechnung der Lebensdauer des Schmierstoffs (→ **Kapitel 4** "Schmierung und Abdichtung", ab **Seite 59**). Die mechanische Stabilität eines Schmierfetts ist besonders wichtig bei senkrechten Wellen. Aufgrund sehr guter Versuchsergebnisse kann SKF für senkrechte Wellen das Schmierfett LGHP 2 empfehlen.

Ferner sollten Berührungsdichtungen verwendet werden, da sie das Schmierfett am besten zurückhalten. Als Faustregel gilt, dass die Nachschmierfrist bei senkrechten Wellen halbiert werden sollte.

Umgebung

In feuchten und verschmutzten Umgebungen sollten abgedichtete Lager verwendet werden. Für Motoren an abgelegenen Standorten können abgedichtete Lager erforderlich sein, um so eine wartungsarme oder wartungsfreie Ausführung bereitstellen zu können. Die Art der verwendeten Dichtung ist ausschlaggebend für die Wartungsanforderungen und die Lebensdauer des Lagers. In **Kapitel 4** "Schmierung und Abdichtung", ab **Seite 59**, werden verschiedene Abdichtungslösungen beschrieben. Zum Schutz der Lager vor Schäden durch Stromdurchgang bietet SKF isolierte Lager an (→ INSOCOAT Lager, **Seite 25** und Hybridlager, **Seite 27**).

Temperatur

Zur fachgerechten Auswahl oder Konstruktion einer elektrischen Maschine ist es wichtig, die Umgebungstemperaturen und die normale Betriebstemperatur der betreffenden Maschine zu kennen. Mit Hilfe dieser Daten lässt sich die effektivste Kühlmethode (Luft-, Öl- oder Wasserkühlung) ermitteln.

Die normalen Betriebstemperaturen einer typischen elektrischen Maschine liegen zwischen 70 und 110 °C. Daher empfiehlt SKF die Verwendung eines Schmierfetts mit guten Leistungseigenschaften über einen großen Temperaturbereich. Für Anwendungsfälle, bei denen Temperaturen über 110 °C erreicht werden, bietet SKF Hochtemperaturschmierfette an (→ **Kapitel 4** "Schmierung und Abdichtung", ab **Seite 59**).

Wenn die Umgebungstemperaturen stark von der Betriebstemperatur des Lagers abweichen, kann an den Lagern ein Temperaturunterschied entstehen. Bei einem großen Unterschied sollte die sich daraus ergebende Lagerluft überprüft werden, um eine unnötige Vorspannung im Lager zu vermeiden. Mit SKF Berechnungswerkzeugen lassen sich notwendige Daten über die Reduzierung der Lagerluft infolge von Temperaturunterschieden ermitteln.

Schwingungen

In Umgebungen, in denen Maschinen extern verursachten Schwingungen ausgesetzt sind, empfiehlt es sich nach Möglichkeit Kugellager zu verwenden. Kugellager, besonders wenn sie federvorgespannt sind, sind weniger anfällig für Beschädigungen, die durch externe Schwingungen verursacht werden können (→ **Kapitel 6** "Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen", ab **Seite 91**).

Geräuscharmer Lauf

Motoren und Generatoren sollen geräuscharm laufen. Dafür ist es wichtig, ein Lager mit der optimalen Kombination von Käfigwerkstoff, Schmierstoff und Lagerluft auszuwählen. SKF Lager zeichnen sich von vornherein durch besonders niedrige Geräuschpegel aus. Der Geräuschpegel lässt sich jedoch durch eine Federvorspannung des Lagers noch weiter reduzieren (→ Abschnitt "Federvorspannung", ab **Seite 47**).

Lagerlebensdauer

Die Lebensdauer eines Wälzlagers ist als die Anzahl von Umdrehungen (oder Anzahl der Betriebsstunden bei einer vorgegebenen konstanten Drehzahl) definiert, bevor das Lager erste Ermüdungserscheinungen (Absplitterungen oder Abplatzungen) an einem der Ringe oder den Wälzkörpern zeigt.

Laborversuche und praktische Erfahrungswerte zeigen allerdings, dass scheinbar identische Lager unter identischen Betriebsbedingungen eine unterschiedliche Lebensdauer haben können.

Die Gebrauchsdauer eines Lagers hängt im Wesentlichen von den Betriebsbedingungen ab. Aber auch die Montage- und Instandhaltungsverfahren des Lagers können sich direkt auf seine Gebrauchsdauer auswirken. Trotz aller Vorsichtsmaßnahmen können Lager vorzeitig ausfallen. In diesem Fall sollte das Lager gründlich untersucht werden, um die Schadensursache festzustellen. Dies ermöglicht Korrekturmaßnahmen.

Bei dem im englischen Sprachraum gebräuchlichen Begriff "Specification life" handelt es sich um eine vom Motorhersteller geforderte Lebensdauer, die auf angenommenen Belastungs- und Drehzahldaten basiert. So kann beispielsweise eine nominelle Lebensdauer bei der zulässigen Höchstbelastung von mindestens 20 000 Stunden gefordert werden.

Unter bestimmten Betriebsbedingungen können SKF Lager vor allem bei geringen

Belastungen eine wesentlich längere Lebensdauer erreichen, als normale oder herkömmliche Berechnungsmethoden ergeben. Solche Betriebsbedingungen sind gegeben, wenn ein Schmierfilm die Wälzkontaktflächen (Laufbahnen und Wälzkörper) effektiv trennt und Oberflächenschäden durch Verunreinigungen begrenzt sind.

Nähere Angaben zu den geeigneten Berechnungsmethoden finden Sie bei den SKF Berechnungswerkzeugen, im SKF Hauptkatalog oder im interaktiven SKF Lagerungskatalog auf CD-ROM oder online unter www.skf.com.

Bei abgedichteten Lagern in elektrischen Maschinen wird die Gebrauchsdauer in den meisten Fällen durch die Fettgebrauchsdauer begrenzt (→ **Kapitel 4** "Schmierung und Abdichtung", ab **Seite 59**). Deshalb müssen die Lagerlebensdauer und die Fettgebrauchsdauer überprüft werden.

Schmierung: Fett oder Öl

Die Wahl zwischen Fett- und Ölschmierung wird hauptsächlich durch die folgenden Faktoren bestimmt:

- Fett sollte bei Anwendungsfällen mit den folgenden Anforderungen verwendet werden:
 - einfachere Wartung
 - verbesserte Sauberkeit (weniger Auslaufen)
 - besserer Schutz vor Verunreinigungen.
- Ölschmierung sollte für Anwendungsfälle verwendet werden, bei denen die normalen Betriebstemperaturen auf Grund einer externen Wärmequelle oder auf Grund eines von der Maschine oder deren Lagern bei hohen Drehzahlen erzeugten Wärmeüberschusses von vornherein hoch sind.

Hinweis

Ein reibungsbedingter Temperaturanstieg im Lager ist bei Fettschmierung in der Regel niedriger als bei einem Ölbad, vorausgesetzt, es wird ein geeignetes Fett in der richtigen Menge verwendet, das dem Lager auf geeignete Weise zugeführt wird.

Wenn die Nachschmierfrist für Fett zu kurz ist, sollte Ölschmierung eingesetzt werden (→ **Kapitel 4** "Schmierung und Abdichtung", ab **Seite 59**).

1 Wälzlager in elektrischen Maschinen

Konstruktionsanforderungen

Wartung

Die Wartung von Elektromotoren besteht in der Regel aus dem Schmieren der Lager, der Kontrolle der Statorwicklungen und dem Überwachen der Motorleistung.

Bei Motoren mit abgedichteten und lebensdauergeschmierten Lagern kann auf eine Nachschmierung verzichtet werden. Solche Motoren gelten als wartungsfrei.

Zustandsüberwachung

Im Betrieb erzeugen Lager Schwingungen. Mit den heute verfügbaren Methoden und Instrumenten kann der Zustand eines Lagers effektiv überwacht und diagnostiziert werden. Für die Zustandsüberwachung von Elektromotoren sind die folgenden Verfahren geeignet:

- Vergleichsmessungen bei mehreren identischen Motoren, die unter den gleichen Betriebsbedingungen laufen.
- Trendmessungen in festen Intervallen zur Beobachtung von Veränderungen im Lagerzustand einzelner Motoren.

SKF hat Instrumente entwickelt und eine Wissensdatenbank aufgebaut, mit deren Hilfe sich der Zustand eines Lagers effektiv erfassen, verfolgen und diagnostizieren lässt.

Produktverfügbarkeit

SKF empfiehlt, sich bereits im Konstruktionsstadium bei dem örtlichen SKF Ansprechpartner nach den Liefermöglichkeiten einzelner Produkte zu erkundigen. Aktuelle Lagerdaten enthält der "Interaktive SKF Lagerungskatalog", online unter www.skf.com.

Handhabung, Werkzeuge und Transport

Wälzlager sind Präzisionsprodukte, die mit Sorgfalt zu behandeln sind, wenn sie einwandfrei funktionieren sollen. Für den Ein- und Ausbau von Lagern sind die richtigen Verfahren und Werkzeuge zu verwenden. Hinweise dazu enthält **Kapitel 5** "Einbau und Ausbau", ab **Seite 77**.

Daneben ist es wichtig, den Motor gut für den Transport vorzubereiten, um vorzeitige Lagerschäden zu vermeiden.

Genauigkeit

Die verlangte Präzision einer Maschine bestimmt die erforderliche Genauigkeit der Lager. Für Maschinen mit hoher Genauigkeit oder Drehzahl sind Lager mit höherer Genauigkeit erhältlich. Damit eine Maschine von der Laufgenauigkeit der eingebauten Lager profitieren kann, müssen allerdings auch Rundheit und Oberfläche der Lagersitze entsprechende Anforderungen erfüllen.

Lagerauswahl

Bei Elektromotoren und Generatoren wird eine Vielzahl von Lagerarten eingesetzt, von Rillenkugellagern und Schrägkugellagern über Zylinderrollenlager und Pendelrollenlager bis hin zu CARB Toroidal-Rollenlagern und Axial-Pendelrollenlagern.

In kleinen, waagrecht angeordneten Maschinen besteht die Lagerung zumeist aus zwei Rillenkugellagern. In größeren oder höher belasteten Maschinen werden in der Regel Rollenlager verwendet.

In senkrecht angeordneten Maschinen werden im Normalfall abhängig von Belastung, Drehzahl, Temperatur und Umgebungsbedingungen Rillenkugellager, Schrägkugellager oder Axial-Pendelrollenlager eingesetzt.

Wie bereits erwähnt wirken sich Konstruktionsanforderungen und Betriebsbedingungen des Anwendungsfalls auf die Lageranordnung aus. Die Eignung der gewählten Lager muss durch eine Berechnung der Lagerlebensdauer überprüft werden. Einige Beispiele von Lagerungen in elektrischen Maschinen werden in **Kapitel 2** "Lageranordnungen" ab **Seite 37** präsentiert.

Lagerluft

Als Lagerluft ist das Maß definiert, um das sich ein Lagerring gegenüber dem anderen in radialer Richtung (Radialluft) oder in axialer Richtung (Axialluft) verschieben lässt.

Bei Kugellagern (außer bei Schrägkugellagern) sowie bei Zylinder-, Pendel- und CARB Toroidal-Rollenlagern wird stets die radiale Lagerluft gemessen. Die Wahl der Lagerluft des nicht eingebauten Lagers muss berücksichtigen:

- Die Dehnung des Innenrings durch eine feste Passung auf der Welle.
- Gegebenenfalls die Stauchung des Außenrings durch eine feste Passung im Gehäuse.
- Die Verringerung der radialen Lagerluft infolge des im Betrieb entstehenden Temperaturunterschieds zwischen Innen- und Außenring.
- Die im Betrieb erforderliche Lagerluft.

Es ist wichtig, ein Lager mit der richtigen Lagerluft im nicht eingebauten Zustand auszuwählen, da eine unzureichende Lagerluft im Betrieb zum vorzeitigen Lagerausfall führen kann.

Bei Rillenkugellagern in elektrischen Maschinen wird die radiale Lagerluft in der

Regel eine Klasse größer als Normal gewählt (Nachsetzzeichen C3).

Werden andere Lagerarten als Rillenkugellager bei hohen Drehzahlen (d.h. ab 70 % der Referenzdrehzahl des Lagers) verwendet, sollte auch eine Lagerluft der Klasse C3 gewählt werden. Eine Lagerluft der Klasse C3 sollte ebenfalls gewählt werden, wenn die Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenring mehr als 10 °C beträgt. Eine größere Lagerluft kann auch erforderlich sein, wenn für beide Lagerringe eine feste Passung benötigt wird (in der Regel bei Zylinderrollenlagern).

Der Geräuschpegel des Lagers nimmt mit größerer radialer Lagerluft zu. Deshalb muss die Lagerluft sorgfältig ausgewählt werden. Wenn in einem Anwendungsfall die Verwendung eines Lagers mit Lagerluft C3 vorgesehen ist, darf kein Lager mit normaler Lagerluft eingebaut werden. Lager mit normaler Lagerluft haben keine Markierung für die Lagerluft am Außenring.

Tabellen mit Werten für die Lagerluft enthalten der SKF Hauptkatalog oder der interaktive SKF Lagerungskatalog, der auf CD-ROM erhältlich ist oder online über www.skf.com abgerufen werden kann.

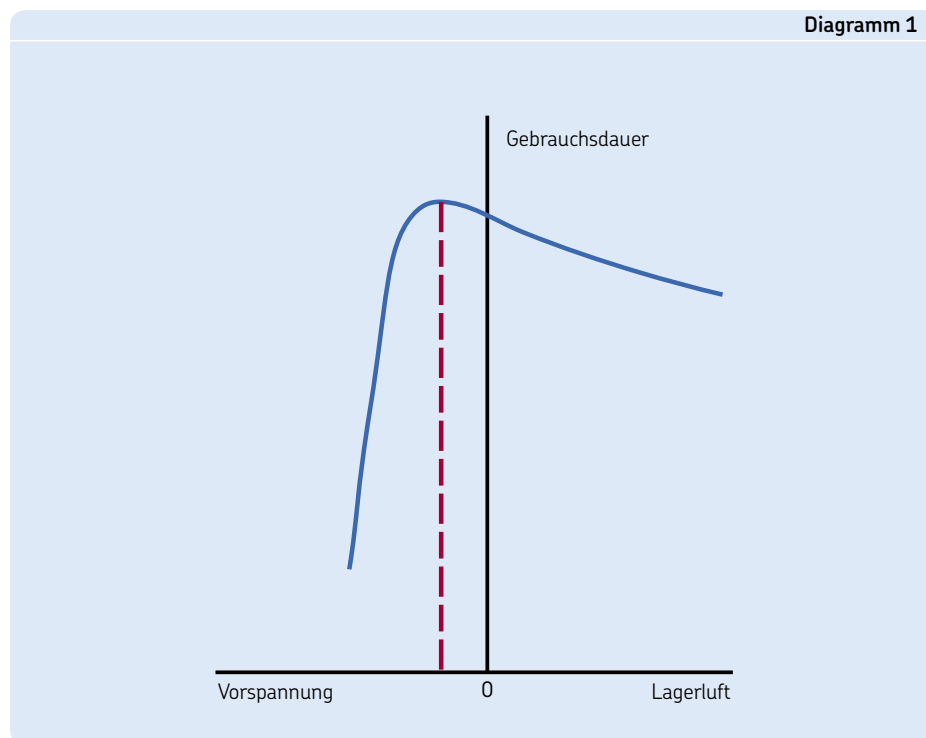
Richtige Vorspannung

Bei der Wahl der Vorspannkraft für eine Lagerung ist zu beachten, dass die Steifigkeit nur noch wenig zunimmt, wenn die Vorspannung einen optimalen Wert übersteigt, und dass die sich daraus ergebende Reibung und Wärmeentwicklung die Lagerlebensdauer erheblich reduzieren kann. **Diagramm 1** zeigt die Relation zwischen Lagerlebensdauer und Vorspannung bzw. Lagerluft. In elektrischen Maschinen hat die Wärmeabgabe von den Rotor- oder Statorspulen großen Einfluss auf das Betriebsspiel bzw. die Vorspannung. Wegen der Gefahr, die eine übermäßige Vorspannung für die Betriebszuverlässigkeit einer Lagerung darstellt und wegen der Komplexität der Berechnungen, die normalerweise für die Ermittlung der richtigen Vorspannkraft benötigt werden, empfiehlt es sich, den Technischen Beratungsservice von SKF in Anspruch zu nehmen.

Käfige

Wälzlager gibt es mit unterschiedlichen Käfigen aus verschiedenen Werkstoffen. Jeder Käfig ist für bestimmte Anwendungsfälle und Betriebsbedingungen geeignet. Ausführliche Informationen über die einzelnen Käfigarten und -werkstoffe sind bei den Erläuterungen zu den Lagerarten zu finden.

*Einfluss von
Vorspannung bzw.
Lagerluft auf die
Lagergebrauchsdauer*



Berechnungsbeispiel

Elektrischer Servomotor

Für einen Servomotor mit Zahnradantrieb und waagerechter Welle sollen Lager ausgewählt werden (→ Bild 2). Die erforderliche Lagerlebensdauer beträgt 30 000 Betriebsstunden. Der Wellendurchmesser soll auf der Antriebsseite 25 mm und auf der antriebslosen Seite 20 mm betragen. Es wird ein geringer Wartungsaufwand verlangt. Aus diesem Grund sollten abgedichtete Lager ausgewählt werden. Von entscheidender Bedeutung ist eine hohe Dichtwirkung, da eine Bremse in der Nähe des Lagers auf der antriebslosen Seite die Lagerumgebung mit Staubpartikeln verunreinigt.

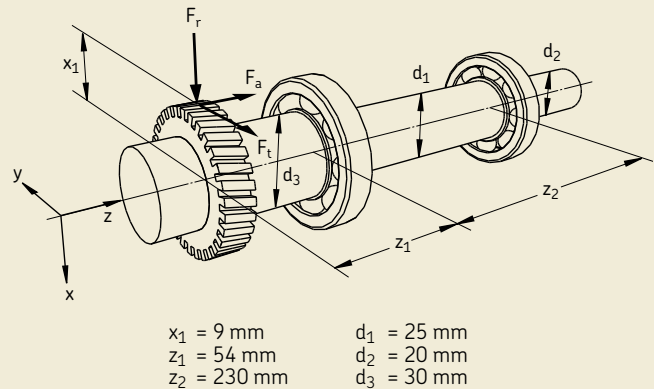
Verwenden Sie die SKF Berechnungshilfsmittel oder die Formeln im SKF Hauptkatalog. Mit den Formeln kann die nominelle Lebensdauer nach ISO, L_{10h} , sowie die erweiterte SKF Lebensdauer L_{10mh} berechnet werden. Bei der erweiterten SKF Lebensdauer werden die Ermüdungsgrenzbelastung, die Schmierbedingungen und das Ausmaß der Verunreinigung berücksichtigt. Da abgedichtete Lager auf Lebensdauer geschmiert sind, muss auf jeden Fall geprüft werden, ob die Fettgebrauchsdauer der erwarteten Lebensdauer der Lager im Motor entspricht. Die Lebensdauer des Motors hängt in vielen Fällen von der Fettgebrauchsdauer in den lebensdauer geschmierten Lagern für Elektromotoren ab.

Lagerauswahl

Bei der in Elektromotoren am häufigsten anzutreffenden Lageranordnung werden zwei Rillenkugellager verwendet, eines auf der Antriebsseite und das andere auf der antriebslosen Seite. Das Lager auf der antriebslosen Seite ist das Festlager, das zur Aufnahme der axialen Belastung dient (→ Kapitel 2 "Lageranordnungen", ab Seite 37). Die im Rotor erzeugte Wärme lässt einen Temperaturunterschied im Lager erwarten, weshalb ein Lager mit einer Lagerluft größer als normal (C3) ausgewählt werden sollte.

Bei der Auswahl des Schmierstoffs für ein abgedichtetes Lager kann zunächst davon ausgegangen werden, dass ein Standardschmierfett von SKF ausreichend ist. Es hat eine Viskosität von 70 mm²/s bei 40 °C und kann für Betriebstemperaturen von –30 bis +110 °C verwendet werden. Für eine effiziente Abdichtung sollten Lager ausgewählt werden, die auf beiden Seiten mit Berührungsabdichtungen ausgestattet sind.

Bild 2



Berechnung der Lebensdauer

Verwenden Sie zur Auswahl der geeigneten Lager die erweiterte SKF Lebensdauer. Bei der Berechnung der Lebensdauer abgedichteter Lager kann für den Verunreinigungsbeiwert η_c im Allgemeinen 0,8 gewählt werden. Hinweis: Bei dieser Berechnung sollten die Werte für Lager mit einer Lagerluft Normal verwendet werden, da die vor dem Einbau vorhandene C3-Lagerluft durch die Wärme- und Temperaturunterschied im Lager aufgebraucht wird.

Die erforderliche Lebensdauer beträgt 30 000 h und für die statische Tragsicherheit s_0 wird ein Wert größer als 1 empfohlen.

Vorgegebene Daten

Antriebskräfte			dynamisch	statisch
Radiale Belastung	F_r	kN	0,50	2,20
Tangentiale Belastung	F_t	kN	1,25	5,45
Axiale Belastung	F_a	kN	0,55	2,40
Drehzahl	n	min ⁻¹	3 000	
Betriebstemperatur	t	°C	80	

Berechnung der Lagerbelastung

Lager auf der Antriebsseite			dynamisch	statisch
Radiale Belastung	F_r	kN	1,65	7,22
Axiale Belastung	F_a	kN	0	0
Lager auf der antriebslosen Seite				
Radiale Belastung	F_r	kN	0,31	1,35
Axiale Belastung	F_a	kN	0,55	2,40

Erweiterte SKF Lebensdauer

Berechnungen erfolgen mit Hilfe der SKF Berechnungshilfsmittel und der Formeln im SKF Hauptkatalog. Die Ergebnisse können der Tabelle „Berechnungsergebnisse“ entnommen werden.

Für die Antriebsseite ist die erweiterte SKF Lebensdauer eines SKF Explorer Lagers 6205-2RSH/C3 mit 25 150 h zu gering. Aus diesem Grund wird ein SKF Explorer 6305-2RS1/C3 mit einer Lebensdauer von 236 600 h gewählt.

Für die antriebslose Seite ist die erweiterte SKF Lebensdauer von 116 900 h eines SKF Explorer-Lagers 6204-2RSH/C3 mehr als ausreichend.

Fettgebrauchsdauer

Die Berechnungen der Fettgebrauchsdauer erfolgen nach der in Abschnitt "Fettgebrauchsdauer in abgedichteten Lagern" auf **Seiten 70 und 71** beschriebenen Methode.

Lager auf der Antriebsseite: 6305-2RS1/C3. Es werden die folgenden Werte bestimmt:

- Aus **Diagramm 4, Seite 70**, ergibt sich eine Fettgebrauchsdauer für ein Belastungsverhältnis von $C/P = 15$. Mit $GPF = 1$, Betriebstemperatur $t = 80^\circ\text{C}$ und einem n_{dm} -Wert von 130 500 ergibt sich für die Fettgebrauchsdauer ein Wert von 23 000 h.
- Mit **Tabelle 7, Seite 71**, wird der Reduktionsfaktor für höhere Belastungen ermittelt. Für $C/P = 14,18$ ergibt sich ein Reduktionsfaktor von 0,95.

Dies ergibt eine Fettgebrauchsdauer von $23\,000 \times 0,95 = 21\,850$ h.

Lager auf der antriebslosen Seite: 6204-2RSH/C3. Es werden die folgenden Werte bestimmt:

- Aus **Diagramm 4, Seite 70**, ergibt sich eine Fettgebrauchsdauer für ein Belastungsverhältnis von $C/P = 15$. Mit $GPF = 1$, Betriebstemperatur $t = 80^\circ\text{C}$ und einem n_{dm} -Wert von 100 500 ergibt sich für die Fettgebrauchsdauer ein Wert von 29 500 h.
- Mit **Tabelle 7, Seite 71**, wird der Reduktionsfaktor für höhere Belastungen ermittelt. Für $C/P = 13,1$ ergibt sich ein Reduktionsfaktor von 0,88.

Dies ergibt eine Fettgebrauchsdauer von $29\,500 \times 0,88 = 25\,900$ h.

Weitere Überlegungen

Die Berechnungen ergeben für beide Lager eine mehr als ausreichende erweiterte SKF Lebensdauer. Der begrenzende Faktor ist jedoch die Fettgebrauchsdauer.

Daher können für die gleichen Lager alternative Berechnungen mit einem Schmierfett, das speziell für anspruchsvolle Anwendungsfälle wie Elektromotoren entwickelt wurde (Nachsetzzeichen GJN und WT), angestellt werden. Das Ergebnis dieser Berechnungen kann ebenfalls der Tabelle „Berechnungsergebnisse“ entnommen werden.

Sowohl mit einem GJN- als auch mit einem WT-Schmierfett erfüllen die SKF Explorer Lager die Anforderungen.

Fazit

Bei der Verwendung abgedichteter Lager mit einem Standardschmierfett wird in diesem Anwendungsfall die verlangte Lebensdauer von 30 000 h wegen der unzureichenden Fettgebrauchsdauer nicht erreicht. Mit den gleichen Lagern, aber mit speziellen Schmierfetten für Elektromotoren (Nachsetzzeichen GJN oder WT), lassen sich die Anforderungen jedoch erfüllen.

Die Verwendung von SKF Explorer Lagern bietet noch eine weitere, interessante Möglichkeit: Verkleinerungen. Für beide Lager können kleinere Größen verwendet werden. Berechnungen mit

- einem SKF Explorer Lager 6205-2RSH/C3 auf der Antriebsseite
- einem SKF Explorer Lager 6004-2RSH/C3 auf der antriebslosen Seite
- beide Lager mit einer speziellen Schmierfettfüllung für Elektromotoren (Nachsetzzeichen GJN oder WT)

zeigen, dass die Anforderungen erfüllt werden können (→ Ergebnisse in der Tabelle "Berechnungsergebnisse – Verkleinerung").

In Elektromotoren werden normalerweise Lager der Baureihen 62 und 63 verwendet. Aus den oben beschriebenen Berechnungen geht jedoch hervor, dass Konstrukteure von Elektromotoren eine eventuell gewünschte Verkleinerung mit SKF Explorer Lagern und der Auswahl des richtigen Schmierfetts erreichen können. Mit einer Verkleinerung lässt sich nicht nur die erforderliche Montagefläche für den Motor verkleinern, sondern auch noch Material einsparen, da auch die Breite der Motordeckel reduziert werden kann.

1 Wälzlager in elektrischen Maschinen

Berechnungsbeispiel

Berechnungsergebnisse

Lager			Antriebsseite 6305- 2RS1/ C3			Antriebslose Seite 6204- 2RSH/ C3		
			6305- 2RS1/ C3GJN	6305- 2RS1/ C3WT	6305- 2RS1/ C3WT	6204- 2RSH/ C3GJN	6204- 2RSH/ C3WT	6204- 2RSH/ C3WT
Dynamische Bedingungen								
Äquivalente Lagerbelastung	P	kN	1,65	1,65	1,65	1,03	1,03	1,03
Dynamische Tragzahl	C	kN	23,4	23,4	23,4	13,5	13,5	13,5
C/P			14,18	14,18	14,18	13,1	13,1	13,1
Nominelle Lebensdauer	L ₁₀	10 ⁶	2 852	2 852	2 852	2 252	2 252	2 252
Nominelle Lebensdauer	L _{10h}	h	15 840	15 840	15 840	12 509	12 509	12 509
Ermüdungsgrenzbelastung	P _u	kN	0,49	0,49	0,49	0,28	0,28	0,28
Verunreinigungsbeiwert	η _c		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
P _u /P × η _c			0,237	0,237	0,237	0,218	0,218	0,218
Mittlerer Lagerdurchmesser	d _m	mm	43,5	43,5	43,5	33,5	33,5	33,5
n × d _m		mm/min	130 500	130 500	130 500	100 500	100 500	100 500
Erforderliche Viskosität	v ₁	mm ² /s	10,5	10,5	10,5	11,9	11,9	11,9
Viskosität des Grundöls bei 80 °C	v	mm ² /s	12,9	21,7	15,8	12,9	21,7	15,8
Viskositätsverhältnis	κ		1,23	2,07	1,51	1,08	1,82	1,32
Lebensdauerbeiwert	a _{SKF}		14,9	40,5	22,8	9,35	25,8	14,3
Erw. SKF Lebensdauer	L_{10mh}	h	236 600	641 400	361 100	116 900	322 200	179 200
Statische Bedingungen								
Äquivalente Lagerbelastung	P ₀	kN	7,22	7,22	7,22	2,01	2,01	2,01
Statische Tragzahl	C ₀	kN	11,6	11,6	11,6	6,55	6,55	6,55
Statische Tragsicherheit	s₀		1,61	1,61	1,61	3,26	3,26	3,26
Schmierung								
Wert aus dem Diagramm	L _{10h}	h	23 000	48 000	80 000	29 500	57 000	90 000
Reduktionsfaktor für Belastung			0,95	0,95	0,95	0,88	0,88	0,88
Fettgebrauchsdauer	L_{10h}	h	21 850	45 600	76 000	25 900	50 100	79 200

Berechnungsergebnisse – Verkleinerung

Lager			Antriebsseite 6205- 2RSH/ C3			Antriebslose Seite 6004- 2RSH/ C3		
			6205- 2RSH/ C3GJN	6205- 2RSH/ C3WT	6205- 2RSH/ C3WT	6004- 2RSH/ C3GJN	6004- 2RSH/ C3WT	6004- 2RSH/ C3WT
Dynamische Bedingungen								
Äquivalente Lagerbelastung	P	kN	1,65	1,65	1,65	0,955	0,955	0,955
Dynamische Tragzahl	C	kN	14,8	14,8	14,8	9,95	9,95	9,95
C/P			8,97	8,97	8,97	10,42	10,42	10,42
Nominelle Lebensdauer	L ₁₀	10 ⁶	722	722	722	1131	1131	1131
Nominelle Lebensdauer	L _{10h}	h	4 009	4 009	4 009	6 283	6 283	6 283
Ermüdungsgrenzbelastung	P _u	kN	0,335	0,335	0,335	0,212	0,212	0,212
Verunreinigungsbeiwert	η _c		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
P _u /P × η _c			0,162	0,162	0,162	0,178	0,178	0,178
Mittlerer Lagerdurchmesser	d _m	mm	38,5	38,5	38,5	31	31	31
n × d _m		mm/min	115 500	115 500	115 500	93 000	93 000	93 000
Erforderliche Viskosität	v ₁	mm ² /s	11,1	11,1	11,1	12,4	12,4	12,4
Viskosität des Grundöls bei 80 °C	v	mm ² /s	12,9	21,7	15,8	12,9	21,7	15,8
Viskositätsverhältnis	κ		1,16	1,95	1,42	1,04	1,75	1,27
Lebensdauerbeiwert	a _{SKF}		6,28	14,4	8,93	5,95	15	8,79
Erw. SKF Lebensdauer	L_{10mh}	h	25 150	57 700	35 800	37 400	94 150	55 200
Statische Bedingungen								
Äquivalente Lagerbelastung	P ₀	kN	7,22	7,22	7,22	2,01	2,01	2,01
Statische Tragzahl	C ₀	kN	7,80	7,80	7,80	5,0	5,0	5,0
Statische Tragsicherheit	s₀		1,08	1,08	1,08	2,49	2,49	2,49
Schmierung								
Wert aus dem Diagramm	L _{10h}	h	27 500	52 000	85 000	30 000	60 000	95 000
Reduktionsfaktor für Belastung			0,6	0,6	0,6	0,70	0,70	0,70
Fettgebrauchsdauer	L_{10h}	h	16 500	31 200	51 000	21 000	42 000	66 500

1 Wälzlager in elektrischen Maschinen

Rillenkugellager



Rillenkugellager

Rillenkugellager werden in der Regel in kleinen bis mittelgroßen Elektromotoren sowohl als Fest- wie auch als Loslager sowie in mittelgroßen bis großen Elektromotoren und Generatoren als Festlager verwendet. Der geräuscharme Lauf ist einer der größten Vorteile eines Rillenkugellagers gegenüber anderen Wälzlagerarten. Daneben sind Rillenkugellager wegen des breiten Sortiments und des günstigen Preisniveaus sehr beliebt.

Neben dem geräuscharmen Lauf, den niedrigen Kosten und dem großen Sortiment weisen Rillenkugellager aber noch viele weitere Eigenschaften auf, die sie für Elektromotoren besonders geeignet machen. Rillenkugellager zeichnen sich durch geringe Reibung aus und sind für hohe Drehzahlen geeignet. Sie können radiale, axiale und kombinierte Belastungen aufnehmen, wodurch sie sowohl als Loslager wie auch als Festlager in einem Motor eingesetzt werden können. Zur weiteren Reduzierung des Geräusch- und Schwingungspegels von Rillenkugellagern als Loslager können Axialfedern verwendet werden.

Rillenkugellager mit Dicht- oder Deckscheiben auf beiden Seiten sind auf Lebensdauer geschmiert und daher wartungsfrei.

Eigenschaften und Vorteile von SKF Rillenkugellagern

Zu den Vorteilen von SKF Rillenkugellagern gehören:

- Ein großes Sortiment von lebensdauergeschmierten Lagern.
- Eine Vielzahl von Schmierfetten, einschließlich eines ultraleisen SKF Standard-schmierfetts sowie lebensmittelverträglicher Schmierfette für Anwendungsfälle im Nahrungsmittel-, Pharma- und Medizinbereich, und vor allem Schmierfette für einen weiten Temperaturbereich, die zu einer verlängerten Fettgebrauchsdauer beitragen.
- Eine niedrige Reibung und eine geringere Empfindlichkeit für Fluchtungsfehler.
- Hocheffiziente Dichtungen, einschließlich berührender Dichtscheiben, reibungsarmer Dichtscheiben und Deckscheiben.

Für Hochleistungs-Elektromotoren (z.B. frequenzgesteuerte Motoren) hat SKF ein spezielles Sortiment von Lagern mit Dicht- oder Deckscheiben entwickelt, die mit einem Hochleistungsschmierfett für einen weiten

Temperaturbereich gefüllt sind (Nachsetzzeichen WT). Dieses Schmierfett auf der Basis eines Polyharnstoff-Verdickers mit einem Grundöl auf Esterbasis kann für Betriebstemperaturen von -40 bis +160 °C verwendet werden (→ **Tabelle 1** auf **Seite 62**).

Auf Anfrage können auch andere Schmierfette für spezifische Umgebungen (z.B. im Nahrungsmittel-, Pharma- und Medizinbereich) und für extreme Temperaturbedingungen (z.B. Öfen, Rauchabzugsgebläse) geliefert werden. Bitte wenden Sie sich hierzu an den Technischen Beratungsservice von SKF.

SKF Explorer Rillenkugellager – die Hochleistungslager

Mit der Leistungsklasse der SKF Explorer Rillenkugellager geht SKF noch einen Schritt weiter und bietet allen Kunden die Möglichkeit, von Lösungen zu profitieren, die für anspruchsvolle Anwendungen entwickelt wurden. Zu den typischen Eigenschaften der SKF Explorer Lager gehören:

- Optimierte innere Geometrie und Beschaffenheit der Wälzkontaktfläche.
- Verbesserte Kugelqualität.
- Maßgenauigkeit nach ISO-Toleranzklasse P6 und engere Toleranzen bei der Breitenabweichung.
- Laufgenauigkeit abhängig von der Größe bis zu 2 Klassen besser als Normal
- Hochreiner Stahl.

Diese Eigenschaften verleihen SKF Explorer Rillenkugellagern eine erheblich verbesserte Qualität, die zu überragender Leistungsfähigkeit mit leisem Lauf und hohen Drehzahlgrenzen führt. Außerdem wird die Lebensdauer verlängert.

SKF Explorer Lager behalten die gleichen Bezeichnungen wie die bisherigen Standardlager. Die Lager und Verpackungen sind jedoch zusätzlich mit dem Produktnamen "EXPLORER" gekennzeichnet.

1 Wälzlager in elektrischen Maschinen

Zylinderrollenlager



Zylinderrollenlager

Zylinderrollenlager werden in der Regel in mittelgroßen und großen Elektromotoren mit Riemen- oder Zahnradantrieb eingesetzt, wo hohe radiale Belastungen auftreten. Diese Lager werden auf der Antriebsseite als Loslager normalerweise in Kombination mit einem Rillenkugellager auf der Festlagerseite verwendet. Häufig eingesetzt werden Zylinderrollenlager der Bauformen N und NU (→ Bild 3), bei denen ein Ring zwei Borde hat und den Rollensatz trägt; der andere Ring hat keine Borde, so dass er sich gegenüber dem anderen Ring frei verschieben lässt. Andere Zylinderrollenlager, wie die Bauformen NJ (→ Bild 4) und NUP, haben zwei feste Borde am Außenring, der den Rollensatz trägt. Am Innenring befindet sich ein fester Bord und ggf. eine lose Bordscheibe, so dass geringe axiale Belastungen in einer oder beiden Richtungen aufgenommen werden können. Diese Lager werden in der Regel in Vibrationsmotoren verwendet.

Vorteile

Zylinderrollenlager zeichnen sich durch eine hohe radiale Tragfähigkeit aus und sind für relativ hohe Drehzahlen geeignet. Zylinderrollenlager sind zerlegbar, was die Montage erleichtert. Lager der Bauformen N und NU nehmen axiale Verschiebungen innerhalb des Lagers auf und ermöglichen so selbst bei Loslagerungen eine feste Passung auf der Welle und im Gehäuse.

