

# Wälzlager in Elektromotoren und Generatoren



® SKF, CARB, ICOS, INSOCCOAT, MARLIN, MICROLOG und SYSTEM 24, Vogel und Windlub sind eingetragene Warenzeichen der SKF Gruppe.

™ SKF Explorer ist eine Marke der SKF Gruppe.

© SKF Gruppe 2009

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit unserer vorherigen schriftlichen Genehmigung gestattet. Die Angaben in dieser 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/I DE** · Januar 2009

Gedruckt in Schweden auf umweltfreundlichem Papier.

- 1 Wälzlager in elektrischen Maschinen**
- 2 Lagerungen**
- 3 Toleranzen und Passungen**
- 4 Schmierung und Abdichtung**
- 5 Ein- und Ausbau**
- 6 Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen**
- 7 SKF Servicedienstleistungen und Systemlösungen**

1

2

3

4

5

6

7



# Wälzlager in Elektromotoren und Generatoren

Handbuch für Konstrukteure und Endkunden



# Vorwort

*Dieses SKF Handbuch für Anwendung, Schmierung und Wartung von Lagern in Elektromotoren und Generatoren wurde für Spezialisten verschiedener Industriezweige geschrieben. Konstrukteuren von elektrischen Maschinen<sup>1)</sup> 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 Nutzern 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.*

<sup>1)</sup> Wenn in diesem Handbuch der Begriff „elektrische Maschinen“ verwendet wird, sind darunter sowohl industrielle Elektromotoren als auch Generatoren zu verstehen.



Die Marke SKF steht heute für wesentlich mehr als je 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 hochtechnische Komponenten, differenzierte Serviceangebote und Kompetenzpartnerschaften erweitert. SKF kann heute, als Komplettanbieter für Bewegungstechnik, weltweit mit Systemlösungen aller Art Kunden spürbare Wettbewerbsvorteile verschaffen.

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

Die Marke 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 Lagerungen**

**37 Auswahl der Lagerung**

**47 Federvorspannung**

## **3 Toleranzen und Passungen**

**52 Wellen- und Gehäusetoleranzen**

**54 Empfohlene Passungen**

## 4 Schmierung und Abdichtung

- 59 Schmierung
- 62 Auswahl des Schmierfetts
- 64 Schmierfristen
- 70 Fettgebrauchsdauer in abgedichteten Rillenkugellagern
- 72 Ölschmierung
- 74 Dichtungen

## 5 Ein- und Ausbau

- 77 Einbau
- 85 Ausbau

## 6 Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen

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

## 7 SKF Servicedienstleistungen und Systemlösungen

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

# SKF – Kompetenz für Bewegungstechnik

Mit der Erfindung des Pendelkugellagers begann vor über 100 Jahren die Erfolgsgeschichte der 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-Bauteile – 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 Wälzlagern und verwandten Produkten wie z.B. Dichtungen weiter auszubauen. Darüber hinaus nimmt SKF eine zunehmend wichtigere Stellung ein bei Produkten für die Lineartechnik, für die

Luftfahrt oder für Werkzeugmaschinen sowie bei Instandhaltungsdienstleistungen.

Die SKF Gruppe ist weltweit nach ISO 14001 und OHSAS 18001 zertifiziert, den internationalen Standards für Umwelt- bzw. Arbeitsmanagementsysteme. Das Qualitätsmanagement der einzelnen Geschäftsbereiche ist zertifiziert und entspricht der Norm DIN EN ISO 9001 und anderen kundenspezifischen Anforderungen.

Mit über 100 Produktionsstätten weltweit und eigenen Verkaufsgesellschaften in über 70 Ländern ist SKF ein 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 Kunden ist. Das bedeutet, Lösungen von SKF sind verfügbar, wann und wo auch immer sie gebraucht werden.

Die Marke SKF und die SKF Gruppe sind global 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.

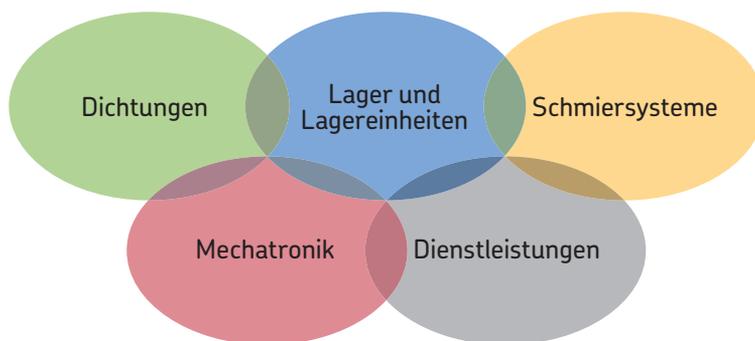


© Airbus – photo: e'm company, H. Goussé

## 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 zwei Konzeptfahrzeuge, bei denen SKF Mechatronik-Bauteile zum Lenken und Bremsen im Einsatz sind. Weiterentwicklungen 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 eng mit weltweit führenden Herstellern an der Entwicklung leistungsfähiger und vor allem störungsresistenter Anlagen zusammen. Ein breites Sortiment auf den Einsatzfall abgestimmter Lager und Zustandsüberwachungssysteme hilft, die Verfügbarkeit der Anlagen zu verbessern und ihre Instandhaltung zu optimieren – auch in einem extremen und oft unzugänglichen 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 heiß oder kalt. 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 Schwerstarbeit. Die hier gewonnenen Erkenntnisse werden wenig später in verbesserte Produkte umgesetzt – insbesondere für die Automobilindustrie, aber auch für den Ersatzteilmarkt.



### **Die Anlageneffizienz optimieren**

Über 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 – vertraglich – 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 stetige 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

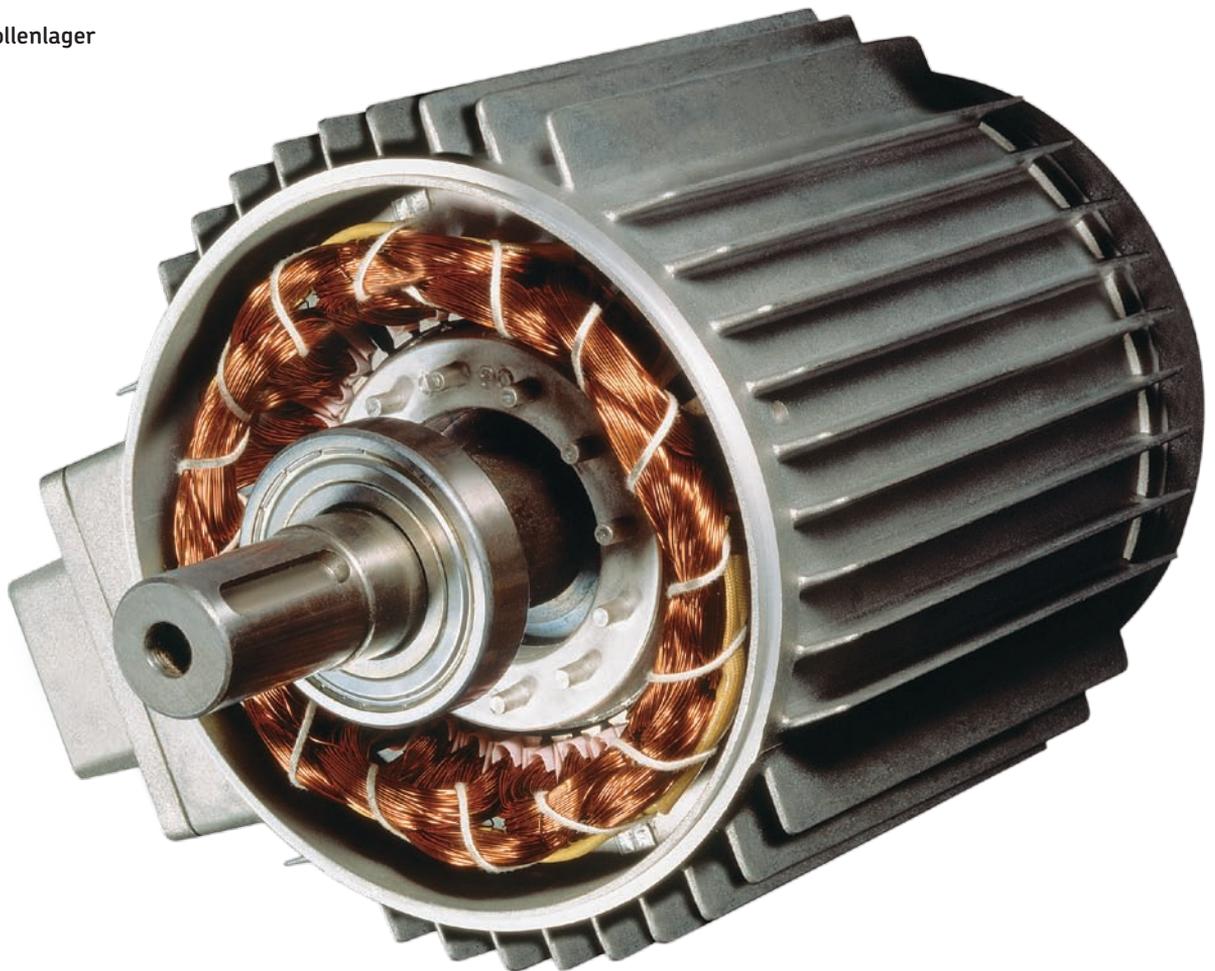
27 Hybridlager

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 muss unter allen Umständen wirtschaftlich gestaltet sein, sowohl aus Sicht der Fertigung als auch aus Sicht der Instandhaltung.*

## Konstruktionsanforderungen

Die Konstruktionsparameter einer elektrischen Maschine sind in der Regel Motorleistung, Hauptabmessungen und der Werkstoff von Welle und Gehäuse. Beim Induktionsmotor ist auch noch die Zahl der erforderlichen Pole ein wichtiger Konstruktionsparameter.

Zu beachten sind ferner die zu erwartenden Betriebsbedingungen, die geforderte Betriebsdauer oder Verfügbarkeit, Wartungsbedingungen und Fertigungsverfahren (→ **Bild 1, Seite 10**).

Ein- und Ausbaurverfahren sind bereits während der Konstruktionsphase zu berücksichtigen (→ **Kapitel 5** „Ein- und Ausbau“, ab **Seite 77**). Auch die Auswahl des richtigen Schmierstoffs und Schmierverfahrens kann große Auswirkungen auf die Lebensdauer der Maschine haben. Die Zustandsüberwachung (→ **Kapitel 7** „SKF Servicedienstleistungen und Systemlösungen“, ab **Seite 103**) kann unvorhergesehenen Stillstand verhindern und die Zuverlässigkeit erhöhen.

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

# 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 wegen des geringeren Bedarfs an Einbauraum in Richtung von Lagern mit kleineren Querschnitten.

## Belastungen

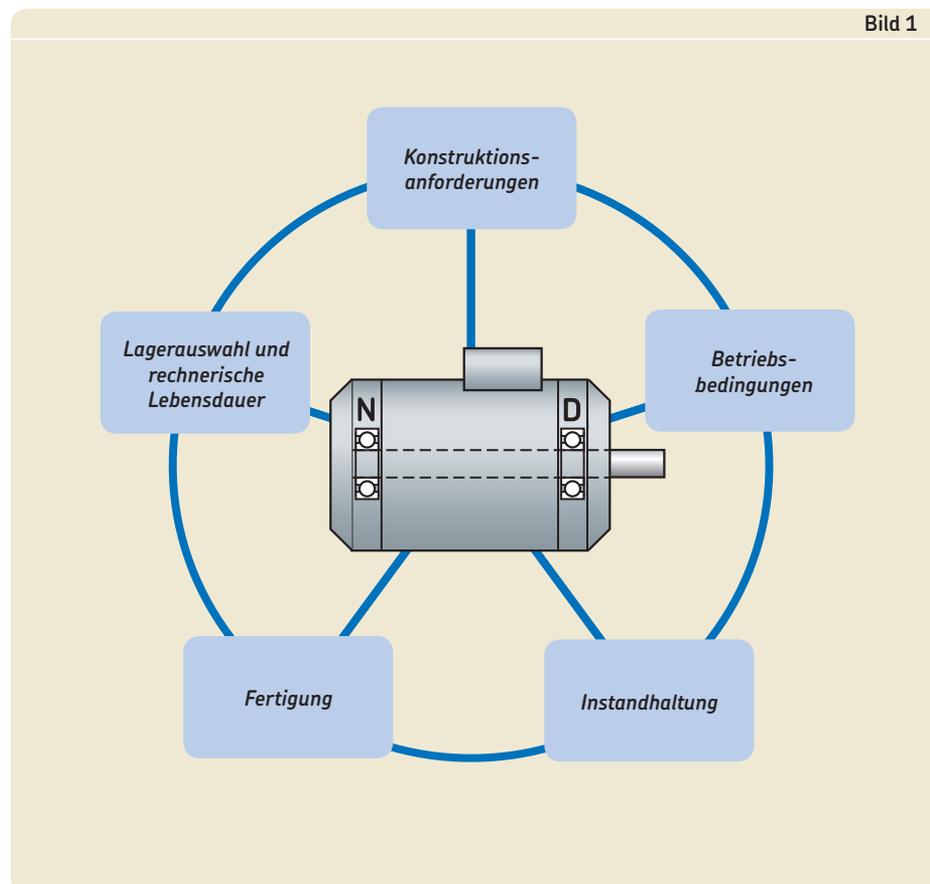
Um das beste Lager für einen bestimmten Anwendungsfall auszuwählen, müssen sämtliche Belastungen berücksichtigt werden, nicht nur das Gewicht der Teile und die Kräfte aufgrund der übertragenen Leistung. Es muss sichergestellt sein, dass auch zusätzliche Kräfte, wie die sich aus asymmetrischen Luftspalten ergebende magnetische Anziehungskraft, 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 Getrieben berücksichtigt. Belastungen können radial, axial oder als

Kombination beider Belastungsrichtungen auftreten. Manche Lager, wie beispielsweise Zylinderrollenlager (Bauform N oder NU), nehmen ausschließlich radiale Belastungen auf, während andere Lager, wie Schrägkugellager, besser für kombinierte Belastungen geeignet sind.

Für ordnungsgemäßen 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 = nicht angetriebene Seite  
D = Antriebsseite

# 1 Wälzlager in elektrischen Maschinen

## Konstruktionsanforderungen

Tabelle 1

### Konstruktionskriterien und Betriebsbedingungen

- Hauptabmessungen
- 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
- Geforderte Lagerlebensdauer
- Schmierung: Fett oder Öl
- Instandhaltung
- Zustandsüberwachung
- Abdichtung (innen- oder außenliegend)

### Fertigung

- 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.

### Feste Drehzahlen

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

### Veränderliche Drehzahl

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

Bei Induktionsmotoren, deren Drehzahl über Frequenzumrichter gesteuert wird, ist der Auswahl des richtigen Lagers besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Moderne Frequenzumrichter, die mit Pulsbreitenmodulation (PBM) und Halbleitern mit hoher Schaltfrequenz arbeiten, sind oft die Ursache für Stromdurchgang durch die Lager und Elektroerosion (→ 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

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 Unwucht der umlaufenden Bauteile.

### Wellen- und Gehäusewerkstoff

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, sondern auch auf die Lagerluft aus (→ Kapitel 3 „Toleranzen und Passungen“, ab Seite 51).

# 1 Wälzlager in elektrischen Maschinen

## Konstruktionsanforderungen

### 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 es vorkommen, dass das Lager auf der Antriebsseite relativ stark entlastet wird und die Last von den Lagern auf der nicht angetriebenen Seite 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 unzureichende Ausrichtung und/oder Wellendurchbiegungen möglich sind, sollte die Verwendung eines CARB Toroidal-Rollenlagers in Betracht gezogen werden.

Siehe auch typische Anordnungen für Kupplungs- und Riementriebe 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. Als Faustregel gilt, daß die Nachschmierfrist bei senkrechten Wellen zu halbieren ist.

Ferner sollten Berührungsdichtungen verwendet werden, da sie das Schmierfett am besten zurückhalten.

### Umgebung

In feuchten und staubigen Umgebungen sollten abgedichtete Lager verwendet werden. Für Motoren an abgelegenen Standorten können abgedichtete Lager für eine wartungsarme oder wartungsfreie Ausführung erforderlich sein. Die Art der verwendeten Dicht- oder Deckscheibe ist ausschlaggebend für die Wartungsanforderungen und die Gebrauchsdauer des Lagers. In **Kapitel 4** „Schmierung und Abdichtung“, ab **Seite 59**, werden verschiedene Abdichtungslösungen beschrieben. Zum Schutz der Lager vor Schäden durch Stromdurchgang (Elektroerosion) bietet SKF stromisolierte Lager an (→ INSO-COAT 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 auftreten können, 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 entstehende Lagerluft überprüft werden, um eine unnötige Vorspannung im Lager zu vermeiden. Zur Berechnung der Lagerluftverminderung durch Temperaturunterschiede erhalten Sie weitere Informationen von der Technischen Beratung von SKF.

# 1 Wälzlager in elektrischen Maschinen

## Konstruktionsanforderungen

### 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 durch von außen einwirkende Schwingungen (→ **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 (Ausbröckelungen oder Ausbrüche) an einem der Ringe oder den Wälzkörpern zeigt.

Laborversuche und praktische Erfahrungswerte zeigen allerdings, dass scheinbar identische Lager unter gleichen 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. Nur so werden Korrekturmaßnahmen möglich.

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, insbesondere bei leichten Belastungen. Solche Betriebsbedingungen sind gegeben, wenn ein Schmierfilm die Flächen im Wälzkontakt (Laufbahnen und Wälzkörper) wirksam trennt und Oberflächenschäden durch Verunreinigungen begrenzt sind.

Nähere Angaben zu den geeigneten Berechnungsmethoden finden Sie bei den SKF Berechnungshilfsmitteln (ab **Seite 105**), im SKF Hauptkatalog oder im interaktiven SKF Lagerungskatalog auf CD-ROM oder online unter [www.skf.com](http://www.skf.com).

Bei auf Lebensdauer geschmierten 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 Schmierstoffaustritt)
  - 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 auf Lebensdauer geschmierten Lagern kann auf eine Nachschmierung verzichtet werden. Diese Motoren gelten als wartungsfrei.

### Zustandsüberwachung

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

SKF hat Mittel und Verfahren 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 Entwurfsstadium bei dem örtlichen SKF Ansprechpartner nach den Liefermöglichkeiten einzelner Produkte zu erkundigen.

### 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 (→ **Seite 85**).

### 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 die Laufgenauigkeit der eingebauten Lager nutzen kann, muss die Genauigkeit des zylindrischen Sitzes auf der Welle und im Gehäuse (Lager-Anlageflächen auf der Welle und an Gehäuseschultern usw.) der Genauigkeit des eingesetzten Lagers entsprechen.

### 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. Aktuelle Lagerdaten sind dem Interaktiven SKF Lagerungskatalog zu entnehmen – online unter [www.skf.com](http://www.skf.com). Einige Beispiele von Lagerungen in elektrischen Maschinen werden in **Kapitel 2** „Lagerungen“, 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 folgende Faktoren berücksichtigen:

- Die Aufweitung 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 Lagerluft Normal 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](http://www.skf.com) abgerufen werden kann.