Ausführungsvarianten

Im Vergleich zu anderen Lagerarten gibt es bei Zylinderrollenlagern zahlreiche Ausführungsvarianten. Durch die unterschiedlichen Bordkombinationen (Bauformen NU, NJ, NUP und N) eignen sich die Lager für eine Vielzahl von Anwendungsfällen. Zylinderrollenlager sind mit verschiedenen Käfigen erhältlich. Kleine Lager werden standardmäßig mit einem Polyamidkäfig geliefert (Nachsetzzeichen P). Diese Käfige zeichnen sich durch eine geringe Reibung, hohe Elastizität und gute Gleiteigenschaften aus. Mittelgroße Lager werden standardmäßig mit einem Fensterkäfig aus Stahl geliefert (Nachsetzzeichen J). Diese Käfige halten hohen Temperaturen und auch mittleren bis starken Schwingungen stand. Große Lager werden standardmäßig mit einem Messingkäfig geliefert. Diese Käfige halten hohen Drehzahlen stand und vertragen Schwingungen und Beschleunigungen.

Lagerluft

Die radiale Lagerluft Normal ist in einem Zylinderrollenlager größer als in einem Rillenkugellager. Daher wird bei Zylinderrollenlagern, die in Elektromotoren und Generatoren eingesetzt werden, eine Lagerluft Normal (CN) einer Lagerluft C3 vorgezogen, solange keine speziellen Anforderungen an Wellen- und Gehäusepassungen gestellt werden. Bei einer normalen Passung sollten die Rollen ausreichend belastet werden, um Laufgeräusche und die Gefahr von Anschmierungen zu reduzieren.

SKF Explorer Zylinderrollenlager – die Hochleistungslager

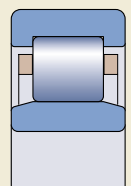
Durch Entwicklungen in den Bereichen Stahlherstellung, Wärmebehandlung, Fertigung und Konstruktion konnte die Leistung von SKF Zylinderrollenlagern erheblich verbessert werden. Zu den Vorteilen, die SKF Explorer Lager bieten, gehören:

- Höhere Belastbarkeit.
- Kompaktere Maschinenkonstruktionen durch kleinere Lager.
- Längere Lebensdauer und höhere Zuverlässigkeit bei vorhandenen Maschinen.
- Geräuschärmerer Lauf.

SKF Explorer Lager behalten die gleiche Bezeichnung wie die bisherigen Standardlager. Die Lager und Verpackungen sind jedoch zusätzlich mit dem Produktnamen "EXPLORER" gekennzeichnet.

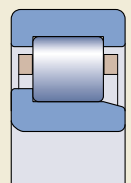
Bauform NU

Bild 3



Bauform NJ

Bild 4



1 Wälzlager in elektrischen Maschinen INSOCOAT Lager



INSOCOAT® Lager

Unter dem Namen INSOCOAT bietet SKF elektrisch isolierte Lager an, um Schäden durch Stromdurchgang zu vermeiden. Isolierte Lager werden in der Regel auf der antriebslosen Seite von frequenzgesteuerten Drehstrommotoren sowie an beiden Lagerstellen von großen Generatoren, wie beispielsweise bei Windkraftanlagen, eingebaut.

INSOCOAT Lager sind mit einer Isolierschicht am Außenring (Nachsetzzeichen VL0241) oder am Innenring (Nachsetzzeichen VL2071) erhältlich.

Eine Außenringisolierung kann bei Lagern ab einem Außendurchmesser von 80 mm aufgebracht werden. Eine Isolierung des Innenrings ist bei Lagern ab einem Bohrungsdurchmesser von 70 mm möglich. Die Aluminiumoxid-Beschichtung wird in einem Plasmaspritzverfahren auf die Lagersoberfläche aufgebracht.

Grundsätzlich kann jede Lagerart elektrisch isoliert werden. Zu den Standardausführungen von INSOCOAT Lagern gehören Rillenkugellager und Zylinderrollenlager.

Bei Lagern mit einem beschichteten Innenring sind Wellenpassungen bis maximal p6 und bei Lagern mit einem beschichteten Außenring Gehäusepassungen bis maximal P6 möglich. Für INSOCOAT Lager können also die gleichen Passungen verwendet werden wie für Standardlager im gleichen Anwendungsfall.

SKF führt 100%-Durchschlagprüfungen durch mit einer Gleichspannung von über 1 000 V. Labortests bei SKF haben gezeigt, dass die Durchbruchspannung über 3 kV Gleichspannung liegt.

INSOCOAT Lager haben einen ohmschen Widerstand von mindestens 50 MΩ.

Vorteile

INSOCOAT Lager

- bringen zwei Eigenschaften in einer Lösung zusammen: Lagerfunktion und elektrische Isolierung
- erhöhen die Maschinenverfügbarkeit weil sie Schäden durch Stromdurchgang fast vollständig vermeiden
- reduzieren die Wartungskosten
- sind kostengünstig im Vergleich zu anderen Lösungen für das Problem Stromdurchgang
- sind weltweit verfügbar dank der SKF Präsenz in über 130 Ländern und an über 7 000 Distributionsstandorten.

Kundennutzen

- Exzellente Beschichtungsqualität und Haftung.
- Hohe Leistung auch in feuchten Umgebungen, hitze- und chemikalienbeständige Beschichtung.
- INSOCOAT Lager bieten besseren elektrischen Schutz und besseres mechanisches Verhalten als andere Isolierungsmethoden.
- Einfacher Ein- und Ausbau: Für INSOCOAT Lager genügt die gleiche Sorgfalt wie für Standardlager.
- Breites Sortiment ab Lager lieferbar.
- Standardabmessungen gemäß ISO.
- Umweltfreundlich.
- Mehr als 20 Jahre Erfahrung mit keramischen Beschichtungen bei SKF.
- Die Beschichtung des Innenrings eines Lagers verbessert den Schutz gegen Stromschäden, besonders bei Anwendungsfällen, wo hochfrequente Ströme Schäden verursachen.

1 Wälzlager in elektrischen Maschinen Hybridlager



Hybridlager

Hybridlager haben Laufringe aus Wälzlagerstahl und Wälzkörper aus einem wälzlagergeeigneten Siliziumnitrid. Siliziumnitrid ist ein hochfester keramischer Werkstoff mit geringer Dichte, der sich durch hohe Belastbarkeit und Härte sowie exzellente Isoliereigenschaften auszeichnet.

Wenn Hybridlager als Isolatoren verwendet werden, verhindern die keramischen Wälzkörper Beschädigungen durch Stromdurchgang durch das Lager. Dies ist einer der Hauptgründe für den Einsatz von Hybridlagern in Elektromotoren und Generatoren (→ **Kapitel 6** "Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen", ab **Seite 91**).

In schnell laufenden Elektromotoren werden Hybridlager eingesetzt, weil sie sich gegenüber herkömmlichen Ganzstahllagern durch eine erheblich längere Lebensdauer und eine geringere Reibung auszeichnen.

Vorteile

- **Verhindern Stromdurchgang**

Siliziumnitrid ist ein Nichtleiter.

- **Ermöglichen höhere Drehzahlen**

- Geringere Dichte: Die Dichte von Kugeln aus Siliziumnitrid beträgt nur 40 % der Dichte vergleichbarer Stahlkugeln. Dies bedeutet höhere Drehzahlen, geringeres Gewicht, geringere Trägheitsmomente sowie schnelleres Anlaufen und Stoppen.
- Geringe Reibung: Der niedrige Reibungskoeffizient von Siliziumnitrid verbessert die Verschleißfestigkeit und lässt das Lager kühler laufen, auch bei schlechter Schmierung. Letztendlich bedeutet dies: bessere Schmierung, geringerer Geräuschpegel und niedrigere Betriebstemperaturen.
- Höherer Elastizitätsmodul: Keramische Wälzkörper haben einen um 50 % höheren Elastizitätsmodul als Stahl. Dies führt zu einer höheren Lagersteifigkeit.
- Niedrigerer thermischer Ausdehnungskoeffizient: Die Wärmeausdehnung von keramischen Wälzkörpern beträgt nur 29 % der Ausdehnung von vergleichbaren Wälzkörpern aus Stahl. Dies bedeutet eine geringere Empfindlichkeit gegenüber Temperaturunterschieden und eine genauere Kontrolle der Vorspannung.

- **Verlängern die Lebensdauer**

Hybridlager können die Lebensdauer bei solchen Anwendungsfällen verlängern, bei denen einer der folgenden Faktoren zu ungünstiger Schmierung führt:

- Hohe Temperaturen
- Senkrecht angeordnete Welle
- Umlaufender Außenring
- Luftströme

Siliziumnitrid und Stahl bilden eine exzellente Werkstoffkombination. Bei einem trockenen Gleitkontakt ist der Reibungskoeffizient zwischen Siliziumnitrid und Stahl kleiner als zwischen Stahl und Stahl. Die Haftung zwischen Siliziumnitrid und Stahl ist gering, es treten keine Mikroschweißvorgänge auf und es besteht keine Gefahr für Anschmierungen. Deshalb laufen Hybridlager auch mit extrem dünnen Schmierfilmen kühler.

- **Verlängern die Fettgebrauchsdauer**

Hybridlager erzeugen weniger Reibung und Wärme als vergleichbare Ganzstahllager. Die sich daraus ergebenden niedrigeren Temperaturen verlängern die Fettgebrauchsdauer, so dass das Schmierfett drei- bis fünfmal länger verwendet werden kann, je nach Anwendungsfall und Betriebsbedingungen.

- **Widerstehen Verschleiß durch feste Verunreinigung**

Siliziumnitrid ist extrem hart, härter als die meisten Partikel, die als Verunreinigung in ein Lager eindringen können. Die Partikel werden von den Wälzkörpern aus Siliziumnitrid entweder zerkleinert oder in die (weicheren) Stahlringe gepresst, wo sie keinen Schaden anrichten können.

- **Widerstehen Schwingungen**

Wälzkörper aus Siliziumnitrid auf Stahl sind wesentlich beständiger gegen Verschleiß durch leichte Schwingungen in den Lagern, besonders bei Stillstand.

1 Wälzlager in elektrischen Maschinen

Schräggugellager



Schräggugellager

Schräggugellager werden hauptsächlich als Festlager in senkrechten Elektromotoren eingesetzt, wenn hohe axiale Belastungen nicht von Rillenkugellagern aufgenommen werden können. Schräggugellager, in ein- oder zweireihiger Ausführung, haben eine hohe axiale Tragfähigkeit und eignen sich für hohe Drehzahlen.

Ein zweireihiges Schräggugellager oder ein Paar einreihiger Universal-Schräggugellager kann auch größere radiale Belastungen aufnehmen.

Einreihige Schräggugellager

Je nach Größe sind einreihige Schräggugellager mit einem verbesserten Käfig aus glasfaserverstärktem Polyamid 66, mit Messingmassivkäfig oder mit Messingblechkäfig erhältlich. Einige Lager sind auch mit einem Käfig aus Polyetheretherketon (PEEK) verfügbar. In den gängigen Größen stellt SKF standardmäßig Universallager her, die eine sehr genaue Lagerluft oder Vorspannung haben, wenn die Lager in O- oder X-Anordnung eingebaut werden (→ Tabellen für Lagerluft oder Vorspannung im SKF Hauptkatalog).

Einreihige Hochgenauigkeits-Schräggugellager

Diese Lager, die in verschiedenen Genauigkeitsklassen hergestellt werden, sind mit einem Käfig aus Phenolharz und entweder Stahl- oder Keramikugeln erhältlich. Es besteht die Auswahl zwischen zwei verschiedenen Berührungswinkeln und drei Vorspannungsklassen. In einigen Fällen sind auch abgedichtete Lager erhältlich. Diese Lager werden in der Regel für Anwendungsfälle mit extrem hohen Drehzahlen eingesetzt, wie beispielsweise in Spindelmotoren.

Zweireihige Schräggugellager

Zweireihige Schräggugellager, die mit oder ohne Dicht- bzw. Deckscheiben erhältlich sind, werden sowohl mit Lagerluft Normal als auch mit Lagerluft C3 hergestellt. Je nach Größe sind diese Lager mit einem Käfig aus glasfaserverstärktem Polyamid 66 oder mit einem gepressten Kronenkäfig aus Stahlblech erhältlich.

SKF Explorer Schräggugellager – die Hochleistungslager

SKF Produkte unterliegen einer kontinuierlichen Verbesserung bei Leistung und Dauerhaftigkeit. SKF Explorer Schräggugellager unterscheiden sich deutlich von den bisherigen Standardlagern. Sie zeichnen sich aus durch:

- Noch längere Lebensdauer.
- Noch größere Zuverlässigkeit.
- Noch bessere Leistung.

Die exzellenten Eigenschaften dieser neuen Leistungsklasse lassen sich unter anderem auf die folgenden Faktoren zurückführen:

- Verbesserte Werkstoffe.
- Optimierte innere Geometrie.
- Höhere Genauigkeit.
- Neue Wärmebehandlung.
- Bessere Kugelqualität.
- Verbesserte Käfige.
- Standardmäßig als universell paarbare Lager.
- Neue Deckscheiben für zweireihige Lager.

SKF Explorer Schräggugellager sind keine Erweiterung des Sortiments. Sie ersetzen einzelne Ausführungen der bisherigen Typen. SKF Explorer Lager behalten die gleichen Bezeichnungen wie die bisherigen Standardlager. Die Lager und Verpackungen sind jedoch zusätzlich mit dem Produktnamen "EXPLORER" gekennzeichnet.

1 Wälzlager in elektrischen Maschinen

Pendelrollenlager



Pendelrollenlager

Pendelrollenlager werden häufig in großen, ölgeschmierten Elektromotoren und Generatoren verwendet (→ Abschnitt "Große und sehr große elektrische Maschinen" auf **Seite 109**) sowie in Vibrationsmaschinen wie Rüttelsieben. Daneben werden Pendelrollenlager auch in großen Motoren und Generatoren eingesetzt, wo Stehlagergehäuse verwendet werden.

Vorteile

SKF Pendelrollenlager können extrem hohe Belastungen aufnehmen. Sie haben spezielle Eigenschaften, wie etwa selbstführende Rollen (ein Patent von SKF), durch die beim Betrieb weniger Wärme erzeugt wird. Die Lager sind winkelbeweglich und daher unempfindlich gegenüber Fluchtungsfehlern. Wie groß die Schiefstellung sein darf, hängt von der Lagerreihe ab. SKF Pendelrollenlager sind sowohl mit zylindrischer als auch mit kegeliger Bohrung erhältlich und können in Spezialgehäuse für große Motoren und Generatoren eingebaut werden (→ Abschnitt "SKF Flanschlagergehäuse mit Wälzlager" auf **Seite 109**). Daneben sind Pendelrollenlager für Vibrationsmaschinen erhältlich.

SKF bietet ferner ein Sortiment an abgedichteten Pendelrollenlagern an (mit und ohne Schmierlöcher im Außenring), mit denen sich die Dichtungsanordnung erheblich vereinfachen lässt.

Lagerluft

Die normale radiale Lagerluft ist in einem Pendelrollenlager größer als in einem Rillenkugellager. Daher wird bei Pendelrollenlagern, die in elektrischen Maschinen eingesetzt werden, eine Lagerluft Normal (CN) einer Lagerluft C3 vorgezogen, solange keine besonderen Anforderungen an Wellen- und Gehäusepassungen gestellt werden. Bei einer Lagerluft Normal (CN) und einer normalen Passung sollten die Rollen ausreichend belastet werden, um Laufgeräusche und die Gefahr von Anschmierungen zu reduzieren.

SKF Explorer Pendelrollenlager – die Hochleistungslager

Im Laufe der Jahre sind, bedingt durch Fortschritte bei der Fertigung, der Werkstoffforschung und der Prozesssteuerung, die Maschinenkomponenten immer kleiner geworden, ohne dass darunter ihre Leis-

tungsfähigkeit gelitten hat. Bei jedem Meilenstein in der Entwicklung standen die Ingenieure vor der Wahl, ihre Produkte entweder kompakter oder leistungsfähiger zu gestalten. SKF Explorer Pendelrollenlager repräsentieren den nächsten bedeutenden Schritt bei der Leistungssteigerung. Es ist aber kein kleiner Schritt nach vorn – es ist vielmehr ein Quantensprung nach vorne, was die Leistungsfähigkeit von Wälzlagern betrifft. Tests haben gezeigt, dass diese Pendelrollenlager bis zu dreimal länger laufen als herkömmliche Pendelrollenlager.

Die längere Lebensdauer von SKF Explorer Pendelrollenlagern eröffnet neue Möglichkeiten. Sie können mit SKF Explorer Pendelrollenlagern nicht nur kompakter, sondern auch geräusch- und schwingungsärmer bauen – bei gleichzeitig höherer Betriebssicherheit. Aber nicht nur das, Sie können durch Steigerung der Betriebsdrehzahlen, Verlängerung der Wartungsfristen, durch Verringerung der Wärmeentwicklung, des Energieverbrauchs und der Wartungskosten die Maschinen mit zusätzlichen Vorteilen für Ihre Kunden ausstatten.

SKF Produkte unterliegen einer kontinuierlichen Verbesserung bei Leistung und Dauerhaftigkeit. SKF Explorer Pendelrollenlager unterscheiden sich deutlich von den bisherigen Standardlagern. Sie zeichnen sich aus durch:

- Noch längere Lebensdauer.
- Noch größere Zuverlässigkeit.
- Noch bessere Leistung.

SKF Explorer Lager behalten die gleichen Bezeichnungen wie die bisherigen Standardlager. Die Lager und Verpackungen sind jedoch zusätzlich mit dem Produktnamen "EXPLORER" gekennzeichnet.

1 Wälzlager in elektrischen Maschinen
CARB Toroidal-Rollenlager



CARB® Toroidal-Rollenlager

Das CARB® Toroidal-Rollenlager kann extrem hohe radiale Belastungen aufnehmen. Es ist ausschließlich für die Verwendung als Loslager gedacht und ist dabei mit seiner Kombination von Winkelbeweglichkeit und axialer Verschiebbarkeit eine ideale Lösung. Die selbstführenden Rollen des CARB Lagers nehmen stets die Position ein, in der die Belastung über die ganze Länge der Rolle gleichmäßig verteilt ist – unabhängig davon, ob der Innenring axial versetzt und/oder in Bezug auf den Außenring schräg gestellt ist. Das CARB Lager gleicht Schiefstellung und Axialversatz gleichzeitig aus. Da es mehr verträgt als alle anderen Lager, kann es in Situationen, in denen herkömmliche Lager vorzeitig ausfallen, die Lebensdauer verlängern, die Maschinenlaufzeit steigern und Wartungskosten reduzieren.

Vorteile

CARB Lager werden in kleinen, mittelgroßen und großen Elektromotoren und Generatoren als Loslager eingesetzt, um die axiale Ausdehnung der Welle auszugleichen. In Motoren mit Riemen- und Zahnradantrieb nimmt das CARB Lager auch hohe radiale Belastungen auf. Mit seiner einzigartigen Konstruktion kann das CARB Lager die axiale Ausdehnung der Welle wie ein Zylinderrollenlager und den Fluchtungsfehler wie ein Pendelrollenlager aufnehmen. Darüber hinaus zeichnet sich das CARB Lager durch seine hohe Belastbarkeit, geringe Reibung und dort, wo dies benötigt wird, durch einen kompakten Querschnitt, vergleichbar mit dem eines Nadellagers, aus. Durch die spezielle Rollenkonstruktion funktioniert das CARB Lager auch bei leichten Belastungen, ohne dass dabei die Gefahr von Gleitbewegungen entsteht, so dass dieses Lager auch in gekoppelten Motoren mit relativ geringen Belastungen verwendet werden kann.

Schiefstellung und axiale Verschiebbarkeit

CARB Lager lassen Schiefstellungen bis zu 0,5° ohne nachteilige Folgen für das Lager zu. Die Fähigkeit, axiale Verschiebungen aufzunehmen, ist abhängig von der radialen Lagerluft und der Schiefstellung des Innenrings gegenüber dem Außenring.

Lagerluft

Die radiale Lagerluft eines CARB Lagers ist größer als bei vergleichbaren Pendelrollenlagern und Zylinderrollenlagern derselben Lagerluftklasse. Das liegt daran, dass die axiale Verschiebung zwischen den beiden Ringen die radiale Lagerluft in CARB Lagern verringert. Da die Lagerluftwerte höher sind als bei vergleichbaren anderen Wälzlagern, wird für CARB Lager in Elektromotoren und Generatoren in der Regel die Lagerluft Normal gewählt.

SKF Explorer CARB Toroidal-Rollenlager – die Hochleistungslager

Alle CARB Lager gehören der SKF Explorer Leistungsklasse an.

1 Wälzlager in elektrischen Maschinen

Axial-Pendelrollenlager



Axial-Pendelrollenlager

Bei Axial-Pendelrollenlagern werden die Belastungen schräg zur Lagerachse von einer Laufbahn auf die andere übertragen. Sie eignen sich dadurch auch zur Aufnahme von Radialbelastungen bei gleichzeitig wirkenden Axialbelastungen. Ein weiteres wesentliches Merkmal von Axial-Pendelrollenlagern ist ihre Winkelbeweglichkeit und die damit verbundene Unempfindlichkeit gegenüber Durchbiegungen der Welle oder Fluchtungsfehlern. Axial-Pendelrollenlager können hydrostatische oder hydrodynamische Lager ersetzen.

Vorteile

Axial-Pendelrollenlager können auch unter Schiefstellungen hohe axiale und radiale Belastungen aufnehmen und sind dabei auch für relativ hohe Drehzahlen geeignet. Durch diese Vorteile sind Axial-Pendelrollenlager eine ideale Lösung für senkrecht angeordnete Motoren. Außerdem sind sie zerlegbar, was die Montage vereinfacht.

Ein innerer Pumpeffekt maximiert die Schmierwirkung eines Ölbad. Das macht Axial-Pendelrollenlager zu einer äußerst kostengünstigen Lösung im Vergleich zu hydrostatischen Lagern, die eine Öldruckanlage benötigen. Bei Anwendungsfällen mit niedrigen Drehzahlen ist auch eine Fettschmierung möglich.

Wegen der Winkelbeweglichkeit von Axial-Pendelrollenlagern kann ihre Belastbarkeit voll ausgenutzt werden, auch wenn die Lagerscheiben nicht einwandfrei zueinander ausgerichtet sind. Die Belastung bleibt auch dann gleichmäßig verteilt, wenn Lagersitzflächen leicht gegeneinander schiefgestellt sind.

SKF Explorer Axial-Pendelrollenlager – die Hochleistungslager

Im Laufe der Jahre sind, bedingt durch Fortschritte bei der Fertigung, der Werkstoffforschung und der Prozesssteuerung, die Maschinenkomponenten immer kleiner geworden, ohne dass darunter ihre Leistungsfähigkeit gelitten hat. Bei jedem Meilenstein in der Entwicklung standen die Ingenieure vor der Wahl, ihre Produkte entweder kompakter oder leistungsfähiger zu gestalten. SKF Explorer Axial-Pendelrollenlager repräsentieren den nächsten bedeutenden Schritt bei der Leistungssteigerung. Es ist aber kein kleiner Schritt nach vorn – es ist vielmehr ein Quantensprung nach vorne, was die Leis-

tungsfähigkeit von Wälzlagern betrifft. Tests haben gezeigt, dass diese Axial-Pendelrollenlager bis zu dreimal länger laufen als herkömmliche Lager.

Die längere Lebensdauer von SKF Explorer Axial-Pendelrollenlagern eröffnet neue Möglichkeiten. Sie können mit SKF Explorer Lagern nicht nur kompakter, sondern auch geräusch- und schwingungsärmer bauen – bei gleichzeitig höherer Betriebssicherheit. Aber nicht nur das, Sie können durch Steigerung der Betriebsdrehzahlen, Verlängerung der Wartungsfristen, durch Verringerung der Wärmeentwicklung, des Energieverbrauchs und der Wartungskosten die Maschinen mit zusätzlichen Vorteilen für Ihre Kunden ausstatten.

SKF Produkte unterliegen einer kontinuierlichen Verbesserung bei Leistung und Dauerhaftigkeit. SKF Explorer Axial-Pendelrollenlager unterscheiden sich deutlich von den bisherigen Standardlagern. Sie zeichnen sich aus durch:

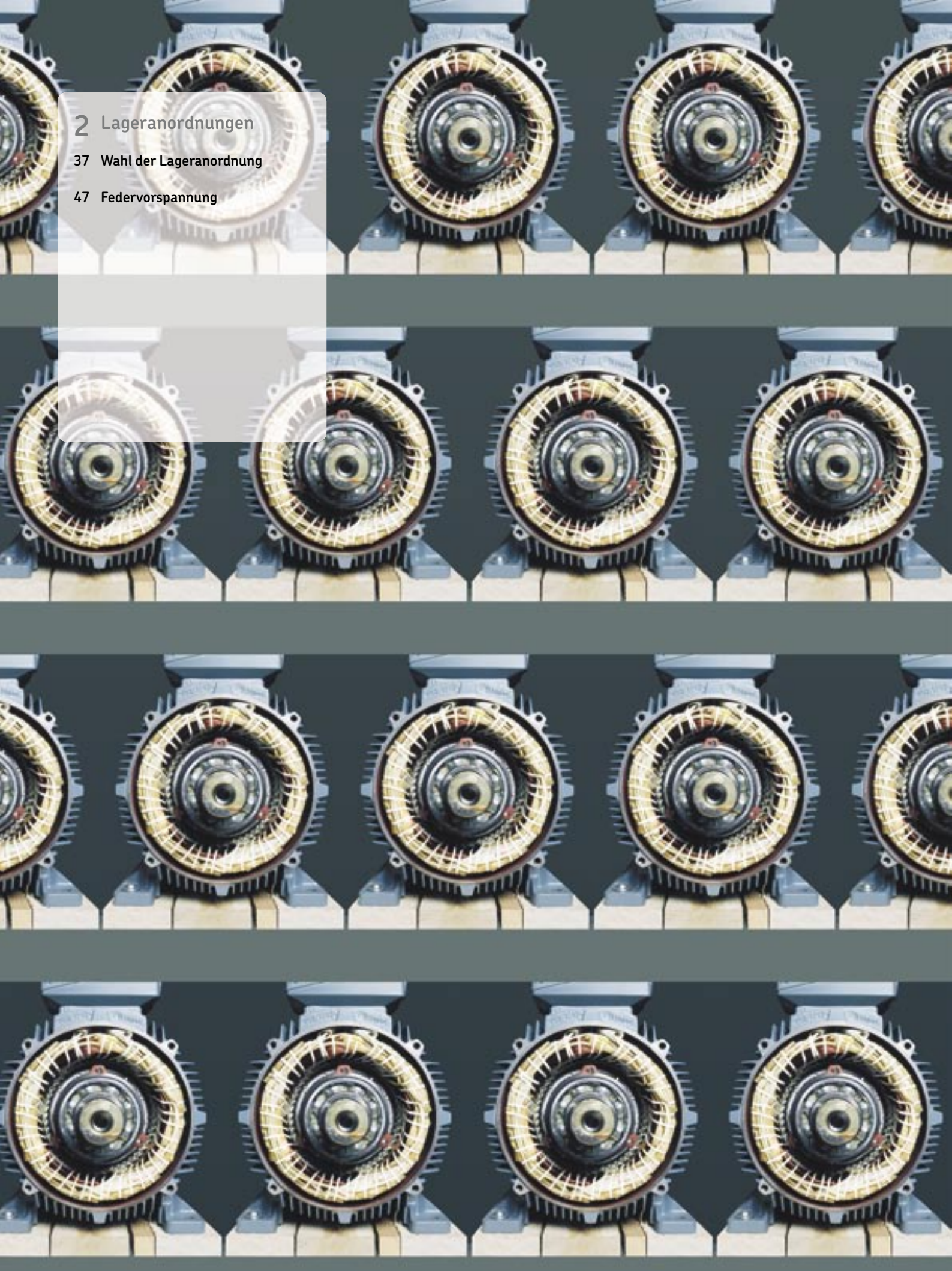
- Noch längere Lebensdauer.
- Noch größere Zuverlässigkeit.
- Noch bessere Leistung.

SKF Explorer Lager behalten die gleichen Bezeichnungen wie die bisherigen Standardlager. Die Lager und Verpackungen sind jedoch zusätzlich mit dem Produktnamen "EXPLORER" gekennzeichnet.

2 Lageranordnungen

37 Wahl der Lageranordnung

47 Federvorspannung



Lageranordnungen

Lager haben in Elektromotoren und Generatoren die Aufgabe, den Rotor radial zu stützen und ihn in Bezug auf den Stator axial zu fixieren. Zu diesem Zweck werden in den meisten Lageranordnungen ein Fest- und ein Loslager verwendet.

In den meisten mittelgroßen und großen Motoren und Generatoren werden als Festlager Rillenkugellager verwendet, während als Loslager in der Regel ein Kugellager, ein Zylinderrollenlager oder ein CARB Toroidal-Rollenlager eingebaut wird. Bei kleineren Motoren mit zwei Rillenkugellagern auf einer kurzen Welle wird oft eine schwimmende Lagerung verwendet.

Wahl der Lageranordnung

Die meisten Motoren werden mit einer Lagerung aus Fest- und Loslager konstruiert. Das Festlager führt die Welle und nimmt axiale Belastungen auf.

Das Loslager dient zum Ausgleich der Wärmedehnung der Welle, da sonst starke Axialkräfte in der Lagerung entstehen könnten. Einige Lagerarten, wie beispielsweise Rillenkugellager, können sowohl als Fest- wie auch als Loslager verwendet werden. Andere Lagerarten können entweder nur als Festlager, beispielsweise Schrägkugellager, oder nur als Loslager verwendet werden, wie die meisten Zylinderrollenlager.

Wird ein Rillenkugellager als Loslager verwendet, muss der Außenring axial verschiebbar sein, um die Wärmedehnung der Welle auszugleichen. Dies erfordert eine lose Passung für den Lageraußenring (→ **Bild 1, Seite 38**). Würde ein Zylinderrollenlager oder ein CARB Toroidal-Rollenlager als Loslager verwendet, würde die axiale Verschiebung

innerhalb des Lagers ausgeglichen; in diesem Fall wäre eine feste Passung im Gehäuse und auf der Welle möglich.

Bei der Konstruktion eines Elektromotors sind verschiedene Anforderungen, wie Lebensdauer, Geräuschpegel und Instandhaltung, zu berücksichtigen. In einigen Fällen können die Anforderungen einen Kompromiss verlangen. So ist es beispielsweise bei Anwendungsfällen mit hohen Betriebstemperaturen manchmal nicht möglich, abgedichtete und lebensdauergeschmierte Lager zu verwenden. Stattdessen können Nachschmiervorrichtungen nötig sein.

Lageranordnungen für Kupplungsantriebe

Kleine Motoren

Bei kleineren Motoren wird in der Regel eine schwimmende Lagerung mit zwei Rillenkugellagern vorgesehen. Jedes Lager führt die Welle nur in einer axialen Richtung, jeweils entgegengesetzt. Wegen der Forderungen nach geringem Laufgeräusch, werden Rillenkugellager normalerweise mit Federn vorgespannt (→ **Bild 2**). Der axiale Federdruck sorgt dafür, dass die erforderliche Mindestbelastung auf das Lager wirkt. Darüber hinaus zentrieren und führen die Federn den Rotor, wodurch Schwingungen und Geräuscentwicklung verringert werden und der Motor insgesamt leiser läuft.

Im Normalfall wird beim Gehäuse eines kleinen Motors eine Spaltdichtung verwendet. Für zusätzlichen Schutz werden lebensdauer-geschmierte Lager mit Deckscheiben verwendet. Diese Art der Abdichtung eignet sich für trockene, saubere Umgebungen. Für stärker verschmutzte Umgebungen sind reibungs-arme Dichtscheiben aus Kautschuk zu empfehlen.

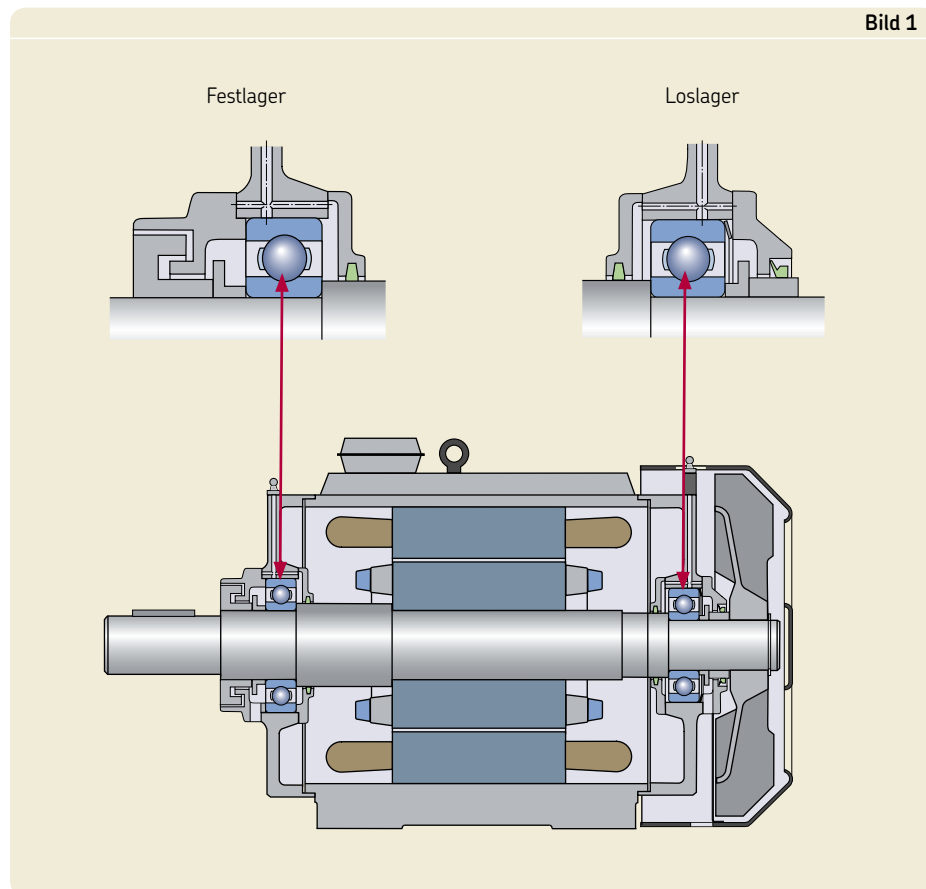
Mittelgroße und große Motoren

Bei einer typischen Lagerung in einem mittelgroßen oder großen Motor werden zwei Rillenkugellager verwendet, wobei das Festlager auf der Antriebsseite und das Loslager auf der antriebslosen Seite angeordnet wird. Wird ein Rillenkugellager als Loslager verwendet, muss der Außenring axial verschiebbar sein, um die Wärmedehnung der Welle auszugleichen. Dies erfordert eine lose Passung im Gehäuse.

Mittelgroße und große Elektromotoren werden in der Regel mit offenen Lagern ausgestattet, die nachgeschmiert werden müssen. Müssen die Lager häufig nachgeschmiert werden, sollte der Motor mit einem Fettmengenregler ausgestattet sein (→ **Bilder 1 und 2** sowie **Kapitel 4** "Schmierung und Abdichtung", ab **Seite 59**). Überschüssiges Schmierfett wird von einer umlaufenden Scheibe aufgefangen, durch die Zentrifugalkraft in einen Hohlraum im Motordeckel weitergeleitet und durch eine Öffnung in der Deckelunterseite ausgestoßen.

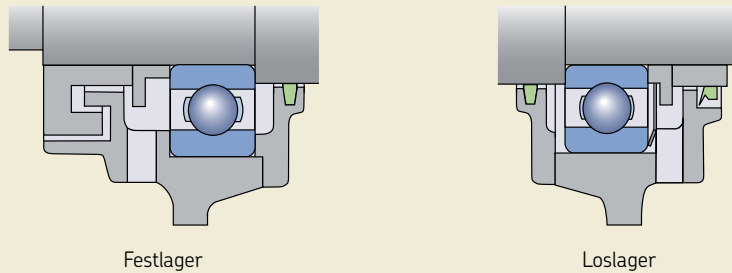
Abgedichtet wird die Lagerung mit einer Labyrinthdichtung auf der Antriebsseite und einem V-Ring auf der antriebslosen Seite. Zum Innenraum hin verhindern Filzdichtun-

Bild 1



*Mittelgroßer
Drehstrommotor mit
Nachschmier-
vorrichtungen und
Fettmengenregler*

Bild 2



Fest- und Loslager

gen ein Eindringen von Schmierfett in den Rotorbereich.

Lageranordnungen für Riemenantriebe

Kleine Motoren

Kleine Motoren bis zu einer Rahmengröße von 132 werden in der Regel mit zwei Rillenkugellagern ausgestattet (→ "Anordnung für Kupplungsantriebe – Kleine Motoren").

Mittelgroße und große Motoren

In mittelgroßen und großen Elektromotoren für Riemenantriebe kann entweder ein Zylinderrollenlager oder ein CARB Toroidal-Rollenlager als Loslager eingesetzt werden.

Diese Lager nehmen die von der Riemen-spannung verursachten radialen Belastungen auf und gleichen die Wärmedehnung der Welle aus. Da sowohl CARB Lager als auch Zylinderrollenlager die axiale Verschiebung im Lager aufnehmen, müssen die Lager axial festgelegt werden. Dabei ist zu beachten, dass eine feste Passung allein nicht ausreicht, um einen Lagerring axial festzulegen.