# 1 Wälzlager in elektrischen Maschinen

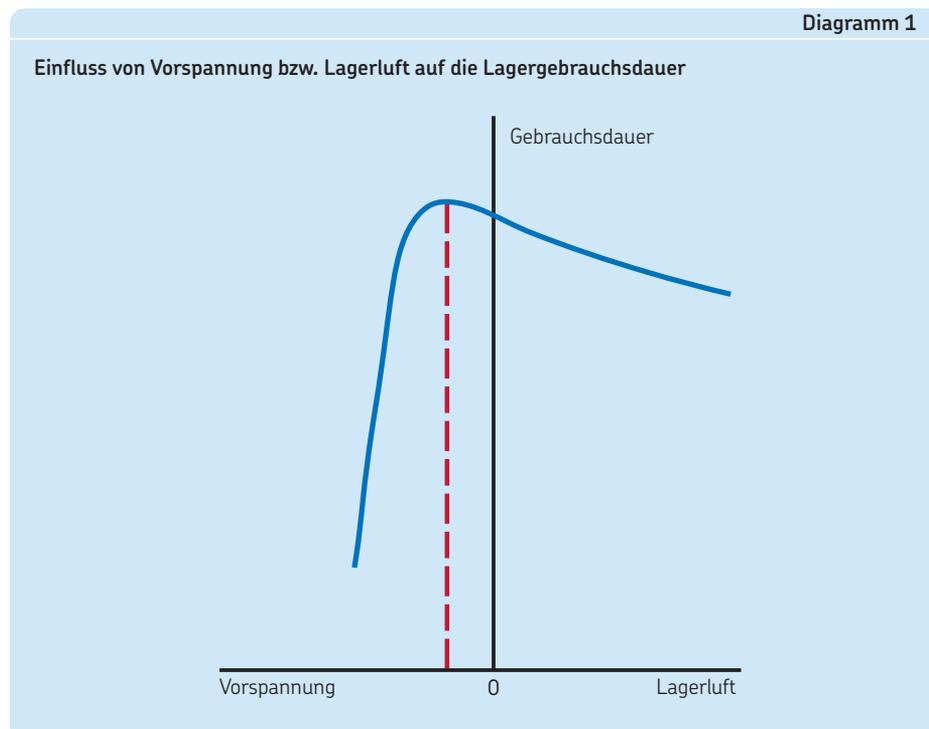
## Lagerauswahl

### 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 können. **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, die Technische Beratung 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. Weitere Angaben zu Käfigen und Käfigwerkstoffen entnehmen Sie bitte dem SKF Hauptkatalog.



## 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 nicht angetriebenen Seite 20 mm betragen. Es wird ein minimaler 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 nicht angetriebenen Seite die Lagerumgebung mit Staubpartikeln verunreinigt.

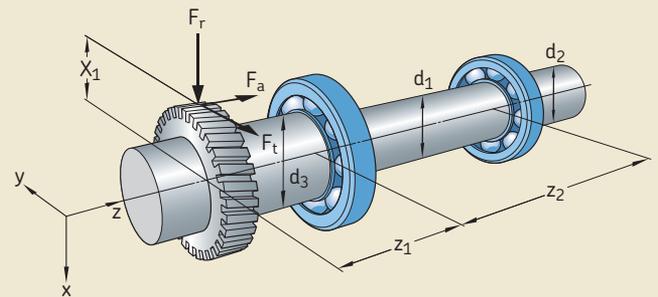
Verwenden Sie die SKF Berechnungshilfsmittel im Interaktiven SKF Lagerungskatalog (online unter [www.skf.com](http://www.skf.com)) oder die Formeln im SKF Hauptkatalog. Mit den Formeln können die nominelle Lebensdauer nach ISO,  $L_{10h}$ , sowie die erweiterte SKF Lebensdauer  $L_{10mh}$  berechnet werden. Bei der erweiterten SKF Lebensdauer werden die Ermüdungsgrenzbelastung, die Schmierungsbedingungen und das Ausmaß der Verunreinigung berücksichtigt. Da abgedichtete Lager auf Lebensdauer geschmiert sind, muss auf jeden Fall geprüft werden, ob die Fettgebrauchsdauer der geforderten Lebensdauer der Lager im Motor entspricht. Die Lebensdauer eines Elektromotors hängt in vielen Fällen von der Fettgebrauchsdauer in den auf Lebensdauer geschmierten Motorenlagern ab.

### Lagerauswahl

Bei der häufigsten Lagerung für Elektromotoren sitzt je ein Rillenkugellager auf der Antriebs- und auf der Gegenseite. In unserem Beispiel ist das antriebsseitige Lager das Festlager, das die Axiallast aufnimmt. Das Lager auf der Gegenseite ist als Loslager ausgelegt und nimmt die Wellendehnung auf (→ 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, nämlich C3, ausgewählt werden sollte.

Bei der Auswahl des Schmierstoffs für ein abgedichtetes Lager ist zunächst zu prüfen, ob das SKF Standardschmierfett die geforderten Eigenschaften aufweist. Es hat eine Viskosität von  $70 \text{ mm}^2/\text{s}$  bei  $40 \text{ °C}$  und kann für Betriebstemperaturen von  $-30$  bis  $+110 \text{ °C}$  verwendet werden. Die sicheren Betriebstemperaturen entnehmen Sie bitte dem Abschnitt „Temperaturbereich – Das SKF Ampel-Konzept“ auf Seite 61. Für eine effiziente Abdichtung sollten

Bild 2



$x_1 = 24 \text{ mm}$        $d_1 = 25 \text{ mm}$   
 $z_1 = 55 \text{ mm}$        $d_2 = 20 \text{ mm}$   
 $z_2 = 230 \text{ mm}$        $d_3 = 30 \text{ mm}$

Lager ausgewählt werden, die auf beiden Seiten mit Berührungsdichtungen ausgestattet sind.

### Berechnung der Lebensdauer

Verwenden Sie zur Auswahl der geeigneten Lager die erweiterte SKF Lebensdauer. Bei der Berechnung der Lebensdauer abgedichteter Lager kann der Beiwert für die Verunreinigung  $\eta_c$  im Allgemeinen mit 0,8 angesetzt werden. Hinweis: Bei dieser Berechnung sollten die Werte für Lager mit einer Lagerluft Normal verwendet werden, da Lagerluft C3 die Wärmedehnung der Welle und die Abnahme der Lagerluft durch den Temperaturunterschied bereits berücksichtigt.

Die geforderte 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	$\text{min}^{-1}$	3 000	
Betriebstemperatur	t	$^{\circ}\text{C}$	80	

#### Berechnung der Lagerbelastung

Lager auf der Antriebsseite			dynamisch	statisch
Radiale Belastung	$F_r$	kN	1,65	7,19
Axiale Belastung	$F_a$	kN	0	0
Lager auf der Gegenseite				
Radiale Belastung	$F_r$	kN	0,31	1,35
Axiale Belastung	$F_a$	kN	0,55	2,40

# 1 Wälzlager in elektrischen Maschinen

## Berechnungsbeispiel

### Erweiterte SKF Lebensdauer

Berechnungen erfolgen mit Hilfe der SKF Berechnungshilfsmittel im Interaktiven SKF Lagerungskatalog (online unter [www.skf.com](http://www.skf.com)) 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 25 200 h zu gering. Aus diesem Grund wird ein SKF Explorer Lager 6305-2RS1/C3 mit einer erweiterten SKF Lebensdauer von 236 600 h gewählt.

Für die Gegenseite ist die erweiterte SKF Lebensdauer von 128 900 h eines SKF Explorer Lagers 6204-2RSH/C3 mehr als ausreichend.

### Fettgebrauchsdauer

Die Berechnung der Fettgebrauchsdauer erfolgt nach der in Abschnitt „Fettgebrauchsdauer in abgedichteten Rillenkugellagern“ auf **Seite 70** und **71** beschriebenen Methode. Die Fettgebrauchsdauer kann auch mit Hilfe der Berechnungshilfsmittel im Interaktiven SKF Lagerungskatalog erfolgen (online unter [www.skf.com](http://www.skf.com)).

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

- Aus **Diagramm 4, Seite 70**, ergibt sich die Fettgebrauchsdauer für ein Belastungsverhältnis von  $C/P = 15$ . Mit einem Fettleistungsfaktor  $GPF = 1$ , der Betriebstemperatur  $t = 80\text{ °C}$  und einem  $n_{d_m}$ -Wert von 130 500 ergibt sich für die Fettgebrauchsdauer ein Wert von 24 500 h.
- Aus **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  $24\,500 \times 0,95 \approx 23\,300$  h.

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

- Aus **Diagramm 4, Seite 70**, ergibt sich die Fettgebrauchsdauer für ein Belastungsverhältnis von  $C/P = 15$ . Mit  $GPF = 1$ , Betriebstemperatur  $t = 80\text{ °C}$  und einem  $n_{d_m}$ -Wert von 100 500 ergibt sich für die Fettgebrauchsdauer ein Wert von 29 000 h.
- Aus **Tabelle 7, Seite 71**, wird der Reduktionsfaktor für höhere Belastungen ermittelt. Für  $C/P = 13,37$  ergibt sich ein Reduktionsfaktor von 0,90.

Dies ergibt eine Fettgebrauchsdauer von  $29\,000 \times 0,90 \approx 26\,100$  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 angestellt werden, das speziell für Anwendungsfälle wie Elektromotoren entwickelt wurde (Nachsetzzeichen GJN oder WT). 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 geforderte 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: kompakteres Bauen. An beiden Lagerstellen können kleinere Lager eingesetzt werden. Berechnungen mit

- einem SKF Explorer Lager 6205-2RSH/C3 auf der Antriebsseite
- einem SKF Explorer Lager 6004-2RSH/C3 auf der antriebslosen Seite
- beiden Lagern 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 Baureihe 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 der Raumbedarf für den Motor verkleinern, sondern auch noch Material einsparen, da auch die Breite der Motorgehäuse reduziert werden kann.

# 1 Wälzlager in elektrischen Maschinen

## Berechnungsbeispiel

### Berechnungsergebnisse<sup>1)</sup>

Lager			Antriebsseite			Gegenseite		
			6305- 2RS1/ C3	6305- 2RS1/ C3GJN	6305- 2RS1/ C3WT	6204- 2RSH/ C3	6204- 2RSH/ C3GJN	6204- 2RSH/ C3WT
<b>Dynamische Bedingungen</b>								
Äquivalente Lagerbelastung	P	kN	1,65	1,65	1,65	1,01	1,01	1,01
Dynamische Tragzahl	C	kN	23,4	23,4	23,4	13,5	13,5	13,5
C/P			14,18	14,18	14,18	13,37	13,37	13,37
Nominelle Lebensdauer	$L_{10}$	$10^6$	2 850	2 850	2 850	2 390	2 390	2 390
Nominelle Lebensdauer	$L_{10h}$	h	15 800	15 800	15 800	13 300	13 300	13 300
Ermüdungsgrenzbelastung	$P_u$	kN	0,49	0,49	0,49	0,28	0,28	0,28
Verunreinigungsbeiwert	$\eta_c$		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
$P_u/P \times \eta_c$			0,238	0,238	0,238	0,222	0,222	0,222
Mittlerer Lagerdurchmesser	$d_m$	mm	43,5	43,5	43,5	33,5	33,5	33,5
$n \times d_m$		mm/min	130 500	130 500	130 500	100 500	100 500	100 500
Erforderliche Viskosität	$\nu_1$	$mm^2/s$	10,5	10,5	10,5	11,9	11,9	11,9
Viskosität des Grundöls bei 80 °C	$\nu$	$mm^2/s$	12,9	21,7	15,8	12,9	21,7	15,8
Viskositätsverhältnis	$\kappa$		1,23	2,07	1,51	1,08	1,82	1,32
Lebensdauerbeiwert	$a_{SKF}$		14,9	40,5	22,8	9,71	27,1	15,0
<b>Erw. SKF Lebensdauer</b>	<b><math>L_{10mh}</math></b>	<b>h</b>	<b>236 600</b>	<b>641 400</b>	<b>361 100</b>	<b>128 900</b>	<b>359 200</b>	<b>198 500</b>
<b>Statische Bedingungen</b>								
Äquivalente Lagerbelastung	$P_0$	kN	7,19	7,19	7,19	2,00	2,00	2,00
Statische Tragzahl	$C_0$	kN	11,6	11,6	11,6	5,0	5,0	5,0
<b>Statische Tragsicherheit</b>	<b><math>s_0</math></b>		<b>1,61</b>	<b>1,61</b>	<b>1,61</b>	<b>2,50</b>	<b>2,50</b>	<b>2,50</b>
<b>Schmierung<sup>2)</sup></b>								
Wert aus dem Diagramm	$L_{10h}$	h	24 500	49 000	78 000	29 000	58 000	92 000
Reduktionsfaktor für Belastung			0,95	0,95	0,95	0,90	0,90	0,90
<b>Fettgebrauchsdauer</b>	<b><math>L_{10h}</math></b>	<b>h</b>	<b>23 300</b>	<b>46 600</b>	<b>74 000</b>	<b>26 200</b>	<b>52 300</b>	<b>83 100</b>

<sup>1)</sup> Alle Berechnungen erfolgen gemäß den Berechnungshilfsmitteln im Interaktiven SKF Lagerungskatalog, mit Ausnahme der Werte der Fettgebrauchsdauer aus dem Diagramm auf Seite 72 sind die Werte stark gerundet.

<sup>2)</sup> Einzelheiten siehe Abschnitt 4 „Schmierung und Abdichtung“, ab Seite 59.

### Berechnungsergebnisse – Verkleinerung<sup>1)</sup>

Lager			Antriebsseite			Gegenseite		
			6205- 2RSH/ C3	6205- 2RSH/ C3GJN	6205- 2RSH/ C3WT	6004- 2RSH/ C3	6004- 2RSH/ C3GJN	6004- 2RSH/ C3WT
<b>Dynamische Bedingungen</b>								
Äquivalente Lagerbelastung	P	kN	1,65	1,65	1,65	0,951	0,951	0,951
Dynamische Tragzahl	C	kN	14,80	14,80	14,80	9,95	9,95	9,95
C/P			8,97	8,97	8,97	10,46	10,46	10,46
Nominelle Lebensdauer	$L_{10}$	$10^6$	720	720	720	1 150	1 150	1 150
Nominelle Lebensdauer	$L_{10h}$	h	4 010	4 010	4 010	6 360	6 360	6 360
Ermüdungsgrenzbelastung	$P_u$	kN	0,335	0,335	0,335	0,212	0,212	0,212
Verunreinigungsbeiwert	$\eta_c$		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
$P_u/P \times \eta_c$			0,162	0,162	0,162	0,178	0,178	0,178
Mittlerer Lagerdurchmesser	$d_m$	mm	38,50	38,50	38,50	31	31	31
$n \times d_m$		mm/min	115 500	115 500	115 500	93 000	93 000	93 000
Erforderliche Viskosität	$\nu_1$	$mm^2/s$	11,1	11,1	11,1	12,4	12,4	12,4
Viskosität des Grundöls bei 80 °C	$\nu$	$mm^2/s$	12,9	21,7	15,8	12,9	21,7	15,8
Viskositätsverhältnis	$\kappa$		1,16	1,95	1,42	1,04	1,75	1,27
Lebensdauerbeiwert	$a_{SKF}$		6,28	14,40	8,93	5,99	15,10	8,86
<b>Erw. SKF Lebensdauer</b>	<b><math>L_{10mh}</math></b>	<b>h</b>	<b>25 200</b>	<b>57 700</b>	<b>35 800</b>	<b>38 100</b>	<b>96 200</b>	<b>56 400</b>
<b>Statische Bedingungen</b>								
Äquivalente Lagerbelastung	$P_0$	kN	7,19	7,19	7,19	2,00	2,00	2,00
Statische Tragzahl	$C_0$	kN	7,8	7,8	7,8	5,0	5,0	5,0
<b>Statische Tragsicherheit</b>	<b><math>s_0</math></b>		<b>1,08</b>	<b>1,08</b>	<b>1,08</b>	<b>2,50</b>	<b>2,50</b>	<b>2,50</b>
<b>Schmierung<sup>2)</sup></b>								
Wert aus dem Diagramm	$L_{10h}$	h	26 500	53 000	84 000	31 500	63 000	100 000
Reduktionsfaktor für Belastung			0,60	0,60	0,60	0,70	0,70	0,70
<b>Fettgebrauchsdauer</b>	<b><math>L_{10h}</math></b>	<b>h</b>	<b>15 900</b>	<b>31 800</b>	<b>50 500</b>	<b>22 000</b>	<b>44 000</b>	<b>69 900</b>

<sup>1)</sup> Alle Berechnungen erfolgen gemäß den Berechnungshilfsmitteln im Interaktiven SKF Lagerungskatalog, mit Ausnahme der Werte der Fettgebrauchsdauer aus dem Diagramm auf Seite 72 sind die Werte stark gerundet.

<sup>2)</sup> Einzelheiten siehe Abschnitt 4 „Schmierung und Abdichtung“, ab Seite 59.

**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 werden Rillenkugellager wegen des breiten Sortiments und des günstigen Preisniveaus häufig eingesetzt.

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 als auch als Festlager in einem Motor eingesetzt werden können. Zur weiteren Reduzierung des Geräusch- und Schwingungspegels können Rillenkugellager in Loslagerposition mit Federn axial vorgespannt werden.

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

### Eigenschaften und Vorteile

Zu den Vorteilen von SKF Rillenkugellagern gehören:

- Ein großes Sortiment von auf Lebensdauer geschmierten Lagern.
- Eine Vielzahl von Schmierfetten, einschließlich eines SKF Standardschmierfettes für ultraleisen Lauf 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 gegenüber Fluchtungsfehlern.
- Hocheffiziente Dichtungen, einschließlich Kontaktdichtungen, 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 befüllt sind (Nachsetzzeichen WT). Dieses Schmierfett mit Ester-Grundöl und Polyharnstoff als Verdickungsmittel kann bei Betriebstemperaturen von  $-40$  bis  $+110$  °C verwendet werden (→ **Tabelle 1** auf **Seite 62**). Die sicheren Betriebstemperaturen sind dem Abschnitt „Temperaturbereich – das SKF Ampel-Konzept“ auf **Seite 61** zu entnehmen.

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

### SKF Explorer Rillenkugellager – die Hochleistungslager

Mit der Leistungsklasse der SKF Explorer Rillenkugellager eröffnet SKF 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 optimierter Wälzkontakt.
- 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 beispielsweise eine erheblich höhere Genauigkeit, die zu überragender Leistungsfähigkeit mit leisem Lauf und hohen Drehzahlgrenzen führt. Außerdem wird die Gebrauchsdauer verlängert.

SKF Explorer Lager tragen 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 Riementrieb oder Getriebe 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 Bauform N und NU (→ Bild 3), bei denen ein Ring zwei Borde hat und den Rollensatz führt; der zweite Ring hat keine Borde, so dass er sich gegenüber dem anderen Ring frei verschieben lässt. Andere Zylinderrollenlager, wie die Bauform NJ (→ Bild 4) und NUP, haben zwei feste Borde am Außenring, der den Rollensatz führt. Der Innenring hat einen festen 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 Schwingungsmotoren verwendet.

### Eigenschaften und Vorteile

Zylinderrollenlager zeichnen sich durch eine hohe radiale Tragfähigkeit aus und sind für relativ hohe Drehzahlen geeignet. Zylinderrollenlager sind nicht selbsthaltend. Das heißt, dass sich der Ring mit den beiden Borden und dem Rollensatz vom anderen Ring abnehmen lässt, was den Einbau erleichtert. Außerdem kann so eine festere Passung auf der Welle und im Gehäuse erreicht werden.

### 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 stand und haben eine gute Schwingungsfestigkeit. Große Lager haben standardmäßig einen rollengeführten Messingkäfig (Nachsetzzeichen M). Diese Käfige sind für hohe Drehzahlen sowie

Schwingungen und Beschleunigungen geeignet.

### 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 Anschlägen zu verringern.

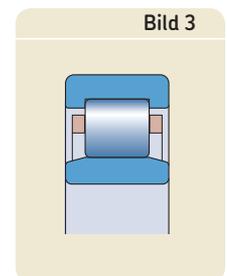
### SKF Explorer Zylinderrollenlager – die Hochleistungslager

Durch Weiterentwicklung bei Stahlherstellung, Wärmebehandlung, Fertigung und Konstruktion konnte die Leistung von SKF Zylinderrollenlagern erheblich verbessert werden. SKF Explorer-Zylinderrollenlager bieten folgende Vorteile:

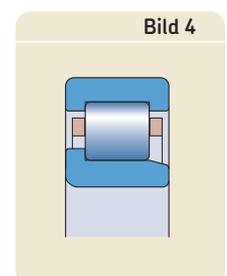
- Höhere Tragfähigkeit.
- Kompaktere Maschinenkonstruktionen durch kleinere Lager.
- Längere Gebrauchsdauer und höhere Zuverlässigkeit bei vorhandenen Maschinen.
- Geräuschärmerer Lauf.