Aluminiumgehäuse

Aluminium hat einen mehr als doppelt so großen Ausdehnungskoeffizienten wie Guss-eisen oder Stahl. Deshalb sind bei Motoren mit Aluminiumgehäusen spezielle Maßnahmen erforderlich, um zu verhindern, dass sich der Außenring in seinem Lagersitz dreht. Das passiert normalerweise beim Loslager, weil es oft mit loser Passung im Gehäuse eingebaut

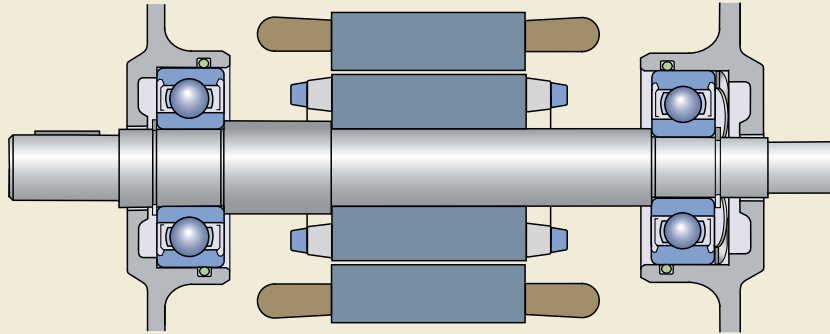
ist. Es kann auch bei Anwendungsfällen mit unbestimmter Belastungsrichtung passieren.

Um ein Mitdrehen des Außenrings zu verhindern, kann im Lagersitz eine Ringnut vorgesehen und ein O-Ring aus Gummi eingesetzt werden. Bei einer korrekten Konstruktion übt der O-Ring ausreichenden Druck auf den Außenring aus, so dass dieser sich nicht in der Gehäusebohrung drehen kann (→ Bild 3, Seite 40).

2 Lageranordnungen

Wahl der Lageranordnung

Bild 3



Lagerung in einem Aluminiumgehäuse mit O-Ringen zur Fixierung des Außenrings

Empfehlungen für Ringnuten

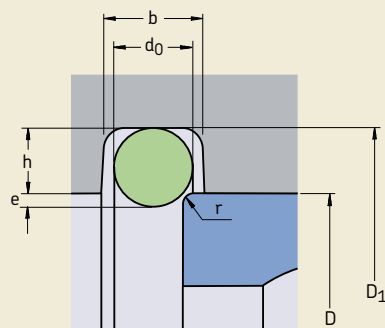
Um zu verhindern, dass der O-Ring beim Einbau des Lagers abgeschert wird, muss die Ringnut ausreichend tief sein. **Bild 4** enthält Richtlinien für die Abmessungen. Die Nut sollte entsprechend den Normwerten für statische O-Ring-Anwendungen ausgeführt werden.

Der O-Ring sollte eine Härte von etwa 70 IRHD besitzen.

Beispiele typischer Lageranordnungen

Auf den **Seiten 41 bis 46** sind typische Lageranordnungen in Industrie-Elektromotoren und -Generatoren abgebildet.

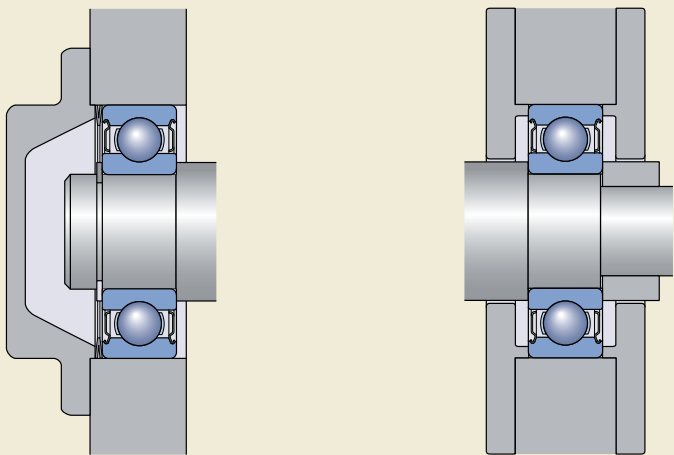
Bild 4



$$\begin{aligned} e &= 0,2 d_0 < r \\ h &= 0,8 d_0 \\ D_1 &= D + 2 h, \text{ Toleranz H10} \\ b &= 1,4 d_0 \end{aligned}$$

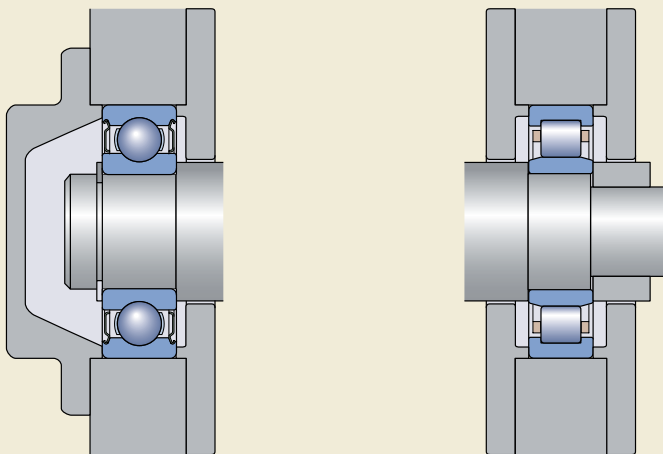
Ausführung der Nut für einen O-Ring

Bild 5



Zwei abgedichtete Rillenkugellager

Bild 6



Abgedichtetes Rillenkugellager und Zylinderrollenlager

Tabelle 1a

Lagerung	Anforderungen		Wartung	Führung		Belastungen		Anmerkungen
	Geräusch	Drehzahl		radial	axial	radial	axial	
Lagerungen mit waagerechter Welle								
Zwei abgedichtete Rillenkugellager (→ Bild 5)	5	5	5	5	3	3	3	Für kleine und mittelgroße Elektromotoren; wenig Wartung; axiale Führung ist kein entscheidender Parameter; Loslager federvorgespannt.
Abgedichtetes Rillenkugellager und Zylinderrollenlager (→ Bild 6)	3	4	3	3	3	5	3	Für mittelgroße und große Elektromotoren mit hohen Belastungen auf der Antriebsseite; gleicht axiale Verschiebung im Lager aus.
5 = Exzellent 4 = Sehr gut 3 = Gut 2 = Befriedigend 1 = Nicht empfohlen								

2 Lageranordnungen

Wahl der Lageranordnung

Zylinderrollenlager und Lagersatz aus Universal-Schräggugellagern in X-Anordnung

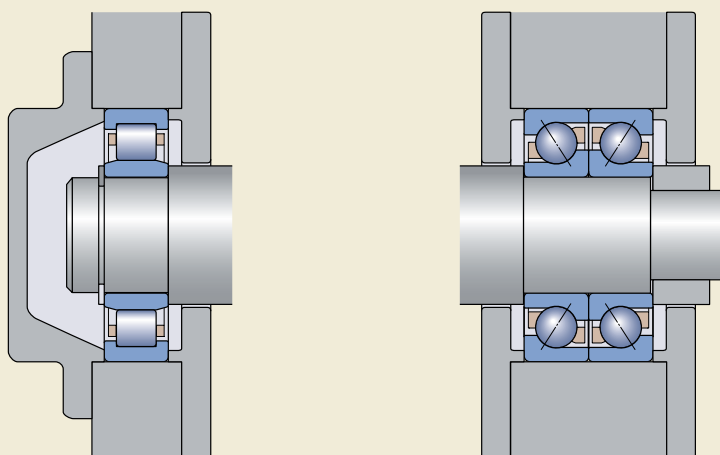


Bild 7

Rillenkugellager und Lagersatz aus Universal-Schräggugellagern in X-Anordnung

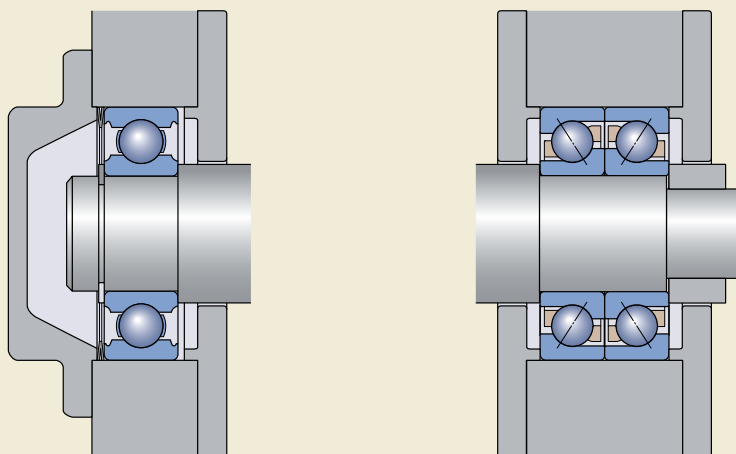
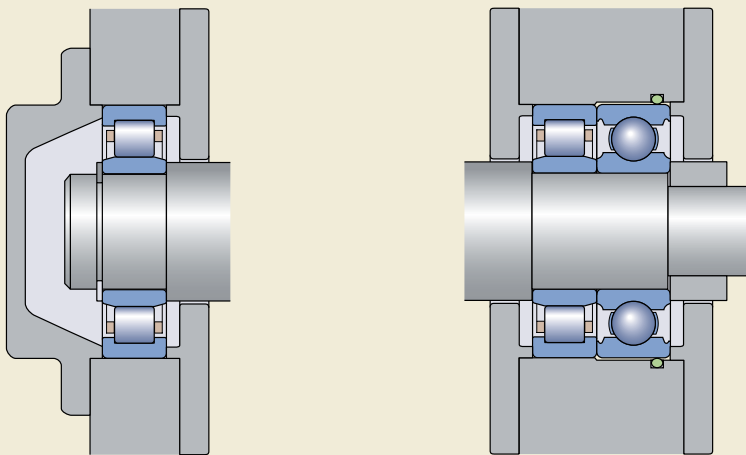


Bild 8

Tabelle 1b

Lagerung	Anforderungen		Wartung	Führung		Belastungen		Anmerkungen
	Geräusch	Drehzahl		radial	axial	radial	axial	
Lagerungen mit waagerechter Welle								
Zylinderrollenlager und Lagersatz aus UniversalSchräggugellagern (→ Bild 7)	3	4	3	5	5	5	5	Elektromotoren mit axialen Belastungen in beiden Richtungen und hohen radialen Belastungen oder wenn es auf die axiale Führung ankommt.
Rillenkugellager und Lagersatz aus UniversalSchräggugellagern (→ Bild 8)	5	4	4	5	5	5	5	Kleine Elektromotoren mit axialen Belastungen in beiden Richtungen und mittleren radialen Belastungen oder wenn es auf die axiale Führung ankommt. Das Rillenkugellager ist federvorgespannt.
5 = Exzellent 4 = Sehr gut 3 = Gut 2 = Befriedigend 1 = Nicht empfohlen								

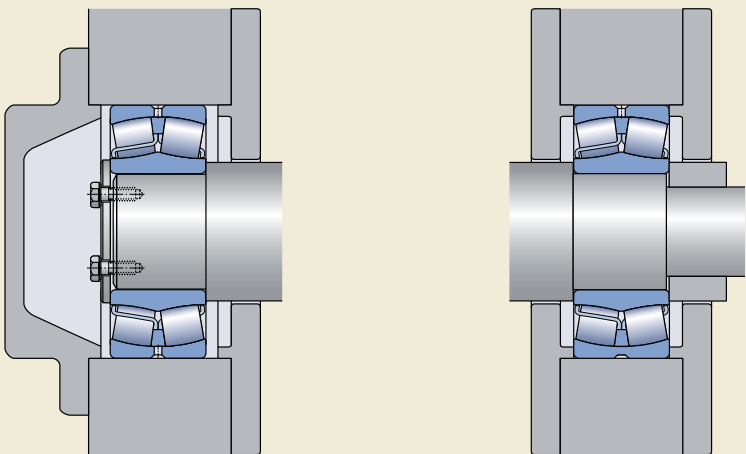
Bild 9



Zylinderrollenlager
und Zylinderrollenlager
mit Rillenkugellager

2

Bild 10



Zwei Pendelrollenlager

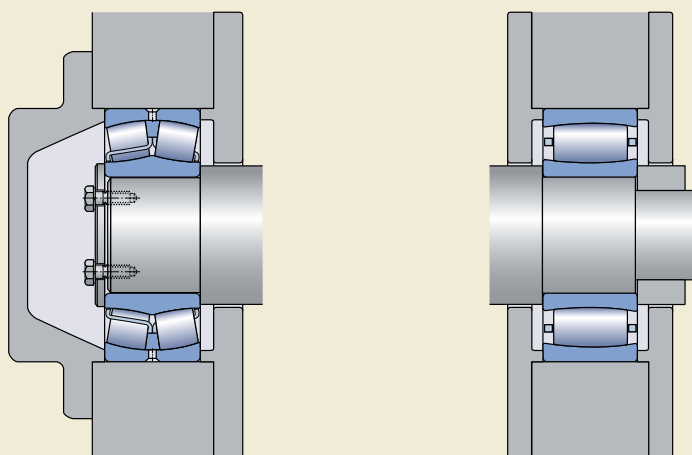
Tabelle 1c

Tabelle 1c								
Lagerung	Anforderungen		Wartung	Führung		Belastungen		Anmerkungen
	Geräusch	Drehzahl		radial	axial	radial	axial	
Lagerungen mit waagerechter Welle								
Zylinderrollenlager und Zylinderrollenlager mit Rillenkugellager (→ Bild 9)	3	4	3	3	3	5	3	Für große elektrische Maschinen; Rillenkugellager mit radialem Spiel im Gehäuse, Außenring mit O-Ring fixiert.
Zwei Pendelrollenlager (→ Bild 10)	3	3	3	3	3	5	4	Für besonders große elektrische Maschinen und sehr hohe Belastungen.
5 = Exzellent 4 = Sehr gut 3 = Gut 2 = Befriedigend 1 = Nicht empfohlen								

2 Lageranordnungen

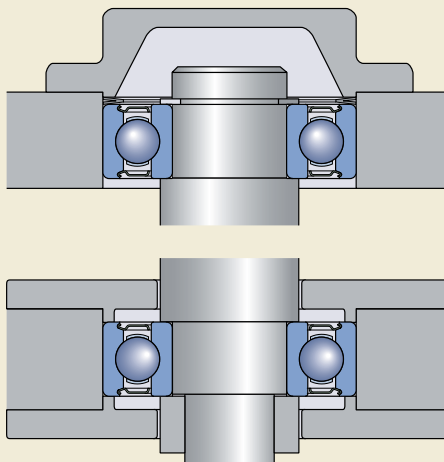
Wahl der Lageranordnung

Bild 11



*Pendelrollenlager und
CARB Toroidal-
Rollenlager*

Bild 12

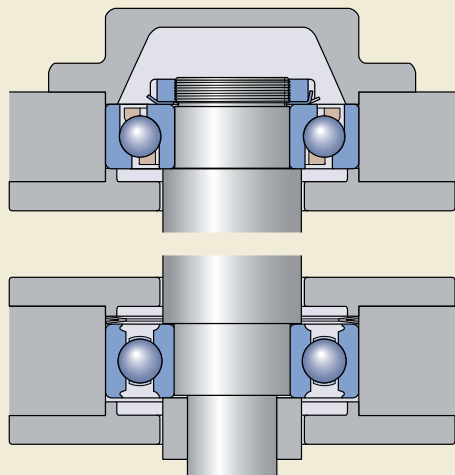


*Zwei abgedichtete
Rillenkugellager*

Tabelle 1d

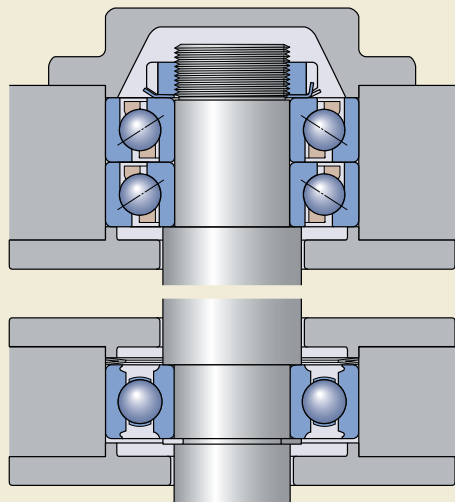
Lagerung	Anforderungen		Wartung	Führung		Belastungen		Anmerkungen
	Geräusch	Drehzahl		radial	axial	radial	axial	
Lagerungen mit waagerechter Welle								
Pendelrollenlager und CARB Toroidal-Rollenlager (→ Bild 11)	3	3	3	3	3	5	4	Für besonders große elektrische Maschinen und sehr hohe Belastungen; CARB Toroidal-Rollenlager als Loslager zum Ausgleich der axialen Verschiebung innerhalb des Lagers.
Lagerungen mit senkrechter Welle								
Zwei abgedichtete Rillenkugellager (→ Bild 12)	5	5	5	5	3	3	2	Standardanordnung für kleine und mittelgroße Elektromotoren; geringe axiale Belastungen in beiden Richtungen; oberes Lager federvorgespannt.
5 = Exzellent 4 = Sehr gut 3 = Gut 2 = Befriedigend 1 = Nicht empfohlen								

Bild 13



Schräggugellager
und Rillenkugellager

Bild 14



Lagersatz
mit Universal-
Schräggugellagern
in Tandem-Anordnung
und Rillenkugellager

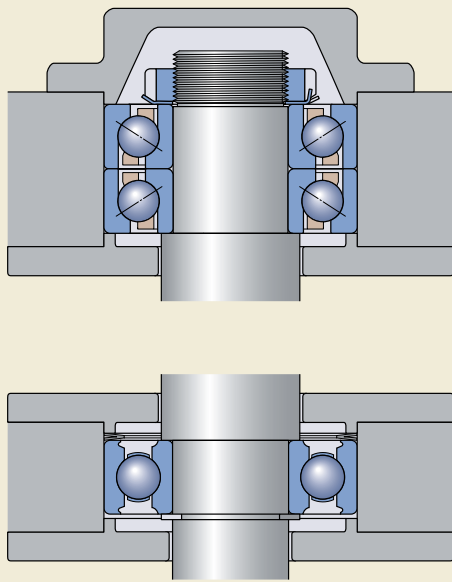
Tabelle 1e

Tabelle 1e								
Lagerung	Anforderungen		Wartung	Führung		Belastungen		Anmerkungen
	Geräusch	Drehzahl		radial	axial	radial	axial	
Lagerungen mit senkrechter Welle								
Schräggugellager und Rillenkugellager (→ Bild 13)	5	4	5	5	5	3	4	Standardlagerung für größere Elektromotoren mit mittleren axialen Belastungen; axiale Belastungen in einer Richtung (nach unten); unteres Lager federvorgespannt.
Lagersatz aus Universal-Schräggugellagern in Tandem-Anordnung und Rillenkugellager (→ Bild 14)	5	3	4	5	5	3	5	Standardlagerung für größere Elektromotoren mit hohen axialen Belastungen; axiale Belastungen in einer Richtung (nach unten); unteres Lager federvorgespannt.
5 = Exzellent 4 = Sehr gut 3 = Gut 2 = Befriedigend 1 = Nicht empfohlen								

2 Lageranordnungen

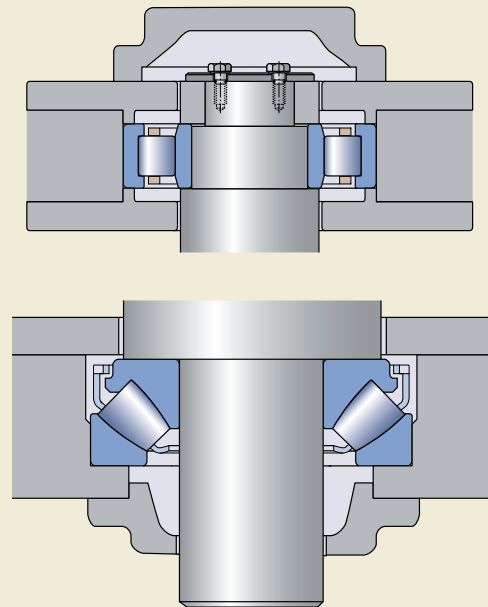
Wahl der Lageranordnung

Bild 15



*Lagersatz
mit Universal-
Schräggugellagern in
X-Anordnung und
Rillenkugellager*

Bild 16



*Zylinderrollenlager
und Axial-
Pendelrollenlager*

Tabelle 1f

Lagerung	Anforderungen		Wartung	Führung		Belastungen		Anmerkungen
	Geräusch	Drehzahl		radial	axial	radial	axial	
Lagerungen mit senkrechter Welle								
Lagersatz mit Universal-Schräggugellagern in X-Anordnung und Rillenkugellager (→ Bild 15)	5	3	4	5	5	4	4	Standardlagerung für größere Elektromotoren mit axialen Belastungen in beiden Richtungen; mittlere axiale Belastungen; unteres Lager federvorgespannt.
Axial-Pendelrollenlager und Zylinderrollenlager (→ Bild 16)	3	3	4	3	3	5	5	Für große, senkrechte elektrische Maschinen; hohe, abwärtsgerichtete axiale Belastung.
5 = Exzellent 4 = Sehr gut 3 = Gut 2 = Befriedigend 1 = Nicht empfohlen								

Federvorspannung

Die Vorspannung eines Lagers lässt sich am einfachsten erzeugen mit einer Federscheibe oder einem Satz von Spiralfedern, die auf den Außenring des Loslagers drücken (→ **Bild 17**). Dazu muss der Außenring mit einer losen Passung montiert sein und sich axial im Lagersitz verschieben lassen. Bei der Verwendung von Federn bleibt die Vorspannkraft auch bei einer axialen Verschiebung infolge Wärmedehnung der Welle praktisch konstant.

Für kleinere elektrische Maschinen (leichte Rotormasse) lässt sich die erforderliche Vorspannkraft mit der folgenden Formel abschätzen:

$$F = k d$$

Hierin sind

- F die Vorspannkraft, kN
- k ein Beiwert (→ Empfehlungen unter "Geräuscharmer Lauf" und "Vermeiden von Schäden durch Stillstanderschütterungen")
- d der Bohrungsdurchmesser des Lagers, mm

Geräuscharmer Lauf

Zur Reduzierung der Betriebsgeräusche eines Elektromotors mit Rillenkugellagern sollte auf den Außenring des Loslagers eine axiale Vorspannkraft wirken. Diese Vorspannung erzeugt eine über alle Kugeln beider Lager gleich verteilte axiale Belastung, mit der sich der Geräusch- und Schwingungspegel erheblich reduzieren lässt. Bei der Berechnung der

erforderlichen Vorspannkraft werden für den Beiwert k generell Werte zwischen 0,005 und 0,01 als angemessen betrachtet. Um den Beiwert k genauer zu bestimmen, muss der Einfluss von Bauteiltoleranzen und der Einfluss der Vorspannkraft auf den Geräuschpegel in Versuchen geprüft werden.

Vermeiden von Schäden durch Stillstanderschütterungen

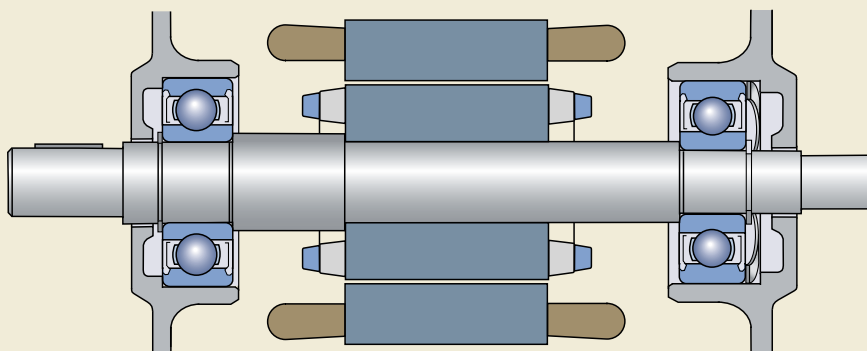
Wenn Lager im Stillstand oder auch auf dem Transport der elektrischen Maschine Erschütterungen oder Schwingungen ausgesetzt werden, können Schäden auftreten. Diese Form der Beschädigung wird in **Kapitel 6** "Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen", ab **Seite 91**, beschrieben.

Die axiale Federvorspannung kann die durch Stillstanderschütterungen verursachten Schäden erheblich verringern. Wenn die Lager nicht zur Geräuschreduzierung, sondern zur Begrenzung von Schäden durch Stillstanderschütterungen federvorgespannt werden, sollte bei der Berechnung der erforderlichen Vorspannkraft ein Beiwert k von 0,02 gewählt werden.

Mindestbelastung

Für einen störungsfreien Betrieb muss auf Wälzlager eine bestimmte Mindestbelastung wirken. Dies gilt besonders bei schnell laufenden Lagern, bei abrupten Beschleunigungsvorgängen oder bei schnellen Lastrichtungswechseln. Dabei beeinflussen die Massenkräfte der Wälzkörper und des Käfigs sowie die Reibung im Schmierstoff die Abrollverhältnisse im Lager. Unter solchen Bedingungen

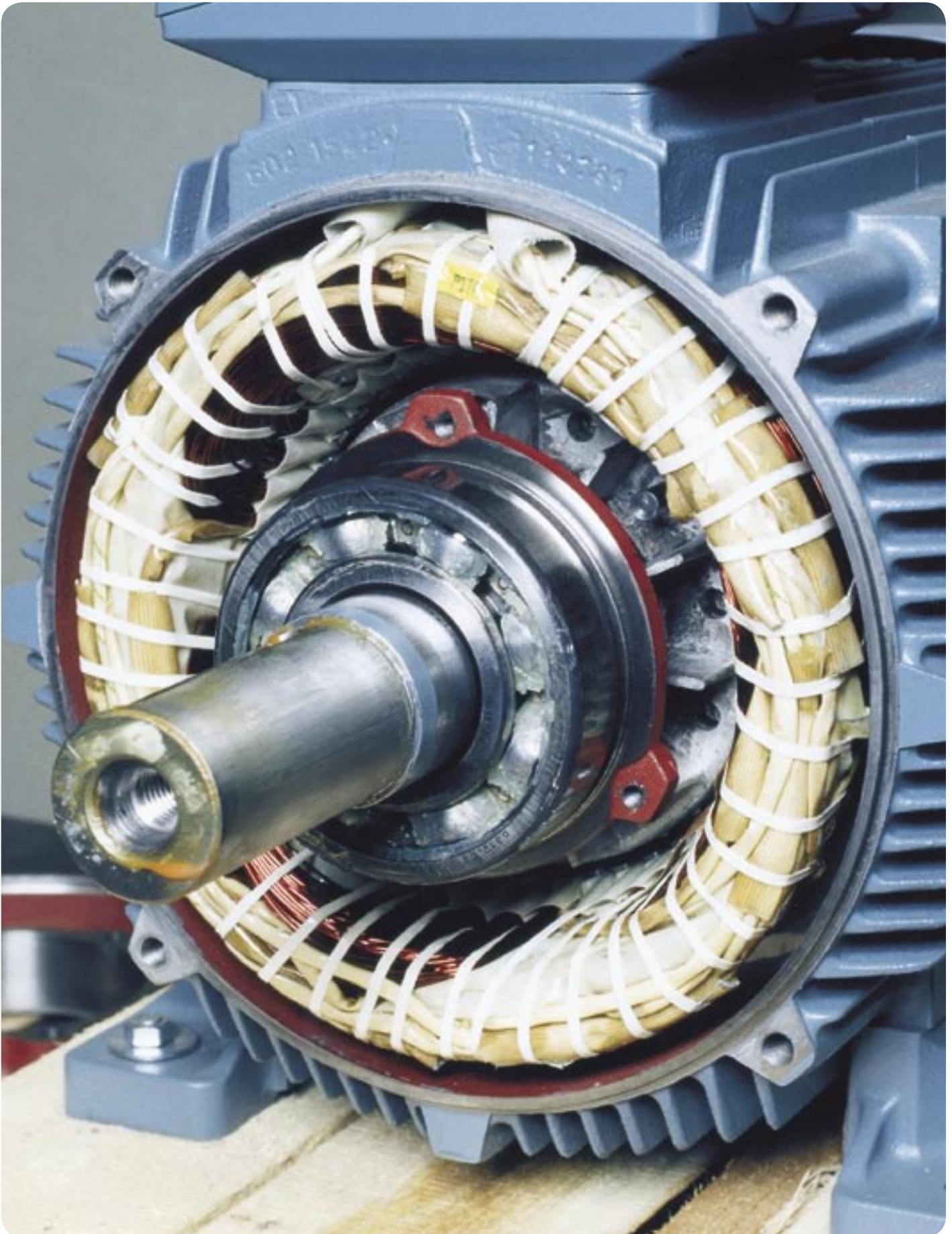
Bild 17



*Lagerung mit
federvorgespannten
Rillenkugellagern*

können Gleitbewegungen zwischen den Wälzkörpern und den Laufbahnen vorkommen. Formeln zur Berechnung der erforderlichen Mindestbelastung der verschiedenen Lagerarten sind in den betreffenden Produktabschnitten des SKF Hauptkatalogs oder im interaktiven SKF Lagerungskatalog, der auf CD-ROM erhältlich ist oder online über www.skf.com abgerufen werden kann, enthalten.

Bei hochviskosen Schmierstoffen und bei Kaltstart können auch höhere Mindestbelastungen erforderlich sein. Durch das Eigengewicht der gelagerten Teile und durch die äußeren Kräfte ist die Belastung in der Regel höher als die erforderliche Mindestbelastung. Wenn die Mindestbelastung jedoch nicht erreicht wird, muss das Lager zusätzlich belastet werden oder – was bei Lagerungen mit Rillenkugellagern besonders einfach ist – durch Anstellen der Innen- bzw. Außenringe mit Hilfe von Federn axial vorgespannt werden. Besonderer Aufmerksamkeit bedürfen elektrische Maschinen mit einer starren Kupplung, wodurch immer ein statisch unbestimmtes Lagerungssystem entsteht. Wenn starre Kupplungen exakt ausgerichtet sind, beispielsweise mit einem Laserausrichtgerät, kann das Lager auf der Antriebsseite relativ stark entlastet werden, da die Last von der angekuppelten Welle und dem Lager am antriebslosen Ende aufgenommen wird. In diesem Fall empfiehlt sich eine Lagerung mit federvorgespannten Rillenkugellagern.



3 Toleranzen und Passungen

52 Wellen- und Gehäusetoleranzen

54 Empfohlene Passungen



Toleranzen und Passungen

Ein Wälzlager ist ein Präzisionsprodukt. Wenn die Tragfähigkeit des Lagers voll ausgeschöpft werden soll, muss der Außenring über den gesamten Umfang und die volle Laufbahnbreite gestützt werden. Diese Abstützung, der Lagersitz also, muss steif und gleichmäßig sein und ausreichend genau gefertigt sein, entsprechend den Anforderungen des Anwendungsfalls. Gleiches gilt für die Welle. Sie muss gerade, glatt, ausgewuchtet und korrekt bemessen sein.

Wellen- und Gehäusetoleranzen

Um eine relative Bewegung des Innenrings gegenüber der Welle bzw. des Außenrings gegenüber dem Gehäuse zu vermeiden, sind korrekte Wellen- und Gehäusepassungen erforderlich. Gleichzeitig muss das Betriebsspiel im richtigen Bereich gehalten werden.

Für Wälzlageranwendungen kommt nur eine beschränkte Auswahl von ISO-Toleranzklassen in Betracht.

Für die häufiger vorkommenden Toleranzklassen ist die Toleranzfeldlage im Vergleich zur Bohrungs- und Außendurchmesser-toleranz der Wälzlager schematisch in **Bild 1** dargestellt. Die hellblauen Bereiche des Lagerquerschnitts zeigen die Toleranzen des Bohrungs- bzw. des Außendurchmessers. Die roten Balken markieren die Toleranzbereiche der Welle (untere Hälfte) bzw. des Gehäuses (obere Hälfte).

sollte eine feste Passung haben. Der Charakter der Passung hängt von den Betriebsbedingungen und von der Lagerart und -größe ab.

Punktlast liegt vor, wenn sowohl der Lagering als auch die Last stillstehen oder wenn Ring und Last mit gleicher Drehzahl umlaufen, so dass die Belastung stets auf denselben Punkt des Rings gerichtet ist.

Im Normalfall kann der Ring unter diesen Bedingungen eine lose Passung haben. Bei unterschiedlichen Belastungsrichtungen jedoch, besonders bei hohen Belastungen, sollten beide Ringe eine feste Passung erhalten. Dabei wird für den Innenring die gleiche Passung wie für Umfangslast empfohlen. Der Außenring kann eine etwas weniger feste Passung erhalten. Bei Lagern, die axiale Verschiebungen im Lager selbst aufnehmen können, wie beispielsweise CARB Toroidal-Rollenlager und einige Zylinderrollenlager, haben in der Regel beide Ringe eine feste Passung.

Umlaufverhältnis

Die Umlaufverhältnisse sind in **Bild 2** dargestellt. Umfangslast liegt vor, wenn sich der Lagerring dreht und die Last stillsteht oder umgekehrt. Ein Lagerring mit Umfangslast

Toleranzen

Bild 1

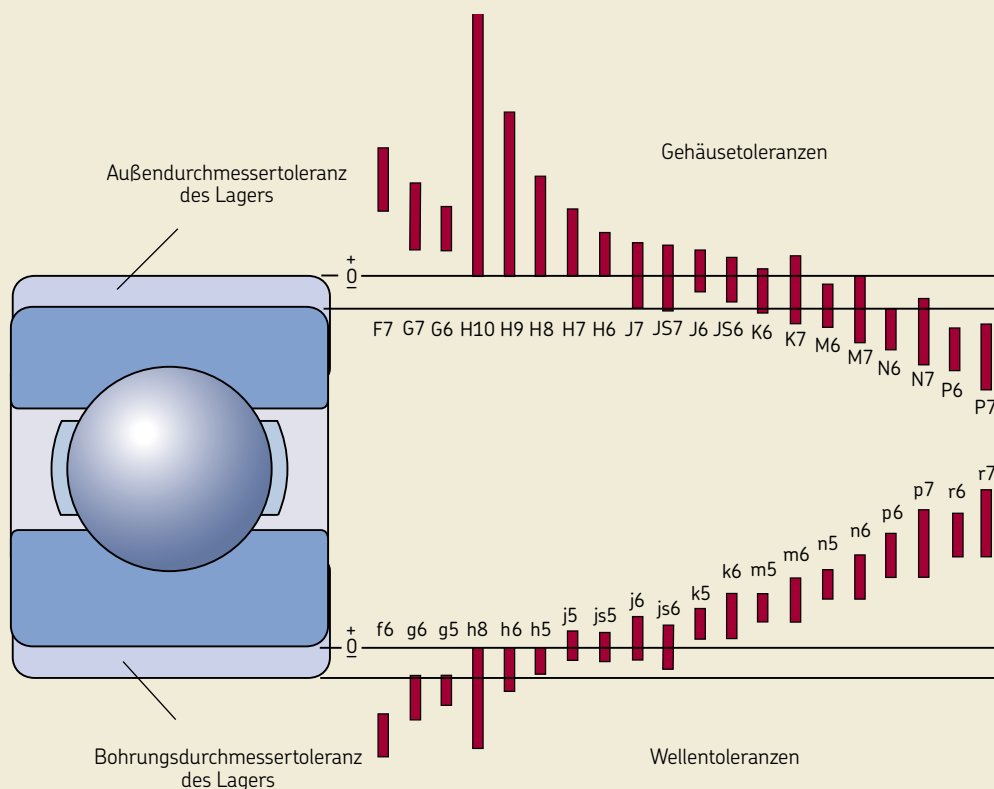
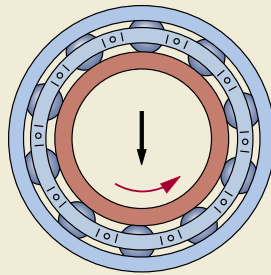


Bild 2

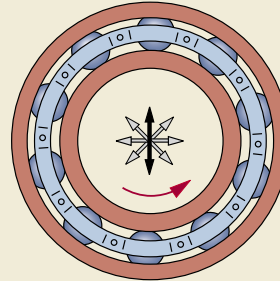
Umlaufverhältnisse
bei Elektromotoren

Riemenantrieb oder hohe Rotormasse,
geringe Unwucht



Innenring:
Umfangslast, feste Passung
Außenring:
Punktlast, lose Passung¹⁾

Kupplungsantrieb oder geringe
Rotormasse, deutliche Unwucht



Innenring:
Unbestimmte Lastrichtung, feste Passung
Außenring:
Unbestimmte Lastrichtung, feste Passung

¹⁾ Lager, die eine axiale Verschiebung im Lager selbst aufnehmen können, wie CARB Toroidal-Rollenlager und einige Zylinderrollenlager, haben in der Regel an beiden Ringen eine feste Passung.

Einfluss der Größe der Belastung

Um ein „Wandern“ (sehr langsame Drehbewegung eines Rings auf der Sitzfläche) zu vermeiden, muss die Passung entsprechend der Belastung und der Lagergröße gewählt werden. Je höher die Belastung oder je größer das Lager, desto fester muss die Passung sein.

Betriebsspiel führen. Dies wiederum kann die Betriebstemperatur deutlich erhöhen, die Alterung des Schmierstoffs beschleunigen und einen vorzeitigen Lagerausfall verursachen. In schlimmen Fällen kann es zu einem Ringbruch kommen.

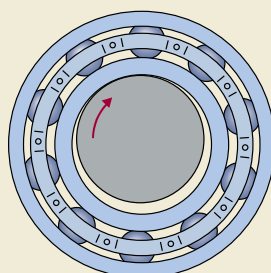
Bedeutung der richtigen Passung

Die richtige Passung des Lagers auf der Welle und im Gehäuse ist ein Schlüssel für eine lange Lagerlebensdauer. Bei zu losen Passungen kann es zu Reibkorrosion, Anschmierungen und Verschleiß kommen (→ Bild 3). Bei vorwiegend hohen Belastungen besteht sogar die Gefahr eines Ringbruchs.