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

Bauform NU



Bauform NJ



**1** Wälzlager in elektrischen Maschinen  
INSOCOAT Lager



### INSOCOAT Lager

Unter dem Namen INSOCOAT bietet SKF elektrisch isolierte Lager an, die Stromdurchgang durch das Lager verhindern. Isolierte Lager werden in der Regel auf der nicht angetriebenen Seite frequenzgesteuerter Induktionsmotoren sowie an beiden Lagerstellen von großen Generatoren, wie beispielsweise bei Windkraftanlagen, eingebaut.

INSOCOAT Lager sind mit einer stromisolierenden Beschichtung 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. INSOCOAT Lager können also mit den gleichen Passungen eingebaut werden wie Standardlager im gleichen Anwendungsfall.

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

INSOCOAT Lager haben einen ohmschen Widerstand von mindestens 50 MΩ.

### Eigenschaften und Vorteile

INSOCOAT Lager weisen folgende Eigenschaften auf:

- Außerordentlich gute Beschichtungsqualität und -haftung.
- Hohe Leistung auch in feuchten Umgebungen, Beschichtung weitgehend wärme- und chemikalienbeständig.
- Einfacher Ein- und Ausbau: INSOCOAT Lager erfordern keine größere Sorgfalt als herkömmliche Lager.
- Standard-Hauptabmessungen nach ISO.
- Umweltfreundlich.

- Die Innenringbeschichtung des Lagers verbessert den Schutz von Stromschäden, insbesondere in Anwendungen, wo die Schäden durch hochfrequente Ströme verursacht werden.
- Vereint zwei Eigenschaften in einer Lösung: Lager und Stromisolierung.
- Schäden durch Stromdurchgang oder -überschlag werden weitgehend vermieden, so steigt die Maschinenverfügbarkeit.
- Geringere Instandhaltungskosten.
- Kostengünstig im Vergleich zu anderen stromisolierten Lösungen (verhindert Schäden durch Stromdurchgang durch das Lager).
- Weltweit verfügbar dank der SKF Präsenz in mehr als 130 Ländern bei über 7 000 Vertragshändlern und Wiederverkäufern.

**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 des Lagers durch Stromdurchgang. 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 Vollstahllagern durch eine erheblich längere Gebrauchsdauer und eine geringere Reibung auszeichnen.

### Eigenschaften und Vorteile

- **Verhindern Stromdurchgang**  
Siliziumnitrid ist ein Nichtleiter.
- **Ermöglichen höhere Drehzahlen**
  - Geringere Dichte: Die Dichte von Siliziumnitrid liegt bei gerade 40% der Dichte von Stahl, daher sind natürlich auch Keramikwälzkörper wesentlich leichter als solche aus Stahl. 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 unzureichender Schmierung. Letztendlich bedeutet dies bessere Schmierung, einen geringeren Geräuschpegel und niedrigere Betriebstemperaturen.
  - Höherer Elastizitätsmodul: Der keramische Werkstoff hat einen um 50% höheren Elastizitätsmodul als Stahl. Wälzkörper aus Keramik bewirken eine höhere 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 Gebrauchsdauer**  
Hybridlager können die Lebensdauer in solchen Anwendungsfällen verlängern, wo einer der folgenden Faktoren zu ungünstiger Schmierung führt:

- Hohe Temperaturen.
- Senkrecht eingebaute Welle.
- Umlaufender Außenring.
- Luftströmung.

Siliziumnitrid und Stahl bilden eine ausgezeichnete 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 tritt kein Mikroschweißen auf, und es besteht keine Gefahr von Anschmierungen. Deshalb laufen Hybridlager auch beim Vorliegen eines extrem dünnen Schmierfilms kühler.

- **Verlängern die Fettgebrauchsdauer**  
Hybridlager erzeugen weniger Reibung und Wärme als vergleichbare Vollstahllager. Die resultierenden niedrigeren Temperaturen verlängern die Fettgebrauchsdauer, so dass das Schmierfett drei- bis fünfmal länger verwendet werden kann, je nach Anwendungsfall und Betriebsbedingungen.
- **Verschleißfest gegenüber Verunreinigungen durch Feststoffe**  
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 meist zermahlen. Auch können Keramikugeln Eindrückungen in den Stahlringen „einebnen“.
- **Widerstehen Schwingungen**  
Wälzkörper aus Siliziumnitrid auf Laufbahnen aus Stahl sind wesentlich beständiger gegen Verschleiß durch Schwingungen der Lager im Stillstand.

**1** Wälzlager in elektrischen Maschinen  
Schräggugellager



### Schrägkugellager

Schrägkugellager werden hauptsächlich als Festlager in senkrecht eingebauten Elektromotoren eingesetzt, wenn die hohen axialen Belastungen nicht von Rillenkugellagern aufgenommen werden können. Schrägkugellager in ein- oder zweireihiger Ausführung haben eine hohe axiale Tragfähigkeit und eignen sich für hohe Drehzahlen.

Ein zweireihiges Schrägkugellager oder zwei universell gepaarte einreihige Schrägkugellager können auch größere radiale Belastungen aufnehmen.

#### Einreihige Schrägkugellager

Abhängig von der Lagerreihe und -baugröße werden einreihige SKF Schrägkugellager standardmäßig mit einem der folgenden Käfige geliefert:

- Spritzguss-Fensterkäfig aus glasfaserverstärktem Polyamid 66, kugelgeführt (Nachsetzzeichen P).
- Spritzguss-Fensterkäfig aus glasfaserverstärktem Polyetheretherketon (PEEK), kugelgeführt (Nachsetzzeichen PH).
- Gepresster Messing-Fensterkäfig, kugelgeführt (Nachsetzzeichen Y).
- Massiver Messing-Fensterkäfig, kugelgeführt (Nachsetzzeichen M).

In den gängigen Größen stellt SKF standardmäßig universell paarbare Lager 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-Schrägkugellager

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

#### Zweireihige Schrägkugellager

Zweireihige Schrägkugellager, die mit oder ohne Dicht- bzw. Deckscheiben erhältlich sind, werden sowohl mit Lagerluft Normal als

auch mit Lagerluft C3 hergestellt. Je nach Lagerreihe und -größe laufen die zweireihigen SKF Schrägkugellager mit einem der folgenden Käfigtypen:

- Spritzguss-Schnappkäfig aus glasfaserverstärktem Polyamid 66, kugelgeführt (Nachsetzzeichen TN9).
- Schnappkäfig aus Stahlblech gepresst, kugelgeführt (kein Nachsetzzeichen oder Nachsetzzeichen J1).
- Kronenkäfig aus Stahlblech gepresst, kugelgeführt (kein Nachsetzzeichen).

#### Eigenschaften und Vorteile

Schrägkugellager können hohe Axiallasten aufnehmen und mit hohen Drehzahlen umlaufen, und daher sind sie für eine ganze Reihe von Elektromotoren-Anwendungen eine gute Wahl.

#### SKF Explorer-Schrägkugellager – die Hochleistungslager

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

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

Die ausgezeichneten 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 Schrägkugellager sind keine Erweiterung des Sortiments. Sie ersetzen einzelne Ausführungen der bisherigen Typen.

SKF Explorer Lager tragen 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.

### Eigenschaften und Vorteile

SKF Pendelrollenlager können sehr hohe Belastungen aufnehmen. Sie haben spezielle Eigenschaften, wie etwa selbstführende Rollen (eine Eigenentwicklung 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 Standardgehäuse und Spezialgehäuse für große Motoren und Generatoren eingebaut werden (→ Abschnitt „SKF Flanschlagergehäuse mit Wälzlagern“ auf **Seite 110**). Daneben sind Pendelrollenlager für Schwingungsanwendungen erhältlich.

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

### Lagerluft

Pendelrollenlager können normalerweise erheblich höhere Belastungen aufnehmen als beispielsweise Rillenkugellager. Entsprechend müssen beide Ringe auch mit festerer Passung eingebaut werden. Zum Ausgleich der auftretenden Lagerluftverringering beim Einbau werden sie mit größerer Lagerluft als Rillenkugellager ausgewählt. 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 verringern.

## 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 an der Leistungsfähigkeit Abstriche gemacht werden müssten. 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 keinesfalls nur ein kleiner Schritt nach vorn – es ist vielmehr ein Quantensprung, was die Leistungsfähigkeit von Wälzlagern betrifft.

Umfassende Tests und Feldversuche haben gezeigt, dass diese Lager nicht nur bis zu dreimal so lange laufen wie herkömmliche Pendelrollenlager, sondern auch die Gefahr eines vorzeitigen Ausfalls erst wesentlich später überhaupt besteht.

Dies eröffnet neue Möglichkeiten. Sie können mit SKF Explorer Pendelrollenlagern nicht nur kompakter, sondern auch geräuscher 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 weniger Gefahr von vorzeitigem Ausfall.
- Noch größere Zuverlässigkeit.
- Noch bessere Leistung.

SKF Explorer Lager tragen 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 die 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 gegenüber dem Außenring schiefgestellt ist. Das CARB Lager gleicht Schiefstellung und Axialversatz gleichzeitig aus. Aufgrund dieser außerordentlichen Eigenschaften kann ein CARB Lager in Situationen, in denen herkömmliche Lager vorzeitig ausfallen können, die Lebensdauer verlängern, die Maschinenlaufzeit steigern und Wartungskosten reduzieren.

### Eigenschaften und 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 Riementrieb und Getriebemotoren nimmt das CARB Lager auch hohe radiale Belastungen auf. Mit seiner einzigartigen Konstruktion kann es die axiale Ausdehnung der Welle wie ein Zylinderrollenlager und 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 sind CARB Lager weniger empfindlich gegenüber Gleiten unter nur leichter Belastung, so dass sie auch in gekoppelten Motoren mit relativ geringen Belastungen verwendet werden können.

### Schiefstellung und axiale Verschiebbarkeit

CARB Lager lassen Schiefstellungen bis zu  $0,5^\circ$  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 die von 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

Axial-Pendelrollenlager haben die höchste Tragfähigkeit von allen Axialrollenlagern. Sie können sehr hohe Axiallasten und gleichzeitig hohe Radiallasten aufnehmen. Diese Tragfähigkeit und die Winkelbeweglichkeit machen diese Lager zur besten Wahl für Elektromaschinen, in denen hohe Axiallasten auftreten. Das beste Beispiel sind vertikal angeordnete Turbinen zur Stromerzeugung.

Axial-Pendelrollenlager können hydrostatische oder hydrodynamische Lager ersetzen.

### Eigenschaften und Vorteile

Axial-Pendelrollenlager zeichnen sich dadurch aus, dass sie sehr hohe Axiallasten und gleichzeitig hohe Radiallasten, Schiefstellung und recht hohe Drehzahlen aufnehmen können.

Außerdem sind Axial-Pendelrollenlager nicht selbsthaltend, d.h., die Wellenscheibe mit Rollensatz kann getrennt von der Gehäusescheibe eingebaut werden. Dies vereinfacht den Einbau erheblich.

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 erfordern. Bei Anwendungsfällen mit mittleren Drehzahlen ist auch Fettschmierung möglich.

Wegen der Winkelbeweglichkeit können Axial-Pendelrollenlager Schiefstellungen der Welle gegenüber dem Gehäuse sowie Durchbiegung oder Biegung der Welle aufnehmen.

### 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 Abstriche bei der Leistung erforderlich wurden. 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 keinesfalls nur ein kleiner Schritt nach vorn – es ist vielmehr ein Quantensprung, was die Leistungsfähigkeit von Wälzlagern betrifft. Tests haben gezeigt, dass diese

Axial-Pendelrollenlager bis zu dreimal so lange laufen wie 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:

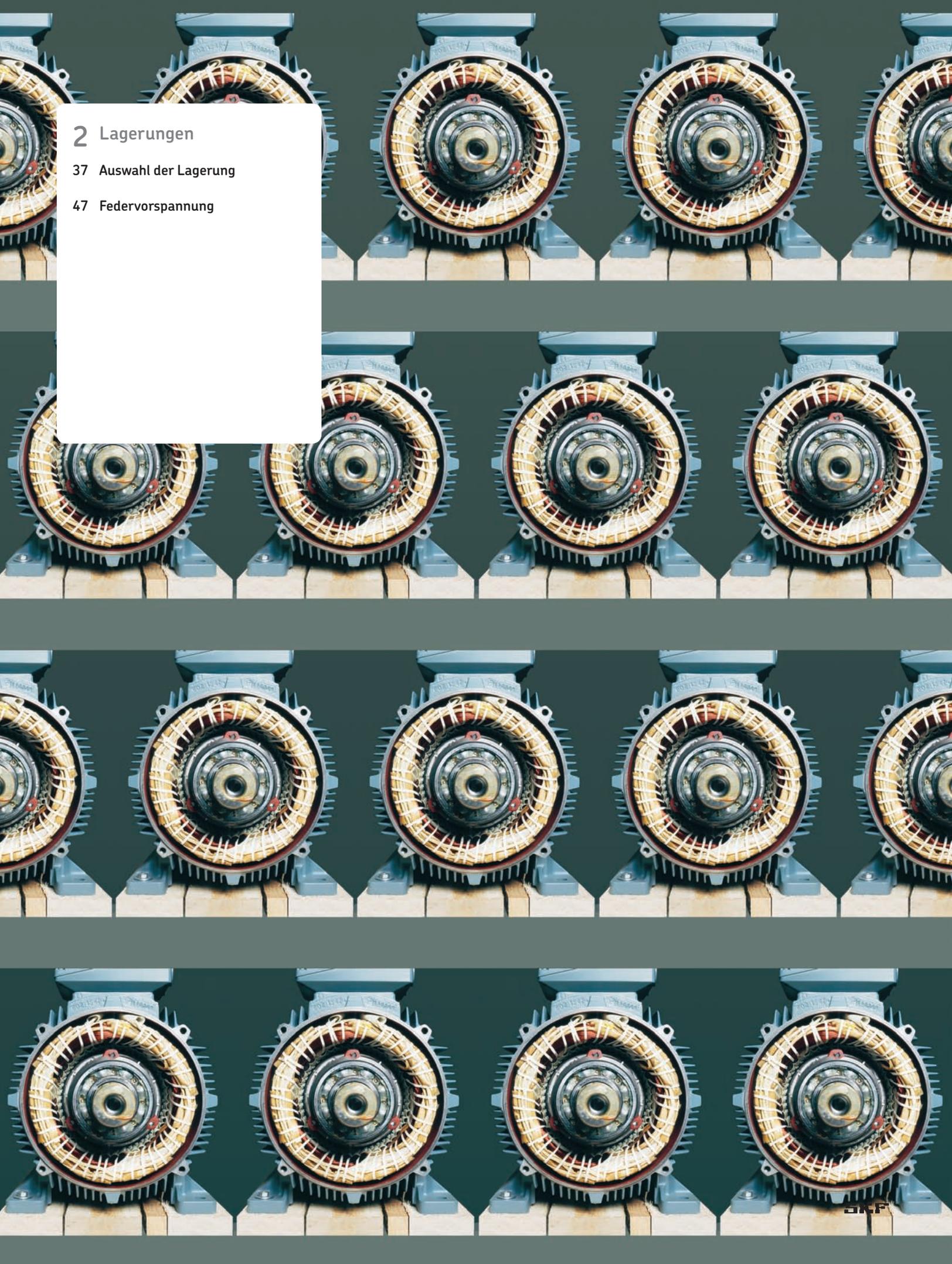
- Noch längere Lebensdauer.
- Noch weniger Gefahr vorzeitigen Ausfalls.
- Noch größere Zuverlässigkeit.
- Noch bessere Leistung.

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

## 2 Lagerungen

37 Auswahl der Lagerung

47 Federvorspannung



# Lagerungen

*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 Lagerungen generell ein Fest- und ein Loslager eingesetzt.*

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

## Auswahl der Lagerung

Die meisten Motoren werden mit einer Lagerung aus Fest- und Loslager konstruiert. Das Festlager legt die Welle axial fest.

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- als auch als Loslager verwendet werden. Andere Lagerarten können entweder nur als Festlager, beispielsweise Schrägkugellager, oder nur als Loslager eingesetzt werden, wie CARB Lager und 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 Instand-

haltung, 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 auf Lebensdauer geschmierte Lager zu verwenden. Stattdessen können Nachschmievorrichtungen notwendig werden.

### Lagerungen für Kupplungsantriebe

#### Kleine Motoren

Bei kleineren Motoren wird in der Regel eine schwimmende Lagerung mit zwei Rillenkugellagern vorgesehen. Jedes Lager führt die Welle axial nur in einer Richtung, jeweils entgegengesetzt. Wegen der Forderung nach geringem Laufgeräusch werden Rillenkugellager normalerweise mit Federn vorgespannt (→ **Bild 1**). 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 Geräuschentwicklung verringert werden und der Motor insgesamt leiser läuft.

Im Normalfall wird beim Gehäuse eines kleinen Motors eine Spaltdichtung verwendet. Für zusätzlichen Schutz werden auf Lebensdauer geschmierte Lager mit Deckscheiben eingesetzt. Diese Art der Abdichtung eignet sich für trockene, saubere Umgebungen. Für stärker verschmutzte Umgebungen sind reibungsarme 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 Gegenseite angeordnet wird. Der Außenring des Loslagers muss 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 Nachschmierung erfordern. Müssen die Lager häufig nachgeschmiert werden, sollte der Motor mit einem Fettmen-

genregler ausgestattet sein (→ **Bild 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 Motorgehäuse 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 Gegenseite. Zum Innenraum hin verhindern Filzdichtungen ein Eindringen von Schmierfett in den Rotorbereich.