Wenn die Passung zu fest ist, kann die Radialluftminderung zu einem zu geringen

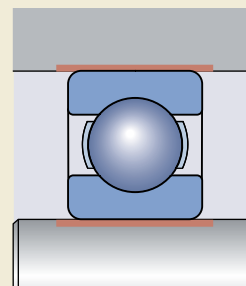
Bild 3

Zu lose



- Relativbewegungen verursachen
 - Verschleiß
 - Reibkorrosion
 - Anschmierungen
- Gefahr eines Ringbruchs

Zu fest



- Eine zu starke Lagerluftminderung kann
 - die Betriebstemperatur deutlich ansteigen lassen
 - die Alterung des Schmierstoffs beschleunigen
- Einfluss auf die Loslagerverschiebung
- Gefahr eines Ringbruchs

Folgen falscher
Passungen

Empfohlene Passungen

Empfehlungen für Lagerpassungen auf Wellen in Elektromotoren sind enthalten in:

Tabelle 1: für Radiallager mit zylindrischer Bohrung

Tabelle 2: für Axiallager

und für Gusseisen- und Stahlgehäuse in:

Tabelle 3: für Radiallager in ungeteilten Gehäusen

Weitere Informationen zu empfohlenen Passungen enthalten der SKF Hauptkatalog im Abschnitt "Gestaltung der Lagerungen" oder der interaktive SKF Lagerungskatalog auf CD-ROM oder online unter www.skf.com.

Wenn feste Passungen benötigt werden und die Gefahr besteht, dass die Lagerluft im Lager stark reduziert wird, ist ein Lager mit einer größeren Lagerluft zu wählen, als normalerweise verwendet würde (→ Abschnitt "Lagerauswahl" auf **Seite 17**).

Wenn ein Lager eines Elektromotors ausgetauscht werden muss, sind Wellen- und Gehäusesitz zu prüfen. Informationen zu den verwendeten Passungen sollten im Wartungshandbuch des Motorherstellers enthalten sein. Wenn entsprechende Angaben nicht vorhanden sind, siehe **Tabellen 1 bis 3**.

Tabelle 1

Radiallager mit zylindrischer Bohrung

Betriebsverhältnisse	Wellendurchmesser, mm Kugellager ¹⁾	Zylinder- rollenlager	Pendel- und Toroidal- rollenlager	Toleranzklasse der Welle
Umfangslast für Innenring oder unbestimmte Lastrichtung				
Kleine und veränderliche Belastungen ($P \leq 0,06 C$)	(18) bis 100 (100) bis 140	≤ 40 (40) bis 100	– –	j5 (j6) k5 (k6)
Normale und hohe Belastungen ($P > 0,06 C$)	≤ 18 (18) bis 100 (100) bis 140 (140) bis 200 (200) bis 280	– ≤ 40 (40) bis 100 (100) bis 140 (140) bis 200 (200) bis 400	– ≤ 40 (40) bis 65 (65) bis 100 (100) bis 140 (140) bis 280 (280) to 500 > 500	j5 k5 m5 m6 n6 p6 r6 ²⁾ r7 ²⁾
Sehr hohe Belastungen und Stoßbelastungen bei schweren Betriebsverhältnissen ($P > 0,12 C$)	– – –	(50) bis 140 (140) bis 200 > 200	(50) bis 100 (100) bis 140 > 140	n6 ²⁾ p6 ²⁾ r6 ²⁾

¹⁾ Für Rillenkugellager wird generell eine radiale Lagerluft C3 empfohlen.

²⁾ Eventuell werden Lager mit einer radialen Lagerluft größer als Normal benötigt.

**Passungen für
Radiallager auf
Vollwellen aus Stahl**

Tabelle 2

Axiallager

Betriebsverhältnisse	Wellendurchmesser, mm	Toleranzklasse der Welle
Kombiniert radial und axial belastete Axial-Pendelrollenlager		
Punktlast für Wellenscheibe	≤ 250 > 250	j6 js6
Umfangslast für Wellenscheibe oder unbestimmte Lastrichtung	≤ 200 (200) bis 400 > 400	k6 m6 n6

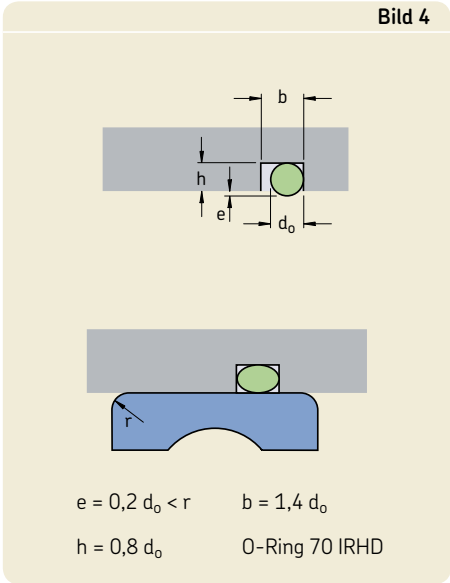
**Passungen für
Axiallager auf
Vollwellen aus Stahl**

Passungen für Aluminiumgehäuse

Aluminium hat einen mehr als doppelt so großen Ausdehnungskoeffizienten wie Guss-eisen oder Stahl. Daher muss bei Motoren mit Aluminiumgehäusen besonders darauf geachtet werden, dass sich der Außenring nicht in seinem Sitz dreht. Dazu ist zuerst für das Gehäuse eine engere Toleranzklasse zu wählen, beispielsweise J7 anstelle von H7. Eine andere Möglichkeit, Bewegungen des Außenrings zu verhindern, ist eine Ringnut im Lagersitz, in die ein O-Ring aus Gummi eingelegt wird. Bei korrekter Konstruktion übt der O-Ring ausreichend Druck auf den Außenring aus, so dass dieser im Sitz gehalten wird und sich nicht in der Gehäusebohrung drehen kann (→ Bild 4).

Einfluss von Temperaturunterschieden auf die Auswahl der Gehäusepassung

Elektromotoren und Generatoren erzeugen Wärme in den Rotor- und Statorspulen und sind daher oft mit einem Kühlventilator ausgestattet. Die Ventilatoren, die zur Kühlung des Gehäuses (Motordeckel) dienen, können einen Temperaturunterschied zwischen dem Gehäuse und dem Außenring des Lagers



Abmessungen der O-Ring-Nut

erzeugen. Dies kann am Loslager zu Problemen führen, wenn sich dieses auf seiner Sitzfläche axial verschieben lassen muss um Wärmedehnungen der Welle auszugleichen. Um dieses Problem zu vermeiden, ist eine losere Gehäusepassung zu wählen, beispielsweise G6 anstelle von H7, oder das Loslager ist dort zu positionieren, wo der Motordeckel dem warmen Luftstrom ausgesetzt ist.

Tabelle 3

Radiallager in ungeteilten Gehäusen			
Betriebsverhältnisse	Beispiele	Toleranzklasse der Gehäusebohrung	Verschiebbarkeit des Außenrings
Punktlast am Außenring			
Beliebige Belastungen	Katalogmotoren	H6 (H7¹⁾)	Verschiebbar
Wärmezufuhr über die Welle, wirksame Stator Kühlung	Große elektrische Maschinen mit Pendelrollenlagern, Drehstrommotoren	G6 (G7²⁾)	Verschiebbar
Akkurater und leiser Lauf	Kleine Elektromotoren	J6³⁾	In der Regel verschiebbar
Unbestimmte Lastrichtung			
Geringe und normale Belastungen ($P \leq 0,12 C$) axiale Verschiebbarkeit des Außenrings erwünscht	Mittelgroße elektrische Maschinen	J7⁴⁾	In der Regel verschiebbar
Normale und hohe Belastungen ($P > 0,06 C$), axiale Verschiebbarkeit des Außenrings nicht erforderlich	Mittlere und große elektrische Maschinen mit Zylinder- oder Toroidalrollenlagern	K7	Nicht verschiebbar
Hohe Stoßbelastungen	Schwere Fahrmotoren	M7	Nicht verschiebbar

¹⁾ Für Lager mit $D > 250$ mm und Temperaturunterschiede > 10 °C zwischen Außenring und Gehäuse sollte G7 anstatt H7 verwendet werden.
²⁾ Für Lager mit $D > 250$ mm und Temperaturunterschiede > 10 °C zwischen Außenring und Gehäuse sollte F7 anstatt G7 verwendet werden.
³⁾ Wenn leichte Verschiebbarkeit erwünscht ist, sollte H6 anstelle von J6 gewählt werden.
⁴⁾ Wenn leichte Verschiebbarkeit erwünscht ist, sollte H7 anstelle von J7 gewählt werden.

Passungen für Radiallager in Gehäusen aus Gusseisen oder Stahl

3 Toleranzen und Passungen Empfohlene Passungen

Umfangslasten oder Schwingungen und lose Passung für den Außenring

Bei einigen Anwendungsfällen liegt eine unbestimmte Lastrichtung vor, wie bei:

- kleinen Motoren mit geringer Rotormasse und Unwucht
- Motoren mit hohen und starken Schwingungspegeln, wie beispielsweise Generatoren von Wärmekraftmaschinen.

Wenn unter diesen Bedingungen ein selbsthaltendes Lager, wie z.B. ein Rillenkugellager, als Loslager verwendet wird, besteht die Gefahr, dass der Außenring in seinem Sitz "wandert" und übermäßigen Verschleiß verursacht. Ein Beispiel dafür ist der Schiffbau, wo Motoren relativ starken Schwingungen ausgesetzt sind.

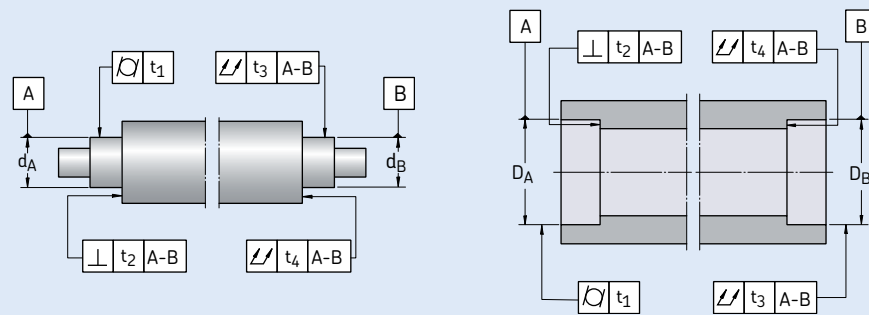
Es gibt zwei einfache Möglichkeiten, den Außenring festzuhalten und Verschleiß durch das "Wandern" des Rings in seinem Sitz praktisch auszuschließen.

Bei kleinen Motoren ist die einfachste Lösung eine Federvorspannung des Lagers. Eine andere Möglichkeit ist ein O-Ring in einer Gehäusenut. Je nach Anwendungsfall kann die eine oder andere Möglichkeit zur Fixierung des Außenrings verwendet werden.

Wenn keine dieser Methoden zum gewünschten Ergebnis führt, kann das Gehäuse einer Wärme- oder Oberflächenbehandlung unterzogen werden oder es kann ein gehärteter Einsatz verwendet werden. Die Erhöhung der Oberflächenhärte auf 30 bis 35 HRC hat sich als geeignetes Mittel erwiesen.

Bild 5

Form- und Lagegenauigkeit von Lagersitzen an Wellen und in Gehäusen



Oberfläche
Eigenschaft

Symbol für
Toleranzwert

Toleranzwert

Zulässige Abweichungen
Lager der Toleranzklasse¹⁾

Normal

P6

P5

Zylindrischer Sitz

Zylinderform		t ₁	IT5/2	IT4/2	IT3/2	IT2/2
Gesamtrundlauf		t ₃	IT5/2	IT4/2	IT3/2	IT2/2

Ebene Anlagefläche

Rechtwinkligkeit		t ₂	IT5	IT4	IT3	IT2
Gesamtplanlauf		t ₄	IT5	IT4	IT3	IT2

Erläuterung

Bei normalen Anforderungen

Bei besonderen Anforderungen hinsichtlich Laufgenauigkeit oder gleichmäßiger Abstützung

¹⁾ Für Lager mit höherer Genauigkeit (P4 usw.) siehe SKF Katalog "Hochgenauigkeitslager".

3 Toleranzen und Passungen

Empfohlene Passungen

SKF Montagepaste LGAF 3E

Mit der Montagepaste LGAF 3E bietet SKF ein Hochleistungs-Schuttmittel gegen Reibkorrosion an. Dabei handelt es sich um eine fettähnliche, weiche Paste, die speziell zur Vermeidung von Passungsrost zwischen metallischen Kontaktflächen bei loser Passung entwickelt wurde.

Weitere Angaben zu Toleranzen und Passungen sowie zur Form- und Lagegenauigkeit von Lagersitzen auf Wellen und in Gehäusen finden Sie im SKF Hauptkatalog im Abschnitt "Gestaltung der Lagerungen" oder im interaktiven SKF Lagerungskatalog auf CD-ROM oder online unter www.skf.com sowie im SKF Service-Handbuch.

Form- und Lagegenauigkeit

Ein zylindrischer Wellensitz, egal ob auf der Welle oder im Gehäuse, sollte bei der Genauigkeit dem ausgewählten Lager entsprechen (→ **Tabellen 5 und 6**). Dabei sollten unter anderem die folgenden Toleranzen berücksichtigt werden:

- Zylinderformtoleranz (t_1).
- Rechtwinkligkeitstoleranz (t_2).
- Gesamtrund- und -planauftoleranzen (t_3 und t_4).

ISO-Grundtoleranzen für Längenmaße

Tabelle 6

ISO-Grundtoleranzen für Längenmaße														
Nenn- maß über	bis	Zahlenwerte der Grundtoleranzen												
		IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12
mm		μm												
1	3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100
3	6	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120
6	10	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150
10	18	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180
18	30	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210
30	50	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250
50	80	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300
80	120	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350
120	180	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400
180	250	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460
250	315	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520
315	400	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570
400	500	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630
500	630	–	–	–	–	–	28	44	70	110	175	280	440	700
630	800	–	–	–	–	–	35	50	80	125	200	320	500	800
800	1 000	–	–	–	–	–	36	56	90	140	230	360	560	900
1 000	1 250	–	–	–	–	–	42	66	105	165	260	420	660	1 050
1 250	1 600	–	–	–	–	–	50	78	125	195	310	500	780	1 250
1 600	2 000	–	–	–	–	–	60	92	150	230	370	600	920	1 500
2 000	2 500	–	–	–	–	–	70	110	175	280	440	700	1 100	1 750

4 Schmierung und Abdichtung

59 Schmierung

62 Schmierstoffauswahl

64 Schmierfristen

70 Fettgebrauchsdauer in
abgedichteten Lagern

72 Ölschmierung

74 Dichtungen



Schmierung und Abdichtung

Wenn Wälzlager zuverlässig arbeiten und ihre volle Lebensdauer erreichen sollen, müssen sie ordnungsgemäß geschmiert werden. Der Schmierstoff hat die Aufgabe, einen schützenden Schmierfilm zu bilden, der die Lagerteile voneinander trennt und einen direkten metallischen Kontakt verhindert. Der Schmierstoff schützt das Lager und die anschließenden Bauteile außerdem vor Korrosion. Wenn zur Schmierung Fett verwendet wird, kann das Lager damit auch gegen Eindringen von Schmutz, Staub und Wasser geschützt werden.

Schmierung

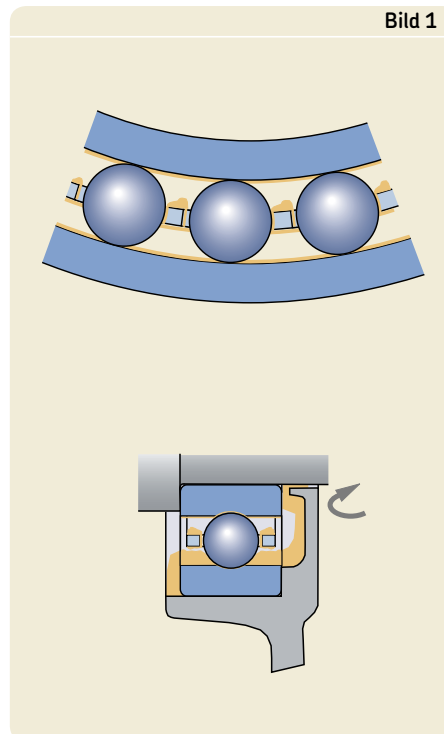
Zu den wichtigen Eigenschaften eines Schmierstoffs gehören die Viskosität, die Fähigkeit zur Schmierfilmbildung und die Konsistenz (bei Schmierfett). Die entscheidenden Faktoren für die Schmierfilmdicke sind:

- Lagergröße
- Drehzahl
- Lagertemperatur
- Belastung
- Viskosität des Grundöls

Fettschmierung

Unter normalen Drehzahl- und Temperaturbedingungen werden die Lager in Elektromotoren in der Regel mit Fett geschmiert. Im Vergleich zu Öl hat Schmierfett mehrere Vorteile. Es ermöglicht einfachere und kostengünstigere Gehäuse- und Dichtungskonstruk-

Bild 1



Schmiervorgänge
in einem Wälzlager

4 Schmierung und Abdichtung

Schmierung

tionen und bietet bessere Haftung sowie Schutz gegen Verunreinigungen.

Was ist ein Schmierfett?

Schmierfette bestehen aus einem Mineral- oder Syntheseöl und einem Dickungsmittel, in der Regel eine Metallseife. Bei sehr hohen Temperaturen können auch andere Dickungsmittel wie z.B. Polyharnstoff verwendet werden. Schmierfette bestehen zu 85–90 % aus dem Grundöl und zu etwa 10 % aus dem Dickungsmittel. Dazu können noch Additive kommen, um bestimmte Eigenschaften des Fetts zu verbessern.

Viskosität des Grundöls

Die Wirksamkeit des Schmierstoffs hängt in erster Linie vom Grad der Oberflächentrennung an den Berührungsstellen im Wälzkontakt ab. Damit sich hier ein ausreichend tragfähiger Schmierfilm bilden kann, muss der Schmierstoff eine bestimmte Mindestviskosität bei Betriebstemperatur aufweisen. Als Maß für die Wirksamkeit der Schmierung dient das Viskositätsverhältnis κ . Dies ist das Verhältnis der tatsächlichen kinematischen Viskosität ν zu der für eine ausreichende Schmierung erforderlichen Viskosität ν_1 wobei beide Werte bei normaler Betriebstemperatur betrachtet werden.

$$\kappa = \frac{\nu}{\nu_1}$$

Hierin sind

- κ das Viskositätsverhältnis
- ν die tatsächliche kinematische Viskosität des Schmierstoffs bei Betriebstemperatur, mm^2/s
- ν_1 die erforderliche kinematische Viskosität bei Betriebstemperatur, abhängig vom mittleren Lagerdurchmesser und der Drehzahl, mm^2/s

Siehe **Diagramme 5 und 6 auf Seite 73.**

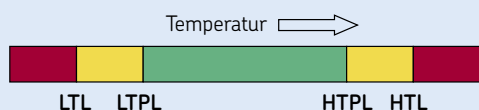
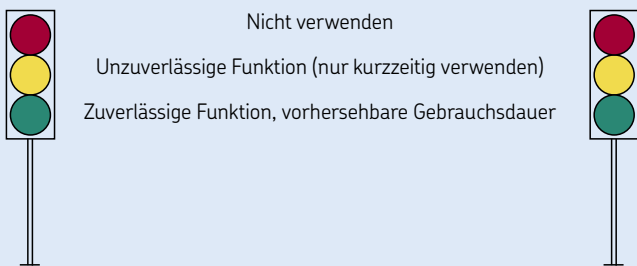
Bei normalen Betriebsbedingungen sollte das Viskositätsverhältnis größer als 1 sein.

Konsistenz

Schmierfette werden nach der vom "National Lubricating Grease Institute" (NLGI) eingeführten und in DIN 51815:1981 aufgenommenen Klassifikation in verschiedene Konsistenzklassen eingeteilt. Bei Schmierfetten, die für die Schmierung von Wälzlagern verwendet werden, sollte sich die Konsistenz innerhalb des jeweiligen Temperatur-Anwendungsbereichs weder mit der Temperatur noch mit der mechanischen Beanspruchung allzu stark ändern. Fette, die bei höheren Temperaturen weich werden, können aus der Lagerstelle austreten. Fette, die bei niedrigen Temperaturen zu steif werden, behindern das

Diagramm 1

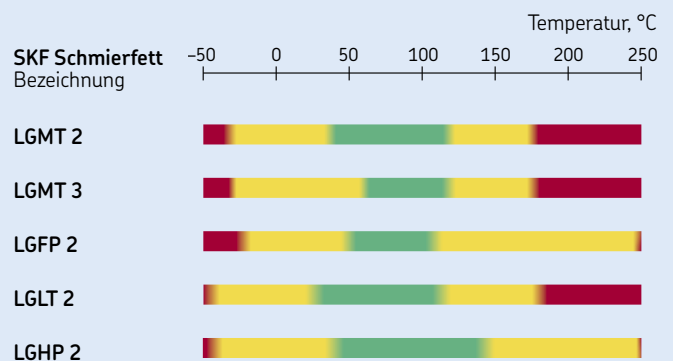
Das SKF Ampel-Konzept



LTL	Unterer Temperaturgrenzwert
LTPL	Empfohlener Grenzwert für die tiefste zulässige Betriebstemperatur
HTPL	Empfohlener Grenzwert für die höchste zulässige Betriebstemperatur
HTL	Oberer Temperaturgrenzwert

Diagramm 2

Das SKF Ampel-Konzept – SKF Schmierfette für Elektromotoren



Für Betriebstemperaturen über 150 °C wird SKF LGET 2 empfohlen.

einwandfreie Abrollen der Wälzkörper oder scheiden zu wenig Öl ab.

Für Lager in Elektromotoren und Generatoren werden vor allem zwei Konsistenzklassen verwendet:

Weiches Fett: niedrige Konsistenz,
NLGI-Klasse 2
Steifes Fett: hohe Konsistenz,
NLGI-Klasse 3

Temperatur-Anwendungsbereich – das SKF Ampel-Konzept

Grundöl, Dickungsmittel und Zusätze bestimmen hauptsächlich den Temperatur-Anwendungsbereich eines Fetts. Die wesentlichen Temperaturgrenzen sind in **Diagramm 1** schematisch als "doppelte Verkehrsampel" dargestellt.

Die absoluten Temperaturgrenzen, d.h. die tiefste und höchste überhaupt zulässige Betriebstemperatur, sind klar definiert.

- Der untere Temperaturgrenzwert LTL (= "Low Temperature Limit") zeigt die Temperatur an, bei der das Lager gerade noch ohne Schwierigkeiten anlaufen kann. Dieser Wert wird vor allem von der Art des Grundöls und seiner Viskosität bestimmt.
- Der obere Temperaturgrenzwert HTL (= "High Temperature Limit") hängt vom Dickungsmittel ab und ist bei Seifenfetten durch den Tropfpunkt vorgegeben. Der Tropfpunkt gibt die Temperatur an, bei der das Schmierfett seine Konsistenz verliert und flüssig wird.

Es ist klar, dass Betriebstemperaturen unterhalb des unteren Temperaturgrenzwerts und oberhalb des oberen Temperaturgrenzwerts unbedingt vermieden werden müssen. Diese Bereiche sind in **Diagramm 1** deshalb rot markiert. Diese Temperaturgrenzwerte, die auch die Fetthersteller in ihren Spezifikationen als unteren und oberen Temperaturgrenzwert angeben, kennzeichnen jedoch nicht den Bereich, in dem das Fett die volle Schmierleistung erbringt und ein zuverlässiger Betrieb gegeben ist. Hierfür sind vielmehr maßgebend der von SKF empfohlene

- untere Grenzwert LPTL (= "Low Temperature Performance Limit") für die tiefste zulässige Betriebstemperatur und der
- obere Grenzwert HTPL (= "High Temperature Performance Limit") für die höchste zulässige Betriebstemperatur.

In diesem Temperaturbereich, in **Diagramm 1**

der grüne Bereich, ist eine zuverlässige Funktion des Schmierfetts zu erwarten und kann auch eine Aussage über die Fettgebrauchsdauer gemacht werden. Da aber die Definition dieses Temperaturbereichs nicht genormt ist, müssen Herstellerangaben sorgfältig interpretiert werden.

Bei Temperaturen über dem oberen Grenzwert HTPL altert und oxydiert das Fett schneller und die entstehenden Alterungsprodukte wirken sich ungünstig auf die Schmierung aus. Deshalb sollten Schmierfette Temperaturen zwischen dem empfohlenen Grenzwert HTPL und dem oberen Temperaturgrenzwert HTL, also im oberen gelben Bereich, nur kurzzeitig ausgesetzt werden.

Einen gelben Bereich gibt es auch für tiefe Temperaturen. Das Schmierfett scheidet mit abnehmender Temperatur immer weniger Öl ab und seine Steifigkeit nimmt zu, d.h. die Konsistenz wird immer fester. Das führt schließlich zu einer nicht mehr ausreichenden Schmierung im Wälzkontakt. Der empfohlene untere Grenzwert für ein Schmierfett ist in **Diagramm 1** mit LTPL markiert. Dieser Temperaturgrenzwert ist für Rollen- und Kugellager verschieden. Weil Kugellager einfacher zu schmieren sind als Rollenlager, ist bei ihnen die genaue Einhaltung des unteren Grenzwerts LTPL nicht von so ausschlaggebender Bedeutung. Bei Rollenlagern hingegen sind ernste Beschädigungen zu erwarten, wenn die Betriebstemperaturen dauernd unterhalb des Grenzwerts LTPL liegen. Kurzzeitiger Betrieb in diesem gelben Bereich, z.B. beim Anlaufen, ist dagegen unschädlich, da die erzeugte Reibungswärme die Lagertemperatur in den grünen Bereich anheben wird.

Zusätze

Für spezielle Eigenschaften eines Schmierfetts können ein oder mehrere Zusätze enthalten sein. Die am häufigsten verwendeten Zusätze sind:

- Korrosionsschutzzusätze für eine verbesserte Schutzwirkung.
- Antioxidationsmittel um die Alterung des Schmierfetts zu verzögern.
- EP-Zusätze (EP="Extreme Pressure") um die Tragfähigkeit des Schmierfilms zu erhöhen. EP-Zusätze können sich bei Lagertemperaturen über 80 °C schädlich auswirken. Für Elektromotoren sind EP-Zusätze fast nie zu empfehlen. Sie sind wegen der nur mittleren Belastungen und der relativ hohen Betriebstemperaturen in der Regel nicht erforderlich.

Schmierstoffauswahl

Um die gewünschte Motorleistung und Zuverlässigkeit zu erreichen, ist es von entscheidender Bedeutung, den besten und für die spezifischen Betriebsbedingungen am besten geeigneten Schmierstoff zu verwenden. Dabei sollten die folgenden Punkte beachtet werden:

- Art und Größe des Lagers
- Betriebstemperatur
- Belastung
- Drehzahlbereich
- Betriebsbedingungen, wie beispielsweise Schwingungspegel, Richtung der Welle (waagrecht oder senkrecht)
- Kühlung
- Wirksamkeit der Abdichtung
- Umgebung

SKF Wälzlager-Schmierfette

Bei kleinen und mittelgroßen Lagern, bei denen die Fettgebrauchsdauer die voraus-

sichtliche Lagerlebensdauer übersteigt, reicht eine einmalige Fettfüllung aus. Das Schmierfett muss dann in den Lagern zurückgehalten werden und darf nicht entweichen können.

Für abgedichtete und lebensdauerge-schmierte Lager in Elektromotoren empfiehlt SKF die Schmierfette in **Tabelle 1**.

In **Tabelle 2** sind SKF Schmierfette aufgelistet, die sich für die Nachschmierung von Lagern in Elektromotoren eignen.

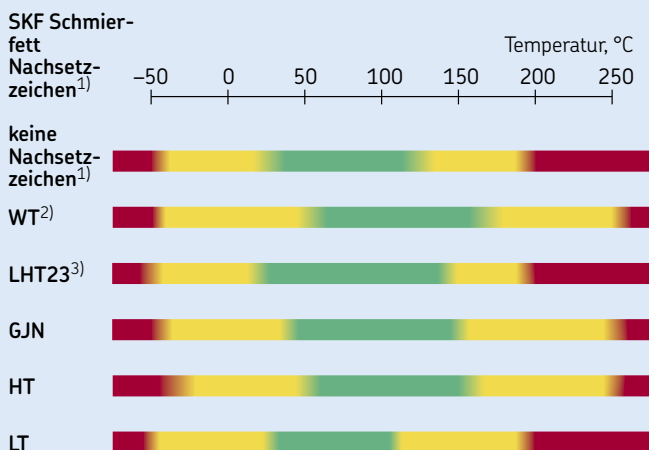
Unterschiedliche Schmierfettarten sollten niemals gemischt werden, da sie möglicherweise miteinander nicht verträglich sind (→ **Tabelle 3**). Die Mischung unterschiedlicher Schmierfette führt in der Regel zu geringerer Leistung.

Ebenso wichtig ist es, die Verträglichkeit des Schmierfetts mit Kautschukdichtungen und unterschiedlichen Käfigwerkstoffen zu beachten:

Geeignete SKF Schmierfette für die Nachschmierung von Lagern in Elektromotoren

Tabelle 1

SKF Standard- und Spezialschmierfette für lebensdauer geschmierte Lager in Elektromotoren



¹⁾ Nachsetzzeichen in der Lagerbezeichnung zur Kennzeichnung des Schmierfetts, z.B. 6204-2Z/C3WT.

²⁾ Hochleistungsschmierfett für kleine/mittelgroße Elektromotoren. Weiter Temperaturbereich.

³⁾ Besonders leichtes, reibungsarmes Schmierfett für kleinere Elektromotoren. Weiter Temperaturbereich.

Tabelle 2

SKF Schmierfett Bezeichnung	Verwendung, Eigenschaften
LGMT 2	Kleine Lager (Außendurchmesser bis ca. 62 mm) Leichte bis mittelschwere Belastungen Mittlere Temperaturen bis 80 °C (max. 120 °C) Reibungsarm, leise, guter Korrosionsschutz
LGMT 3	Mittelgroße Lager (Außendurchmesser > 62 mm bis ca. 240 mm) Mittelschwere Belastungen Mittlere Temperaturen bis 100 °C (max. 120 °C) Mehrzweckfett, guter Korrosionsschutz Senkrechte Wellen
LGLT 2	Kleine, leicht belastete Lager bei hohen Drehzahlen Niedrige Temperaturen bis -20 °C Reibungsarm, wasserabstoßend
LGFP 2	Niedrige Temperaturen bis -20 °C Lebensmittelverträglich Wasserabstoßend
LGHP 2	Weiter Temperaturbereich bis 150 °C Reibungsarm beim Anlaufen, leise, guter Korrosionsschutz Hohe Drehzahlen Nicht für senkrechte Wellen geeignet Sehr lange Gebrauchsdauer bei hohen Temperaturen

4 Schmierung und Abdichtung
Schmierstoffauswahl

- Schmierfette mit Esterölen vertragen sich generell nicht mit Polyacryl-Kautschuk (hitzebeständige Kautschukmischung, ACM).
- SKF Standardkautschukwerkstoffe können zusammen mit den SKF Standardschmierfetten verwendet werden.
- Bei Temperaturen über 100 °C greifen schwefelhaltige EP-Zusätze Messingkäfige an.
- Bei Temperaturen über 110 °C können EP-Zusätze den Standard-Polyamid-Werkstoff für Käfige PA66 angreifen (Lager mit Nachsetzzeichen TN9 oder P).

Schmieren von Lagern

Wie zu schmieren ist, richtet sich nach der Konstruktion des Lagers und des Gehäuses. Für alle Lagerarten gilt jedoch, dass eine überhöhte Füllung des freien Raums im Lager mit Schmierfett zu höheren Temperaturen führt und einen Ausfall des Lagers verursachen kann. Beim Schmieren eines Lagers muss im Gehäuse so viel Raum bleiben, dass Schmierfett beim Anlaufen aus dem Lager verdrängt werden kann. In schnell laufenden Motoren sollte die Schmierfettmenge auf einem niedrigen Niveau gehalten werden. Für weitere Informationen wenden Sie sich bitte an den Technischen Beratungsservice von SKF.

Wann immer möglich, sollten offene Lager nach dem Einbau geschmiert werden (→ Bild 2).

Selbsthaltende Lager, wie Rillenkugellager, Schrägkugellager oder CARB Toroidal-Rollenlager, sollten, falls möglich, von beiden Seiten mit Schmierfett gefüllt werden. In den meisten Fällen ist der Raum begrenzt, so dass das Lager nach dem Einbau auf der Rotorwelle nicht von beiden Seiten geschmiert werden kann. Dann sollte es von vorn mit einer Kartuschenpresse oder Fettpresse, beispielsweise SKF LAGP 400, geschmiert werden. Dabei ist darauf zu achten, dass das Lager komplett gefüllt wird und das Schmierfett in das Lager eingedrungen und auf der anderen Seite zu sehen ist.

Von den in Elektromotoren verwendeten Lagerarten sind nur Zylinderrollenlager nicht selbsthaltend. Von ihnen wird am häufigsten die Bauform NU verwendet (zwei Borde am Außenring, keine Borde am Innenring).

Der Außenring mit Käfig und Wälzkörpern kann und sollte im zerlegten Zustand beim Einbau geschmiert werden.

Wenn der Innenring auf der Welle montiert ist, sollte die Laufbahn leicht geschmiert werden, um ein Verkratzen des Innenrings bei der Montage zu vermeiden (→ Kapitel 5 "Einbau und Ausbau", ab Seite 77). Beim Schmieren von Außenring mit Käfig und Wälzkörpern ist darauf zu achten, dass alle Räume gut gefüllt werden. Anschließend kann der Außenring im Gehäuse (Motordeckel) eingebaut werden. Danach können beide Teile zusammengefügt werden.

Verträglichkeit
von Schmierfetten

Tabelle 3

Grundöle	Mineralöl	Esteröl	Polyglykol	Silikon: Menthyl	Silikon: Phenyl	Polyphenylether
Mineralöl	+	+	-	-	+	•
Esteröl	+	+	+	-	+	•
Polyglykol	-	+	+	-	-	-
Silikon: Menthyl	-	-	-	+	+	-
Silikon: Phenyl	+	+	-	+	+	+
Polyphenylether	•	•	-	-	+	+

+ = verträglich
- = unverträglich
• = Einzelfallprüfung erforderlich

Schmieren eines
Rillenkugellagers
auf der Rotorwelle



Die passende Menge für das Ergänzen der Fettfüllung von fettgeschmierten Lagern in Elektromotoren lässt sich mit der folgenden Formel abschätzen:

$$G_p = 0,005 D B$$

Hierin sind

G_p = die periodisch zuzuführende

Fettmenge, g

D = der Außendurchmesser des Lagers, mm

B = die Breite des Lagers, mm

Fettgebrauchsdauer

Die voraussichtliche Lebensdauer eines Schmierfetts hängt von verschiedenen Faktoren ab, unter anderem: Lagerart, Fettart, Lage und Drehzahl des Motors sowie Betriebstemperatur der Lager. So haben beispielsweise Rollenlager kürzere Schmierfristen als Kugellager. Weitere Faktoren, die zu berücksichtigen sind, sind die Dichtungsanordnung, die Betriebsumgebung sowie die Verschmutzung.

Bei kleinen Kugellagern übersteigt die Fettgebrauchsdauer normalerweise die Gebrauchsdauer des Motors. Deshalb werden diese Lager in der Regel mit Dichtungen versehen und sind lebensdauer geschmiert.

Wenn die Fettgebrauchsdauer jedoch kürzer ist als die voraussichtliche Lebensdauer des Lagers, müssen die Lager nachgeschmiert werden, solange noch eine ausreichende Leistungsfähigkeit des Schmierfetts gegeben ist.

Schmierfristen

Empfehlungen lassen sich nur auf der Basis statistischer Regeln geben. Die SKF Schmierfristen werden als der Zeitraum definiert, an dessen Ende noch 99 % der Lager ausreichend geschmiert sind. Dieser Zeitraum stellt die Fettgebrauchsdauer L_1 dar.

Die Schmierfristen t_f für Lager auf waagerechten Wellen unter normalen und sauberen Betriebsbedingungen bei 70 °C können

Diagramm 3 entnommen werden als Funktion vom

- Drehzahlfaktor A
multipliziert mit dem betreffenden Lagerfaktor b_f wobei

$$A = n d_m$$

$$n = \text{die Drehzahl, min}^{-1}$$

$$d_m = \text{der mittlere Lagerdurchmesser}$$

$$= 0,5 (d + D), \text{ mm}$$

Der Lagerfaktor b_f hängt von der Lagerart und zum Teil auch von der vorliegenden Belastung ab und kann **Tabelle 4** auf **Seite 66** entnommen werden.

- Belastungsverhältnis C/P

Die Schmierfrist t_f ist ein Richtwert und gilt bei Schmierung mit einem hochwertigen Lithiumseifenfett und wenn die Betriebstemperatur 70 °C nicht übersteigt. Bei abweichenden Betriebsbedingungen müssen die aus **Diagramm 3** ermittelten Schmierfristen anhand der Angaben im Abschnitt "Betriebs- und lagerbedingte Schmierfristberichtigungen" modifiziert werden.

Wenn der Drehzahlkennwert A 70 % des in **Tabelle 4** empfohlenen Grenzwerts übersteigt oder die Umgebungstemperaturen hoch sind, empfiehlt SKF die Betriebstemperatur zu überprüfen und zu prüfen, ob das geeignete Schmierfett verwendet wird (→ **Diagramm 2, Seite 60**).

Bei der Verwendung von Hochleistungsschmierfetten können längere Schmierfristen und eine längere Fettgebrauchsdauer möglich sein. Weitere Informationen erhalten Sie vom Technischen Beratungsservice von SKF. Siehe auch Abschnitt "Fettgebrauchsdauer in abgedichteten Lagern" ab **Seite 70**.