### Lagerungen für Riementriebe

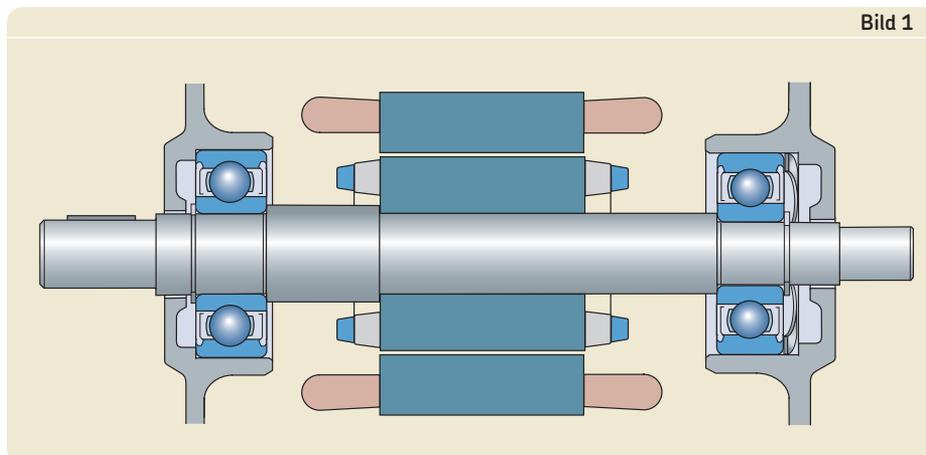
#### Kleine Motoren

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

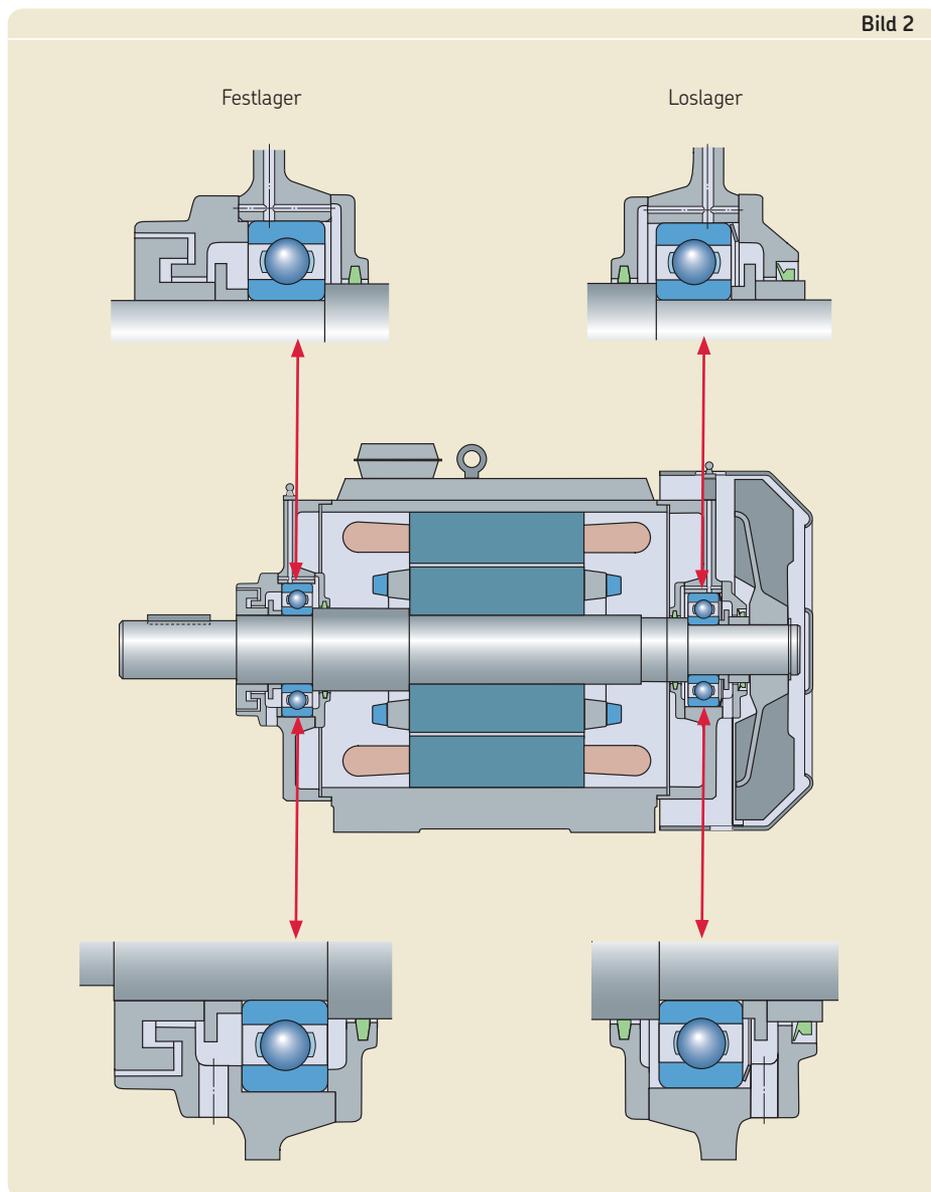
#### Mittelgroße und große Motoren

In mittelgroßen und großen Elektromotoren für Riementriebe kann entweder ein Zylinderrollenlager oder ein CARB Toroidal-Rollenlager als Loslager auf der Antriebsseite 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.



Lagerung mit federvorgespannten Rillenkugellagern



### 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 Gehäusesitz dreht. Das passiert normalerweise beim Loslager, weil es oft mit loser Passung im Gehäuse eingebaut ist. Es kann auch bei Anwendungsfällen mit unbestimmter Belastungsrichtung vorkommen.

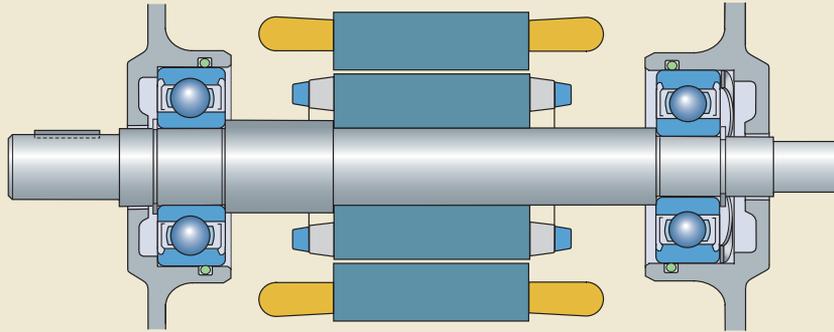
Um ein Mitdrehen des Außenrings zu verhindern, kann im Lagersitz eine Ringnut vorgesehen und ein O-Ring aus Kautschuk eingesetzt werden. Bei einer korrekten Konstruktion übt der O-Ring ausreichenden Druck auf den Außenring aus, so dass sich

dieser nicht in der Gehäusebohrung drehen kann (→ Bild 3, Seite 40).

## 2 Lagerungen

### Auswahl der Lagerung

Bild 3



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

#### Empfehlungen für O-Ring-Nuten

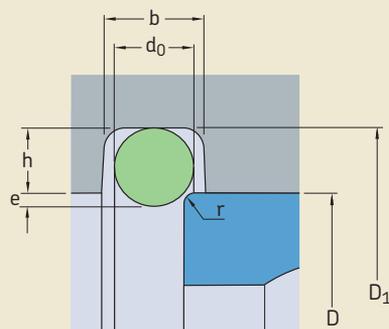
Um zu verhindern, dass der O-Ring beim Einbau des Lagers abgeschert wird, muss die Ringnut ausreichend tief sein. **Bild 4** enthält Richtlinien für die Abmessungen. Die Nut sollte entsprechend den Normwerten für statische O-Ring-Anwendungen ausgeführt werden.

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

#### Beispiele typischer Lagerungen

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

Bild 4

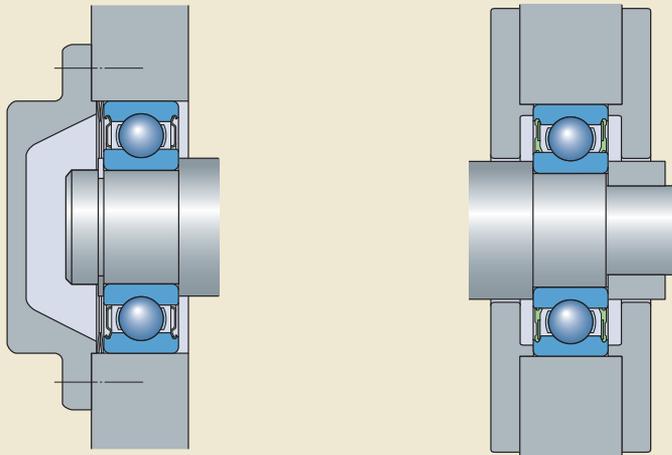


$$\begin{aligned}
 e &= 0,2 d_0 < r \\
 h &= 0,8 d_0 \\
 D_1 &= D + 2 h, \text{ Toleranz H10} \\
 b &= 1,4 d_0
 \end{aligned}$$

Ausführung der Nut für einen O-Ring

## 2 Lagerungen Auswahl der Lagerung

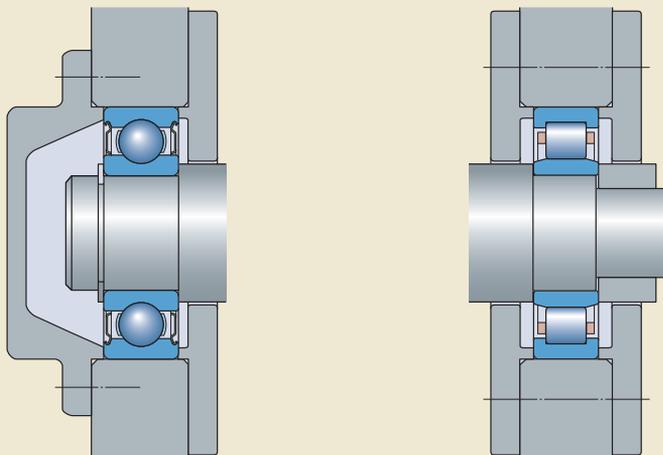
Bild 5



Zwei Rillenkugellager mit Deckscheiben

2

Bild 6



Rillenkugellager mit Deckscheiben und Zylinderrollenlager

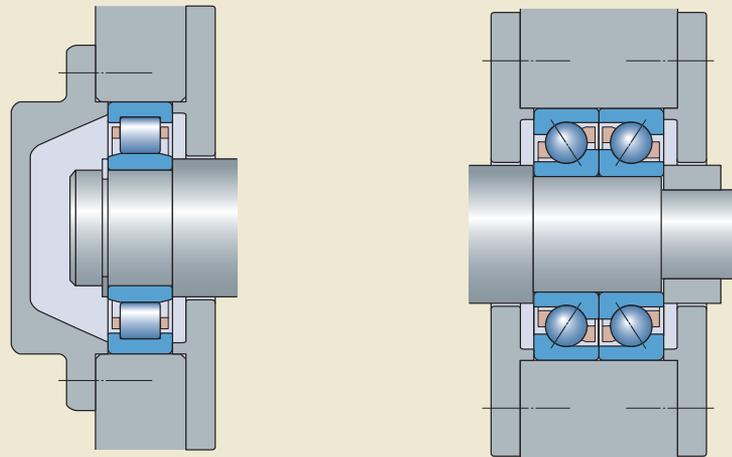
Tabelle 1a

Lagerung	Anforderungen			Führung		Belastungen		Anmerkungen
	Geräusch	Drehzahl	Wartung	radial	axial	radial	axial	
<b>Lagerungen mit waagerechter Welle</b>								
Zwei abgedichtete Rillenkugellager (→ Bild 5)								Für kleine und mittelgroße Elektromotoren; wenig Wartung; axiale Führung ist kein entscheidender Parameter; Loslager federvorgespannt.
– Deckscheiben und reibungsarme Dichtungen	5	5	5	5	3	3	3	
– Kontaktdichtungen	5	4	5	5	3	3	3	
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 = Ausgezeichnet	4 = Sehr gut	3 = Gut	2 = Befriedigend	1 = Nicht empfohlen				

## 2 Lagerungen

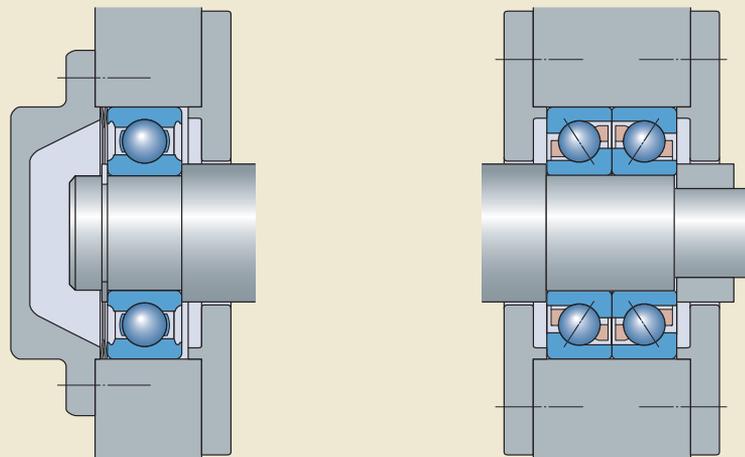
### Auswahl der Lagerung

Bild 7



Zylinderrollenlager und Lagersatz aus universell paarbaren Schrägkugellagern in X-Anordnung

Bild 8



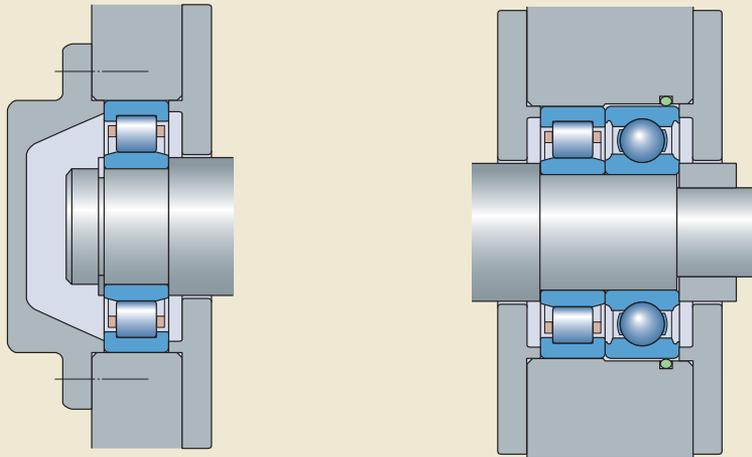
Rillenkugellager und Lagersatz aus universell paarbaren Schrägkugellagern in X-Anordnung

Tabelle 1b

Lagerung	Anforderungen		Wartung	Führung		Belastungen		Anmerkungen
	Geräusch	Drehzahl		radial	axial	radial	axial	
<b>Lagerungen mit waagerechter Welle</b>								
Zylinderrollenlager und Lagersatz aus zwei universell paarbaren Schrägkugellagern in X-Anordnung (→ 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 zwei universell paarbaren Schrägkugellagern in X-Anordnung (→ 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 = Ausgezeichnet	4 = Sehr gut	3 = Gut	2 = Befriedigend	1 = Nicht empfohlen				

## 2 Lagerungen Auswahl der Lagerung

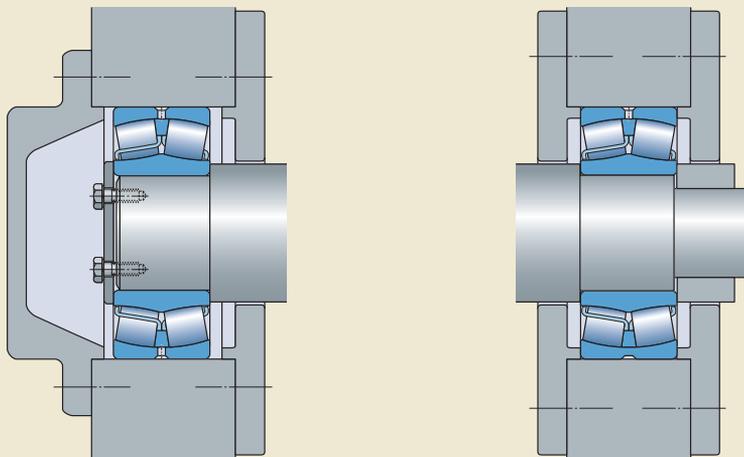
Bild 9



Zylinderrollenlager  
und Zylinderrollenlager  
mit Rillenkugellager

2

Bild 10



Zwei Pendelrollenlager

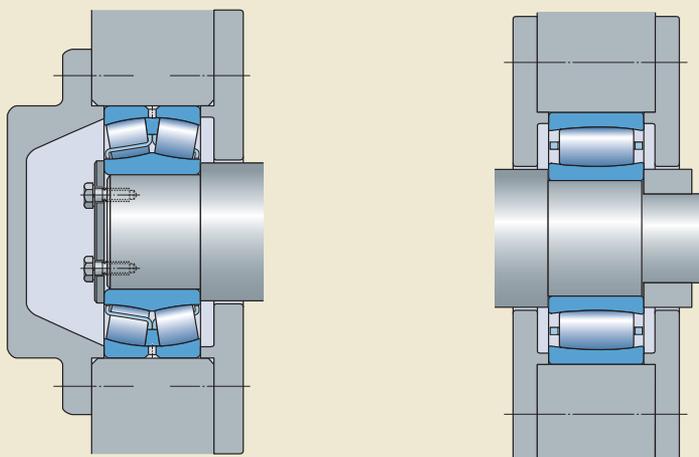
Tabelle 1c

Lagerung	Anforderungen			Führung		Belastungen		Anmerkungen
	Geräusch	Drehzahl	Wartung	radial	axial	radial	axial	
<b>Lagerungen mit waagerechter Welle</b>								
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 = Ausgezeichnet	4 = Sehr gut	3 = Gut	2 = Befriedigend	1 = Nicht empfohlen				

## 2 Lagerungen

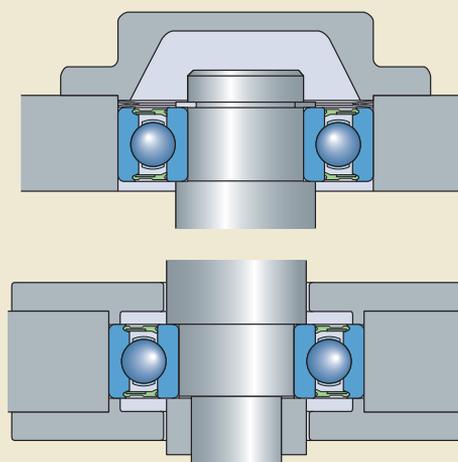
### Auswahl der Lagerung

Bild 11



Pendelrollenlager  
und CARB Toroidal-  
Rollenlager

Bild 12



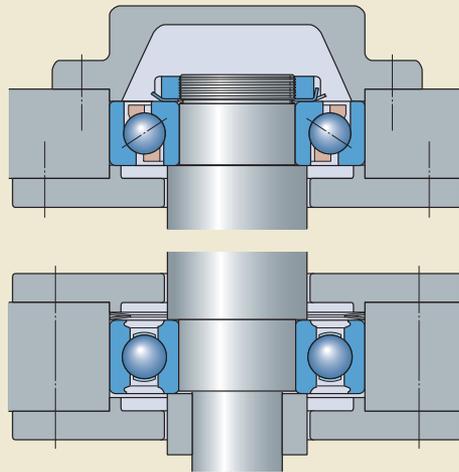
Zwei abgedichtete  
Rillenkugellager

Tabelle 1d

Lagerung	Anforderungen		Wartung	Führung		Belastungen		Anmerkungen
	Geräusch	Drehzahl		radial	axial	radial	axial	
<b>Lagerungen mit waagerechter Welle</b>								
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.
<b>Lagerungen mit senkrechter Welle</b>								
Zwei abgedichtete Rillenkugellager (→ Bild 12)								Standardanordnung für kleine und mittelgroße Elektromotoren; geringe axiale Belastungen in beiden Richtungen; oberes Lager federvorgespannt.
– reibungsarme Dichtungen	5	5	5	5	3	3	2	
– Kontaktdichtungen	5	4	5	5	3	3	2	
5 = Ausgezeichnet	4 = Sehr gut	3 = Gut	2 = Befriedigend	1 = Nicht empfohlen				

## 2 Lagerungen Auswahl der Lagerung

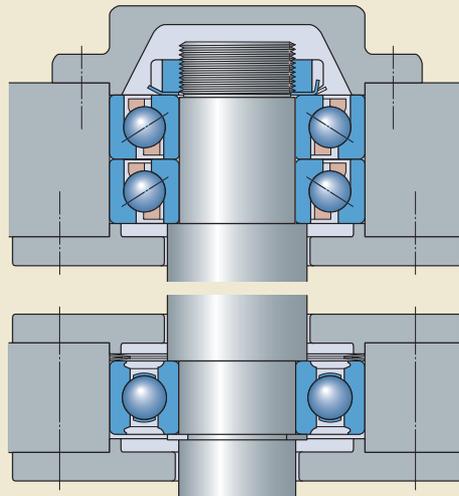
Bild 13



Schrägkugellager  
und Rillenkugellager

2

Bild 14



Lagersatz  
mit universell  
paarbaren  
Schrägkugellagern  
in Tandem-Anordnung  
und Rillenkugellager

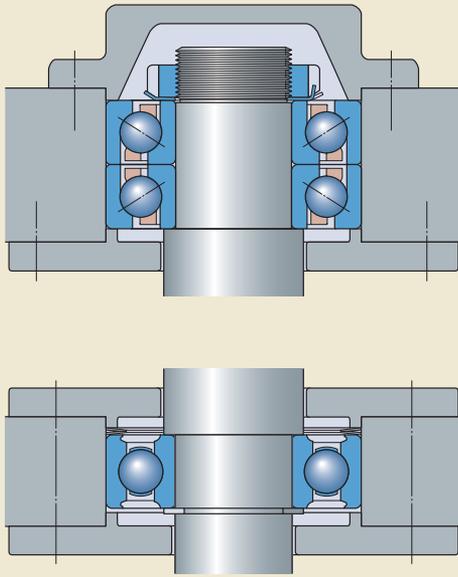
Tabelle 1e

Lagerung	Anforderungen			Führung		Belastungen		Anmerkungen
	Geräusch	Drehzahl	Wartung	radial	axial	radial	axial	
<b>Lagerungen mit senkrechter Welle</b>								
Schrägkugellager 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 zwei universal paarbaren Schrägkugellagern 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 = Ausgezeichnet	4 = Sehr gut	3 = Gut	2 = Befriedigend	1 = Nicht empfohlen				

## 2 Lagerungen

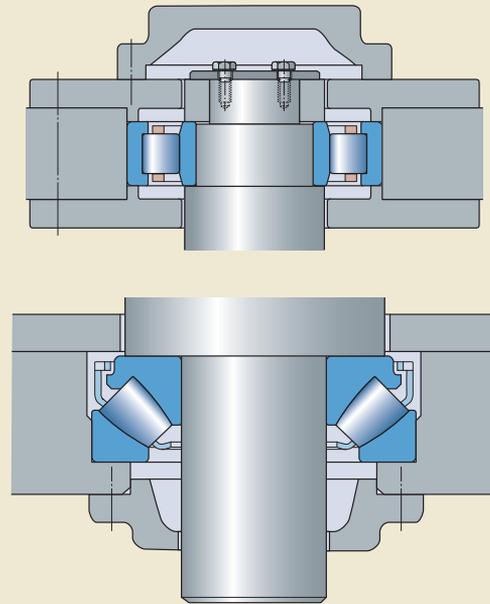
### Auswahl der Lagerung

Bild 15



Lagersatz mit zwei universal paarbaren Schrägkugellagern 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	
<b>Lagerungen mit senkrechter Welle</b>								
Lagersatz mit zwei universal paarbaren Schrägkugellagern 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.
Zylinderrollenlager + Axial-Pendelrollenlager (→ Bild 16)	3	3	4	3	3	5	5	Für große, senkrechte elektrische Maschinen; hohe, abwärtsgerichtete axiale Belastung.
5 = Ausgezeichnet	4 = Sehr gut	3 = Gut	2 = Befriedigend	1 = Nicht empfohlen				

## Federvorspannung

Die Vorspannung eines Lagers lässt sich am einfachsten mit einer Federscheibe oder einem Satz von Spiralfedern erzeugen, die auf den Außenring des Loslagers drücken (→ Bild 17). Dazu muss der Außenring mit einer losen Passung montiert sein und sich axial im Gehäuse sitzt 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 (geringe Rotormasse) lässt sich die erforderliche Vorspannkraft mit der folgenden Formel abschätzen:

$$F = k \cdot d$$

Hierin sind

F die **Vorspannkraft**, kN

k ein Beiwert (→ Empfehlungen unter „Geräuscharmer Lauf“ und „Vermeiden von Riffelbildung durch Stillstandserschütterungen“)

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 auf den Geräuschpegel in Versuchen geprüft werden.

### Vermeiden von Riffelbildung durch Stillstandserschütterungen

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 Stillstandserschütterungen verursachten Schäden erheblich verringern. Wenn die Lager nicht zur Geräuschreduzierung, sondern zur Begrenzung von Schäden durch Stillstandserschütterungen 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 können Gleitbewegungen zwischen den Wälzkörpern und den Laufbah-

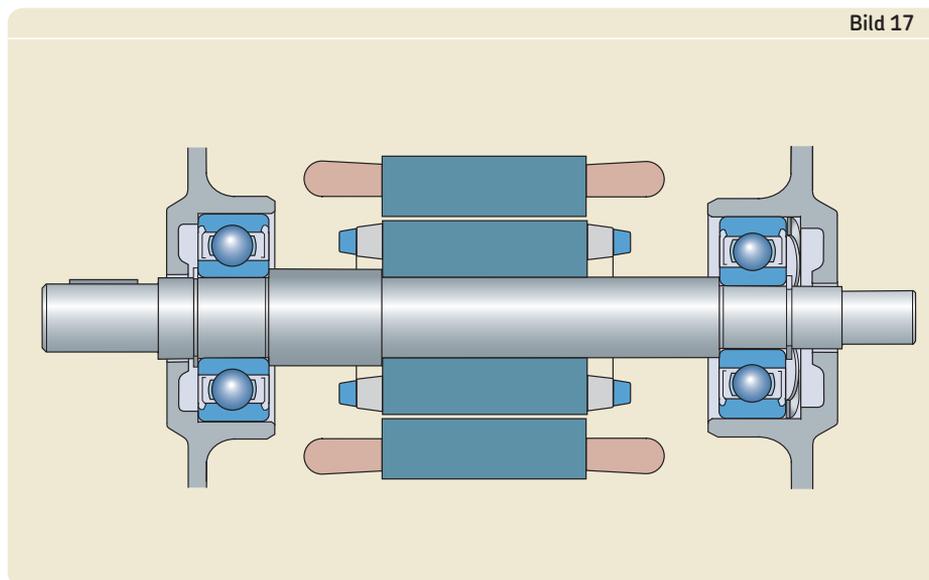


Bild 17

Lagerung mit federvorgespannten Rillenkugellagern

## 2 Lagerungen

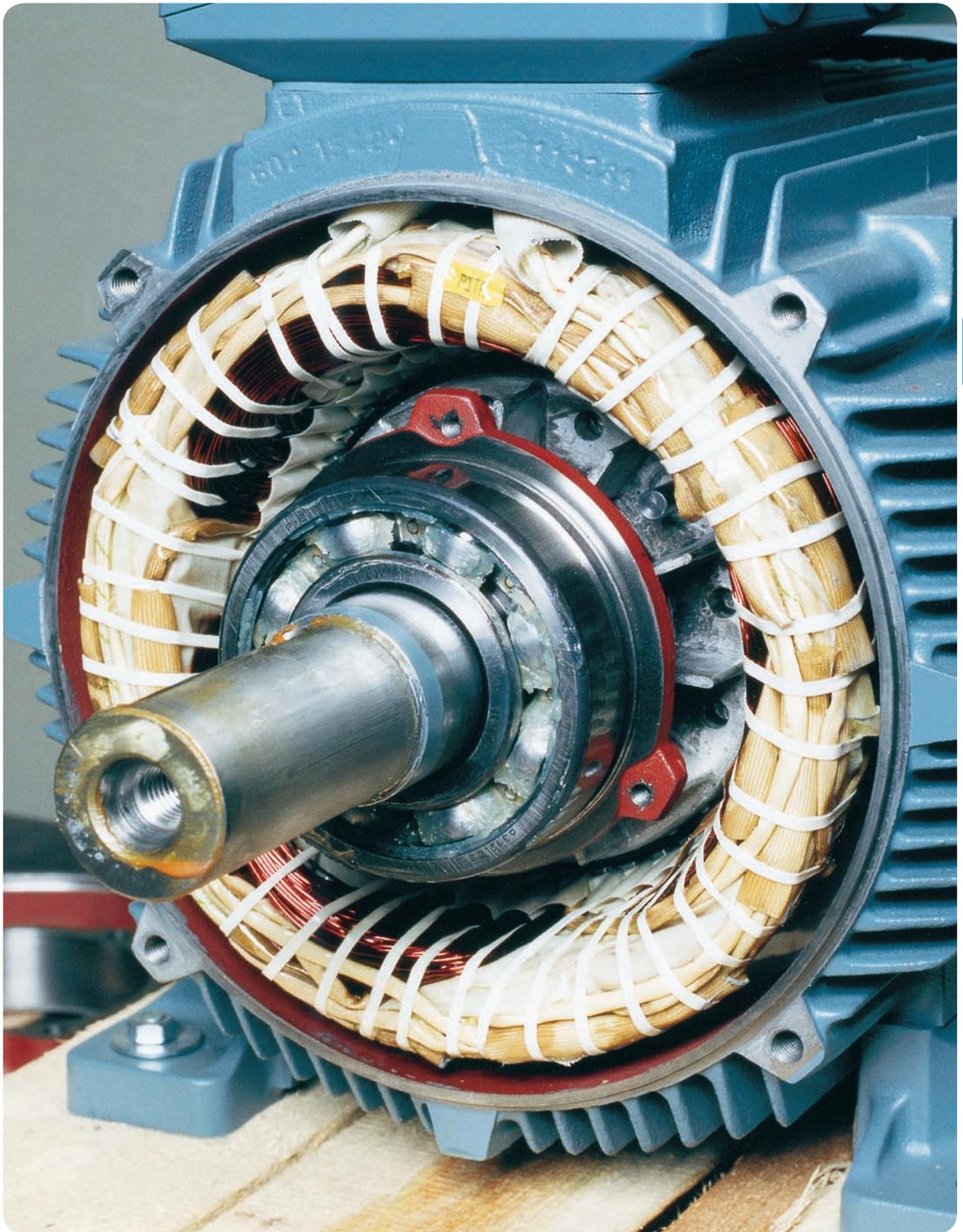
### Federvorspannung

nen vorkommen. Formeln zur Berechnung der erforderlichen Mindestbelastung der verschiedenen Lagerarten sind in den betreffenden Produktabschnitten des SKF Hauptkatalogs oder im interaktiven SKF Lagerungskatalog enthalten, der auf CD-ROM erhältlich ist oder online über [www.skf.com](http://www.skf.com) abgerufen werden kann.

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.

In Anwendungen mit Rillenkugellagern kann dies durch Aufbringen einer axialen Vorspannung durch Federn erfolgen.

Besonderer Aufmerksamkeit bedürfen elektrische Maschinen mit einer starren Kupplung, wodurch immer ein statisch überbestimmtes 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 nicht angetriebenen Ende aufgenommen wird. In diesem Fall empfiehlt sich eine Lagerung mit federvorgespannten Rillenkugellagern.



### 3 Toleranzen und Passungen

52 Wellen- und Gehäusetoleranzen

54 Empfohlene Passungen



2060-1W

# 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 abgestützt werden. Diese Abstützung, der Lagersitz im Gehäuse also, muss steif und gleichmäßig und ausreichend genau gefertigt sein, entsprechend den Anforderungen des Anwendungsfalls. Gleiches gilt für die Welle. Sie muss gerade, glatt, ausgewuchtet und korrekt bemessen sein.*

### 3 Toleranzen und Passungen Wellen- und Gehäusetoleranzen

## 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 mit Presssitz (Übermaß) eingebaut sein. Der Charakter der Passung hängt von den Betriebsbedingungen und von der Lagerart und -größe ab.

Punktlast liegt vor, wenn sowohl der Lager-ring 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.

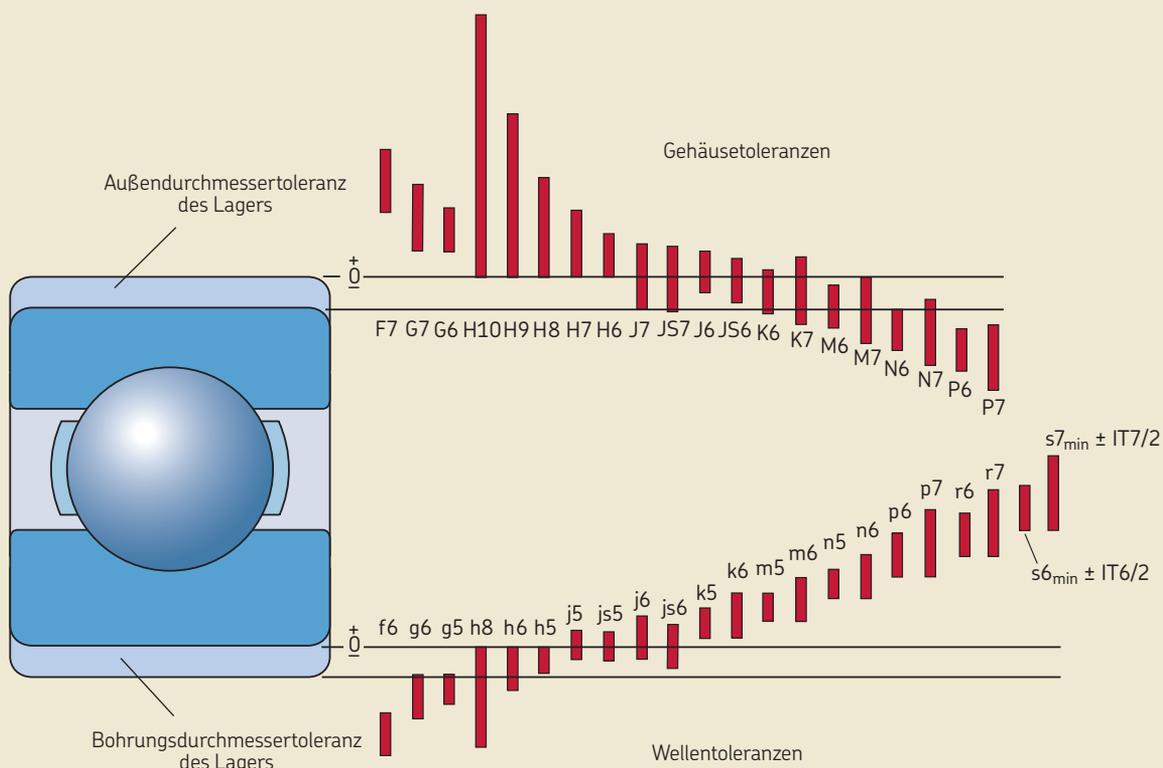
Im Normalfall kann der Ring unter diesen Bedingungen eine lose Passung haben. Bei unterschiedlichen Belastungsrichtungen jedoch, besonders bei hohen Belastungen, sollten beide Ringe mit Presssitz eingebaut werden. Dabei wird für den Innenring die gleiche Passung wie für Umfangslast empfohlen. Der Außenring 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 einen Presssitz.

## 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

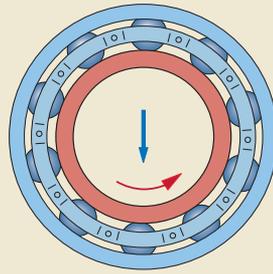


### 3 Toleranzen und Passungen Wellen- und Gehäusetoleranzen

Bild 2

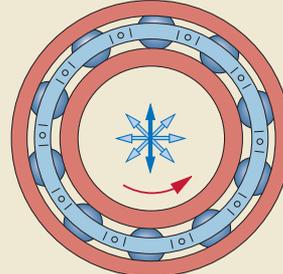
Umlaufverhältnisse  
bei Elektromotoren

Riementrieb oder hohe Rotormasse,  
geringe Unwucht



Innenring:  
Umfangslast, Presssitz empfohlen  
Außenring:  
Punktlast, Lossitz empfohlen<sup>1)</sup>

Kupplungsantrieb oder geringe  
Rotormasse, deutliche Unwucht



Innenring:  
Unbestimmte Lastrichtung, Presssitz empfohlen  
Außenring:  
Unbestimmte Lastrichtung, Presssitz empfohlen

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

#### 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.

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

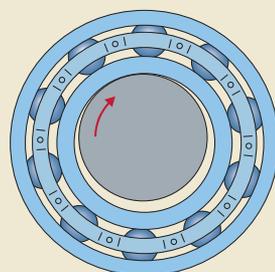
#### Bedeutung der richtigen Passung

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 geringe Lagerluft im

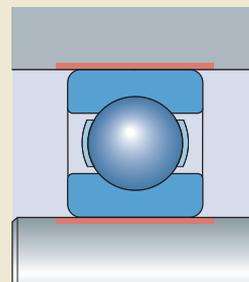
Bild 3

Zu lose



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

Zu fest



- Übermäßige Lagerluftverringern kann
  - die Betriebstemperatur deutlich ansteigen lassen
  - die Alterung des Schmierstoffs beschleunigen
- Einfluss auf die thermische Wellendehnung
- Gefahr eines Ringbruchs

Folgen falscher  
Passung

### 3 Toleranzen und Passungen Empfohlene Passungen

## Empfohlene Passungen

Empfehlungen für Lagerpassungen auf Vollwellen in Elektromotoren sind enthalten in:

**Tabelle 1:** Radiallager mit zylindrischer Bohrung  
**Tabelle 2:** Axiallager

und für Gusseisen- und Stahlgehäuse in:

**Tabelle 3:** Radiallager in ungeteilten Gehäusen

Diese Empfehlungen basieren auf den allgemeinen Richtlinien zur Lagerauswahl, den aktuellen Entwicklungen der Lagertechnik und der jahrelangen Erfahrung von SKF für viele und vielfältige Lager für Elektromotoren. Moderne Lager können wesentlich höhere Belastungen aufnehmen als herkömmliche

Lager, und die Empfehlungen spiegeln diese Entwicklung wieder. Weitere Informationen zu empfohlenen Passungen enthalten der SKF Hauptkatalog im Abschnitt „Gestaltung der Lagerungen“ oder der interaktive SKF Lagerungskatalog online unter [www.skf.com](http://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 15**).

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 **Tabelle 1 bis 3**.

**Tabelle 1**

#### Passungen von Radiallagern auf Vollstahlwellen

Bedingungen <sup>1)</sup>	Wellendurchmesser, mm		CARB und Pendelrollenlager	Toleranz
	Kugellager <sup>1)</sup>	Zylinderrollenlager		
<b>Umfangslast am Innenring oder Lastrichtung unbestimmt</b>				
Leichte oder veränderliche Belastungen (P ≤ 0,05 C)	≤ 17	–	–	js5
	(17) bis 100	≤ 25	–	j6
	(100) bis 140	(25) bis 60	–	k6
	–	(60) bis 140	–	m6
Normale bis hohe Belastungen (P > 0,05 C)	≤ 10	–	–	js5
	(10) bis 17	–	–	j5
	(17) bis 100	–	< 25	k5
	–	≤ 30	–	k6
	(100) bis 140	(30) bis 50	25 bis 40	m5
	(140) bis 200	–	–	m6
	–	(50) bis 65	(40) bis 60	n5 <sup>2)</sup>
	(200) bis 500	(65) bis 100	(60) bis 100	n6 <sup>2)</sup>
–	(100) bis 280	(100) bis 200	p6 <sup>3)</sup>	
> 500	–	–	p7 <sup>2)</sup>	
		(280) bis 500	(200) bis 500	r6 <sup>2)</sup>
		> 500	> 500	r7 <sup>2)</sup>
Schwere bis sehr schwere Belastungen und Stoßbelastungen unter schwierigen Betriebsbedingungen (P > 0,1 C)	–	(50) bis 65	(50) bis 70	n5 <sup>2)</sup>
	–	(65) bis 85	–	n6 <sup>2)</sup>
	–	(85) bis 140	(70) bis 140	p6 <sup>4)</sup>
	–	(140) bis 300	(140) bis 280	r6 <sup>5)</sup>
	–	(300) bis 500	(280) bis 400	s6min ± IT6/2 <sup>4)6)</sup>
–	> 500	> 400	s7min ± IT7/2 <sup>4)6)</sup>	

<sup>1)</sup> Für Rillenkugellager ist häufig eine Radialluft größer als Normal erforderlich, wenn die Wellentoleranzen der vorstehenden Tabelle verwendet werden. Manchmal erfordern die Betriebsbedingungen eine engere Passung, um Wandern der Kugellager-Innenringe auf der Welle zu vermeiden. Wenn die richtige Lagerluft, meist größer als Normal, gewählt wird, sind nachstehende Toleranzen möglich:

- k4 für Wellendurchmesser 10 bis 17 mm
- k5 für Wellendurchmesser (17) bis 25 mm
- m5 für Wellendurchmesser (25) bis 140 mm
- n6 für Wellendurchmesser (140) bis 300 mm
- p6 für Wellendurchmesser (300) bis 500 mm

Weitere Informationen erhalten Sie bei der Technischen Beratung von SKF.

<sup>2)</sup> Es können Lager mit einer Radialluft größer als Normal erforderlich sein.