Betriebs- und lagerbedingte Schmierfristberichtigungen

Betriebstemperaturen

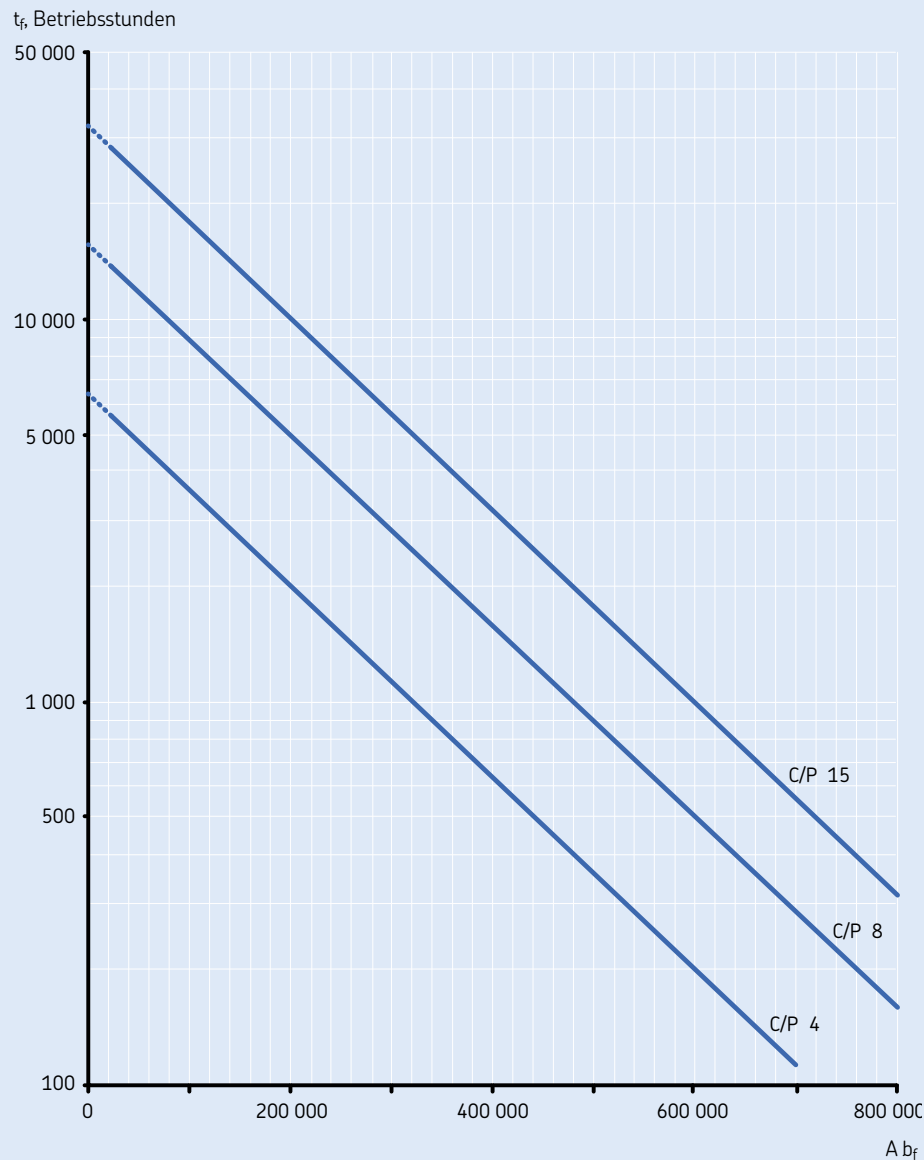
Mit Rücksicht darauf, dass Schmierfette bei höheren Temperaturen rascher altern, muss die aus **Diagramm 3** ermittelte und für Betriebstemperaturen von 70 °C geltende Schmierfrist für jeweils 15 °C Temperaturüberschreitung um die Hälfte reduziert werden. In jedem Fall darf dabei aber nicht der empfohlene obere Grenzwert HTPL für die höchste zulässige Betriebstemperatur des

Schmierfetts überschritten werden (**→ Diagramm 2, Seite 60**).

Bei Temperaturen unter 70 °C kann die Schmierfrist t_f verlängert werden, sofern die Temperatur nicht den unteren Grenzwert LTPL für die tiefste zulässige Betriebstemperatur unterschreitet (**→ Diagramme 1 und 2, Seite 60**). In keinem Fall empfiehlt es sich, die Schmierfrist auf mehr als das Doppelte auszuweiten. Bei Lagern ohne Käfig und bei Axiallagern sollten die aus **Diagramm 3** ermittelten Schmierfristen nicht verlängert werden.

Diagramm 3

Schmierfristen bei Betriebstemperaturen von 70 °C



4 Schmierung und Abdichtung

Schmierfristen

Von Schmierfristen über 30 000 Betriebsstunden ist grundsätzlich abzuraten.

In den meisten Anwendungsfällen ist die praktische Einsatzgrenze für Fettschmierung dann gegeben, wenn die Betriebstemperatur der Lagerung an einem der Lagerringe 100 °C übersteigt. Oberhalb von 100 °C sind spezielle Fette erforderlich. Außerdem sind die Maßstabilität des Lagers und eventuell auch die zulässigen Betriebstemperaturen der Dichtungen in Betracht zu ziehen. In elektrischen Maschinen erreichen Lager oft eine Temperatur nahe 100 °C. Unter bestimmten Bedingungen ist das SKF Schmierfett LGHP 2

eine geeignete Lösung (→ **Diagramm 2, Seite 60**).

Im Falle von Hochtemperaturanwendungen wenden Sie sich bitte an den Technischen Beratungsservice von SKF.

Senkrechte Welle

Für Lager auf senkrechter Welle sollte die mit **Diagramm 3, Seite 65**, ermittelte Schmierfrist auf die Hälfte herabgesetzt werden. Eine gute Abdichtung oder eine Stauscheibe unterhalb des Lagers sind Voraussetzung, um Fettaustritt aus der Lagerstelle zu verhindern.

Tabelle 4

Lagerfaktoren und empfohlene Grenzwerte für den Drehzahlkennwert A				
Lagerart ¹⁾	Lagerfaktor b_f	Empfohlene Grenzwerte für den Drehzahlkennwert A bei Belastungsverhältnissen		
		$C/P \geq 15$	$C/P \approx 8$	$C/P \approx 4$
–	–	mm/min		
Rillenkugellager	1	500 000	400 000	300 000
Schräggugellager	1	500 000	400 000	300 000
Pendelkugellager	1	500 000	400 000	300 000
Zylinderrollenlager				
– Loslager	1,5	450 000	300 000	150 000
– Festlager ohne äußere Axialbelastung oder mit nur leichter, aber wechselnder axialer Belastung	2	300 000	200 000	100 000
– Festlager mit ständiger, leichter Axialbelastung	4	200 000	120 000	60 000
– ohne Käfig, vollrollig ²⁾	4	ungeeignet ³⁾	ungeeignet ³⁾	20 000
Kegelrollenlager	2	350 000	300 000	200 000
Nadellager	3	350 000	200 000	100 000
Pendelrollenlager				
– bei einem Belastungsverhältnis $F_a/F_r < e$ und $d_m \leq 800$ mm				
Reihe 213, 222, 238, 239	2	350 000	200 000	100 000
Reihe 223, 230, 231, 232, 240, 248, 249	2	250 000	150 000	80 000
Reihe 241	2	150 000	80 000 ⁴⁾	50 000 ⁴⁾
– bei einem Belastungsverhältnis $F_a/F_r < e$ und $d_m > 800$ mm				
Reihe 238, 239	2	230 000	130 000	65 000
Reihe 230, 231, 232, 240, 248, 249	2	170 000	100 000	50 000
Reihe 241	2	100 000	50 000 ⁴⁾	30 000 ⁴⁾
– bei einem Belastungsverhältnis $F_a/F_r > e$				
alle Lagerreihen	6	150 000	50 000 ⁴⁾	30 000 ⁴⁾
CARB Toroidal-Rollenlager				
– mit Käfig	2	350 000	200 000	100 000
– ohne Käfig, vollrollig ²⁾	4	ungeeignet ³⁾	ungeeignet ³⁾	20 000
Axial-Rillenkugellager	2	200 000	150 000	100 000
Axial-Zylinderrollenlager	10	100 000	60 000	30 000
Axial-Pendelrollenlager				
– bei reiner Axialbelastung und umlaufender Wellenscheibe	4	200 000	170 000	150 000

¹⁾ Der Lagerfaktor und die empfohlenen Grenzwerte für den Drehzahlkennwert gelten für Lager in Normalausführung mit Standardkäfig. Bei geänderter innerer Konstruktion und speziellen Käfigausführungen wenden Sie sich bitte an den Technischen Beratungsservice von SKF.

²⁾ Der Wert für t_f aus **Diagramm 3** auf **Seite 65** muss durch 10 geteilt werden.

³⁾ Ungeeignet, für diese Belastungsverhältnisse werden Lager mit Käfig empfohlen.

⁴⁾ Bei höheren Drehzahlkennwerten wird Ölschmierung empfohlen.

Schwingungen

Mäßige Schwingungen haben keinen negativen Einfluss auf die Fettgebrauchsdauer. Starke Schwingungen und Stoßbelastungen, wie z.B. bei Schwingsieben, verändern das Fettgefüge. In diesen Fällen müssen die Schmierfristen reduziert werden. Wenn ein Fett zu weich wird, muss ein Fett mit höherer mechanischer Stabilität oder ein Fett mit festerer Konsistenz bis maximal NLGI-Klasse 3 verwendet werden.

Umlaufender Außenring

Bei Anwendungsfällen mit umlaufendem Außenring muss der Drehzahlkennwert A mit dem Außendurchmesser D anstelle des mittleren Lagerdurchmessers d_m ermittelt werden. Eine gute Abdichtung ist Voraussetzung, um Fettverluste zu vermeiden.

Bei Anwendungsfällen mit schnell umlaufenden Außenringen (d.h. > 40 % der Referenzdrehzahl des Lagers) sollte ein Fett mit einer reduzierten Ölabscheidung gewählt werden.

Für Axial-Pendelrollenlager mit umlaufender Gehäusescheibe wird Ölschmierung empfohlen.

Verunreinigungen

Wenn ein Eindringen von Verunreinigungen in die Lagerstelle nicht ausgeschlossen werden kann, lässt sich die Anzahl von Fremdpartikeln reduzieren, wenn häufiger nachgeschmiert wird, als es die Schmierfrist verlangt. Damit werden auch die schädlichen Auswirkungen durch das Überrollen dieser Partikel reduziert. Flüssige Verunreinigungen (Wasser, Prozessflüssigkeiten) verlangen ebenso kürzere Schmierfristen. Bei sehr starker Verunreinigung sollte eine kontinuierliche Nachschmierung in Betracht gezogen werden.

Sehr niedrige Drehzahlen

Bei Anwendungsfällen mit niedrigen Drehzahlen ist die Auswahl des richtigen Schmierfetts und der geeigneten Fettmenge besonders wichtig.

Lager, die mit sehr niedrigen Drehzahlen umlaufen und leicht belastet sind, benötigen ein Schmierfett mit weicher Konsistenz. Lager, die mit niedrigen Drehzahlen bei hohen Belastungen umlaufen, benötigen ein Fett mit hochviskosem Grundöl und guten EP-Eigenschaften. Die Viskosität des Grundöls sollte wie im SKF Hauptkatalog beschrieben ausgewählt werden.

Hohe Drehzahlen

Bei Lagern, die mit Drehzahlen oberhalb der in **Tabelle 4** empfohlenen Grenzwerte für den Drehzahlkennwert A umlaufen, gelten die Schmierfristen nur dann, wenn Spezialfette oder Lager besonderer Ausführung, wie z.B. Hybridlager, verwendet werden. Für solche Lagerungsstellen sind anstelle der Fettschmierung kontinuierliche Schmierverfahren, wie die Ölumlaufschmierung oder die Öl-Luft-Schmierung, wesentlich besser geeignet.

Zylinderrollenlager

Die Schmierfristen nach **Diagramm 3**, **Seite 65**, gelten für Zylinderrollenlager mit

- einem glasfaserverstärktem Käfig aus Polyamid 66, Nachsetzzeichen P oder
- einem zweiteiligen, rollengeführten Messingmassiv-Nietkäfig, Nachsetzzeichen M.

Bei Lagern mit einem gepressten Stahlblechkäfig, Nachsetzzeichen J, oder mit innenring- oder außenringgeführten Messingkäfigen, Nachsetzzeichen MA, ML oder MP, sind die Schmierfristen nach **Diagramm 3** zu halbieren. Außerdem sollten Schmierfette mit guter Ölabscheidung verwendet werden.

Unzureichende Schmierfristen

Wenn in einem konkreten Anwendungsfall festgestellt wird, dass die Schmierfristen zu kurz sind, wird empfohlen,

- die Lagertemperatur zu prüfen,
- das Fett auf Verunreinigungen durch Feststoffe oder Flüssigkeiten hin zu untersuchen,
- die Betriebsbedingungen wie Belastung oder Schiefstellung zu überprüfen,

und nicht zuletzt ein besser geeignetes Schmierfett auszuwählen.

Fettmengenregler

Bei einem Lager, das mit hoher Drehzahl umläuft und häufig nachgeschmiert werden muss, kann sich überschüssiges Schmierfett im Gehäuse sammeln und Temperaturspitzen verursachen, die sich sowohl auf die Fettgebrauchsdauer als auch auf die Lagerlebensdauer nachteilig auswirken. In diesen Fällen empfiehlt sich die Verwendung eines Fettmengenreglers. Damit wird eine übermäßige Schmierung verhindert und die Nachschmierung bei laufender Maschine ermöglicht. Ein typischer Fettmengenregler besteht aus einer

Fettmengenregler

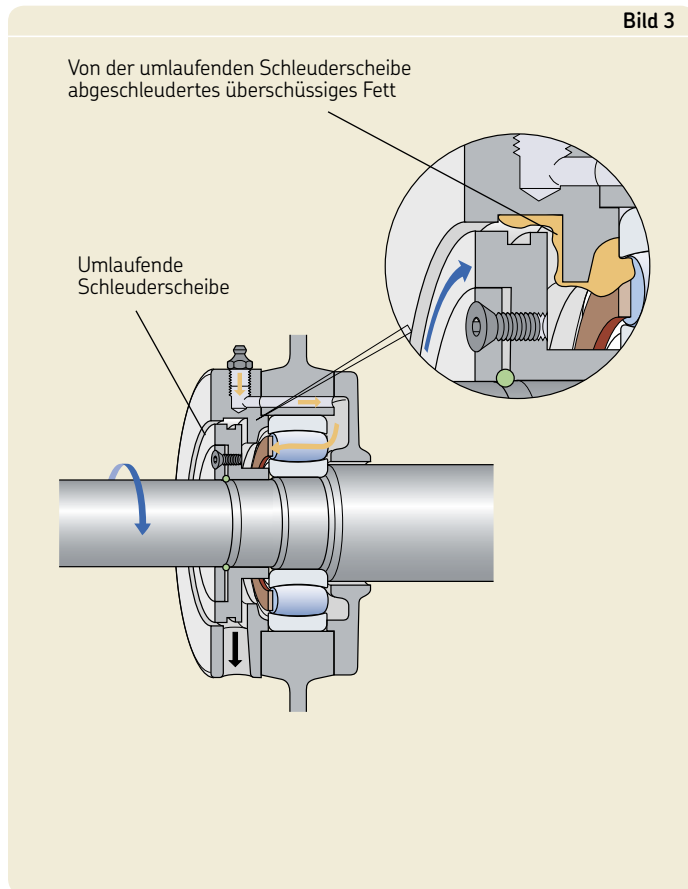
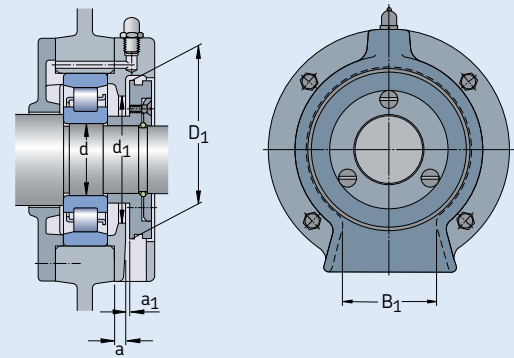


Tabelle 5

Lagergehäuse mit Fettmengenregler



Die Abbildung zeigt lediglich das Prinzip.

Bohrungs- durchmesser Durchmesserreihe		Abmessungen				
2	3	d ₁	D ₁	B ₁ min	a	a ₁
d		mm				
30	25	46	58	30	6–12	1,5
35	30	53	65	34	6–12	1,5
40	35	60	75	38	6–12	1,5
45	40	65	80	40	6–12	1,5
50	45	72	88	45	8–15	2
55	50	80	98	50	8–15	2
60	55	87	105	55	8–15	2
65	60	95	115	60	8–15	2
70	–	98	120	60	10–20	2
75	65	103	125	65	10–20	2
80	70	110	135	70	10–20	2
85	75	120	145	75	10–20	2
90	80	125	150	75	10–20	2
95	85	135	165	85	10–20	2
100	90	140	170	85	12–25	2,5
105	95	150	180	90	12–25	2,5
110	100	155	190	95	12–25	2,5
120	105	165	200	100	12–25	2,5
–	110	175	210	105	12–25	2,5
130	–	180	220	110	15–30	2,5
140	120	195	240	120	15–30	2,5
150	130	210	260	130	15–30	2,5
160	140	225	270	135	15–30	2,5
170	150	240	290	145	15–30	2,5
180	160	250	300	150	20–35	3
190	170	265	320	160	20–35	3
200	180	280	340	170	20–35	3
–	190	295	360	180	20–40	3
220	200	310	380	190	20–40	3
240	220	340	410	205	20–40	3
260	240	370	450	225	25–50	3
280	260	395	480	240	25–50	3
300	280	425	510	255	25–50	3

4 Schmierung und Abdichtung Schmierfristen

Bild 4



Automatischer
Schmierstoffgeber
SYSTEM 24

Automatischer
Schmierstoffgeber
SYSTEM MultiPoint

Bild 5



mit der Welle umlaufenden Schleuderscheibe, die mit dem Gehäuse einen engen Spalt bildet.

Überschüssiges Fett wird von der Scheibe aufgenommen, in einen Hohlraum im Motordeckel abgeschleudert und durch eine Öffnung in der Unterseite des Lagergehäuses ausgestoßen. Das Funktionsprinzip des Fettmengenreglers ist in **Bild 3** gezeigt. **Tabelle 5** enthält Abmessungsempfehlungen.

Automatischer Schmierstoffgeber SYSTEM 24®

SKF SYSTEM 24 (→ **Bild 4**) ist ein automatischer Schmierstoffgeber, der eine konstante Fettzufuhr ermöglicht, die mit Hilfe einer Skala auf die erforderliche Fettmenge eingestellt werden kann. Er wurde speziell als zuverlässige und wirtschaftliche Alternative zum herkömmlichen manuellen Nachschmieren entwickelt.

Automatischer Mehrpunkt- Schmierstoffgeber SYSTEM MultiPoint

Der Schmierstoffgeber SYSTEM MultiPoint (→ **Bild 5**) von SKF arbeitet elektromechanisch und versorgt bis zu 8 Schmierstellen. Er eignet sich auch für Anwendungsfälle, die längere Zuleitungen oder einen höheren Abgabedruck benötigen. Zu den typischen Anwendungsfällen gehören große Elektromotoren sowie Pumpen-Motor-Kombinationen.

Fettgebrauchsdauer in abgedichteten Lagern

Moderne Wälzlager-Schmierfette von SKF erreichen oft bessere Leistungen bei hohen Drehzahlen und hohen Temperaturen als herkömmliche Lithiumseifenfette mit mineralischem Grundöl, die die Grundlage für das Diagramm zur Bestimmung der Schmierfristen sind. Deshalb empfiehlt SKF ein spezielles Diagramm für die Fettgebrauchsdauer in lebensdauer geschmierten SKF Lagern.

Fettgebrauchsdauer in lebensdauer geschmierten Rillenkugellagern mit Deckscheiben und Metallkäfig, bei geringer Belastung

Fettleistungsklasse

In **Diagramm 4** werden Fettleistungsklassen (GPF="Grease Performance Factor") eingeführt, um die verbesserte Leistung bei hohen Drehzahlen und hohen Temperaturen zahlen-

mäßig zu erfassen. Das SKF Standard-schmierfett gehört zur Fettleistungsklasse 1.

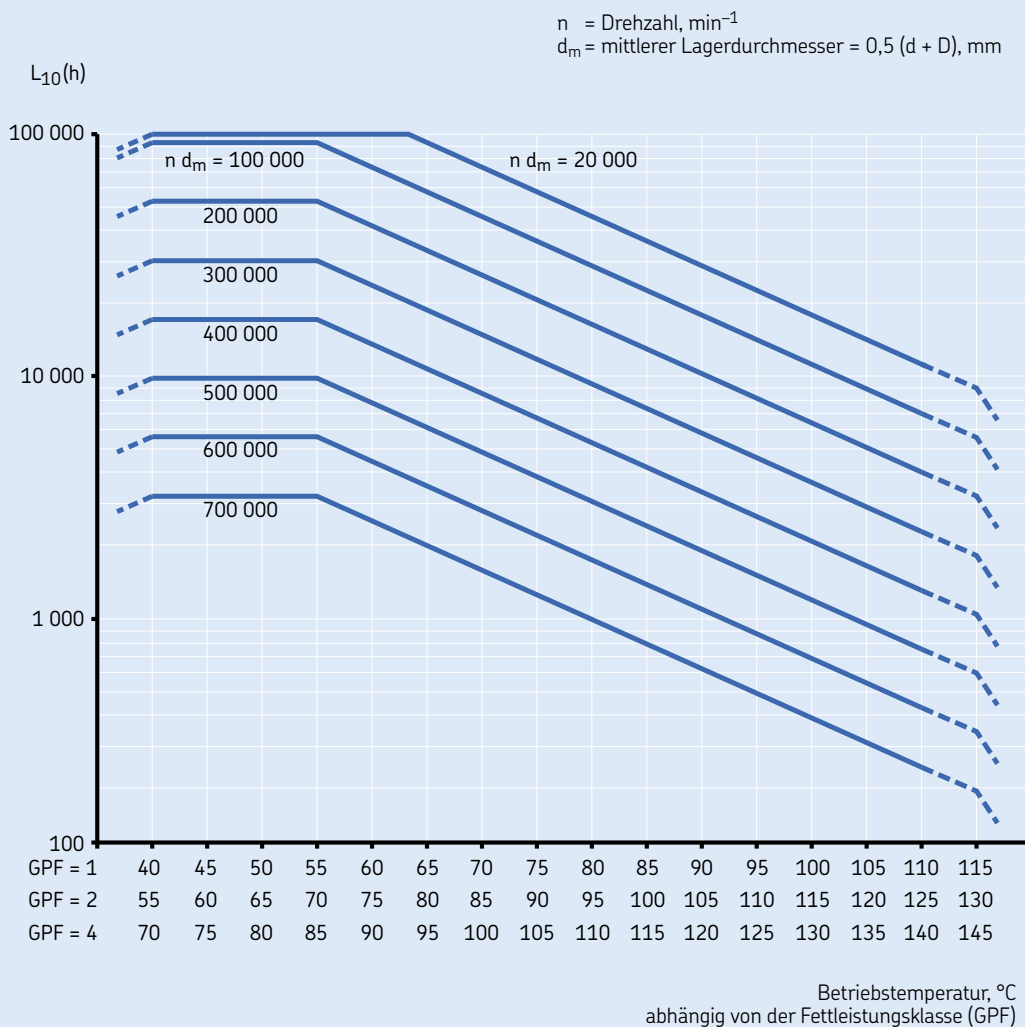
Wenn die erforderliche Fettgebrauchsdauer mit einem SKF Standardschmierfett nicht erreicht werden kann, kann ein Spezialfett von SKF einer höheren Fettleistungsklasse verwendet werden. Die Fettgebrauchsdauer hängt jedoch auch von der Belastung des Lagers ab. Die aus **Diagramm 4** ermittelten Werte gelten für ein Belastungsverhältnis $C/P = 15$. Für höhere Belastungen muss die Fettgebrauchsdauer angepasst werden.

Tabelle 7 enthält Werte für Reduktionsfaktoren. Fettleistungsklassen für eine Auswahl von SKF Schmierfetten sind in **Tabelle 6** aufgeführt.

Es ist allerdings zu beachten, dass die Fettleistungsklasse nur für die angegebenen Temperatur- und Drehzahlbereiche des

Diagramm 4

L_{10} -Fettgebrauchsdauer in Betriebsstunden in Abhängigkeit von Drehzahlkennwert ($n d_m$), Temperatur und Fettleistungsklasse (GPF = 1, 2, bzw. 4)



4 Schmierung und Abdichtung

Fettgebrauchsdauer in abgedichteten Lagern

betreffenden Schmierfette gilt (→ **Tabelle 1**, **Seite 62** bzw. **Tabelle 6**). Schmierfette einer Fettleistungsklasse besser als 1 haben zwar einen Vorteil bei höheren Temperaturen, können jedoch bei niedrigeren Temperaturen möglicherweise nicht genügend Öl abgeben. Deshalb sollen alle Fette nur innerhalb des in **Diagramm 4** angegebenen Temperaturbereichs für die jeweilige Fettleistungsklasse verwendet werden.

Rillenkugellager

Diagramm 4 gilt für Rillenkugellager mit Deckscheiben aus Stahl und Metallkäfig. Es gilt für Lager, die unter den sauberen Bedingungen in einer SKF Produktionseinrichtung mit der normalen Menge eines Standardfetts gefüllt und abgedichtet wurden.

Die Fettgebrauchsdauer wird als L_{10} angegeben. Das ist die Zeit, nach der aus einer größeren Gesamtheit gleicher Lager 90 % noch zuverlässig geschmiert sind.

Das Diagramm der Fettgebrauchsdauer bietet die Möglichkeit, die Lebensdauer von Spezialfetten der Fettleistungsklassen 2 oder 4 zu bewerten, indem die entsprechenden Temperaturskalen auf der horizontalen Achse von **Diagramm 4** verwendet werden.

Wenn die Fettgebrauchsdauer für Rillenkugellager mit anderen Abdichtungen oder Käfigen oder für andere, spezielle Lagerausführungen berechnet werden soll, wenden Sie sich bitte an den Technischen Beratungsservice von SKF.

*Fettleistungsklassen
für ausgewählte SKF
Standardschmierfette*

Tabelle 6

Fettleistungsklassen für Fette
in werkseitig fettgefüllten SKF Lagern

Fettleistungsklasse	Fett-Nachsetzzeichen	Max. Drehzahl- kennwert $n \cdot d_m$
GPF = 1	Kein Nachsetzzeichen	500 000
GPF = 1	MT47, MT33	500 000
GPF = 1	LT	700 000
GPF = 2	GJN, LHT23, HT	500 000
GPF = 4	WT	700 000

*Fettgebrauchsdauer in
abgedichteten
Rillenkugellagern –
Reduktionsfaktoren
für höhere
Belastungen*

Tabelle 7

Reduktionsfaktoren für die Fettgebrauchsdauer
in Abhängigkeit der Belastung

Belastungs- verhältnis C/P	Reduktions- faktor
15	1,0
10	0,7
8	0,5
4	0,2

Ölschmierung

Ölschmierung wird immer dann gewählt, wenn die Verwendung von Schmierfett auf Grund von Drehzahlen oder Betriebstemperaturen unpraktisch oder unmöglich ist. Bei Anwendungsfällen mit hohen Betriebstemperaturen wird Ölumlaufschmierung verwendet, um Wärme abzuführen. Ölumlaufschmierung kann auch verwendet werden, um Verunreinigungen auszuspülen und auszufiltern.

Ölschmierung erfordert technisch aufwändigere Abdichtungen und kann die Gefahr von Undichtigkeiten mit einschließen.

Im Allgemeinen werden nur große Elektromotoren und Generatoren ölschmiert.

Ölbadschmierung

Für große elektrische Maschinen hat SKF ein Sortiment von Flanschlagergehäusen mit den entsprechenden Wälzlagern entwickelt (→ **Bild 6**).

Diese neuen Gehäuse haben in der Regel Ölbadschmierung und können mit einem Ölstandswächter ausgerüstet werden, mit dem der richtige Ölstand in den Lagern konstant gehalten werden kann. Bei stillstehendem Lager soll der Ölstand nicht ganz die Mitte des untersten Wälzkörpers erreichen (→ Abschnitt "Große und sehr große elektrische Maschinen" auf **Seiten 109 und 110**).

Ölumlaufschmierung

Bei besonders hohen Betriebstemperaturen kann eine Ölumlaufschmierung verwendet werden, um Wärme abzuführen. Diese Systeme haben in der Regel ein Filtersystem, das Verunreinigungen entfernt, wodurch die Gebrauchsdauer des Schmierstoffs und die Lebensdauer der Lager verlängert wird.

Wahl des Schmieröls

Für die Auswahl eines Schmieröls ist in erster Linie die kinematische Viskosität maßgebend, die für eine ausreichende Schmierung des Lagers bei Betriebstemperatur benötigt wird. Die Viskosität von Schmierölen ist temperaturabhängig. Das Viskositäts-Temperatur-Verhalten ist durch den Viskositätsindex VI gekennzeichnet. Für die Wälzlagerschmierung werden Öle mit einem Viskositätsindex von mindestens 85 empfohlen.

Damit sich ein ausreichend tragfähiger Schmierfilm an den Berührungsflächen zwischen Wälzkörpern und Laufbahnen ausbilden kann, muss das Öl bei Betriebstempera-

tur eine bestimmte Mindestviskosität aufweisen. Die für eine ausreichende Schmierung erforderliche kinematische Viskosität kann für Mineralöle aus **Diagramm 5** bestimmt werden. Wenn die Betriebstemperatur auf Grund von Erfahrungs- oder Simulationswerten bekannt ist, lässt sich für das erforderliche Öl aus **Diagramm 6** die entsprechende ISO Viskositätsklasse bei der Referenztemperatur von 40 °C ermitteln. Dem Diagramm liegt ein Viskositätsindex von 95 zugrunde.

Ölwechsel

In welchen Zeitabständen ein Ölwechsel vorgenommen werden muss, hängt hauptsächlich von den Betriebsbedingungen und der Ölmenge ab.

*Flanschlagergehäuse
mit CARB Toroidal-
Rollenlager*

Bild 6

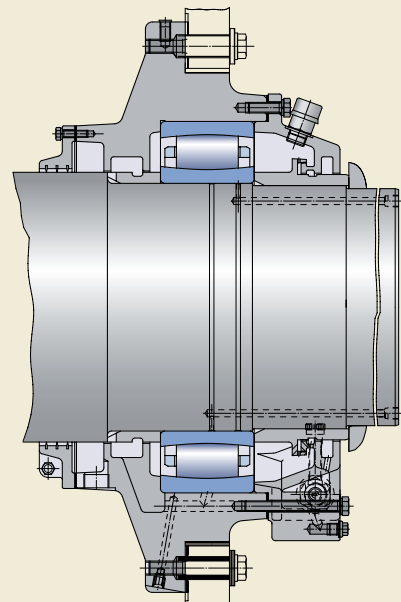


Diagramm 5

Richtwerte für die erforderliche Mindestviskosität v_1 bei Betriebstemperatur

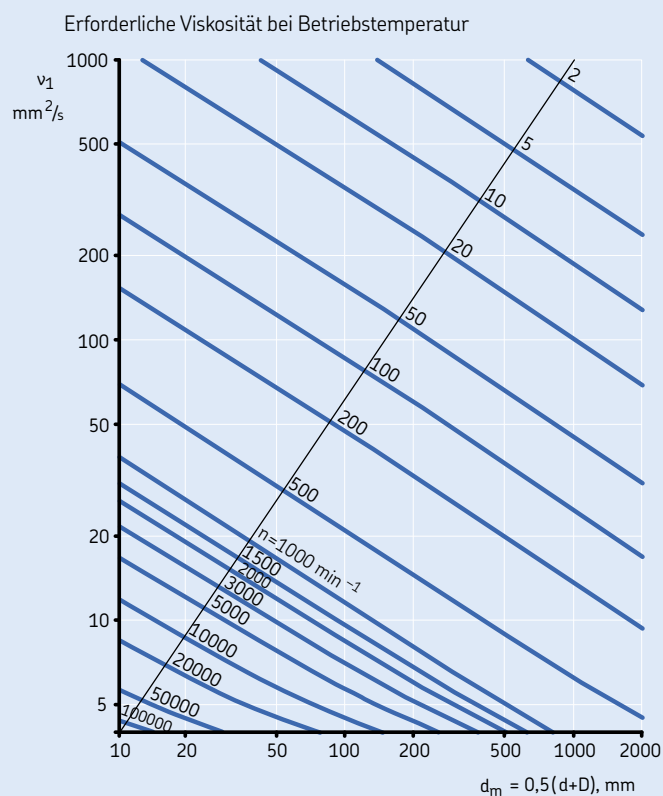
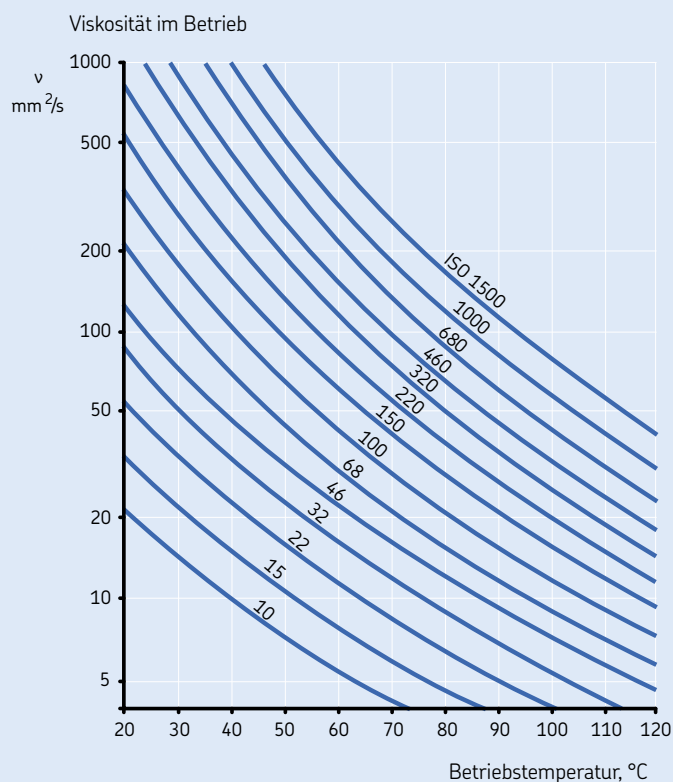


Diagramm 6

Richtwerte für die erforderliche Viskosität v im Betrieb



Dichtungen

Dichtungen sollen zum einen den Innenraum des Geräts schützen, indem sie den Schmierstoff im Lager zurückhalten und zum anderen die Lager vor äußeren Verunreinigungen wie Schmutzpartikeln oder Feuchtigkeit schützen. Welche Dichtungsart für einen Anwendungsfall geeignet ist, hängt sowohl von den Betriebs- als auch von den Umgebungsbedingungen ab. Zu den Faktoren gehören

- Art der Schmierung
- Gleitgeschwindigkeit der Dichtfläche
- Wellenanordnung: waagrecht oder senkrecht
- Grad der Schiefstellung der Welle.

Zu den Umgebungsbedingungen gehören ferner

- Vorhandensein von Chemikalien oder Wasser
- Temperaturverhältnisse
- mechanische Faktoren

die sich auf die Dichtungsleistung auswirken können. Bei Dichtungen ist zwischen äußeren Dichtungen und Dichtungen, die im Lager integriert sind, zu unterscheiden.

Äußere Dichtungen

SKF bietet eine große Auswahl an Dichtungen an. Dazu gehören

- Radial-Wellendichtringe
- V-Ring-Dichtungen
- Gleitringdichtungen.

Diese und andere äußere Abdichtungslösungen sind im Katalog 4006 "CR Dichtungen" oder im interaktiven SKF Lagerungskatalog

näher beschrieben. **Bild 7** zeigt ein Beispiel einer äußeren Dichtung.

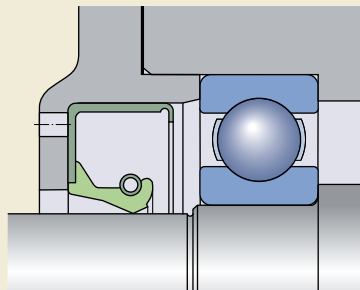
Dichtungen im Lager – abgedichtete Rillenkugellager

Für Rillenkugellager bietet SKF drei verschiedene Dichtungs Ausführungen an. Welche Ausführung zu wählen ist, hängt ab von Anwendungsfall, Lagergröße und Lagerreihe. Aktuelle Informationen zur Verfügbarkeit aller gewünschten Dichtungs Ausführungen erhalten Sie von Ihrem SKF Ansprechpartner.

Die drei Standard Dichtungs Ausführungen sind:

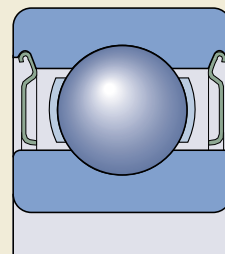
- Deckscheiben 2Z aus Stahl (→ **Bild 8**): Typische Anwendungsfälle sind Katalogmotoren, die nur begrenzte Anforderungen hinsichtlich Staub- und Wasserschutz stellen, jedoch eine reibungsfreie Abdichtung verlangen.
- Reibungsarme Dichtscheiben 2RSL (erhältlich bis zu einem Außendurchmesser von 52 mm, → **Bild 9a**) und 2RZ (→ **Bild 9b**): Typische Anwendungsfälle für diese Dichtungen sind Motoren mit niedrigem Drehmoment, schnell laufende Motoren und Gleichstrommaschinen. Diese Dichtungen zeichnen sich durch eine gute Abdichtung und ein gutes Fettrückhaltevermögen aus, ohne sich auf die Drehzahlgrenzen des Lagers auszuwirken.
- Berührungsdichtungen 2RSH (erhältlich bis zu einem Außendurchmesser von 52 mm, → **Bild 10a**) und 2RS1 (→ **Bild 10b**): Typische Anwendungsfälle sind offene Motoren, Gleichstrommaschinen und Getriebemotoren.