<sup>3)</sup> Für d ≤ 150 mm können Lager mit einer Radialluft größer als Normal erforderlich sein und werden empfohlen. Für d > 150 mm können Lager mit einer Radialluft größer als Normal erforderlich sein.

<sup>4)</sup> Lager mit einer Radialluft größer als Normal sind empfohlen.

<sup>5)</sup> Es können Lager mit einer Radialluft größer als Normal erforderlich sein. Für Zylinderrollenlager ist eine Radialluft größer als Normal empfohlen.

<sup>6)</sup> Die Toleranzwerte entnehmen Sie dem Interaktiven SKF Lagerungskatalog unter [www.skf.com](http://www.skf.com), oder wenden Sie sich an die Technische Beratung von SKF.

### 3 Toleranzen und Passungen Empfohlene Passungen

#### Passungen für Aluminiumgehäuse

Aluminium hat einen mehr als doppelt so großen Ausdehnungskoeffizienten wie Gusseisen 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 Kautschuk 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 auf Seite 40).

#### 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 Motorgehäuses dienen, können einen Temperaturunterschied zwischen dem

Tabelle 2

Passungen von Axiallagern auf Vollwellen aus Stahl		
Betriebsbedingungen	Wellendurchmesser, mm	Toleranz
<b>Axial-Pendelrollenlager mit kombinierten Radial- und Axiallasten</b>		
Punktlast auf der Wellenscheibe	≤ 250	j6
	> 250	js6
Umlaufende Last auf der Wellenscheibe oder unbestimmte Lastrichtung	≤ 200	k6
	(200) bis 400	m6
	> 400	n6

Tabelle 3

Passungen für Radiallager in Gusseisen- und Stahlgehäusen – ungeteilte Gehäuse			
Betriebsverhältnisse	Beispiele	Toleranzklasse der Gehäusebohrung	Verschiebbarkeit des Außenrings
<b>Punktlast am Außenring</b>			
Beliebige Belastungen	Katalogmotoren	<b>H6 (H7<sup>1)</sup>)</b>	Verschiebbar
Wärmezufuhr über die Welle, wirksame Stator Kühlung	Große elektrische Maschinen mit Pendelrollenlagern, Induktionsmotoren	<b>G6 (G7<sup>2)</sup>)</b>	Verschiebbar
Genauer und leiser Lauf	Kleine Elektromotoren	<b>J6<sup>3)</sup></b>	In der Regel verschiebbar
<b>Unbestimmte Lastrichtung</b>			
Geringe und normale Belastungen (P ≤ 0,1 C), axiale Verschiebbarkeit des Außenrings erwünscht	Mittelgroße elektrische Maschinen	<b>J7<sup>4)</sup></b>	In der Regel verschiebbar
Normale und hohe Belastungen (P > 0,05 C), axiale Verschiebbarkeit des Außenrings nicht erforderlich	Mittlere und große elektrische Maschinen mit Zylinder- oder CARB Toroidal-Rollenlagern	<b>K7</b>	Nicht verschiebbar
Hohe Stoßbelastungen	Schwere Fahrmotoren	<b>M7</b>	Nicht verschiebbar

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

### 3 Toleranzen und Passungen Empfohlene Passungen

Gehäuse und dem Außenring des Lagers 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 das Motorgehäuse dem warmen Luftstrom ausgesetzt ist.

#### 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.

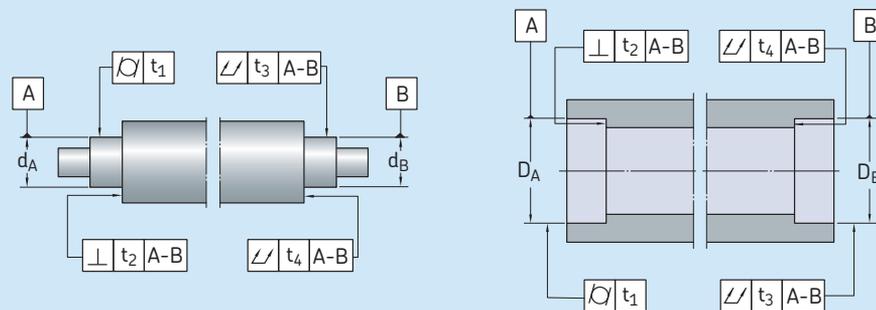
Wenn unter diesen Bedingungen ein selbsthaltendes Lager, wie z.B. ein Rillenkugellager, als Loslager verwendet wird, besteht die Gefahr, dass der Außenring in seinem Sitz „wandert“ und übermäßigen Verschleiß verursacht. Ein Beispiel dafür ist der Schiffbau, wo Motoren relativ starken Schwingungen ausgesetzt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

Es gibt zwei einfache Möglichkeiten, den Außenring festzulegen 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

Tabelle 4

#### Form- und Lagegenauigkeit des Lagersitzes auf der Welle und im Gehäuse



Oberfläche Eigenschaft	Symbol	Toleranzwert	Zulässige Abweichungen Lager der Toleranzklasse <sup>1)</sup>			
			Normal	P6	P5	
<b>Zylindrischer Sitz</b>						
Zylinderform		t <sub>1</sub>	IT5/2	IT4/2	IT3/2	IT2/2
Gesamtrundlauf		t <sub>3</sub>	IT5/2	IT4/2	IT3/2	IT2/2
<b>Ebene Anlagefläche</b>						
Rechtwinkligkeit		t <sub>2</sub>	IT5	IT4	IT3	IT2
Gesamtplanlauf		t <sub>4</sub>	IT5	IT4	IT3	IT2
<b>Erläuterung</b>						
 Bei normalen Anforderungen		 Bei besonderen Anforderungen hinsichtlich Laufgenauigkeit oder gleichmäßiger Abstützung				
<sup>1)</sup> Für Lager mit höherer Genauigkeit (Toleranzklasse P4 usw.) siehe SKF Katalog „Hochgenauigkeitslager“.						

### 3 Toleranzen und Passungen Empfohlene Passungen

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.

#### SKF Montagepaste LGAF 3E

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

#### Form- und Lagegenauigkeit

Ein zylindrischer Wellensitz und die Anlagenschulter, egal ob auf der Welle oder im Gehäuse, sollten in ihrer Genauigkeit dem ausgewählten Lager entsprechen (→ **Tabelle 4** und **5**). Dabei sollten unter

anderem die folgenden Toleranzen berücksichtigt werden:

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

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 online unter [www.skf.com](http://www.skf.com) sowie im SKF Service-Handbuch.



Tabelle 5

#### ISO-Grundtoleranzen für Längenmaße

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

## 4 Schmierung und Abdichtung

59 Schmierung

62 Auswahl des Schmierfetts

64 Schmierfristen

70 Fettgebrauchsdauer in  
abgedichteten Rillenkugellagern

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 Flächen im Wälzkontakt voneinander trennt und direkten metallischen Kontakt verhindert. Der Schmierstoff schützt das Lager und die zugehörigen Bauteile außerdem vor Korrosion. Wenn zur Schmierung Fett verwendet wird, kann das Lager damit auch gegen das Eindringen von Schmutz, Staub und Wasser geschützt werden.

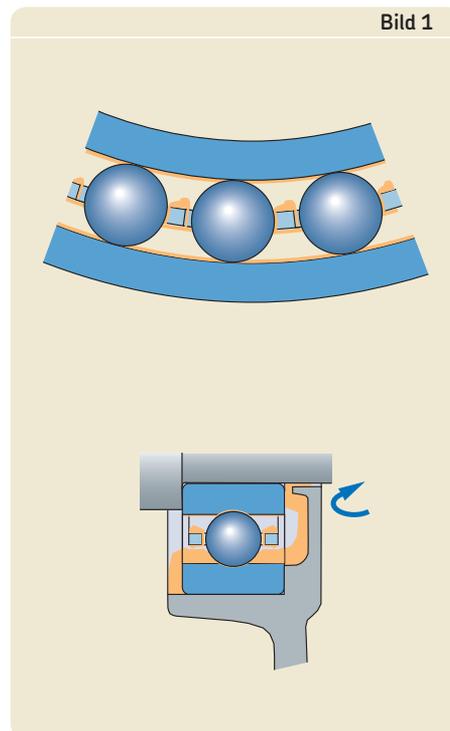
## Schmierung

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 Dichtungskonstruktionen und bietet bessere Haftung sowie Schutz gegen Verunreinigungen.



Schmiervorgänge  
in einem Wälzlager

## 4 Schmierung und Abdichtung

### Schmierung

#### Was ist ein Schmierfett?

Schmierfette bestehen aus einem Mineral- oder Syntheseöl und einem Dickungsmittel, in der Regel eine Metallseife. Es können auch andere Dickungsmittel wie z.B. Polyharnstoff verwendet werden, um die Schmierwirkung bei hohen Temperaturen zu verbessern. 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  $\kappa$ . Dies ist das Verhältnis der tatsächlichen kinematischen Viskosität  $\nu$  zu der für eine ausreichende Schmierung erforderlichen Viskosität  $\nu_1$ , wobei beide Werte bei normaler Betriebstemperatur betrachtet werden.

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

Hierin sind

- $\kappa$  das Viskositätsverhältnis
- $\nu$  die tatsächliche kinematische Viskosität des Schmierstoffs bei Betriebstemperatur,  $\text{mm}^2/\text{s}$
- $\nu_1$  die erforderliche kinematische Viskosität bei Betriebstemperatur, abhängig vom mittleren Lagerdurchmesser und der Drehzahl,  $\text{mm}^2/\text{s}$

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

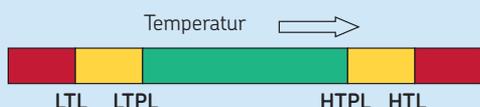
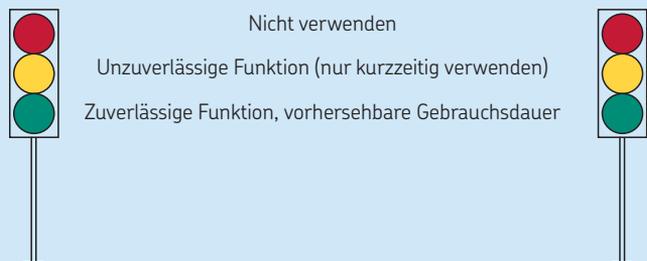
Bei normalen Betriebsbedingungen sollte das Viskositätsverhältnis größer als 1 sein.

#### 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 zulässigen Betriebstemperaturbereichs nach dem Einlaufen nicht 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 einwandfreie Abrollen der Wälzkörper oder scheiden zu wenig Öl ab.

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.

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

#### Temperaturbereich – das SKF Ampel-Konzept

Der zulässige Temperaturbereich eines Fetts hängt vorwiegend vom Grundöl, vom Verdicker und den Zusätzen ab. 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 ein zuverlässiger Betrieb gegeben ist. Hierfür sind vielmehr maßgebend der von SKF empfohlenen

- 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 Schmierwirkung des Schmierfetts zu erwarten, und es 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 schwere Lagerschäden 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.

## 4 Schmierung und Abdichtung

### Auswahl des Schmierfetts

## Auswahl des Schmierfetts

Um die gewünschte Motorleistung und Zuverlässigkeit zu erreichen, ist es von entscheidender Bedeutung, den optimalen, 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, Einbaulage der Welle (waagrecht oder senkrecht)
- Kühlung
- Wirksamkeit der Abdichtung
- Umgebung

## SKF Wälzlager-Schmierfette

Bei kleinen und mittelgroßen Lagern, bei denen die Fettgebrauchsdauer die voraussichtliche Gebrauchsdauer des Lagers übersteigt, reicht eine einmalige Fettfüllung aus. Das Schmierfett muss dann in den Lagern zurückgehalten werden und darf nicht entweichen können.

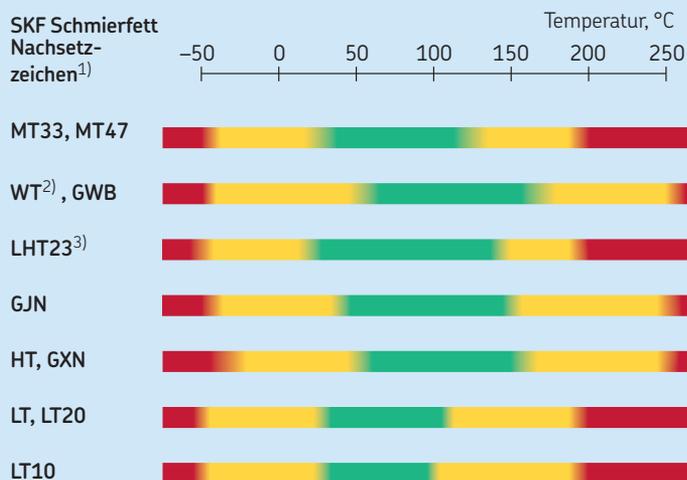
Für abgedichtete und auf Lebensdauer geschmierte Lager in Elektromotoren empfiehlt SKF die Schmierfette in **Tabelle 1a**.

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 nicht kompatibel sind (→ **Tabelle 3**). Die Mischung unterschiedlicher Schmierfette führt in der Regel zu geringerer Leistung.

**Tabelle 1a**

SKF Standard- und Spezialschmierfette für auf Lebensdauer geschmierte Rillenkugellager in Elektromotoren



<sup>1)</sup> Nachsetzzeichen in der Lagerbezeichnung zur Kennzeichnung des Schmierfetts, z.B. 6204-2Z/C3WT. Lager mit Standardfett tragen kein Nachsetzzeichen. Die Standardfette sind **Tabelle 1b** zu entnehmen.

<sup>2)</sup> Hochleistungsschmierfett für kleine/mittelgroße Elektromotoren. Weiter Temperaturbereich.

<sup>3)</sup> Besonders leises, reibungsarmes Schmierfett für kleinere Elektromotoren. Weiter Temperaturbereich.

**Tabelle 1b**

SKF Standardfette für abgedichtete Rillenkugellager

Lager der Durchmesserreihe	SKF Standardfette in Lagern mit Außendurchmesser			
	D ≤ 30 mm d < 10 mm	30 < D ≤ 62 mm d ≥ 10 mm	D > 62 mm	
8, 9	LHT23	LT10	MT47	MT33
0, 1, 2, 3	MT47	MT 47	MT47	MT33

**Tabelle 2**

SKF Schmierfette zur Nachschmierung von Lagern in Elektromotoren

SKF Schmierfett	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 Mehrzweckfett, guter Korrosionsschutz Senkrechte Wellen
LGLT 2	Kleine, leicht belastete Lager bei hohen Drehzahlen Niedrige Temperaturen Reibungsarm, wasserabstoßend
LGFP 2	Niedrige Temperaturen Lebensmittelverträglich Wasserabstoßend
LGHP 2	Weiter Temperaturbereich Reibungsarm beim Anlaufen, leise, guter Korrosionsschutz Hohe Drehzahlen Für senkrechte Wellen Sehr lange Gebrauchsdauer bei hohen Temperaturen

## 4 Schmierung und Abdichtung Auswahl des Schmierfetts

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

- Schmierfette mit Esterölen sind im allgemeinen nicht mit Polyacryl-Kautschuk kompatibel (hitzebeständige Kautschukmischung, ACM).
- SKF Standard-Kautschukwerkstoffe können zusammen mit den SKF Standard-schmierfetten 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

Das Schmiervorgehen richtet sich nach der Konstruktion des Lagers und des Gehäuses. Für alle Lagerarten gilt jedoch, dass eine übermäßige 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 die Technische Beratung von SKF.

Wann immer möglich, sollten Lager ohne Dicht- oder Deckscheiben nach dem Einbau geschmiert werden (→ **Bild 2**).

Selbsthaltende Lager wie Rillenkugellager, Schrägkugellager, Pendelrollenlager und 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 das Lager ausfüllt und auf der anderen Seite wieder austritt.

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 Rollensatz 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 beim Einbau zu vermeiden (→ **Kapitel 5** „Ein- und Ausbau“, ab **Seite 77**). Beim Schmieren von Außenring mit Rollensatz ist darauf zu achten, dass der Freiraum gut gefüllt wird. Dann den

*Schmieren eines Rillenkugellagers auf der Rotorwelle*

Tabelle 3

#### Kompatibilität von Schmierfetten

##### Grundöle

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

+ = verträglich, - = unverträglich, • = Einzelfallprüfung erforderlich

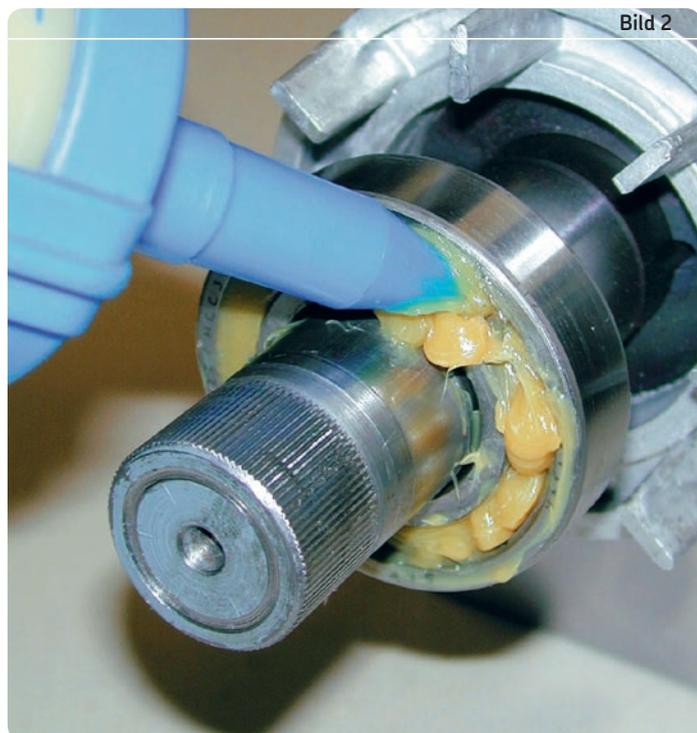


Bild 2

## 4 Schmierung und Abdichtung

### Schmierfristen

Außenring ins Motorgehäuse einbauen.  
Danach können beide Teile zusammengebaut werden.

#### 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 Abdichtung, 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 auf 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.

#### Nachschmieren

Beim Nachschmieren fettgeschmierter Lager beachten Sie bitte die Empfehlungen des Herstellers. Wenn keine solchen Empfehlungen vorliegen, lässt sich die erforderliche Fettmenge beim Nachschmieren von der Lagerseite anhand folgender Formel ermitteln:

$$G_p = 0,005 D B$$

beim Nachschmieren durch den Lageraußenring anhand von

$$G_p = 0,002 D B$$

Hierin sind

$G_p$  die Fettmenge beim Nachschmieren, g

$D$  der Lageraußendurchmesser, mm

$B$  die Lagerbreite, mm

## 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 des

- Drehzahlkennwert  $A$  multipliziert mit dem betreffenden Lagerfaktor  $b_f$  mit  
 $A = n d_m$

Hierin sind

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

$d_m$  der mittlere Lagerdurchmesser  
 $= 0,5 (d + D)$ , 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 auf Mineralölbasis, 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 festzustellen, ob ein geeignetes 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 von der Technischen Beratung von SKF. Siehe auch Abschnitt „Fettgebrauchsdauer in abgedichteten Rillenkugellagern“, ab **Seite 70**.

### Betriebs- und lagerbedingte Schmierfristberichtigungen

#### Betriebstemperaturen

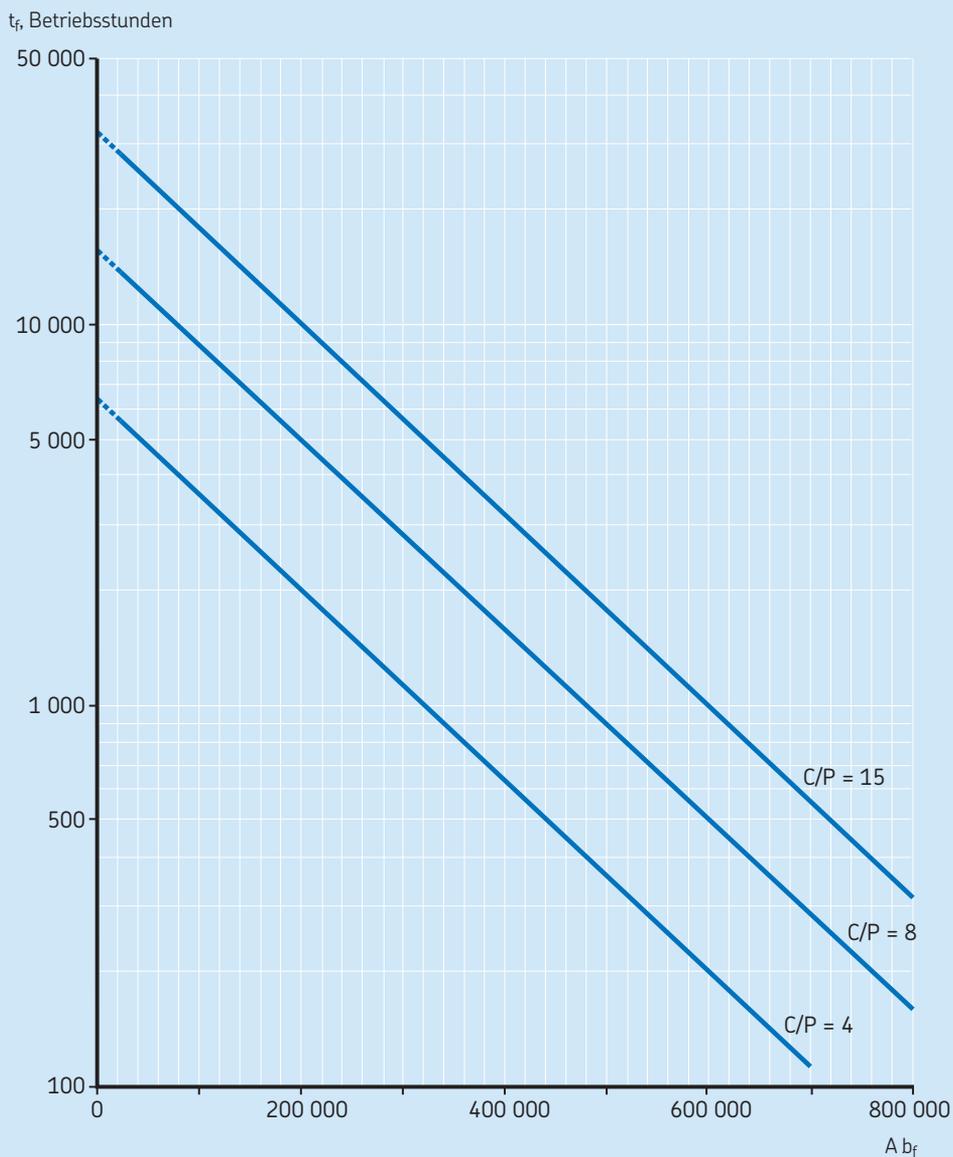
Mit Rücksicht darauf, dass Schmierfette bei höheren Temperaturen rascher altern, muss die aus **Diagramm 3** ermittelte und für Betriebstemperaturen von 70 °C geltende Schmierfrist für jeweils 15 °C Temperaturüberschreitung um die Hälfte reduziert werden. In jedem Fall darf dabei aber nicht der empfohlene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

Schmierfetts überschritten werden (→ **Diagramm 1** und **2, Seite 60**).

Bei Temperaturen unter 70 °C kann die Schmierfrist  $t_f$  verlängert werden, sofern die Temperatur nicht zu nah am unteren Grenzwert LTPL für die tiefste zulässige Betriebstemperatur liegt (→ **Diagramm 1** und **2, Seite 60**). In keinem Fall empfiehlt es sich, die Schmierfrist auf mehr als das Doppelte auszudehnen. Bei vollrolligen Lagern 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**).

Bei Hochtemperaturanwendungen wenden Sie sich bitte an die Technische Beratung 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 <sup>1)</sup>	Lagerfaktor $b_f$	Empfohlene Grenzwerte für den Drehzahlkennwert A bei Belastungsverhältnissen		
		C/P ≥ 15	C/P ≈ 8	C/P ≈ 4
–	–	mm/min		
<b>Rillenkugellager</b>	1	500 000	400 000	300 000
<b>Schräggugellager</b>	1	500 000	400 000	300 000
<b>Pendelkugellager</b>	1	500 000	400 000	300 000
<b>Zylinderrollenlager</b>				
– 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 <sup>2)</sup>	4	ungeeignet <sup>3)</sup>	ungeeignet <sup>3)</sup>	20 000
<b>Nadellager</b>	3	350 000	200 000	100 000
<b>Pendelrollenlager</b>				
– bei einem Belastungsverhältnis $F_a/F_r < e$ und $dm \leq 800$ 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 <sup>4)</sup>	50 000 <sup>4)</sup>
– bei einem Belastungsverhältnis $F_a/F_r < e$ und $dm > 800$ 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 <sup>4)</sup>	30 000 <sup>4)</sup>
– bei einem Belastungsverhältnis $F_a/F_r > e$				
alle Lagerreihen	6	150 000	50 000 <sup>4)</sup>	30 000 <sup>4)</sup>
<b>CARB Toroidal-Rollenlager</b>				
– mit Käfig	2	350 000	200 000	100 000
– ohne Käfig, vollrollig <sup>2)</sup>	4	ungeeignet <sup>3)</sup>	ungeeignet <sup>3)</sup>	20 000
<b>Axial-Pendelrollenlager</b>				
– bei reiner Axialbelastung und umlaufender Wellenscheibe	4	200 000	120 000	60 000

<sup>1)</sup> 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 die Technische Beratung von SKF.

<sup>2)</sup> Der Wert für  $t_r$  aus **Diagramm 3** auf **Seite 65** muss durch 10 geteilt werden.

<sup>3)</sup> Ungeeignet, für diese Belastungsverhältnisse werden Lager mit Käfig empfohlen.

<sup>4)</sup> 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 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 Schmierung 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 ist nach der Beschreibung im SKF Hauptkatalog auszuwählen.

#### 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

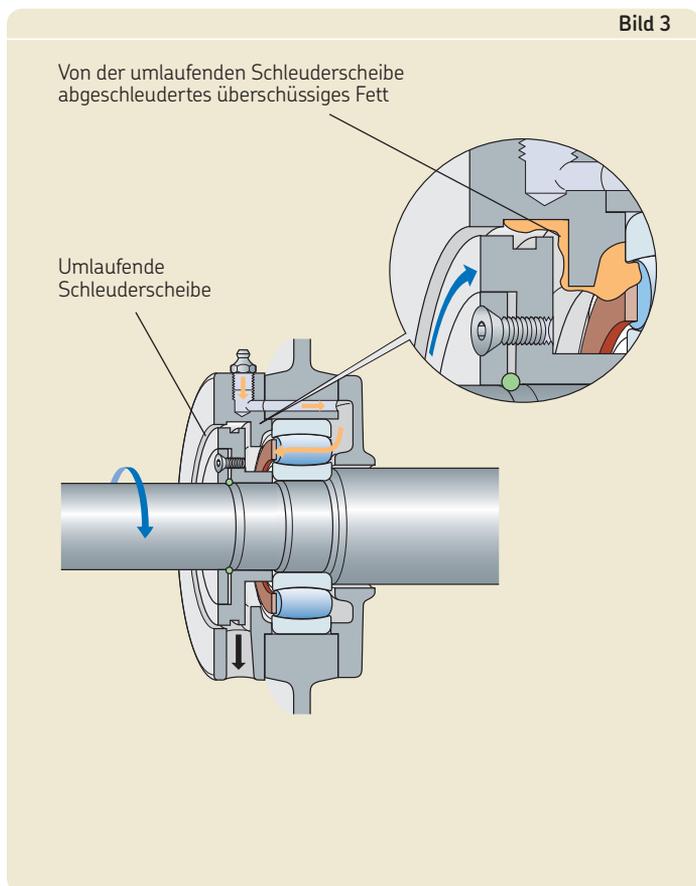
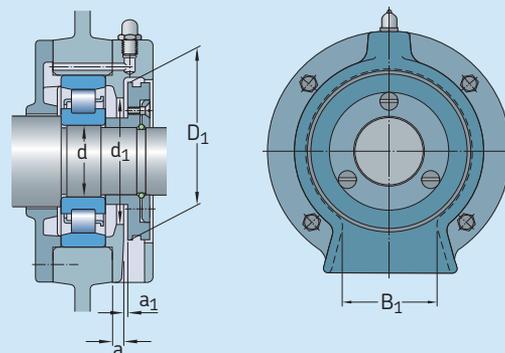


Tabelle 5

### Lagergehäuse mit Fettmengenregler



Die Abbildung zeigt lediglich das Prinzip.

Bohrungs- durchmesser d Durchmesserreihe		Abmessungen				
2	3	d <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	B <sub>1</sub> min	a	a <sub>1</sub>
mm		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

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

Überschüssiges Fett wird von der Scheibe aufgenommen, in einen Hohlraum im Motorgehäuse 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 SKF 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.

### Automatische Schmiersysteme

Vogel ist dank seines umfassenden Sortiments der weltweit führende Hersteller und Systemlieferant für Zentralschmiersysteme für Maschinen, industrielle Anlagen, Fahrzeuge und Nutzfahrzeuge. Da die Schmierung automatisch erfolgt, braucht das Bedien- oder Wartungspersonal nicht einzugreifen.

Anwendungsbeispiele: automatische Einzel- oder Mehrfach-Schmiersysteme für den Fettnachschub in großen Motoren, Windlub-Schmier- und Überwachungssysteme für Windkraftanlagen, z.B. Schmierung der umlaufenden Teile, Getriebschmierung und -kühlung.

Bild 4



Automatischer Schmierstoffgeber SYSTEM 24

Bild 5



Automatischer Schmierstoffgeber SKF SYSTEM MultiPoint



Automatische Schmierfettpumpe von Vogel

## 4 Schmierung und Abdichtung

### Fettgebrauchsdauer in abgedichteten Rillenkugellagern

## Fettgebrauchsdauer in abgedichteten Rillenkugellagern

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 auf Lebensdauer geschmierten SKF Rillenkugellagern.

## Fettleistungsclass

Die Fettgebrauchsdauer aus **Diagramm 4** gilt für Rillenkugellager mit Deckscheiben aus Stahl und Metallkäfig. Sie bezieht sich auf Lager, die unter sauberen Bedingungen in einem SKF Werk mit einer normalen Menge Standardfett befüllt und mit Deckscheiben verschlossen wurden (X-Achse GPF = 1).

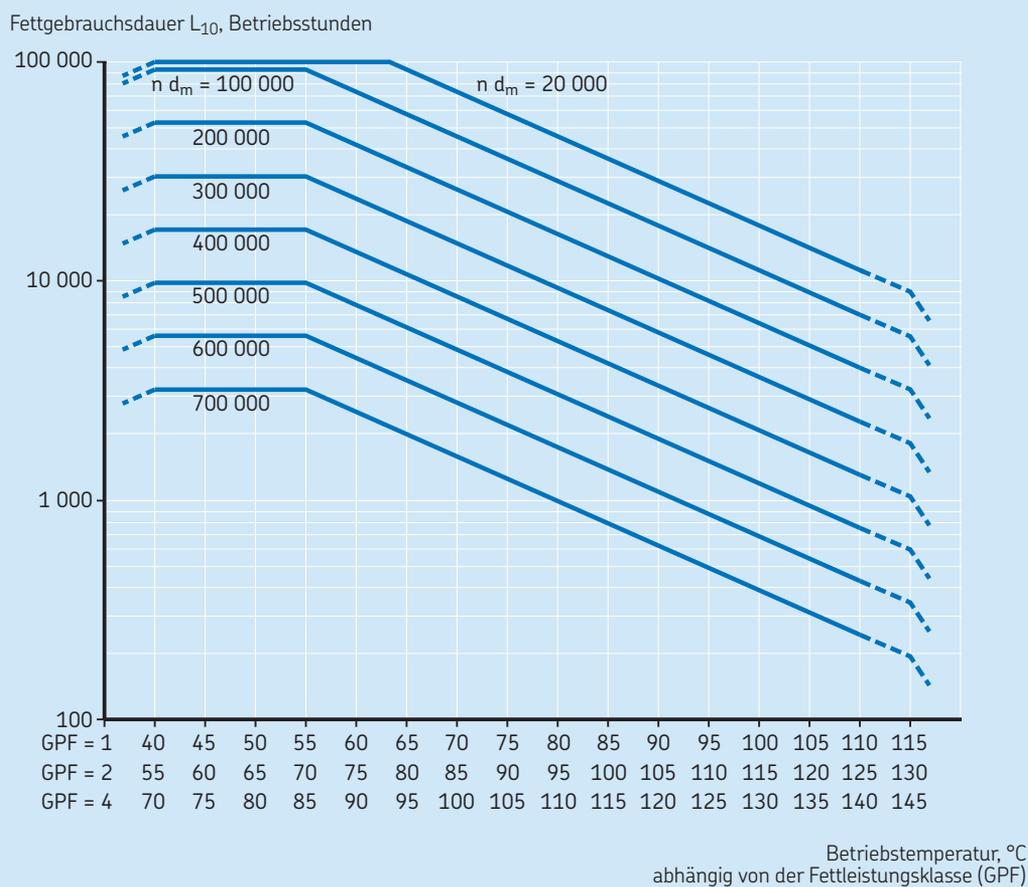
Für die Berechnung der Fettgebrauchsdauer in Rillenkugellagern mit anderen Dichtungen, Käfig oder für Sonderausführungen wenden Sie sich bitte an die Technische Beratung von SKF.

Die Fettgebrauchsdauer ist als  $L_{10}$  dargestellt, also als der Zeitraum, nach dessen Ablauf 90% der Lager noch zuverlässig geschmiert sind.

Die Fettgebrauchsdauer gilt für normale Betriebsbedingungen und

Diagramm 4

Fettgebrauchsdauer in auf Lebensdauer geschmierten Rillenkugellagern mit Deckscheiben aus Stahl und Metallkäfig bei geringer Belastung



$n$  = Drehzahl,  $\text{min}^{-1}$   
 $d_m$  = mittlerer Durchmesser =  $0,5(d + D)$ , mm

## 4 Schmierung und Abdichtung

### Fettgebrauchsdauer in abgedichteten Rillenkugellagern

- waagerechte Wellen
- feststehende Maschinen
- umlaufende Lagerinnenringe
- leichte Belastungen ( $C/P \geq 20$ )
- niedrige Schwingungspegel.

Wenn die Betriebsbedingungen abweichen, ist die Fettgebrauchsdauer aus **Diagramm 4** entsprechend anzupassen, nämlich

- bei senkrechter Welle um 50% zu verkürzen
- bei höheren Belastungen ( $C/P < 20$ ) mit dem Faktor in **Tabelle 7** anzupassen.

### Fettleistungsklasse

In **Diagramm 4** werden Fettleistungsklassen eingeführt, um die verbesserte Leistung bei hohen Drehzahlen und hohen Temperaturen zahlenmäßig zu erfassen. Das SKF Standardschmierfett gehört zur Fettleistungsklasse GPF = 1.

Wenn die erforderliche Fettgebrauchsdauer mit einem SKF Standardschmierfett nicht erreicht werden kann, kann ein auf die Anwendung zugeschnittenes SKF Fett einer höheren Fettleistungsklasse verwendet werden.

Das Diagramm der Fettgebrauchsdauer bietet die Möglichkeit, die Gebrauchsdauer anwendungsspezifischer Schmierfette einer Fettleistungsklasse GPF = 2 oder GPF = 4 anhand des entsprechenden Temperaturmaßstabs auf der waagerechten Achse von **Diagramm 4** anzupassen.

Die Fettleistungsklasse von werkseitig fettbefüllten SKF Rillenkugellagern ist **Tabelle 6** zu entnehmen.

Es ist anzumerken, dass die Fettleistungsklasse nur für die angegebenen Temperatur-

und Drehzahlbereiche dieses Fetts gilt (→ **Tabelle 1, Seite 62**). Fette mit GPF > 1 sind bei höheren Temperaturen im Vorteil, scheiden aber eventuell bei niedrigeren Temperaturen nicht genug Öl ab. Daher sollten alle Fette nur innerhalb des in **Diagramms 4** angegebenen Temperaturbereichs verwendet werden.

Tabelle 6

#### Fettleistungsklassen für Fette in werkseitig fettgefüllten SKF Lagern

Fettleistungsklasse	Fett-Nachsetzzeichen	Max. Drehzahlkennwert $n d_m$
GPF = 1	Kein Nachsetzzeichen <sup>1)</sup>	500 000
GPF = 1	MT47, MT33	500 000
GPF = 1	LT, LT20	700 000
GPF = 2	GJN, LHT23, HT, GXN	500 000
GPF = 4	WT, GWB	700 000

<sup>1)</sup> Kleine Lager der Durchmesserreihe 8 und 9 mit  $D < 30$  mm werden mit LHT23 (GPF = 2) befüllt, wenn  $d < 10$  mm, oder mit LT10, wenn  $d \geq 10$  mm (GPF = 1).

Tabelle 7

#### Reduktionsfaktoren für die Fettgebrauchsdauer in Abhängigkeit der Belastung

Belastungsverhältnis C/P	Reduktionsfaktor
$\geq 20$	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 ungünstig 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 ölgeschmiert.

## 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 Ölstandwächter 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 **Seite 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 werden.

## 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-Temperaturverhalten ist durch den Viskositätsindex VI gekennzeichnet. Für die Wälzlagerschmierung werden Öle mit einem Viskositätsindex von mindestens 95 empfohlen.