Bild 7



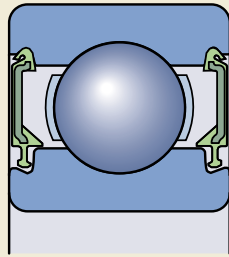
Äußere Dichtung

Bild 8

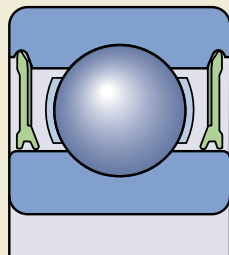


Lager mit
Deckscheiben
aus Stahl – 2Z

Bild 9



a



b

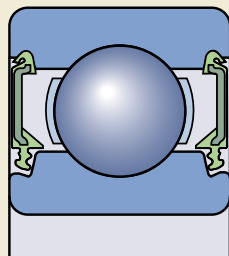
- a) Lager mit reibungsarmen RSL-Dichtscheiben
- b) Lager mit reibungsarmen RZ-Dichtscheiben

Werkstoffe für Dichtungen

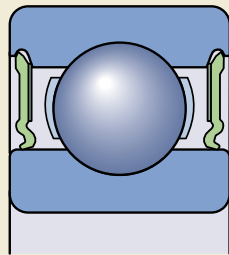
Es gibt eine Vielzahl von Dichtungswerkstoffen, um spezifische Anwendungsanforderungen wie Betriebstemperatur und Verträglichkeit gegenüber Schmierfetten, -ölen und anderen Medien zu erfüllen.

Die Standarddichtung für ein SKF Rillenkugellager wird aus Acrylnitril-Butadien-Kautschuk (NBR) hergestellt. Dieser Dichtungswerkstoff ist beständig gegenüber Schmierfett, -öl und anderen Maschinenflüssigkeiten. Dichtungen aus diesem Werkstoff können bei Betriebstemperaturen von -40 bis $+100$ °C eingesetzt werden, kurzzeitig sind Temperaturen bis 120 °C zulässig. Ein anderer, verbreiteter Dichtungswerkstoff für aggressive (chemische) Umgebungen und Anwendungsfälle mit hohen Temperaturen ist Fluor-Kautschuk (FKM), der auch unter dem Markennamen Viton vertrieben wird. Fluor-Kautschuk kann bei Betriebstemperaturen von -30 bis $+180$ °C eingesetzt werden.

Bild 10



a



b

- a) Lager mit berührenden RSH-Dichtscheiben
- b) Lager mit berührenden RS1-Dichtscheiben

5 Einbau und Ausbau

77 Einbau

85 Ausbau



Einbau und Ausbau

Wälzlager sind Präzisionsprodukte, die beim Einbau mit Sorgfalt zu behandeln sind, wenn sie einwandfrei funktionieren sollen.

Viele verschiedene Faktoren, wie falsche Montagetechniken oder -verfahren, schmutzige Hände oder Werkzeuge, verunreinigtes Schmierfett oder -öl, können einen Lagerschaden verursachen. Unabhängig von der Qualität des Lagers oder der Dichtung, können diese Faktoren schnell zu einem Lagerausfall führen.

Einbau

Vorbereitungen für den Einbau

Eine saubere Arbeitsumgebung, die richtigen Montageverfahren und geeignete Werkzeuge sind entscheidende Elemente für einen erfolgreichen Lagereinbau. Die Montageumgebung muss absolut sauber sein und frei von Verunreinigungen oder korrosiven Flüssigkeiten, die das Lager beschädigen könnten. Verunreinigungen sind neben Metallpartikeln auch Sägemehl, Sand oder Zement. Wenn die Montage unterbrochen werden muss, sollte das Lager sofort geschützt werden, so dass kein Staub oder Schmutz in das Lager eindringen kann (→ Bild 1, Seite 78).

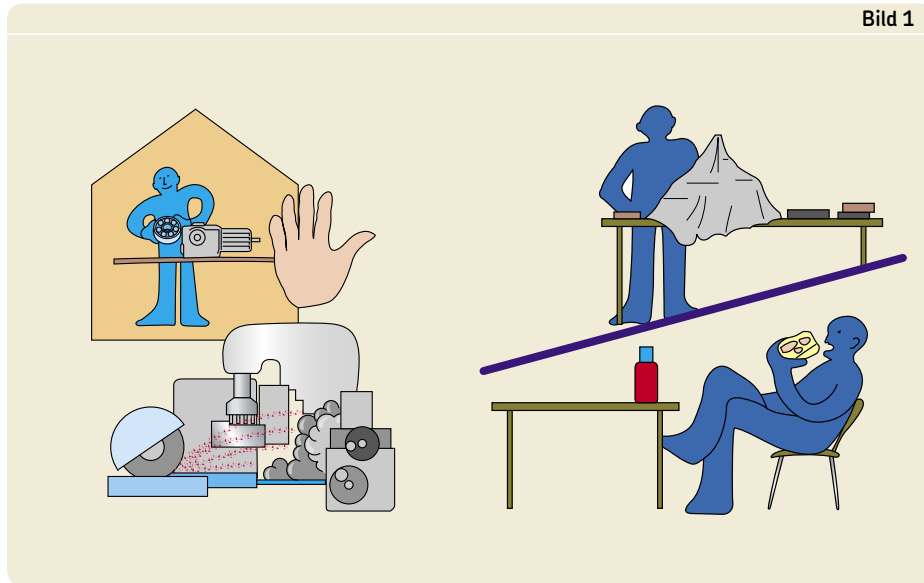


Bild 1

Überprüfen von Welle und Gehäuse

Vor einem Einbau sind stets Wellen- und Gehäusesitze auf eventuelle Beschädigungen zu kontrollieren (→ **Bild 2**). Ferner ist sicherzustellen, dass Maß- und Formgenauigkeit der Lagersitze den Spezifikationen bzw. den entsprechenden SKF Empfehlungen genügen (→ **Kapitel 3** "Toleranzen und Passungen", ab **Seite 51**).

Messmethode

Maßgenauigkeit und Zylinderform der Wellen- und Gehäusesitze können mit Innen- und Bügelmessschrauben geprüft werden, indem die Durchmesser in zwei Querschnitten und jeweils vier Ebenen gemessen werden. Um die Sitze genau zu überprüfen, müssen die in **Bild 3** angegebenen Messungen vorgenommen werden.

Wenn beispielsweise eine Welle mit einem Durchmesser von 40 mm eine Toleranz von k6 hat, darf der maximale Durchmesser 40,018 mm betragen. Für eine Toleranz von IT6 oder 0,016 ergibt sich der kleinste Durchmesser von 40,002 mm, wobei die Zylinderformtoleranz innerhalb von IT5/2 liegen muss.

Die Wellen- und Gehäusesitze müssen auf Geradheit und Anlageflächen auf Rechtwinkligkeit kontrolliert werden. Dazu können Lineale und Messuhren verwendet werden. Wenn zu vermuten ist, dass die Radial- oder Axialschläge nicht den Vorgaben entsprechen, sollten sie ebenfalls überprüft werden.

Überprüfen Sie Spezifikationen in den Montagezeichnungen. Zeichnen Sie die Messergebnisse für zukünftige Vergleiche auf.

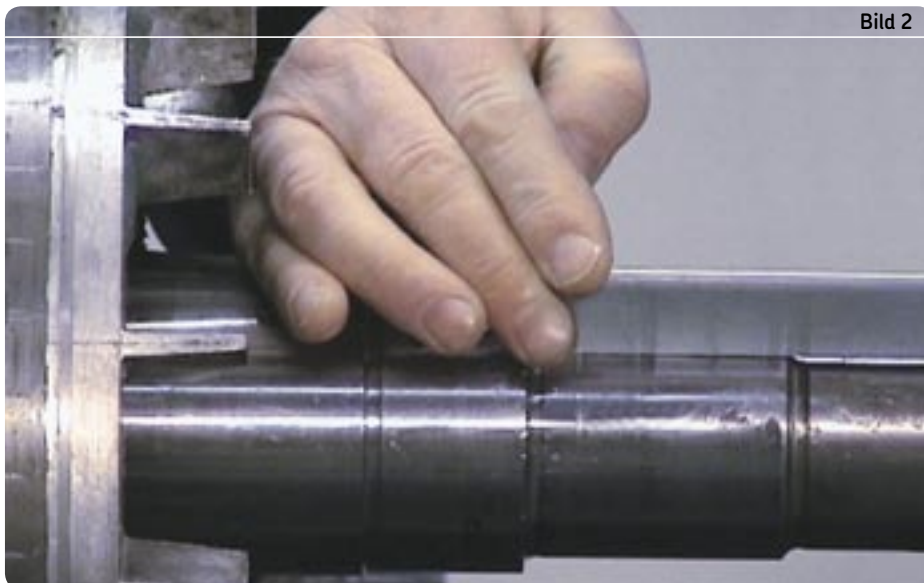
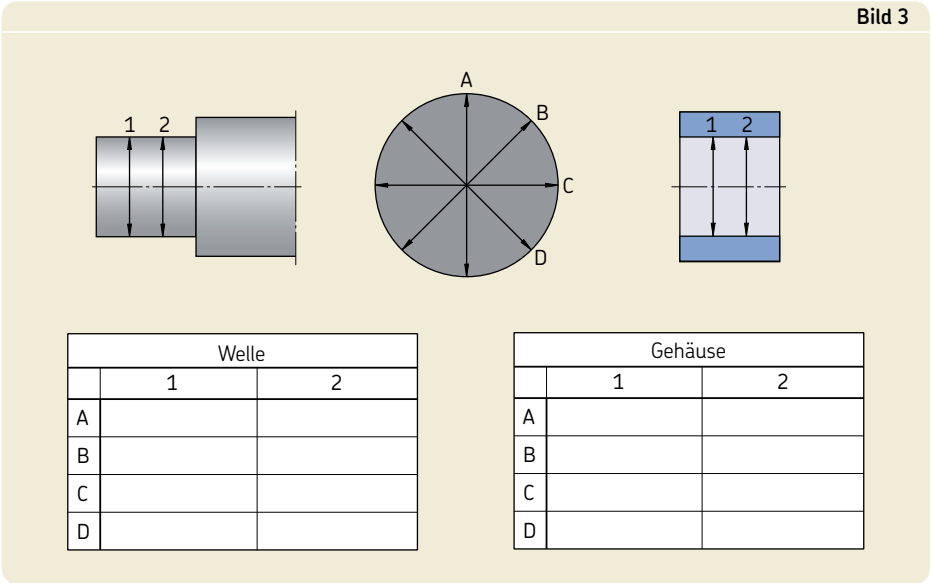


Bild 2

Überprüfen der Welle

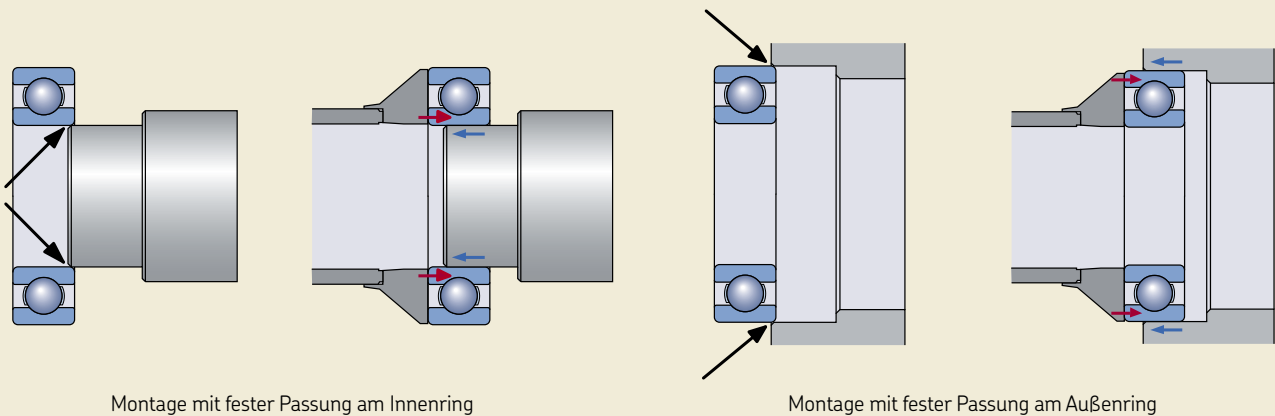
Bild 3



Umgang mit Lagern

Neue SKF Lager sind durch ihre Verpackung gut geschützt. Sie sollten erst unmittelbar vor der Montage aus der Verpackung genommen werden.

Alle Oberflächen eines neuen Lagers sind mit einem Korrosionsschutzmittel konserviert, dass nur entfernt werden sollte, wenn es sich nicht mit dem zu verwendenden Schmierstoff verträgt. Wenn Korrosionsschutzmittel und Schmierstoff sich nicht vertragen, sollte das Lager ausgewaschen und sorgfältig getrocknet werden.



Das richtige Verfahren für den mechanischen Einbau von Lagern mit einer festen Passung

Mechanischer Einbau

Lager bis etwa 100 mm Bohrungsdurchmesser können ohne Erwärmen auf der Welle montiert werden. Der mechanische Einbau eines Lagers ist nicht schwierig und hat keine Auswirkungen auf die Lagerlebensdauer, wenn der Einbau ordnungsgemäß und mit den richtigen Werkzeugen erfolgt.

Geeignetes Verfahren

Vor einem mechanischen Einbau wird der Lagersitz mit einem dünnflüssigen Öl bestreichen. Dann wird das Lager behutsam an der Welle ausgerichtet. Daraufhin wird das Montagewerkzeug angesetzt und auf den Lagering mit der festen Passung die entsprechende Einbaukraft ausgeübt (→ Bild 4).

Wird die Einbaukraft auf den anderen Ring ausgeübt, wird sie über die Wälzkörper

übertragen und beschädigt so das Lager. Die Lagerlebensdauer wird dadurch erheblich reduziert.

Geeignete Werkzeuge

Kleinere Lager mit einem Bohrungsdurchmesser bis 50 mm lassen sich am besten mit den SKF Einbauwerkzeugen TMFT montieren (→ Bilder 5 und 6).

Mittelgroße Lager mit einem Bohrungsdurchmesser bis 100 mm werden normalerweise mit mechanischen oder hydraulischen Pressen im kalten Zustand montiert. Dazu muss zwischen dem Pressenstempel und dem Lagering, der mit fester Passung montiert werden soll, eine Montagehülse eingesetzt werden (→ Bild 7).

Geeignete Werkzeuge für den mechanischen Einbau – Wälzlager-Einbauwerkzeuge TMFT von SKF, Bilder 5 und 6

Mechanischer Einbau mit einer Presse

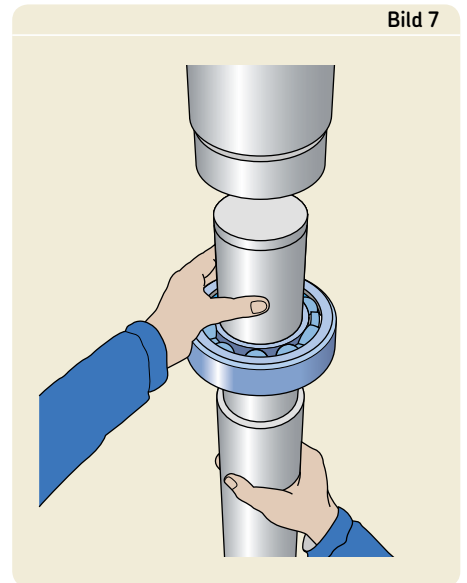
Bild 5



Bild 6



Bild 7



5 Einbau und Ausbau

Einbau

Elektrische
Anwärmplatte



Bild 8

Einbau im angewärmten Zustand

Die zum Lagereinbau erforderliche Kraft nimmt mit der Lagergröße schnell zu. Wegen der hohen erforderlichen Einbaukraft können größere Lager nicht ohne weiteres auf eine Welle oder in ein Gehäuse gepresst werden. Deshalb muss bei einer festen Passung zwischen Lager und Welle das Lager zuerst angewärmt werden. Bei einer festen Passung zwischen Lager und Gehäuse sollte das Gehäuse angewärmt werden.

Die erforderliche Temperaturdifferenz zwischen dem Lager und seinem Sitz hängt von der vorgesehenen Passung und der Größe des Lagers ab.

Im Allgemeinen können Lager, die um 80 bis 90 °C wärmer sind als die Welle, problemlos eingebaut werden. Lager dürfen keinesfalls auf Temperaturen über 125 °C erwärmt werden. Eine übermäßige Erwärmung kann zu Gefügeänderungen im Werkstoff und damit zu Maßänderungen führen. Auch örtliche Überhitzungen sind zu vermeiden.

Beim Einbau eines angewärmten Lagers sind saubere Schutzhandschuhe zu tragen. Hebevorrichtungen und Anschlagmittel können den Einbau erleichtern. Das Lager ist bis zur Anlagefläche auf die Welle zu schieben und fest dagegen zu drücken. Das Lager muss solange gegen die Anlagefläche gedrückt werden, bis es sich abkühlt und fest auf dem Lagersitz sitzt.

Geeignete Werkzeuge

SKF bietet ein komplettes Sortiment an Anwärmgeräten, wie elektrische Anwärmplatten und Induktions-Anwärmgeräte. Für kleinere Lagergrößen kann eine elektrische Anwärmplatte (→ Bild 8) mit regulierbaren

Bild 9



Induktions-
Anwärmgerät

Thermostat und Deckel verwendet werden. Bei mittelgroßen und größeren Lagern kann ein Induktions-Anwärmgerät (→ Bild 9) benutzt werden. Induktions-Anwärmgeräte sind besonders einfach in der Anwendung, da sie normalerweise mit Temperaturregelung und automatischer Entmagnetisierung ausgestattet sind.

Wenn für ein Lager eine feste Passung im Gehäuse benötigt wird, ist ein Anwärmen des Gehäuses zweckmäßig. Im Allgemeinen genügt eine mäßige Temperaturerhöhung von 20 bis 50 °C, da normalerweise eine nicht so feste Passung erforderlich ist. Eine andere Möglichkeit ist das Kühlen des Lagers vor dem Einbau in das Gehäuse.

Achtung!

- Lager dürfen niemals mit offener Flamme angewärmt werden.
- Abgedichtete Lager (mit Berührungsdichtungen oder Deckscheiben) dürfen nicht über 80 °C erwärmt werden, weil die Schmierfettfüllung oder die Dichtung beschädigt werden könnten.

Allgemeine Regeln für den Einbau

Beim Einbau von Lagern sind verschiedene Aspekte zu beachten. Hier einige grundsätzlichen Punkte:

- Halten Sie das Lager sauber.
- Das Lager ist vorsichtig zu behandeln.
- Stellen Sie sicher, dass das Lager rechtwinklig auf der Welle montiert wird.
- Die Einbaukraft muss stets auf den richtigen Ring einwirken.

Selbsthaltende Lager

Zu den selbsthaltenden Lagerarten, die in Elektromotoren verwendet werden, gehören Rillenkugellager, einreihige Schrägkugellager, CARB Toroidal-Rollenlager und Pendelrollenlager.

Wenn für den Innenring eine feste Passung erforderlich ist, ist das Lager zuerst auf der Welle zu montieren. Anschließend wird die Welle mit Lager vorsichtig in das Gehäuse eingebaut (→ **Bild 10a**).

INCOAT- und Hybrid-Rillenkugellager werden genauso eingebaut wie die Grundausführungen der entsprechenden Lager.

Wenn ein CARB Lager mit fester Passung auf eine Welle montiert wird, ist ein Werkzeug zu verwenden, das sowohl den Innen- als auch den Außenring stützt (→ **Bild 10b**).

Nicht selbsthaltende Lager

Zylinderrollenlager sind die einzigen nicht selbsthaltenden Radiallager, die in Elektromotoren verwendet werden (→ **Bild 11**). Da diese Lager in der Regel sowohl auf der Welle als auch im Gehäuse mit fester Passung eingebaut werden, werden die Ringe normalerweise getrennt voneinander montiert.

Bei einreihigen Zylinderrollenlagern werden die Rollen an einem der beiden Lagerringe zwischen festen Borden geführt. Der Lagerring mit den festen Borden und dem Rollensatz kann vom anderen, dem freien Lagerring, abgezogen werden. Dadurch wird der Einbau wesentlich erleichtert. Der freie Lagerring wird zuerst montiert.

Für den Einbau des Innenrings eines Zylinderrollenlagers wird eventuell ein Induktions-Anwärmgerät benötigt. Der Außenring wird in der Regel einfach in das Gehäuse gepresst.

Käfig- und Rollensatz des Rings mit den festen Borden sind zu schmieren. Es ist sicherzustellen, dass der Schmierstoff auch die Laufbahn erreicht. Auch die Laufbahn des freien Rings ist zu schmieren.

Beim Zusammenbau ist besonders darauf zu achten, dass der Ring mit Rollensatz und der freie Lagerring nicht verkantet werden. Wenn ein Lagerteil schräg eingebaut wird, kann es schnell zu Beschädigungen an Ringen oder Rollen kommen, besonders wenn Rollen oder Laufbahnen nicht geschmiert sind. Um dies zu vermeiden, empfiehlt sich die Verwendung einer Führungshülse (→ **Bild 11**). Damit die Rollen beim Einbau die Laufbahn des freien Rings möglichst nicht verkratzen, müssen die Ringe beim Einbau gegeneinander gedreht werden.

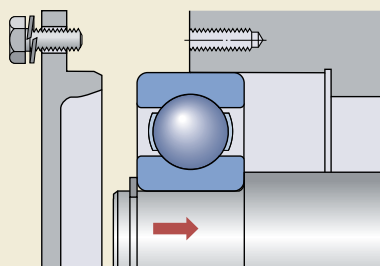
Prüfen der Ausrichtung

Damit ein Zylinderrollenlager seine maximale Lebensdauer erreichen kann, sollten Fluchtungsfehler zwischen Welle und Gehäuse vermieden werden.

Bei größeren Lagern kann die Ausrichtung zwischen Innen- und Außenring mit dem in **Bild 12** dargestellten Messgerät kontrolliert werden.

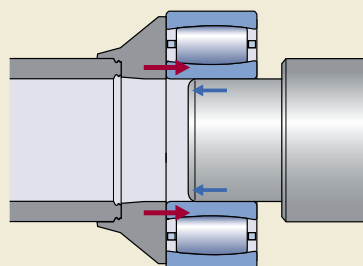
Einbau selbsthaltender Lager

Bild 10



a

Selbsthaltende Lager mit fester Passung am Innenring werden zuerst auf der Welle montiert. Anschließend wird die Welle mit Lager vorsichtig in das Gehäuse oder den Motordeckel eingebaut.

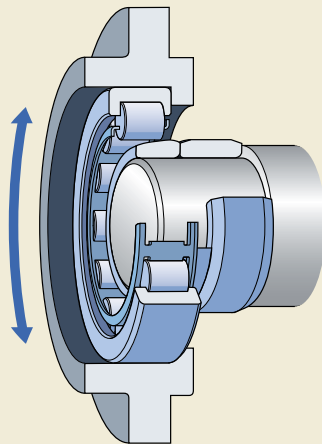


b

Beim Einbau eines CARB Toroidal-Rollenlagers mit fester Passung auf der Welle sollten beide Lagerringe gestützt werden.

Bild 11

*Einbau nicht
selbsthaltender Lager*



Laufbahnen und Rollen
schmieren. Eine Führungs-
hülse verwenden. Beim
Einbau die Ringe gegen-
einander drehen.

werden, sobald Lager und Welle ordnungsge-
mäß im Gehäuse eingebaut sind. Das Gerät
besteht aus einer Messuhr, die an einem
Stahlsegment angebracht ist. Das Stahlseg-
ment ist mit zwei Stellschrauben zur Höhen-
regulierung versehen und bietet damit zwei
feste Kontaktpunkte mit der Welle. Das Stahl-
segment wird gegen die Seitenfläche des
Innenrings und auf die Welle gedrückt. Die
Messuhr wird gegen die Seitenfläche des
Lageraußenrings gerichtet.

Der Fluchtungsfehler ergibt sich durch
Messung von zwei um 180° versetzten Punk-
ten auf der Seitenfläche des Außenrings, die
die maximale Abweichung d_x ergeben. Der
Fluchtungsfehler lässt sich berechnen aus

$$\beta = 3\,438 \, d_x / D$$

Hierin sind

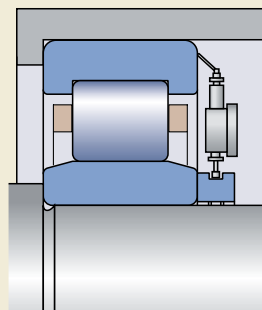
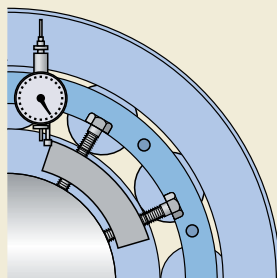
β der Fluchtungsfehler in Bogenminuten

d_x die maximale Abweichung, mm

D der Außendurchmesser des Lagers, mm

Der zulässige Höchstwert für den Fluchtungs-
fehler β beträgt 4 Bogenminuten.

Bild 12



*Messgerät für das
Prüfen der Ausrichtung*

Lagerschmierung

Fettgeschmierte, nicht abgedichtete Lager müssen nach der Montage auf den Rotor geschmiert werden (→ **Bild 13**).

- Bei Zylinderrollenlagern sollte der freie Raum zwischen Käfig- und Rollensatz direkt nach dem Einbau gefüllt werden. Auch die Laufbahn des freien Rings muss direkt nach dem Einbau geschmiert werden. Erst dann sollte das Lager zusammengesetzt werden.
- Selbsthaltende Lager werden wegen Platzmangels von vorne mit Schmierfett gefüllt. Dazu sollte beispielsweise eine SKF Schmierpresse verwendet werden. Es muss sichergestellt werden, dass das Fett den gesamten freien Raum im Lager ausfüllt.
- Der freie Raum im Gehäuse darf nicht vollständig gefüllt werden. Das Schmierfett sollte höchstens 30–50 % des freien Gehäusevolumens füllen.
- Das Schmierfett darf nicht verunreinigt sein.
- Bei ölgeschmierten Lagern ist das Gehäuse mit frischem, sauberem Öl zu füllen.

Weitere Informationen bezüglich Lagereinbau

Weitere Informationen über den Einbau von Lagern enthalten der SKF Hauptkatalog oder der interaktive SKF Lagerungskatalog auf CD-ROM oder online unter www.skf.com. Auch das SKF Service-Handbuch enthält weitere Informationen. Informationen über den Einbau einzelner bestimmter Lager können online über www.skf.com/mount abgerufen werden.

Nach dem Einbau

Wenn der Motor nach dem Zusammenbau getestet werden soll, sollte der Rotor nur so stark belastet werden, dass die Lager nicht beschädigt werden (→ **Bild 14**).

Nur Rillenkugellager können ohne äußere Belastung betrieben werden, wenn die Lager axial federvorgespannt sind.

Für eine Abschlussprüfung der Motorgruppe und vor allem des Schwingungsniveaus empfiehlt SKF die Verwendung von Zustandsüberwachungsgeräten von SKF (→ **Bild 15**).



Bild 13

Schmieren eines Lagers



Bild 14

Testen eines Motors



Bild 15

Das Schwingungsniveau kann mit Zustandsüberwachungsgeräten von SKF geprüft werden

5 Einbau und Ausbau

Ausbau

Die Welle und die Lager vor dem Transport festlegen



Bild 16

Den Motor verpacken



Bild 17

Vor einem Transport muss die Welle radial und axial gesichert werden (→ **Bild 16**). Eine solche Vorkehrung ist erforderlich, um Bewegungen zwischen Wälzkörpern und Laufbahnen im Innern der Lager zu vermeiden. Andernfalls könnten Schwingungen während des Transports Schäden verursachen.

Zum Schutz auf dem Transport ist der Motor sorgfältig zu verpacken (→ **Bild 17**).

Ausbau

Beim Ausbau von Lagern sind mehrere Punkte zu beachten:

1. Machen Sie sich anhand der Montagezeichnungen mit der Lageranordnung vertraut und stellen Sie sicher, dass die passenden Werkzeuge für den Ausbau vorhanden sind.
2. Entnehmen Sie den Unterlagen den Grund für die Instandsetzung.
3. Untersuchen Sie den Motor vor dem eigentlichen Ausbau auf Anzeichen von Defekten, wie beispielsweise Lecks, Funkenschlag oder gebrochene Rippen.
4. Reinigen Sie den Motor von außen, und stellen Sie sicher, dass der Arbeitsbereich sauber ist.
5. Zerlegen Sie den Motor, ohne dabei schon die Lager auszubauen.
6. Untersuchen Sie die Lager und Abdichtungen auf Verschleiß und Schäden.

Der Ausbau unbeschädigter Lager sollte nach Möglichkeit vermieden werden, da ein unzweckmäßiger Ausbau Schäden im Innern des Lagers verursachen kann. Wenn ein Ausbau erforderlich ist, sollten die Lager anschließend verpackt werden, um Verunreinigungen zu vermeiden. Es ist einfacher, Lager vor einer Verunreinigung zu schützen, als sie zu reinigen. Viele Lager können nicht zerlegt werden, so dass sie nur schwer gereinigt werden können.

7. Auch wenn ein Lager ausgetauscht werden muss, sollte beim Ausbau mit größter Vorsicht vorgegangen werden, um eine weitere Beschädigung des Lagers und der angrenzenden Teile zu vermeiden. Wenn das Lager beschädigt ist, sollte es untersucht werden, um die Fehlerursache festzustellen, damit durch Korrekturmaßnahmen eine Wiederholung vermieden werden kann.
8. Beim Ausbau eines unbeschädigten Lagers ist seine Ausrichtung und Position auf der Welle zu markieren. Es ist sicherzustellen, dass die Welle oder das Gehäuse beim Ausbau richtig unterstützt werden. Bei einem unsachgemäßen Ausbau können Laufbahnen und Wälzkörper leicht beschädigt und somit die Lebensdauer des Lagers verkürzt werden.

Ein unbeschädigtes Lager sollte genau in der Ausrichtung und Position, die es vor dem Ausbau hatte, wieder eingebaut werden.

5 Einbau und Ausbau Ausbau

Normaler Hakenabzieher



Bild 18

Ausbauverfahren

Beim Ausbaus eines Lagers muss die Kraft auf den Ring ausgeübt werden, der bewegt werden soll, d.h. den Ring mit der festen Passung.

Für Lager in Elektromotoren gibt es vier Ausbauverfahren:

- Mit einem mechanischen Abzieher.
- Mit einem hydraulischen Abzieher.
- Mit einer Presse.
- Mit einem Anwärmgerät.

Welches Verfahren angewendet wird, hängt von der Größe des Lagers ab. Bei kleineren Lagern kann ein mechanischer Lagerabzieher verwendet werden. Bei mittelgroßen und großen Lagern muss eventuell ein hydraulischer Abzieher benutzt werden.

Das Anwärmen empfiehlt sich beim Ausbau des Innenrings von Zylinderrollenlagern.



Bild 19

Mechanischer Hakenabzieher mit gefederten Schenkeln

Ausbauwerkzeuge

Die Auswahl der richtigen Ausbauwerkzeuge ist von entscheidender Bedeutung. Für einen erfolgreichen Ausbau sollte stets das für den betreffenden Fall am besten geeignete Werkzeug verwendet werden.

Mechanische Abzieher

Kleine und mittelgroße Lager mit fester Passung auf der Welle können mit einem gewöhnlichen Abzieher ausgebaut werden (→ Bild 18). Um die Gefahr einer Beschädigung des Lagers und/oder des Lagersitzes durch ungleichmäßigen Druck beim Ausbau zu vermeiden, sollten stets selbstzentrierende Abzieher verwendet werden. Daher empfiehlt SKF für einen sicheren und problemlosen Ausbau die Verwendung eines Lagerabziehers der Reihe TMMA. Diese Abzieher sind selbstzentrierend, und der einzigartige Federmechanismus der Schenkel vereinfacht den Ausbavorgang (→ Bild 19).

Wann immer möglich, sollte der Abzieher am Innenring ansetzen. Dies ist einfach, wenn die Welle mit Nuten zum Ansetzen der Abzieherschenkel versehen ist (→ Bild 20). Das Lager ist mit gleichmäßiger Kraft abzuziehen, bis es komplett vom Sitz gelöst ist.

Wenn der Innenring nicht mit normalen Hakenabziehern erreicht werden kann, kann zum Lagerausbau ein Abzieher mit Trennstück verwendet werden (→ Bild 21). Dabei ist jedoch zu beachten, dass ein Abzieher mit Trennstück ausreichend freien Raum hinter dem Lager benötigt.

Wenn es nicht möglich ist, Kraft über den Innenring aufzubringen, kann das Lager über den Außenring ausgebaut werden. SKF rät von der Wiederverwendung eines auf diese

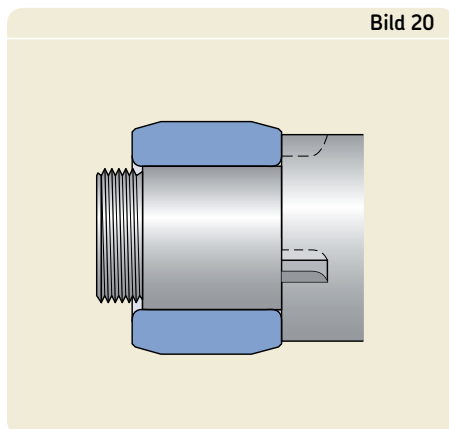


Bild 20

Nuten in der Welle erleichtern den Ausbau

5 Einbau und Ausbau Ausbau

Weise ausgebauten Lagers ab. Wenn das Lager später noch untersucht werden soll oder wenn eine Beschädigung des Lagers beim Ausbau so weit wie möglich vermieden werden soll, ist der Außenring bei der Demontage zu drehen (→ **Bild 22**). Dies kann geschehen, indem der Schlüssel abgestützt wird und der Abzieher an den Schenkeln kontinuierlich gedreht wird, bis das Lager vom Sitz gleitet.

Manchmal lässt sich der Außenring wegen Reibkorrosion oder Gehäuseverformungen nur schwer ausbauen. In diesen Fällen kann der Ausbau erleichtert werden, wenn das Gehäuse, wie in **Bild 23** dargestellt, mit Gewindebohrungen versehen ist.

Mitunter ist weder der Innenring noch der Außenring zugänglich. In diesen Fällen können spezielle Lagerabzieher, wie beispielsweise die Abziehwerkzeuge der Reihe TMSC von SKF oder Innenauszieher der Reihe TMMD von SKF verwendet werden (→ **Bild 24**).

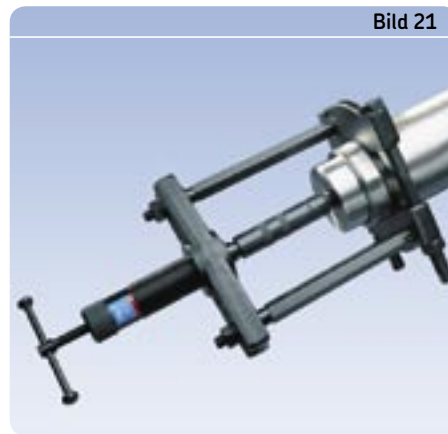


Bild 21

*Abzieher mit
Trennstück*



Bild 22

*Beschädigungen
vermindern
durch Drehen
des Außenrings*

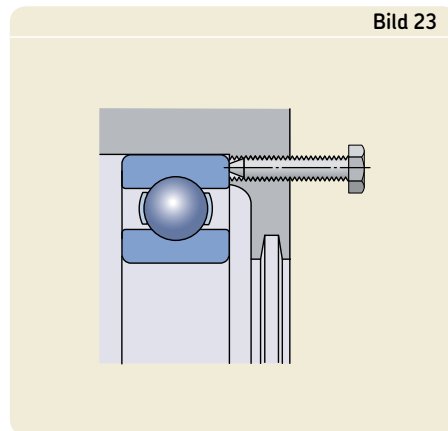


Bild 23

*Gewindebohrungen
im Gehäuse erleichtern
den Ausbau des
Außenrings*



Bild 24

SKF Innenauszieher

5 Einbau und Ausbau Ausbau

Hydraulischer
Hakenabzieher
von SKF



Bild 25

Hydraulische Abzieher

Die für den Ausbau eines Lagers mit fester Passung auf der Welle benötigte Kraft nimmt mit zunehmender Lagergröße schnell zu. Zur Erleichterung des Ausbaus können bei kleinen und mittelgroßen Lagern hydraulische Werkzeuge verwendet werden (→ Bild 25).

Die Verwendung eines Abziehers mit eingebautem Hydraulikzylinder und Hydraulikpumpe erleichtert den Ausbau noch weiter.

Achtung!

Es ist gefährlich, sich direkt hinter einem hydraulischen Abzieher aufzuhalten. Beim Lösen des Lagers kann sich der Abzieher ruckartig nach hinten bewegen. Aus diesem Grund ist es sicherer, neben dem Werkzeug zu stehen.

Ausbau eines Lagers
mit einer Presse

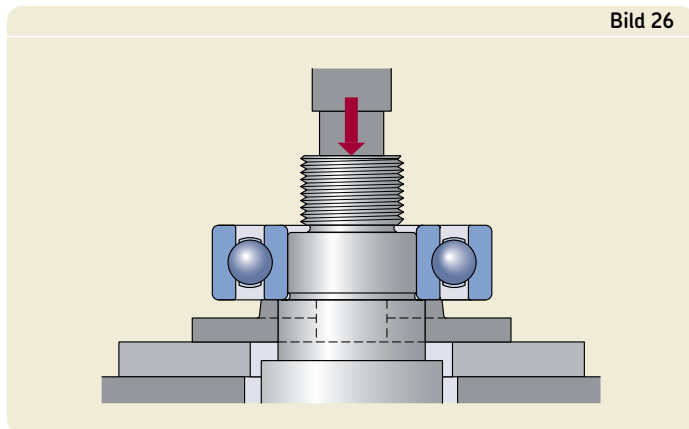


Bild 26

Pressen

Ein günstiges Verfahren ein Lager von der Rotorwelle auszubauen, ist die Verwendung einer Presse (→ Bild 26). Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass nur der Lagerinnenring mit der festen Passung unterstützt wird.

Anwärmgeräte

Der Innenring eines Zylinderrollenlagers wird meist im angewärmten Zustand entfernt. Zu diesem Zweck hat SKF verschiedene Spezialwerkzeuge entwickelt. Dazu gehören unter anderem Aluminiumringe, die für die Lager der Bauformen NU, NJ und NUP erhältlich sind (→ Bild 27).

Dieses Ausbauverfahren ist einfach. Nach dem Entfernen des Außenrings wird die Laufbahn des Innenrings mit einem dickflüssigen, oxydationsbeständigen Öl bestrichen. Daraufhin wird der auf ungefähr 280 °C vorgewärmte Thermoring um den Innenring gelegt und mit den Handgriffen zusammengedrückt. Sobald sich der Ring zu lösen beginnt, kann er von der Welle abgezogen werden.

Wenn häufig Innenringe mit unterschiedlichen Durchmessern ausgebaut werden müssen, empfiehlt sich die Verwendung einer verstellbaren elektrischen Abziehvorrichtung von SKF (→ Bild 28).

Ausbau großer Lager

Beim Ausbau großer Lager können in der Regel die gleichen Verfahren wie bei kleinen Lagern angewendet werden.

Das Druckölverfahren kann den Ausbau jedoch erheblich erleichtern. Dies setzt voraus, dass bereits bei der Konstruktion die benötigten Ölzuführbohrungen und -verteilmuten vorgesehen wurden. Darüber hinaus sind hydraulisch unterstützte Schwerlast-Hakenabzieher mit einer Abziehkraft von bis zu 500 kN erhältlich.

Thermoring
aus Aluminium

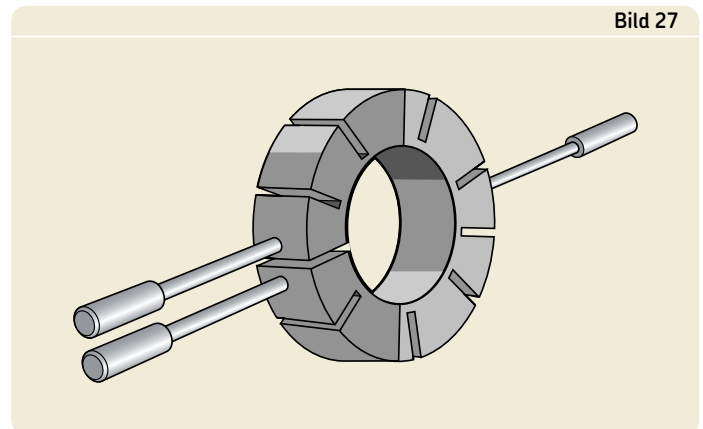


Bild 27

5 Einbau und Ausbau Ausbau

*Verstellbare
elektrische
Abziehvorrichtung
von SKF*

Bild 28



Zur Erleichterung des Ausbaus kann auch eine Hubgabel oder eine ähnliche Hebevorrichtung zusammen mit einem SKF Montagehalter verwendet werden (→ **Bild 29**).

Weitere Informationen über den Ein- und Ausbau von Lagern enthalten der SKF Hauptkatalog und der interaktive SKF Lagerungskatalog auf CD-ROM oder online unter www.skf.com, sowie das SKF Service-Handbuch und die Website www.skf.com/mount.

Bild 29



*SKF Montagehalter
für mittelgroße und
große Lager*

6 Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen

- 91 Stromdurchgang
- 94 Mangelhafte Schmierung
- 96 Werkstoffermüdung
- 96 Schwingungsschäden
- 97 Schäden durch unsachgemäße Montage und Inbetriebnahme
- 99 Zu geringe Lagerbelastung
- 99 Sonstige Schäden



Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen

Lager sind Schlüsselkomponenten von Elektromotoren und müssen daher höchste Leistungskriterien in Bezug auf Belastbarkeit und Zuverlässigkeit erfüllen.

SKF verfügt heute über die Mittel, die Lagerlebensdauer mit beträchtlicher Genauigkeit zu berechnen, so dass es möglich ist, die Lebensdauer von Lager und Maschine aufeinander abzustimmen.

Es gibt jedoch Fälle, in denen ein Lager seine errechnete Lebensdauer nicht erreicht. Dies kann viele Ursachen haben, von denen einige offensichtlicher sind als andere.

Lager in Elektromotoren können aus vielen unterschiedlichen Grund vorzeitig ausfallen, dazu gehören: größere Belastungen als erwartet, unzureichende oder ungeeignete Schmierung, zu geringe Belastungen, Transport- oder Stillstandschäden, Schäden durch Stromdurchgang, Montageprobleme, unsachgemäße Handhabung, Verunreinigungen im Lager, unwirksame Dichtungen oder ungeeignete Wellen- oder Gehäusepassungen.

Jeder dieser Faktoren ist mit einer bestimmten Art von Beschädigungen verbunden und hinterlässt seine eigenen Spuren im Lager.

Daher kann in den meisten Fällen anhand der Untersuchung eines beschädigten Lagers die Fehlerursache, die zu dem Schaden geführt hat, festgestellt werden, so dass die

erforderlichen Maßnahmen getroffen werden können, um eine Wiederholung zu vermeiden.

Schäden durch Stromdurchgang

Das Problem von Stromdurchgang durch ein Lager kann gleichermaßen in Elektromotoren wie auch in Generatoren auftreten.

Dieser Schaden, der auch als Elektroerosion oder Funkenschlag bekannt ist, entsteht, wenn Strom über die Wälzkörper von einer Laufbahn zur anderen fließt. Das Ausmaß des Schadens hängt von der Energiemenge und der Dauer der Einwirkung ab. Das Ergebnis ist in der Regel jedoch stets das gleiche: Krater an den Wälzkörpern und Laufbahnen,

6 Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen

Stromdurchgang

beschleunigte Alterung des Schmierstoffs und ein vorzeitiger Lagerausfall.

In jüngster Zeit ist es bei der Zahl der Lagerschäden durch Stromdurchgang durch den vermehrten Einsatz von Frequenzumrichtern zu einem deutlichen Anstieg gekommen.

Typische Lagerschäden

Strom infolge von magnetischer Asymmetrie

Auf Grund von Grenzen bei der Fertigung ist es unmöglich, eine perfekte elektromagnetische Symmetrie zu erreichen.

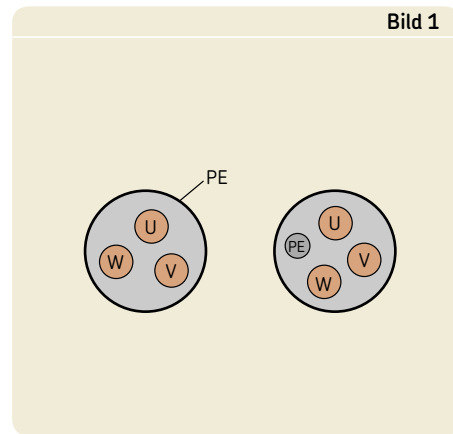
Asymmetrie führt zur Erzeugung eines magnetischen Flusses mit wechselnder Größe, der seinerseits eine Spannung in der Welle induziert. Dies wiederum führt zu einem Kreisstrom, der durch die Lager fließt. Das Problem tritt vor allem in größeren Motoren mit einer geringen Zahl von Polpaaren auf (beispielsweise 2-Pol-Motoren).

Ströme infolge unsymmetrischer Verkabelung

Entwurf und Anordnung der Verkabelung eines Elektromotors oder Generators sind äußerst wichtige Konstruktionsmerkmale. Eine unsymmetrische, nicht abgeschirmte Leitung kann schädliche Ströme erzeugen (→ Bild 1).

Hochfrequente Ströme

Die Verbindung eines Motors oder Generators mit einem Frequenzumrichter führt zu neuen Effekten.

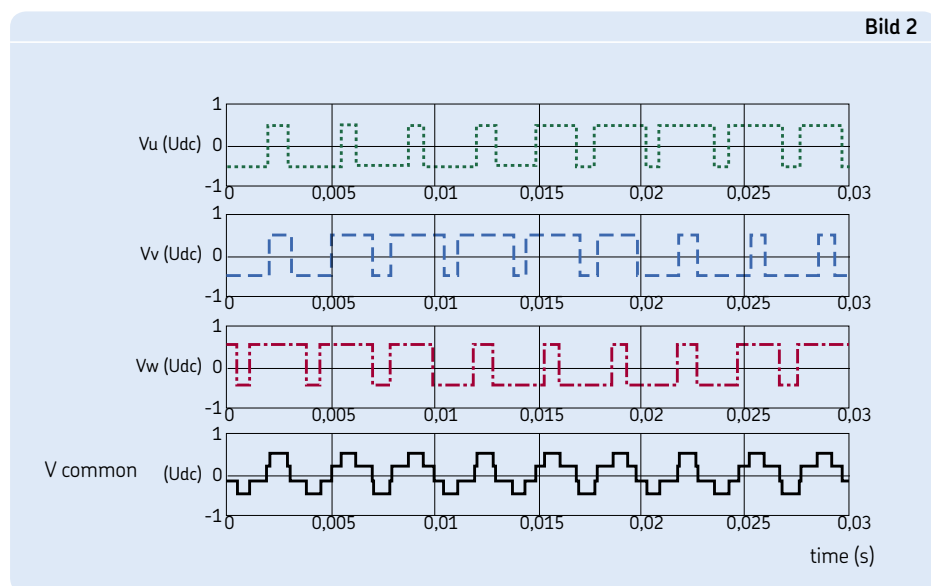


Abgeschirmte, symmetrische Leitung gegenüber nicht abgeschirmter, unsymmetrischer Leitung

Die Spannungen am Drehstromausgang des Umrichters treten als Serie von Rechteckimpulsen auf (und nicht als echte Sinuswellen). Die Summe dieser Drehstromspannungen ist nicht gleich null, wodurch eine Gleichtaktspannung erzeugt wird (→ Bild 2).

Die meisten modernen Frequenzumrichter versuchen mit moderner Transistortechnologie (Bipolartransistoren mit isoliertem Gate, IGBT), die Erzeugung von Sinuswellen anhand von pulsbreitenmodulierten Signalen zu simulieren. Diese Transistoren arbeiten nicht nur mit hoher Schaltfrequenz (hoher Pulsrate), sondern auch mit extrem schnellen Spannungswechseln (steile Impulsflanken). Die Geschwindigkeit der Wechsel hat sich rapide beschleunigt (→ Bild 3). Diese Spannungsimpulse mit extrem steilen Flanken erzeugen hochfrequente Stromspitzen.

Dieser Effekt wird oft als "Gleichtaktstörung" bezeichnet. Die Amplitude dieser hochfrequenten (HF)-Ströme hängt von der Größe des Motors oder Generators sowie vom Umrichtertyp und den Leitungsparametern

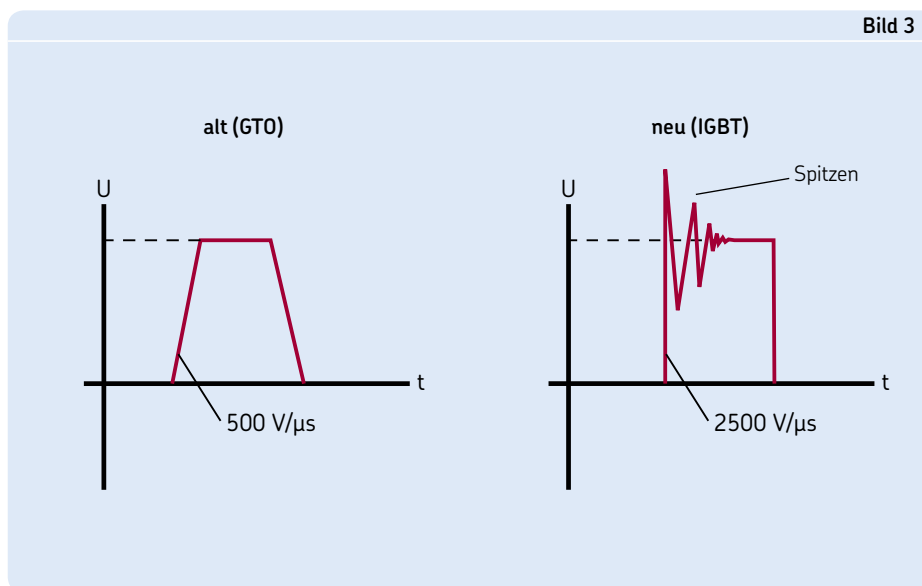


Die Summe der drei Phasen ist nicht gleich null, sondern erzeugt eine Gleichtaktspannung

6 Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen

Stromdurchgang

Spannungspuls eines
GTO-Thyristors im
Vergleich zu einem
IGBT-Transistor



ab. Der größte Teil dieser HF-Ströme fließt über die PE-Ader der Leitung und die Abschirmung zurück zum Umrichter. Aber der Rest kann Probleme verursachen. Es ist inzwischen bekannt, dass sowohl eine hohe Schaltfrequenz als auch eine hohe Flankensteilheit Schäden verursachen können.

Dies bedeutet, dass in Antriebssystemen mit Frequenzumrichter stets eine Gleichtaktspannung erzeugt wird, die einen Stromfluss von den Ausgängen des Umrichters zur Masse verursachen kann. Daneben ist der Drehstrom des Öfteren nicht vollkommen symmetrisch, was eine weitere Asymmetrie des Durchflusses am Stator bewirkt.

Zusammengefasst gibt es in Antriebssystemen mit Umrichtern drei zusätzliche Arten von Strömen durch die Lager:

- Hochfrequente Kreisströme.
- Hochfrequente Ströme von der Welle zur Erde.
- Kapazitive Entladeströme.

Folgen von Stromdurchgang durch das Lager

Wenn ein elektrischer Strom durch die Kontaktzone von Wälzkörper und Laufbahn fließt, erzeugt die Energie der elektrischen Entladung Wärme, die ein punktuelles Schmelzen der Oberfläche verursacht.

So entstehen in der Kontaktfläche Krater und kleine Partikel geschmolzenen Materials können ausbrechen.

Nach dem Erlöschen der Funken ist der Werkstoff ein weiteres Mal gehärtet (meistens auf 66–68 HRC) und viel spröder als der ursprüngliche Lagerwerkstoff.

Unter der nochmals gehärteten Schicht liegt eine Materialschicht, die von der Wärme angelassen wurde. Dieses Material ist nun weicher als der angrenzende Lagerwerkstoff (in der Regel 56–57 HRC).

Mikrokrater

Da Frequenzumrichter heute immer häufiger verwendet werden, ist die Bildung von Mikrokratern bei weitem die häufigste Folge von Stromdurchgängen. Das Schadensbild ist durch Schmelzmarken gekennzeichnet. Das bloße Auge sieht lediglich eine matte, graue Oberfläche (→ Bild 4). Zahlreiche Mikrokrater bedecken die Oberfläche der Wälzkörper und der Laufbahn. Diese Krater sind extrem klein, meist mit einem Durchmesser von 5–8 µm. Die Größe ist unabhängig davon, ob die Krater auf dem Innenring, der belasteten Zone des

Eine matte, graue Oberfläche der Wälzkörper kann auf Mikrokrater hinweisen.



6 Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen

Stromdurchgang/Mangelhafte Schmierung

Außenrings oder auf den Wälzkörpern liegen. Ihre genaue Form lässt sich nur unter einem Mikroskop mit starker Vergrößerung erkennen.

Riffelung oder Waschbretteffekt

Eine Riffelung oder der "Waschbretteffekt" lässt sich als Muster zahlreicher grauer Querstreifen auf den Laufflächen erkennen (→ Bild 5). Die Streifen erscheinen glänzend und wie geschmolzen. Die Riffelung ist das Ergebnis einer mechanischen Resonanz, die von den Wälzkörpern erzeugt wird, wenn sie über Mikrokrater rollen.

Die Riffelung darf nicht als primäre Ausfallart bzw. -ursache betrachtet werden. Stattdessen ist sie als sekundärer Lagerschaden zu betrachten, eine Erscheinung, die erst nach einiger Zeit sichtbar wird.

Alterung des Schmierstoffs

Örtlich hohe Temperaturen führen dazu, dass die Additive im Schmierstoff das Grundöl verkohlen oder das Grundöl verbrennt. Zum einen werden die Additive dadurch schneller verbraucht und zum anderen führt dies dazu, dass sich der Schmierstoff schwarz verfärbt und hart wird (→ Bild 6).

Diese schnelle Zersetzung verkürzt die Lebensdauer des Schmierfetts erheblich. Wenn nicht rechtzeitig nachgeschmiert wird, kann daraus ein Sekundärschaden durch mangelhafte Schmierung entstehen.

Korrekturmaßnahmen

Um Schäden durch Stromdurchgang zu vermeiden, wird in der Regel auf der antriebslosen Seite ein isoliertes Lager verwendet. SKF bietet zwei verschiedene Arten stromisolierter Lager an: INSOCOAT Lager und Hybridlager. Weitere Informationen über INSOCOAT- und Hybridlager finden Sie in Kapitel 1 auf Seiten 25 und 27.

Durch Stromdurchgang verursachte Riffelung der Lauffbahn



Mangelhafte Schmierung

Eine mangelhafte Schmierung führt entweder zu Oberflächenzerrüttung oder zu Verschleiß, wodurch die Lagerlebensdauer erheblich verkürzt wird. Wenn der Schmierfilm zwischen den Wälzkörpern und den Lauffbahnen infolge unzureichender Viskosität oder Verunreinigungen zu dünn ist, werden die Oberflächen nicht mehr vollständig getrennt und es kommt zu direktem metallischem Kontakt.

Oberflächenzerrüttung

Bei einem zu dünnen Schmierfilm kann in jedem Lager Oberflächenzerrüttung auftreten. Diese Gefahr nimmt bei Gleitbewegungen im Wälzkontakt zu. Alle Wälzlager weisen im Wälzkontakt ein gewisses Gleiten auf, das auch als Mikrogleiten bezeichnet wird.

Oberflächenzerrüttung ist die Folge von Rauheitsspitzen von Wälzkörpern und Lauffbahnen, die miteinander in direkten Kontakt kommen.

Wenn Belastungs- und Reibungskräfte eine bestimmte Größenordnung erreichen, entstehen an den Berührungsflächen Mikrorisse. Diese Mikrorisse können sich zu Mikroabsplitterungen entwickeln (→ Bild 7).

Wenn Mikroabsplitterungen entstehen, sieht die Oberfläche für das bloße Auge nur matt und grau aus (→ Bild 8), aber unter einem Mikroskop lassen sich zahlreiche Risse und Absplitterungen entdecken. Im Laufe der Zeit können diese Schäden zu Abplatzungen führen. Außerdem können die Trümmer von Mikroabsplitterungen den Verschleiß verstärken.

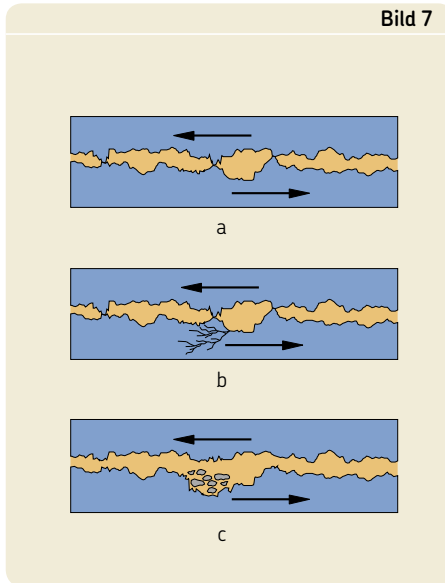
Durch Stromdurchgang verursachte Schwarzfärbung des Schmierfetts



6 Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen

Mangelhafte Schmierung

Oberflächenzerrüttung:
Durch direkten
metallischen Kontakt
verursachte
Mikroabsplitterungen



Matte Oberfläche
infolge von
Mikroabsplitterungen

Verschleiß

Verschleiß entsteht zwischen zwei Oberflächen, die relativ zueinander gleiten. Die Gleitbewegung hat auf die Oberflächen einen Effekt wie Sandpapier. Der Verschleiß ist durch matte Oberflächen gekennzeichnet. Es ist ein sich selbst verstärkender Prozess, weil die Abriebpartikel die Wirksamkeit der Schmierung reduzieren, was den Verschleiß wiederum erhöht.

In einigen Fällen können die Abriebpartikel jedoch auch wie ein Poliermittel wirken und spiegelblanken Berührungsflächen erzeugen (→ Bild 9). Das Ergebnis des Verschleißes hängt von der Größe und Härte der Partikel ab.

verbessert werden müssen. Abhängig vom Anwendungsfall kann ein Schmierstoff mit einer höheren Viskosität zur Verbesserung des Schmierfilms erforderlich sein.

Korrekturmaßnahmen

Zuerst ist zu prüfen, ob der richtige Schmierstoff verwendet wird und ob die Schmierfristen für den Anwendungsfall geeignet sind. Wenn der Schmierstoff Verunreinigungen enthält, sollten die Dichtungen geprüft werden, um festzustellen, ob sie erneuert oder

**Verschleiß mit
Politureffekt:**
Zylinderrolle mit
spiegelblanker
Oberfläche



Werkstoffermüdung

Die meisten Lager überdauern die Maschinen, in die sie eingebaut sind. Wenn jedoch die Betriebsbedingungen nicht optimal sind oder die Lagerbelastungen höher als die Ermüdungsgrenzbelastung sind, kommt es früher oder später zur Werkstoffermüdung. Die Zeitspanne bis zum Auftreten der ersten Anzeichen von Werkstoffermüdung ist abhängig von

- der Anzahl der Umdrehungen des Lagers
- der Größe der Belastung
- der Betriebstemperatur.

Werkstoffermüdung ist das Ergebnis einer periodischen Beanspruchung des Lagerwerkstoffs. Dies führt zu Restspannungen, die ihrerseits Strukturveränderungen direkt unter der belasteten Oberfläche verursachen.

Mit der Zeit entstehen Risse unterhalb der Oberfläche. Wenn sich diese Risse bis zur Oberfläche ausbreiten, beginnen Werkstoffteilchen auszubrechen (Schälung), wenn die Risse überrollt werden. Dieser Vorgang wird als Wälzermüdung bezeichnet. Die Schälung schreitet fort, bis das Lager schließlich unbrauchbar wird.

Als Lebensdauer eines Lagers wird die Anzahl Umdrehungen bezeichnet, die das Lager erreicht, bevor erste Schälungen auftreten.

Die Schälungen nehmen allmählich zu. Dies kann allerdings, abhängig vom Anwendungsfall und den Betriebsbedingungen, über einen längeren Zeitraum erfolgen. Wenn sich der Zustand des Lagers verschlechtert, steigt der Geräusch- und Schwingungspegel. Im Normalfall ist noch ausreichend Zeit, einen Austausch vorzubereiten, bevor das Lager vollständig ausfällt.

In der Vergangenheit war Wälzermüdung die wichtigste Schadensart. Durch die Verbesserungen bei der Herstellung von Wälzlagerstahl entstehen Schäden heute jedoch eher an der Oberfläche als infolge von Rissen, deren Ursprung unter der Oberfläche liegt.

Schwingungsschäden

Werden Welle und Rotor eines Motors für den Transport nicht ausreichend fest gesichert, können die Lager Schwingungen ausgesetzt sein und Schaden nehmen.

Ähnlich können die Lager eines Motors, der im Stillstand eine Zeit lang äußeren Schwingungen ausgesetzt wird, beschädigt werden.

Beim Stillstand eines Motors wird zwischen den Berührungsflächen der Lagerteile kein Schmierfilm gebildet. Das Fehlen dieses Schmierfilms erlaubt direkten metallischen Kontakt zwischen den Wälzkörpern und den Laufbahnen. Bei äußeren Schwingungen führen die Wälzkörper in den Ringen Mikrobewegungen aus. Diese Bewegungen verursachen eine Kombination von Korrosion und Verschleiß, die in den Laufbahnen Vertiefungen bilden. Die Vertiefungen treten im Abstand der Wälzkörper auf und sind oft verfärbt oder glänzend. Dieser Schaden wird unter anderem auch "false brinelling" genannt (→ Bild 10).

Der Schaden tritt auch in großen Maschinen mit schweren Rotoren auf. Rollenlager sind besonders anfällig für dieses Phänomen,



Verschleiß in einem Zylinderrollenlager infolge von Schwingungen im Stillstand



Motor mit Transportsicherung

6 Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen

Schwingungsschäden/Schäden durch unsachgemäße Montage und Inbetriebnahme

da die Rollen entlang der Berührungslinien mit den Laufbahnen gleiten können.

Es dauert eine gewisse Zeit, bis sich die anfängliche Beschädigung so weit verstärkt hat, dass sie sich bemerkbar macht. Deshalb kann es schwierig sein, ohne eine eingehende Untersuchung der beschädigten Teile einen "Transport" als eigentliche Schadensursache auszumachen.

Korrekturmaßnahmen

Schwingungsschäden auf Transporten lassen sich einfach vermeiden. Die Lager können auf einem Transport in der folgenden Weise gesichert werden. Als Erstes muss die Welle mit einem in U-Form gebogenen Flachstahl in axialer Richtung gesichert werden, wobei das Kugellager auf der antriebslosen Seite vorsichtig vorgespannt wird. Dann wird das Lager auf der Antriebsseite mit einem Spanngurt radial belastet (→ **Bild 11**). Durch diese beiden Maßnahmen werden die Wälzkörper in ihrer Position gehalten und können sich somit nicht mehr in den Ringen bewegen. Schwingungsschäden werden so vermieden.

Bei einem längeren Stillstand sollte die Welle regelmäßig gedreht werden (→ **Kapitel 2** "Lageranordnungen – Feder Vorspannung", ab **Seite 47**).

Ein Wellenausrichtssystem ist erforderlich



Schäden durch unsachgemäße Montage und Inbetriebnahme

Elektromotoren sind eine wichtige Komponente jeder Maschine. Ohne sie würden die meisten Maschinen stillstehen. Deshalb muss man sich darauf verlassen können, dass Elektromotoren effektiv laufen und einen störungsfreien Betrieb ermöglichen.

Wenn ein Motor jedoch nicht ordnungsgemäß montiert und in Betrieb genommen wird, kann er die erwartete Lebensdauer nicht erreichen, selbst wenn er aus hochwertigen Komponenten hergestellt wurde.

Es folgen einige Beispiele typischer Montage- und Inbetriebnahmefehler, die zu einer erheblichen Verkürzung der Motorlebensdauer führen können – besonders, weil sie mit den Lagern zu tun haben.

Montage von Komponenten auf der Antriebsseite der Welle

Die Verwendung eines Hammers oder eines ähnlichen Werkzeugs zur Montage einer Kupplungshälfte oder einer Riemenscheibe auf der Welle kann die Lagerlebensdauer erheblich reduzieren. Beim Schlag auf das Bauteil wird die Kraft vom Innenring über die Wälzkörper an den Außenring weitergeleitet. Diese axiale Stoßbelastung verursacht Eindrückungen in den Lagerlaufbahnen, die die Lagerlebensdauer deutlich verkürzen.

Korrekturmaßnahmen

Die Bauteile sind mit dem geeigneten Werkzeug auf die Welle zu pressen. Es kann auch ein Wellengewinde verwendet werden, oder das Bauteil kann vor der Montage angewärmt werden.

Schlechte Ausrichtung

Wenn die Welle eines Elektromotors nicht sorgfältig mit der Welle der angetriebenen Einheit ausgerichtet ist, werden die Lager in beiden Komponenten zusätzlichen Kräften ausgesetzt. Diese zusätzlichen Kräfte könnten stark genug sein, die Lagerlebensdauer sowohl im Motor als auch in der angetriebenen Einheit erheblich zu reduzieren.

Korrekturmaßnahmen

Um sicher zu sein, dass die Wellen der Antriebseinheit und der angetriebenen Einheit exakt ausgerichtet sind, sind Präzisionsinstrumente wie das SKF Wellenausrichtssystem (→ **Bild 12**) zu verwenden. Wenn die Wellen sich auch bei Verwendung eines Präzisions-

6 Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen

Schäden durch unsachgemäße Montage und Inbetriebnahme

SKF Microlog für
Schwingungsmessungen



Bild 13

instruments nicht ausrichten lassen, sollte das Fundament näher auf seine Eignung untersucht werden.

Unwucht

Größere Unwuchten in der angetriebenen Einheit können auf den Motor zurück wirken. Diese Schwingungen verkürzen die Lagerlebensdauer.

Korrekturmaßnahmen

Bei der Suche nach der Fehlerursache sind auch die Schwingungen der angetriebenen Einheit zu prüfen (→ Bild 13). Bei einem Lüfter könnten beispielsweise die Lüfterschaukeln überprüft und gegebenenfalls gereinigt werden. Wenn der Schwingungspegel weiterhin zu hoch ist, sollte das Laufrad neu ausgewuchtet werden.

Zu hohe Riemen Spannung

Eine zu hohe Riemen Spannung ist häufig die Ursache eines vorzeitigen Lagerausfalls. In den meisten Fällen verursachen die zu hohen Belastungen durch die Riemen Spannung unnötig hohe Belastungen der Motorlager, die die Lebensdauer der Lager und des Riemens erheblich reduzieren.

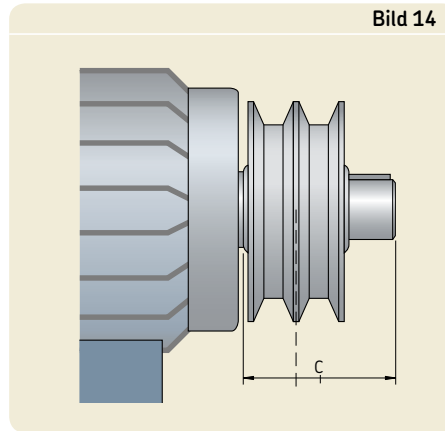
Höhere Belastungen bedeuten gleichzeitig höhere Betriebstemperaturen, die sich negativ auf die Wirksamkeit der Schmierung und dadurch ebenfalls negativ auf die Lagerlebensdauer auswirken.

Ferner kann eine zu hohe Riemen Spannung Bewegungen des Innenrings auf der Welle und dadurch Reibkorrosion verursachen.

Korrekturmaßnahmen

Die korrekte Riemen Spannung ist zu prüfen. Im Handel sind einfache Werkzeuge zur Messung der Riemen Spannung erhältlich.

Bild 14



Positionierung
der Riemenscheibe

Übermäßige Wellendurchbiegung

Wenn das Biegemoment einer Welle zu groß ist, erzeugt die Wellendurchbiegung zusätzliche Lagerbelastungen, die die Lagerlebensdauer verkürzen. Die Montage einer Riemenscheibe am äußersten Ende der Welle erzeugt ein großes Biegemoment und entsprechend höhere Lagerbelastungen.

Eine übermäßige Wellendurchbiegung kann auch zum Wandern des Innenrings und damit zu Reibkorrosion führen.

Korrekturmaßnahmen

Montieren Sie die Riemenscheibe so nah wie möglich am antriebsseitigen Lager. Die Achse der Riemenscheibe darf nicht weiter vom Motor entfernt sein, als bis zur Mitte des Wellenstumpfs (Maß C in Bild 14).

Zu geringe Lagerbelastung

Wenn ein Motor unbelastet läuft, ist die Gefahr eines Lagerschadens sehr groß, da die Lager für eine einwandfreie Funktion stets eine bestimmte Mindestbelastung brauchen. Der Schaden zeigt sich als Ansammlungen auf den Wälzkörpern und Laufbahnen.

Es dauert einige Zeit, bis sich der anfängliche Schaden so weit verstärkt hat, dass der Lagerschaden festgestellt werden kann.

Korrekturmaßnahmen

Es ist immer für eine ausreichend große äußere Belastung der Lager zu sorgen. Dies ist vor allem bei Zylinderrollenlagern zu beachten, da diese Lager in der Regel zur Aufnahme größerer Belastungen verwendet werden.

Dies gilt nicht für vorgespannte Lager (→ Abschnitt "Federvorspannung", ab Seite 47).

Sonstige Schäden

Überlastung durch Montagefehler

Falsche Montageverfahren können die Lagerlebensdauer erheblich verkürzen. Ein durch eine fehlerhafte Montage verursachter Schaden zeigt sich durch Eindrückungen im gleichen Abstand dort, wo die Wälzkörper in die Laufflächen gedrückt wurden. Im Laufe der Zeit können von diesen Eindrückungen Schälungen ausgehen (→ Bild 15).

Diese Eindrückungen entstehen normalerweise, wenn die Einbaukraft auf den falschen Lagerring ausgeübt wird oder wenn für den Einbau eines Bauteils, wie beispielsweise Riemenscheiben, Zahnräder oder Kupplungen, ein Hammer oder ein ähnliches Werkzeug verwendet wird.

Zylinderrollenlager müssen besonders sorgfältig zusammengesetzt werden, um eine Beschädigung des Lagers zu vermeiden. Oft sind die beide Ringe bei der Montage nicht korrekt ausgerichtet, so dass die Rollen eine Laufbahn verkratzen und lange Querstreifen hinterlassen (→ Bild 16).

Korrekturmaßnahmen

Es sind die geeigneten Montagewerkzeuge und -verfahren einzusetzen. Bei Zylinderrollenlagern wird die Verwendung einer Führungshülse empfohlen (→ Kapitel 5 "Einbau und Ausbau – Selbsthaltende Lager" auf Seite 82).

Bild 15



*Montagefehler:
Schälungen beginnen
an Vertiefungen im
Wälzkörperabstand*

Bild 16



*Querstreifen von einer
fehlerhaften Montage*

6 Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen

Sonstige Schäden

Schäden infolge von Eindrückungen durch Verunreinigungen

Aus verschiedenen Quellen können Verunreinigungen in den Lagerinnenraum gelangen. Die häufigsten Quellen einer Verunreinigung sind

- die Arbeitsfläche oder Arbeitszone (beispielsweise Gussand oder andere Verschmutzungen, die nicht vom Gehäuse abgewaschen wurden)
- die Schmierung (Fremdpartikel im Schmierstoff)
- beschädigte oder unwirksame Dichtungen
- beschädigte Wellenoberflächen
- ungeeignete Praktiken im Falle von Nachschmierung.

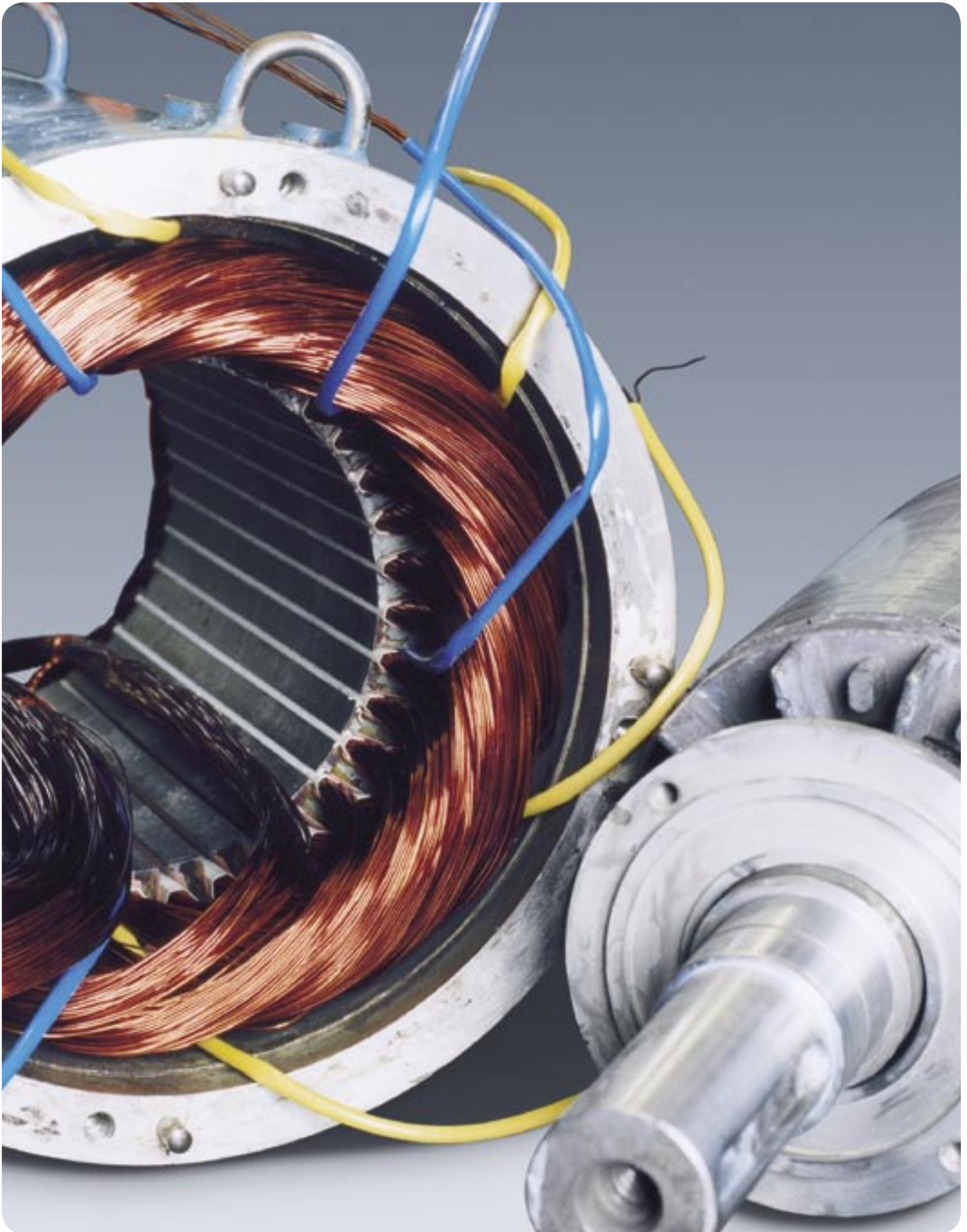
Wenn diese Fremdpartikel von den Wälzkörpern überrollt werden, erzeugen sie Eindrückungen in den Laufbahnen (→ **Bild 17**), die zu Ermüdung und eventuell zu Schälungen führen können.

Korrekturmaßnahmen

- Nehmen Sie das Lager erst direkt vor der Montage aus der Verpackung.
- Halten Sie Werkstatt und Werkzeuge sauber.
- Verwenden Sie einen sauberen Schmierstoff.
- Achten Sie beim Nachschmieren darauf, dass der Schmiernippel sauber ist.
- Stellen Sie sicher, dass Dichtungen und Gegenlaufflächen in einwandfreiem Zustand sind.



*Eindrückungen
in einer Laufbahn
durch überrollte
Fremdpartikel*



7 SKF Servicedienstleistungen und Systemlösungen

104 SKF Beratungsdienstleistungen

105 SKF Berechnungshilfsmittel

107 Anwendungsspezifische Lösungen

111 Zustandsüberwachung



SKF Servicedienstleistungen und Systemlösungen

SKF hat sein umfassendes Know-how über industrielle Anwendungen zur Entwicklung von Systemlösungen genutzt, mit denen sich kosteneffektive Ergebnisse erreichen lassen.

Diese Lösungen, von denen sich einige gar nicht auf Lager beziehen, unterstreichen die fortwährenden Anstrengungen von SKF die Kernkompetenzen des Unternehmens in den Zukunftsbereichen Mechatronik und Elektronik anzuwenden.

In diesem Kapitel werden einige Lösungen vorgestellt, die zur Bewältigung der realen Bedingungen in typischen Anwendungsfällen von Elektromotoren und Generatoren angeboten werden können.

SKF Beratungsdienstleistungen

Über viele Jahre hinweg hat SKF ein großes Fachwissen im Bereich der Lagerung umlaufender Maschinenteile aufgebaut. Als Teil der Strategie von SKF, das Unternehmen stärker als Dienstleistungspartner zu positionieren, wird dieses Know-how nun auf kommerzieller Basis Kunden zur Verfügung gestellt, selbst wenn die Herausforderung nicht im Bereich Lagerungstechnik liegt. Diese Leistungen werden über den Geschäftsbereich SKF Engineering Consultancy Services angeboten.

Mit einem Team engagierter Experten für umlaufende Maschinenteile und mit speziellen Werkzeugen bieten SKF Engineering Consultancy Services den Fachkräften der Kunden leistungsstarke Unterstützung in ihrer eigenen Branche. Als Geschäftsbereich von SKF sind Engineering Consultancy Services Teil eines globalen Techniknetzwerks mit umfassenden Ressourcen.

Leistungen von SKF Engineering Consultancy Services

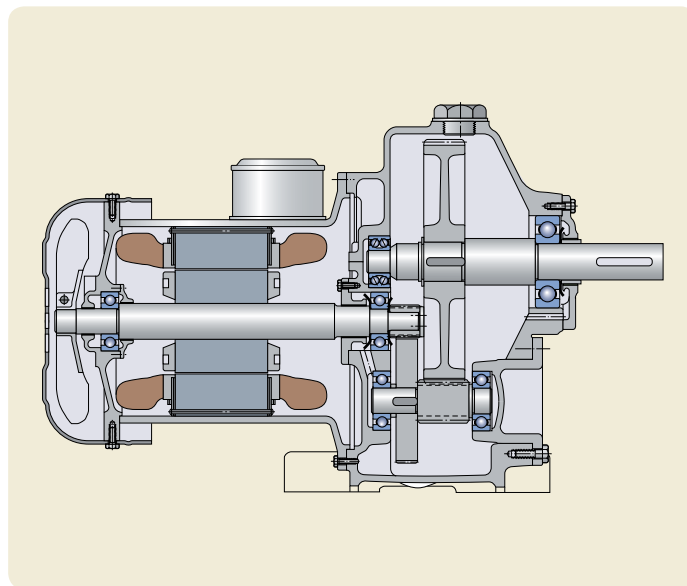
Konstruktionsoptimierung

Mit Computersimulationen kompletter Systeme oder mit der Optimierung der Schmierung werden Kunden in die Lage versetzt, ihre Ziele zu erreichen. In manchen Fällen möchten Kunden die Kostenwirksamkeit ihrer Ausstattung verbessern. In anderen Fällen wünschen Kunden eine Leistungssteigerung der vorhandenen Ausstattung. In jedem Fall gilt die Regel: je früher SKF Engineering Services mitarbeiten können, umso größeren Nutzen können sie erwirtschaften.

Konstruktionsprüfung

Mit speziell entwickelten Computerprogrammen zur Simulation des Systemverhaltens kann eine neue Konstruktion überprüft werden, ob sie die erwartete Leistung erbringen kann. Und obwohl es zeitaufwendig erscheinen mag, ist der Absturz eines virtuellen Teststands bei weitem nicht so kostspielig wie wenn der Schaden an einem echten Teststand entsteht.

Die wahren Vorteile zeigen sich jedoch bei der Berechnung der Marktreife. Mit den Simulationshilfsmitteln von SKF kann die Entwicklungs- und Testphase substantiell verkürzt werden.



Fehlerbeseitigung

Sowohl bei Problemen am Prüfstand als auch im Feld können die SKF Engineering Consultancy Services helfen. Das Expertenteam kann bei den folgenden Aufgaben zur Seite stehen:

- Analyse und Empfehlung von Lösungen für Probleme mit Stromdurchgang, bei denen das gesamte System einschließlich Frequenzumrichter, Hilfsaggregaten usw. berücksichtigt wird.
- Niedrigere Geräusch- und Schwingungsspiegel und Verbesserung der Laufgenauigkeit durch Optimierung der Lagerung, dazugehöriger Bauteile und aller anderen Systemkomponenten, die eventuell zu dem Phänomen beitragen.
- Erhöhung der Leistungsdichte bei reduziertem Bauraum.
- Umfassende Fehlerursachenanalyse durch Kombination von Schadensanalyse der Lager und Computersimulation.
- Optimierung der Schmierung.
- Senkung von Herstellkosten durch eine Optimierung der Fertigungstoleranzen.

Einige der Hilfsmittel, die die SKF Engineering Consultancy Services einsetzen, werden im Abschnitt "SKF Berechnungshilfsmittel" kurz beschrieben.

Für weitere Informationen über den Geschäftsbereich SKF Engineering Consultancy Services setzen Sie sich bitte mit Ihrem SKF Vertriebspartner in Verbindung.

SKF Berechnungshilfsmittel

SKF verfügt über eines der umfassendsten und leistungsfähigsten Programmpakete zur Berechnung und Simulation von Wälzlagerungen aller Art. Es enthält leicht verständliche Programme, die auf den einfachen im SKF Hauptkatalog angegebenen Formeln basieren, bis hin zu hoch entwickelten, komplexen Berechnungs- und Simulationsprogrammen, die nur auf Parallel-Computern laufen.

Es gehört zur SKF Philosophie, eine Auswahl von leistungsfähigen Programmen vorzuhalten, um die unterschiedlichsten Kundenanforderungen abdecken zu können: von der Überprüfung und Auslegung von Lagerungen im Dialog bis hin zu hochentwickelten Softwarelösungen zur Simulation von ganzen Lagersystemen oder zum virtuellen Testen von Produkten. Soweit möglich, sind diese Programme für den Praxiseinsatz auf Laptops, PCs oder Servern bei SKF, aber auch beim Kunden ausgelegt. Auch wird darauf geachtet, dass sie in andere Programme integriert bzw. mit diesen kompatibel sind.

Interaktiver SKF Lagerungskatalog

Der "Interaktive SKF Lagerungskatalog" ist ein einfach zu bedienendes Hilfsmittel für die Lagerauswahl und -berechnung. Suchfunktionen, ausgehend von der Lagerbezeichnung oder den Abmessungen, sind vorhanden. Einzelne Lagerstellen können mit dem Hilfsmittel beurteilt werden. Die Berechnungen für Wälzlager basieren auf den Grundlagen und Gleichungen des SKF Hauptkatalogs.

Zudem ist der interaktive SKF Lagerungskatalog behilflich beim Generieren von 2D- und 3D-CAD-Dateien in über 40 Formaten via E-Mail.

Ferner enthält der interaktive SKF Lagerungskatalog neben ausführlichen Angaben über das SKF Sortiment an Wälzlagern und Wälzlagerzubehör noch ausführliche Angaben über SKF Lagereinheiten, Lagergehäuse, Gleitlager und Dichtungen.

Der interaktive SKF Lagerungskatalog steht auf CD-ROM bzw. online unter www.skf.com zur Verfügung.

SKF Online-Berechnungshilfsmittel

Über die SKF Homepage www.skf.com kann auf ein Paket von technischen Berechnungsprogrammen zugegriffen werden. Sie basieren auf den Angaben im Hauptkatalog sowie auf einigen grundlegenden Gesetzen der Mechanik. So ist es z.B. möglich, die Lagerluftverminderung zu berechnen, die sich aus



einer festen Passung oder einer Temperaturerhöhung ergibt. Es ist aber auch möglich, Verunreinigungsbeiwerte zu ermitteln oder Montageanleitungen für ein bestimmtes Lager abzurufen.

SKF Bearing Beacon

SKF Bearing Beacon ist das neue Grundlagenprogramm für Wälzlagerungen, das von SKF Beratungsingenieuren genutzt wird, um die Lagerungsprobleme der Kunden optimal zu lösen. Es verfügt über eine grafische 3D-Modellierungsumgebung für elastische Systeme, in die auch Umbauteile eingebunden werden können und erlaubt sowohl statische als auch dynamische Simulationen. SKF Bearing Beacon kombiniert die Fähigkeit, allgemeine mechanische Systeme unter Verwendung von Wellen, Zahnrädern, Gehäusen, usw. darstellen zu können, mit der Möglichkeit, anhand eines genauen Lagermodells das Systemverhalten in einer virtuellen Umgebung eingehend untersuchen zu können. Damit lassen sich auch Berechnungen zur Wälzermüdung durchführen, die auf der allgemeinen Formulierung der erweiterten SKF Lebensdauer aufbauen. SKF Bearing Beacon ist von dem Forschungs- und Entwicklungswerkzeug Orpheus abgeleitet (siehe nächsten Abschnitt) und das Ergebnis mehrjähriger Forschungs- und Entwicklungsarbeit bei SKF.

Orpheus

Dieses Simulationswerkzeug erlaubt die eingehende Untersuchung des dynamischen Verhaltens von Lagerungen und der von ihnen verursachten Schwingungen und Geräusche. Mit Orpheus kann das dynamische

Verhalten in geräusch- und schwingungskritischen Lagerungen wie z.B. in Elektromotoren oder in Getrieben optimiert werden. Es kann zur Lösung der gesamten nichtlinearen Bewegungsgleichungen eines Lagersatzes und seiner Umbauteile, einschließlich Getrieben, Wellen und Gehäusen, verwendet werden.

Orpheus verhilft zu einem vertieften Verständnis über das dynamische Verhalten einer Lagerung und zeigt z.B. die Auswirkungen von Formabweichungen oder Fluchtungsfehlern an Umbauteilen auf. Es versetzt die SKF Beratungsingenieure in die Lage, die für eine bestimmte schwingungskritische Lagerung am besten geeignete Lagerart und -größe auszusuchen und gleichzeitig Vorschläge für die erforderliche Lagerluft oder -vorspannung sowie die Gestaltung und Tolerierung der Umbauteile zu machen.

Beast

Beast ist ein Simulationsprogramm, mit dem SKF Beratungsingenieure die dynamischen Verhältnisse innerhalb eines Lagers detailliert nachbilden können. Es kann als virtueller Teststand angesehen werden, der eingehende Untersuchungen von Kräften, Momenten usw. innerhalb des Lagers unter praktisch jeder beliebigen Belastung erlaubt. Es ermöglicht damit den „Test“ von neuen Lagerungskonzepten und Konstruktionen in kurzer Zeit und liefert mehr Informationen, als es ein echter Versuch kann.

Weitere Programme

Zusätzlich zu den bereits genannten Programmen hat SKF spezielle Programme entwickelt, mit denen SKF Wissenschaftler die Gestaltung von Funktionsoberflächen optimieren können, um so Lagern z.B. unter schwierigen Betriebsbedingungen eine längere Lebensdauer zu geben. Mit einem dieser Programme kann auch die Schmierfilmdicke im elasto-hydrodynamischen Bereich bestimmt werden. Zudem lässt sich die lokale Schmierfilmdicke ermitteln, die sich auf Grund der dreidimensionalen Oberflächenstruktur im Wälzkontakt ergibt, und ihr Einfluss auf die Ermüdungslebensdauer berechnen.

Zur Vervollständigung der Möglichkeiten stehen bei SKF noch handelsübliche Programme, z.B. für FEM-Berechnungen von Bauteilen oder zur Analyse allgemeiner dynamischer Systeme zur Verfügung. Diese Programme sind in die SKF Systeme integriert und erlauben so eine schnellere und stabilere Verbindung mit Kundendaten und -modellen.

Anwendungsspezifische Lösungen

Induktionsmotoren mit Frequenzumrichtern

Seit den 90er Jahren hat die Verwendung von Frequenzumrichtern mit Pulsbreitenmodulation (PWM) stark zugenommen. In der Folge wurde ein Anstieg vorzeitiger Lagerausfälle infolge von Stromdurchgang festgestellt (→ **Kapitel 6** "Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen", ab **Seite 91**). Diese Schäden verursachen in der Regel Maschinenstillstände, die zu Produktionsverlusten und erheblich höheren Wartungs- und/oder Gewährleistungskosten führen.

Zum besseren Verständnis des Stromdurchgangs und seiner Auswirkungen auf die Lager- und Maschinenlebensdauer hat SKF ein Forschungsprogramm zur Untersuchung des Problems und zur Entwicklung kostengünstiger Lösungen eingeleitet.

Lösungen bei Stromdurchgang

Ein Schlüssel zur Lösung von Problemen mit Stromdurchgang liegt in der Isolierung der Welle vom Gehäuse, wodurch sich Streuströme nicht länger einen Weg durch die Lager suchen können. Es gibt jedoch keine Idealösung für dieses Problem, und einige Lösungen, wie spezielle Wellenbeschichtungen oder isolierte Motordeckel, können kostspieliger sein als andere.

INSOCOAT Lager sind entweder am Außenring oder am Innenring isoliert

Bild 1



Ein besonders kostengünstiger Weg zur Lösung des Problems ist die Isolierung des Lagers. Dabei kann beispielsweise einer der Ringe mit einer Keramikisolierung versehen werden (INSOCOAT), oder man verwendet keramische Wälzkörper wie in einem Hybridlager (→ **Kapitel 1, Seiten 25 und 27**). Jede dieser Lösungen erfüllt zwei Funktionen: Lager und Isolator (→ **Bilder 1 und 2**).

Wenn Kreisströme das Problem sind, genügt ein einziges isoliertes Lager auf der antriebslosen Seite, um den Stromweg im Motor zu unterbrechen. Weitere Informationen erhalten Sie von Ihrem SKF Ansprechpartner.

Die Hauptabmessungen von isolierten SKF Lagern stimmen mit den Angaben in ISO 15:1998 überein. Sie sollten mit der gleichen Sorgfalt wie Standardlager behandelt werden.

Hybrid-Rillenkugellager

Bild 2



Elektrisches Verhalten isolierter Lager

Zum besseren Verständnis des Funktionsprinzips isolierter Lager muss zwischen Anwendungsfällen mit Gleichstrom- und Wechselstrom unterschieden werden.

In Anwendungsfällen mit Gleichstrom wirkt ein INSOCOAT Lager als reiner 50-M Ω -Widerstand. Die Beschichtung verträgt Spannungen bis über 1000 V Gleichstrom, bevor es zu einem Durchschlag und einem Lichtbogen kommt. Bei den keramischen Wälzkörpern eines Hybridlagers liegen diese Werte sogar noch höher.

In Anwendungsfällen mit Wechselstrom, besonders bei Antrieben mit variabler Drehzahl, muss die Impedanz des Isolierwerkstoffs berücksichtigt werden. Die Impedanz gibt das Spannungs-Strom-Verhältnis in einem Wechselstromkreis wieder.

Der Impedanzwert hängt hauptsächlich von zwei elektrischen Faktoren ab: der Kapazität und der Frequenz. Die Kapazität sollte möglichst klein sein und hängt von der Lagergröße ab.

Motorsteuerung in Drehstromantrieben

Der Wechsel von Gleichstromantrieben auf Drehstromantriebe bietet viele Vorteile. Der Drehstrom-Induktionsmotor, der heute am häufigsten in Industrieanwendungen eingesetzt wird, ist eine robuste und praktisch wartungsfreie Lösung. Zur Steuerung der

Drehzahl und der Laufrichtung wird allerdings ein zusätzliches elektronisches Bauteil benötigt, das die Motordrehzahl aufnimmt. In den meisten Fällen wird zu diesem Zweck ein Drehgeber oder ein optischer Encoder an den Induktionsmotor angeschlossen.

SKF Sensorlagereinheiten

SKF Sensorlagereinheiten sind mechatronische Bauteile, die Sensor- und Lagerfunktion kombinieren. Diese Einheiten benutzen einen völlig abgeschirmten Sensor. Sensorkörper, Impulsring und Lager sind mechanisch fest verbunden und bilden eine integrierte, montagetägige Einheit.

Die patentierten SKF Sensorlagereinheiten sind einfache und robuste Bauteile.

Die SKF Sensorlagereinheiten sind speziell als Inkrementalgeber für die Motor- und/oder Maschinensteuerungen konzipiert. Die besonders auf Asynchronmotoren ausgelegten Einheiten unterstützen mit einer kompakten und zuverlässigen Kodierung anspruchsvollste Steuerungsanforderungen ($\rightarrow$ Bild 4). Sie sind für Lagerungen mit umlaufenden Innenring und stillstehendem Außenring gedacht.

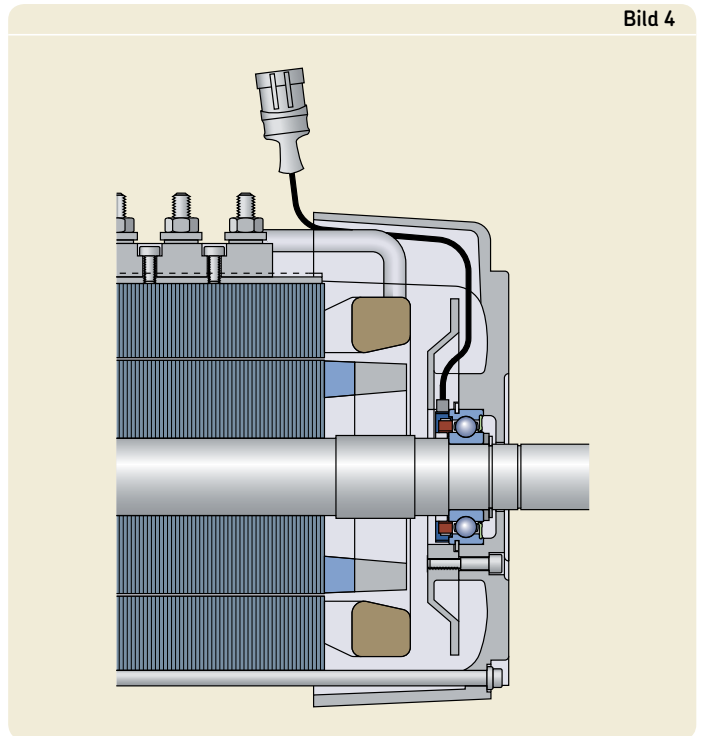
Die SKF Sensorlagereinheit benötigt keinen zusätzlichen radialen Raum, ist im Innern des Motors gut geschützt und liefert ein zuverlässiges, konstantes Signal.

SKF
Sensorlagereinheit

Bild 3



Bild 4



Große und sehr große elektrische Maschinen

Die Lagerungen in großen und sehr großen Elektromotoren und Generatoren bestehen heute meistens aus einer Gleitlagereinheit. Diese Einheit besteht aus einem Gleitlager, einem Gehäuse und anderen Bauteilen wie elektrische Isolierung oder für Flanschlagereinheiten eine Druckluftkammer.

Die Gleitlagereinheit gilt, besonders unter bestimmten Bedingungen, als kostspielige Lösung.

Bei sehr niedrigen Drehzahlen, Drehrichtungswechseln (Reversierbewegungen) oder kombinierten radialen und axialen Belastungen kann die Ölfilmdicke fast auf null zurückgehen. Diese unzureichende Schmierung kann zu einem direkten metallischen Kontakt führen, der das Gleitlager beschädigt und einen vorzeitigen Ausfall verursacht. Um dies zu vermeiden, sind zusätzliche Einrichtungen erforderlich, um den Öldruck im Lager zu erhöhen.

Zur Maximierung der Lebensdauer eines Gleitlagers muss das Schmieröl zwei Aufgaben erfüllen:

- einen ausreichend dicken Ölfilm zwischen Welle und Lager aufbauen und
- den kühlen Lauf des Lagers durch Wärmeabfuhr gewährleisten.

Flanschlagergehäuse mit einem CARB Toroidal-Rollenlager

Hohe Betriebstemperaturen bewirken eine niedrige Betriebsviskosität des Öls. Die Visko-

sität kann so gering werden, dass kein schützender Ölfilm mehr aufgebaut werden kann. Daher müssen Gleitlagereinheiten mit speziellen Ölumlaufsystemen einschließlich Kühlen ausgerüstet werden.

Als Ersatz für diese Gleitlagereinheiten bietet SKF Flanschlagergehäuse mit Wälzlager an.

SKF Flanschlagergehäuse mit Wälzlager

Als Antwort auf die hohen Kosten eines Gleitlagersystems hat SKF ein anderes Lagerungssystem entwickelt. Diese Lösung besteht aus zwei Flanschlagergehäusen, die jeweils mit einem Rollenlager ausgestattet sind. Bei diesem System dient ein Pendelrollenlager als Festlager. Als Loslager kann entweder ein CARB Toroidal-Rollenlager (→ Bild 5) oder ein weiteres Pendelrollenlager verwendet werden. Das CARB Lager bietet den Vorteil, axiale Verschiebungen wie ein Zylinderrollenlager und Schiefstellung wie ein Pendelrollenlager aufzunehmen. Das ist besonders wichtig, wenn die Wärmedehnung der Welle ein entscheidender Betriebsparameter ist.

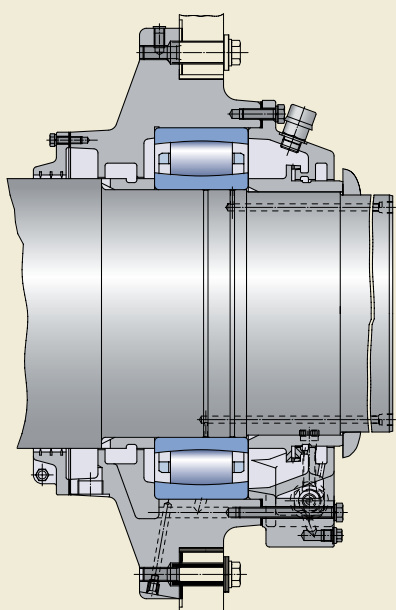
Das SKF Lagerungssystem bewältigt Drehrichtungswechsel und axiale Belastungen, nimmt die Wärmedehnung und Durchbiegungen der Welle auf und kommt auch bei niedrigen Drehzahlen ohne zusätzliche Komponenten wie Axiallager oder hydrostatisches Druckölsystem aus. Dies kann gerade bei Motoren in Stahlwerken oder bei Schiffsantrieben besonders wichtig sein.

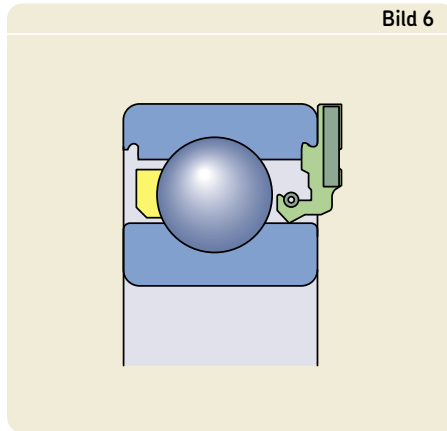
Das für eine Ölbadsmierung konzipierte SKF Lagerungssystem benötigt keine kostspieligen Ölumlaufsysteme, wodurch auch auf Pumpen, Leitungen, Ölwanne und Kühler verzichtet werden kann. Damit kein Schmierstoff austreten kann und keine Fremdpartikel eindringen können, werden speziell konstruierte Labyrinthdichtungen verwendet.

Was die Wartung betrifft, ist lediglich ein regelmäßiger Ölwechsel erforderlich.

Im Vergleich zu einer Gleitlagereinheit präsentiert sich das SKF Lagerungssystem als eine kostengünstige Lösung, die einfacher ist, aus weniger Bauteilen besteht und sich leichter warten lässt. Darüber hinaus kann auf zusätzliche Komponente wie hydrostatische Druckölsysteme oder Axialsegmentlager zur Aufnahme axialer Lasten verzichtet werden. Daneben sind Varianten mit einer Ölreserve und einer intelligenten Ölstandsüberwachung erhältlich, die den Ölstand während des Betriebs anpassen und gegebenenfalls auffüllen.

Bild 5





Bauteilen. Die ICOS Lager-Dichtungs-Einheit vereinfacht die Montage und vermeidet eine kostspielige Bearbeitung der Welle, da die Innenringschulter als perfekte Gegenlauf-fläche dient.

Daneben können ICOS Lager-Dichtungs-Einheiten Vorteile bringen

- bei schwer verunreinigter Umgebung
- in Gegenwart von fließendem Wasser
- mit Bürstenmotoren
- wenn keinesfalls Fett austreten darf.

Für weitere Informationen wenden Sie sich bitte an den technischen Beratungsservice von SKF.

Getriebemotoren

Abdichtung ist von entscheidender Bedeutung, da sich Sauberkeit direkt auf Umwelt und Leistung auswirkt.

In modernen Getriebemotoren werden die Motorlager in der Regel mit Fett und das Getriebe mit Öl geschmiert.

Im Motor sind die Dichtungen in das Lager integriert und für Fettschmierung vorgesehen. Im Getriebe werden normalerweise Öldichtungen verwendet, damit kein Schmierstoff aus dem Getriebe austreten kann und keine Fremdpartikel in Getriebe oder Lager eindringen können. Diese äußeren Dichtungen benötigen

- zusätzlichen Konstruktionsaufwand
- zusätzlichen Raum
- maschinelle Feinbearbeitung (und eventuell Härtung)
- zusätzliche Logistik
- zusätzliche Lagerhaltung
- spezielle Handhabung.

All dies ist mit größeren Mühen und Kosten verbunden.

SKF ICOS™ Lager-Dichtungs-Einheiten

Zur Vereinfachung der Abdichtung und gleichzeitiger Kostensenkung hat Chicago Rawhide, ein Unternehmen der SKF Gruppe, die ICOS Lager-Dichtungs-Einheiten entwickelt. In dieser Einheit wird ein spezieller federvorgespannter Radialwellendichtring in ein Lager integriert (→ Bild 6).

Die Einheit, die sowohl bei Fett- als auch bei Ölschmierung ohne zusätzliche Dichtungen verwendet werden kann, benötigt weniger Raum als die übliche Anordnung mit zwei

Zustandsüberwachung

Ziel der Zustandsüberwachung ist es, den Zustand von Verschleißteilen und anderen Funktionskomponenten, die Einfluss auf die Maschinenzuverlässigkeit haben, zu messen. Der Vorteil einer Zustandsüberwachung mit Schwingungsanalyse ist ihre Funktion als Frühwarnsystem. D.h., es bleibt Zeit für korrigierende Maßnahmen und ein Lagerwechsel kann sauber eingeplant werden (→ Diagramm 1).

Zu den Bauteilen und Systemen, die überwacht werden können, gehören

- Lager
- Riemenantriebe
- Getriebe
- Elektromotoren.

Einige Bauteile wie Dichtungen können nicht überwacht werden, sondern müssen auf die herkömmliche Weise überprüft werden.

Multiparameter-Überwachung

Die von SKF Condition Monitoring und dem SKF Engineering and Research Center in den Niederlanden gemeinsam entwickelte Multiparameter-Zustandsüberwachung ist das umfassendste, zuverlässigste und genaueste Verfahren bei der Maschinenzustandsüberwachung und -analyse. Das Sammeln und Auswerten von gleichzeitigen Messungen mehrerer Parameter erhöht enorm die Fähigkeiten, Lagerschäden und andere Maschinenprobleme genau und leicht zu identifizieren.

Durch die Messung einer Vielzahl relevanter Maschinenparameter wie Beschleunigung,



Vibration Pen^{plus}

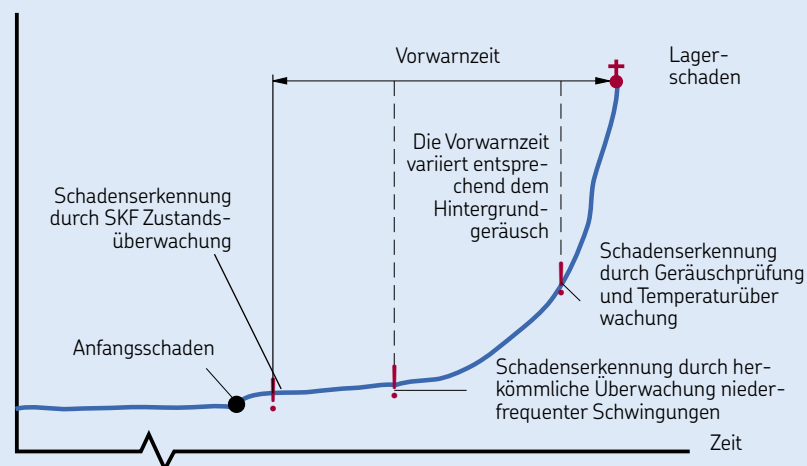
Geschwindigkeit und Verschiebung sowie von Prozessparametern wie Drehzahl, Temperatur, Strom, Druck und Durchfluss erhalten die Betreiber Einblick in den spezifischen Zustand einer Maschine. Moderne Analysetechniken, wie die Auswertung der Hüllkurve über der Beschleunigung, machen Schluss mit den Vermutungen über richtige Instandhaltung und liefern die Informationen, die nötig sind, um unplanmäßige Stillstände zu vermeiden.

Schwingungen

Die traditionelle Überwachung niederfrequenter Schwingungen bleibt unverzichtbar für die Identifizierung von problematischen Maschinenzuständen. Ganz allgemein führen Störungen, die Schwingungen erzeugen und eine geringere Maschinenleistung verursachen, letztendlich zu Schäden an der Maschine oder ihren Komponenten. Obwohl die Auswertung niederfrequenter Schwingungen ein wirksamer Indikator für Lagerschäden sein kann, gehört sie vielleicht nicht mehr zu den modernsten Verfahren.

Diagramm 1

Schwingungen, Geräusche



Vorteile der
Zustandsüberwachung

Beschleunigungs-Hüllkurve

Um Maschinenstörungen frühzeitig zu bemerken, sind Hüllkurven-Verfahren sehr wirksam. Die Hüllkurven verstärken die wiederholten Signale, die z.B. als Impulse von einem beschädigten Lager ausgesendet werden. Im frühen Stadium erzeugt ein Lagerschaden ein Signal, das im allgemeinen Schwingungspegel der Maschine untergehen kann. Durch den Einsatz der Hüllkurven-Auswertung kann nicht nur die Art eines Lager- oder Zahnflankenschadens genau festgestellt werden, sondern auch der Ort.

Local Monitoring Unit sammeln fest installierte Sensoren Daten von schwer zugänglichen Stellen oder von problematischen Maschinenbereichen. Herumlaufen und manuelle Datenerfassung entfallen und Machine Analyst™ zeigt online die aktuellen Betriebsdaten für eine leistungsfähige "Echtzeit"-Analyse an. Mit solchen Systemen wird ein Höchstmaß an Arbeitssicherheit und Datenkonsistenz erreicht.

Bedienerwerkzeuge

Wirtschaftliche und leicht bedienbare tragbare Instrumente liefern schnell grundlegende Anzeichen für Problembereiche.

Der Schwingungsmessstift Vibration Pen^{plus} ist ein Messgerät in Taschengröße, das überall mit hin genommen werden kann und sowohl allgemeine Schwingungspegel gemäß ISO Richtlinien misst als auch Spitzenwerte von Beschleunigungs-Hüllkurven nach SKF Standards ausgibt.

Zum Sortiment der tragbaren Geräte gehört auch der MARLIN® Datenmanager. Dieses Gerät sammelt und vergleicht Betriebsdaten zur Früherkennung teurer Maschinenstörungen.

Das Sortiment an tragbaren Messgeräten macht das Bedienpersonal zu wichtigen Beteiligten, wenn es um mehr Maschinenverfügbarkeit geht. Auf Knopfdruck können Bediener signifikante Änderungen im Maschinenzustand feststellen, die weitere Untersuchungen nach sich ziehen können.



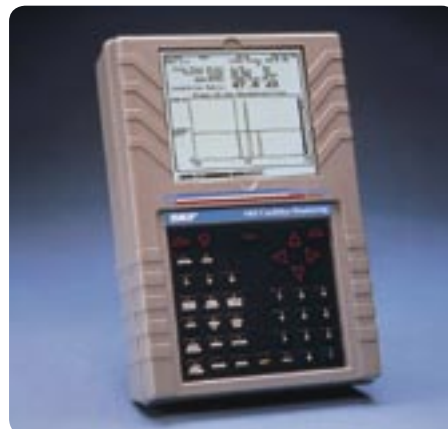
MARLIN®



MICROLOG® CMXA50

Tragbare Datensammler

Tragbare Datensammler wie der MICROLOG® erlauben effektive Datensammlung und Vor-Ort-Analyse. Die Modelle CMXA50 und CMVA60 sind einzigartig durch die eingebaute Experten-Funktion, die Schritt-für-Schritt-Anleitungen für die Analyse von Maschinenproblemen bietet. Daten, die mit dem MICROLOG® gesammelt wurden, können in SKF Machine Analyst™ geladen werden, einer Datenmanagement- und Analysesoftware unter Windows für tiefergehende Untersuchungen und Trendbestimmungen.



MICROLOG® CMVA60

Kontinuierliche Überwachung

Online-Überwachung für Lager- und Maschinenanalyse rund um die Uhr bietet signifikante Vorteile. Mit der sogenannten MULTILOG®

SKF Machine Analyst

SKF Machine Analyst ist eine Software-Plattform, die unter Verwendung einer Oracle-Datenbank eine umfassende Lösung für die Zuverlässigkeit von Produktionseinrichtungen bietet. Die Software ermöglicht dem Bediener die vollständige Kontrolle der Daten aus der Zustandsüberwachung sowie Analyse und Berichterstellung mit ausführlichen Funktionen zur kundenspezifischen Anpassung. Werkzeugleisten, grafische Darstellungen, Sicherheitsstufen, Bildschirmansichten und vieles mehr sind veränderbar, um den einzelnen Nutzern zu entsprechen.

SKF Machine Analyst wurde von Grund auf unter Verwendung der Component Object Model-Architektur (COM) entwickelt. Es kann deshalb leicht mit Elementen von Drittherstellern verbunden werden. Das gilt sowohl für Plug-Ins als auch für die Integration in Computer unterstützte Instandhaltungssysteme, Warenwirtschaftssysteme oder anderes.

Die Software bietet eine Reihe von zeitsparenden Funktionen. Sie erlaubt dem Benutzer wichtige Aufgaben automatisch zu terminieren, wie Berichterstellung oder Archivierung zu bestimmten Zeiten oder nach bestimmten Vorgängen, z.B. nach dem Einlesen neuer Daten. Ein Alarm-Assistent berechnet automatisch einen Satz von zuverlässigen Alarm-Kriterien und bestimmt die passenden Parameter für Schwingungsniveaus maßgeschneidert für die jeweilige Anlage.

SKF Produkte für die Wartung

In einer Zeit zunehmenden Personalabbaus und wachsenden Produktivitätsdrucks konzentriert sich SKF darauf, seine Kunden mit den Werkzeugen und Dienstleistungen zu versorgen, die nötig sind, um wettbewerbsfähig zu bleiben.

Das riesige Angebot von SKF Produkten für die Wartung bietet einfache, flexible und zuverlässige Lösungen für die Wartungsbedürfnisse des Kunden. Ganz gleich, ob er den neuesten hydraulischen Hakenabzieher oder einfach ein Paar wärmebeständiger Handschuhe sucht, SKF hat das Produkt, das seinen Wünschen entspricht.

Für mehr Informationen oder einen detaillierten Produktkatalog wenden Sie sich bitte an Ihren SKF Ansprechpartner oder besuchen Sie SKF Maintenance Products online unter www.mapro.skf.com.