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

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 international genormten 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

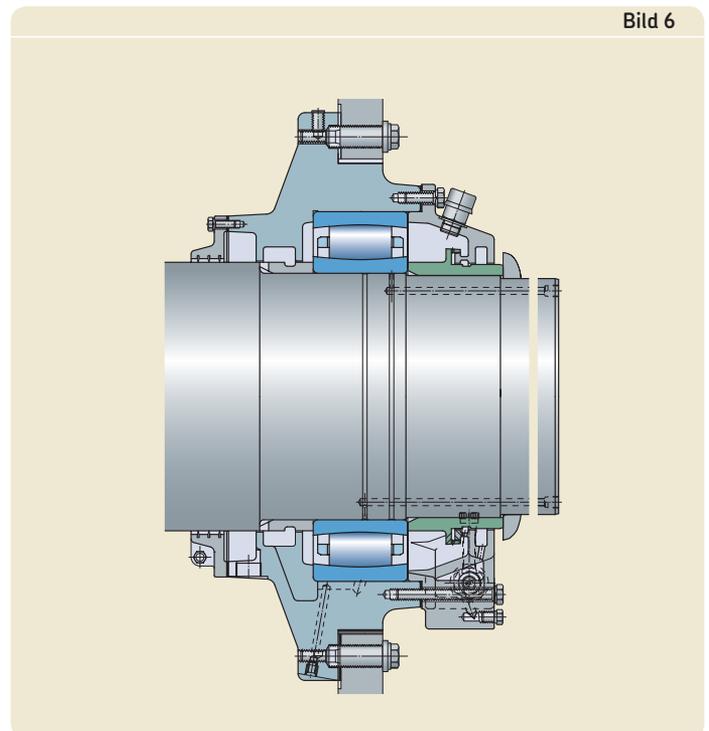


Diagramm 5

Richtwerte für die erforderliche Mindestviskosität bei Betriebstemperatur

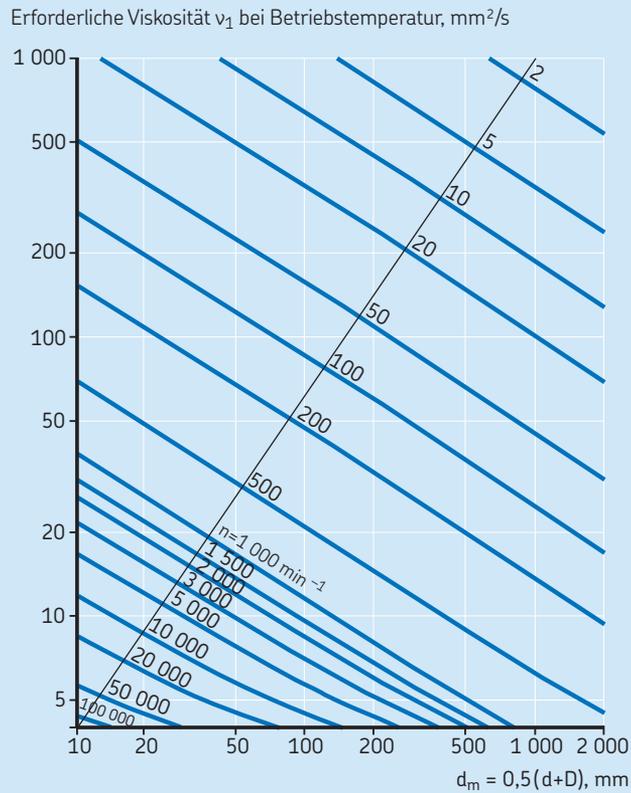
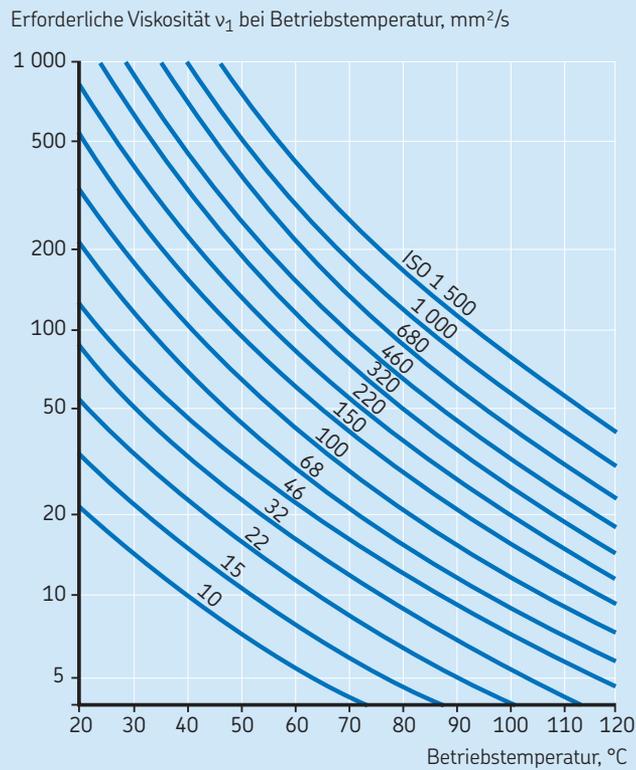


Diagramm 6

Umrechnung in kinematische Viskosität  $\nu$  bei Referenztemperatur (ISO-VG-Klassifizierung)



## Dichtungen

Dichtungen sollen zum einen den Innenraum der Lagerung 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 diesen Faktoren gehören

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

Zu den Umgebungsbedingungen gehören ferner

- Vorliegen 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 „Industrielle Wellendichtungen“ oder im interaktiven SKF Lagerungskatalog (online unter [www.skf.com](http://www.skf.com)) näher

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

### Dichtungen im Lager – abgedichtete Rillenkugellager

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

Die drei Standard-Dichtungsausführungen sind:

- **Deckscheiben ZZ aus Stahl (→ Bild 8)**  
Typische Anwendungsfälle sind Katalogmotoren, die nur begrenzte Anforderungen hinsichtlich Staub- und Wasserschutz stellen, jedoch eine reibungsarme Abdichtung verlangen.
- **Reibungsarme Dichtungen**  
Lager der Reihe 60, 62 und 63 bis 52 mm Außendurchmesser sind mit RSL-Dichtungen ausgestattet (→ **Bild 9a**). Andere Lager haben RZ-Dichtungen (→ **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**  
Lager der Reihe 60, 62 und 62 bis 52 mm Außendurchmesser sind mit RSH-Dichtungen ausgestattet (→ **Bild 10a**). Andere Lager haben RS1-Dichtungen (→ **Bild 10b**). Typische Anwendungsfälle sind offene Motoren, Gleichstrommaschinen und Getriebemotoren.

Bild 7

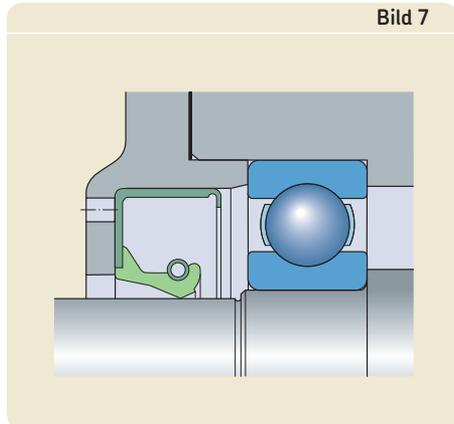
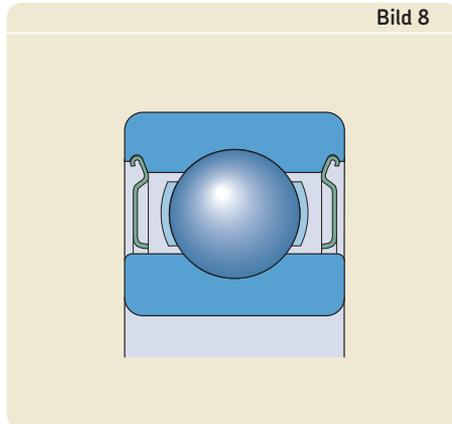


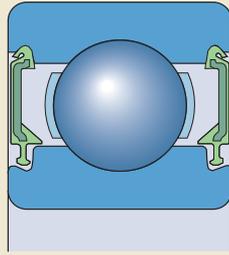
Bild 8



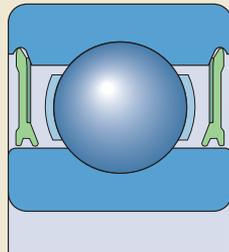
Lager mit  
Deckscheiben  
aus Stahl – ZZ

#### 4 Schmierung und Abdichtung Dichtungen

Bild 9



a



b

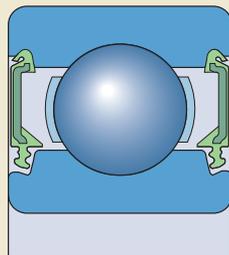
- a) Lager mit reibungsarmen 2RSL-Dichtscheiben
- b) Lager mit reibungsarmen 2RZ-Dichtscheiben

#### Werkstoffe für Dichtungen

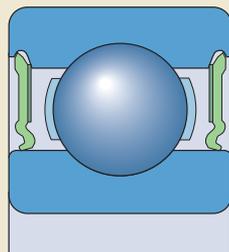
Es gibt eine Vielzahl von Dichtungswerkstoffen, um spezifische Anwendungsanforderungen wie Betriebstemperatur und Verträglichkeit gegenüber Schmierfetten, -ölen und anderen Medien zu erfüllen.

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 Fluorkautschuk (FKM), der auch unter dem Markennamen Viton vertrieben wird. Fluorkautschuk kann bei Betriebstemperaturen von  $-30$  bis  $+180$  °C eingesetzt werden.

Bild 10



a



b

- a) Lager mit Kontaktdichtungen 2RSH
- b) Lager mit Kontaktdichtungen 2RS1

## 5 Ein- und Ausbau

77 Einbau

85 Ausbau



# Ein- 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.*

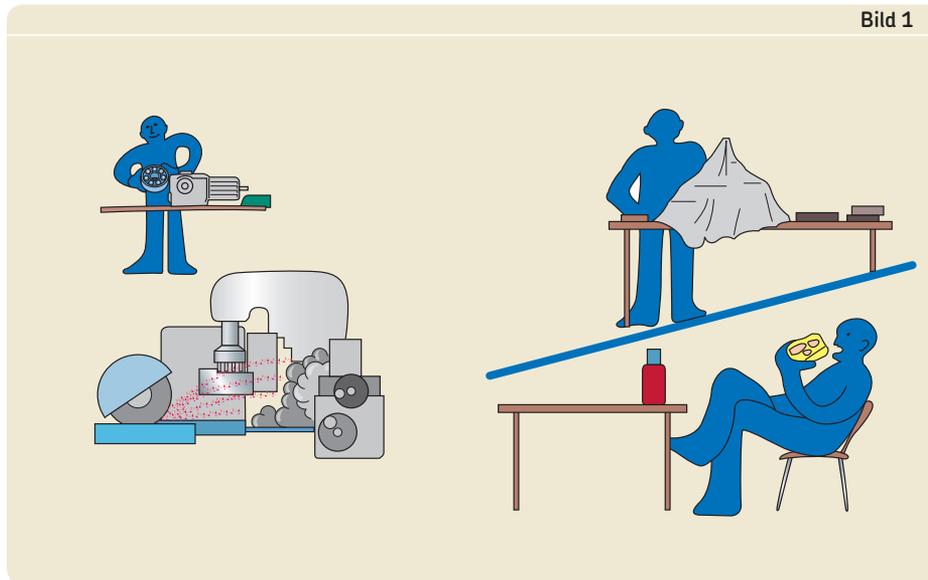
## Einbau

### 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).

## 5 Ein- und Ausbau Einbau

Den Arbeitsbereich  
sauber halten



### Überprüfen von Welle und Gehäuse

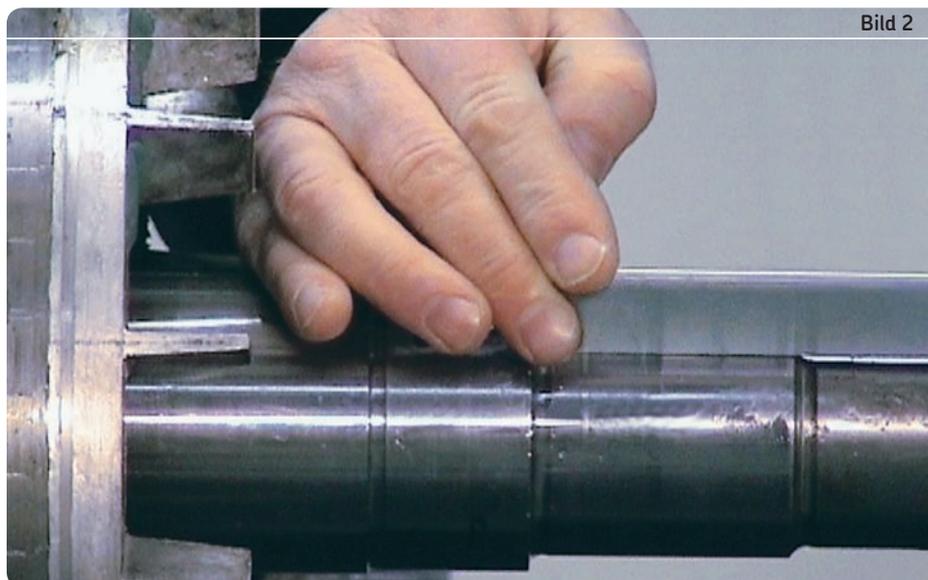
Vor einem Einbau sind stets Wellen- und Gehäusesitz auf eventuelle Beschädigungen zu kontrollieren. Ferner ist sicherzustellen, dass Maß- und Formgenauigkeit der Lager-sitze (→ **Bild 2**) den Spezifikationen bzw. den entsprechenden SKF Empfehlungen genügen (→ **Kapitel 3** „Toleranzen und Passungen“, 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 (am Radius gemessen). Die Durchmesserabweichung darf nicht mehr als 0,016 mm betragen.

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



Überprüfen der Welle

Bild 3

Messen von  
Lagersitzen

	1	2
A		
B		
C		
D		

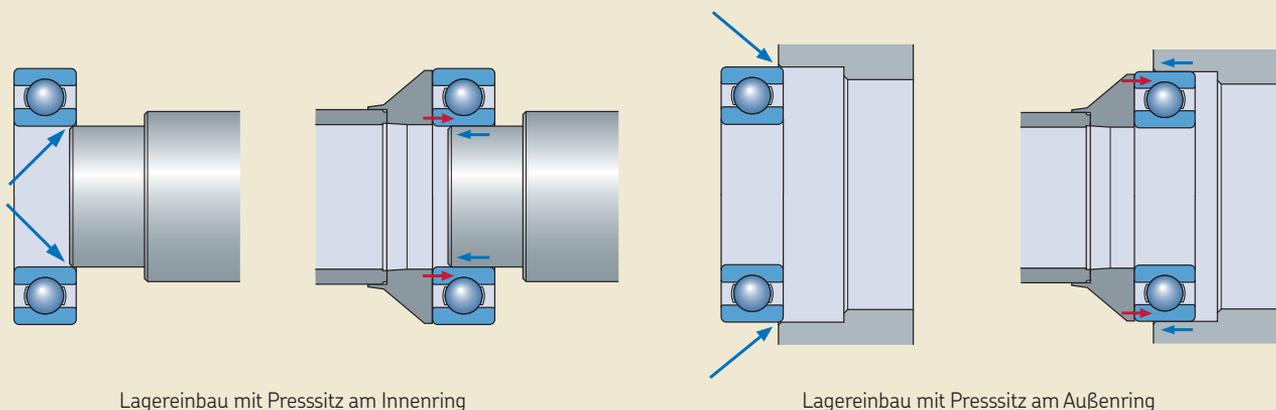
	1	2
A		
B		
C		
D		

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

### 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, das nur entfernt werden sollte, wenn es sich nicht mit dem zu verwendenden Schmierstoff verträgt. Unmittelbar vor dem Einbau das Konservierungsmittel von Bohrung und Außendurchmesser des Lagers abwischen. Wenn Korrosionsschutzmittel und Schmierstoff nicht kompatibel sind, sollte das Lager ausgewaschen und sorgfältig getrocknet werden.



Lagereinbau mit Presssitz am Innenring

Lagereinbau mit Presssitz am Außenring

*Das richtige Verfahren für den mechanischen Einbau von Lagern mit Presssitz*

### 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 dünn mit einem dünnflüssigen Öl bestrichen. Dann wird das Lager behutsam an der Welle ausgerichtet. Daraufhin wird das Montagewerkzeug angesetzt und auf den Lagerring mit Presssitz die entsprechende Einbaukraft ausgeübt (→ Bild 4).

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

tragen und beschädigt so das Lager. Die Gebrauchsdauer des Lagers wird dadurch erheblich reduziert.

### Geeignete Werkzeuge

Kleinere Lager mit einem Bohrungsdurchmesser bis 50 mm lassen sich am besten mit den SKF Einbauwerkzeugen TMFT montieren (→ Bild 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 Lagerring, der mit Presssitz montiert werden soll, eine Montagehülse eingesetzt werden (→ Bild 7).

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

*Mechanischer Einbau mit einer Presse*



Bild 5



Bild 6

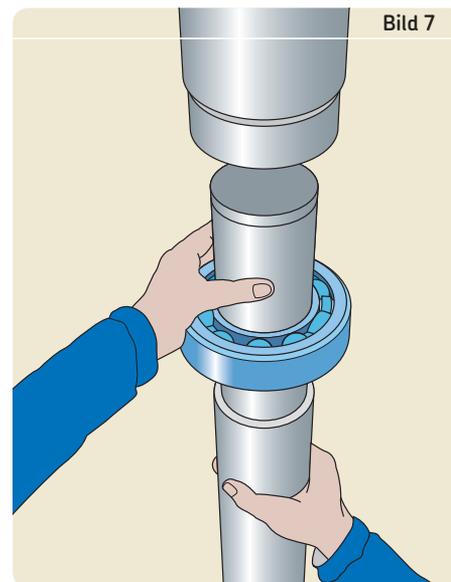


Bild 7

## 5 Ein- und Ausbau Einbau

### Elektrische Anwärmplatte



### 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 Presssitz zwischen Lager und Welle das Lager zuerst angewärmt werden. Bei Presssitz zwischen Lager und Gehäuse sollte das Gehäuse angewärmt werden.

Die erforderliche Temperaturdifferenz zwischen dem Lager und seinem Sitz hängt vom vorgesehenen Übermaß 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 regulierbarem Thermostat und Deckel verwendet werden.



### Induktions- Anwärmgerät

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 Presssitz im Gehäuse erforderlich ist, ist vorsichtiges Anwärmen des Gehäuses zweckmäßig. Im Allgemeinen genügt eine mäßige Temperaturerhöhung von 20 bis 50 °C, da normalerweise kein so starkes Übermaß 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 grundsätzliche Punkte:

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

### Selbsthaltende Lager

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

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

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

Wenn ein CARB Lager mit Presssitz auf eine Welle montiert wird, ist ein Werkzeug zu verwenden, das sowohl den Innen- als auch den Außenring abstützt (→ **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.

Der Rollensatz des Rings mit den festen Borden ist zu schmieren. Es ist sicherzustellen, dass der Schmierstoff auch die Laufbahn erreicht. Auf die Laufbahn des freien Rings ist eine dünne Schicht Schmierfett aufzutragen.

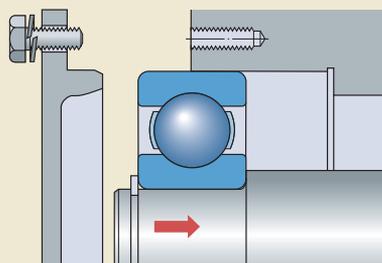
Beim Zusammenbau ist besonders darauf zu achten, dass der Ring mit Rollensatz und der freie Lagerring nicht verkantet werden. Wenn ein Lagerteil schräg eingebaut wird, kann es schnell zu Beschädigungen an Ringen oder Rollen kommen, besonders wenn Rollen oder Laufbahnen nicht geschmiert sind. Um dies 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 Gebrauchsdauer erreichen kann, sollten Fluchtungsfehler zwischen Welle und Gehäuse vermieden werden.

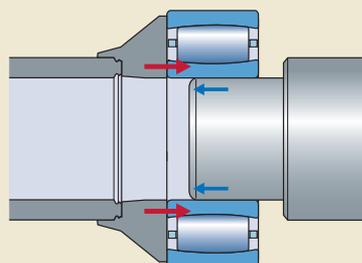
#### Einbau selbsthaltender Lager

Bild 10



a

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

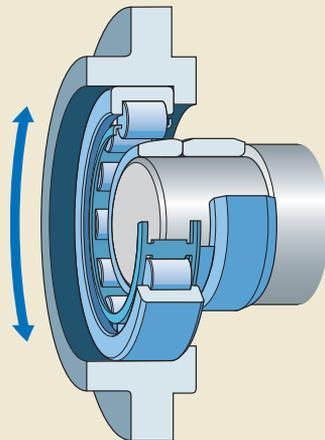


b

Beim Einbau eines CARB Toroidal-Rollenlagers mit Presssitz auf der Welle sollten beide Lagerringe abgestützt werden.

Bild 11

Einbau nicht  
selbsthaltender Lager



Laufbahnen und Rollen schmieren.  
Eine Führungshülse verwenden.  
Beim Einbau die Ringe gegeneinander  
drehen.

Bei größeren Lagern kann die Ausrichtung zwischen Innen- und Außenring mit dem in **Bild 12** dargestellten Messgerät kontrolliert werden, sobald Lager und Welle ordnungsgemäß im Gehäuse eingebaut sind. Das Gerät besteht aus einer Messuhr, die an einem Stahlsegment angebracht ist. Das Stahlsegment ist mit zwei Stellschrauben zur Höhenregulierung versehen und bietet damit zwei feste Kontaktpunkte mit der Welle. Das Stahlsegment wird gegen die Seitenfläche des Innenrings und auf die Welle gedrückt. Die Messuhr wird gegen die Seitenfläche des Lageraußenrings gerichtet.

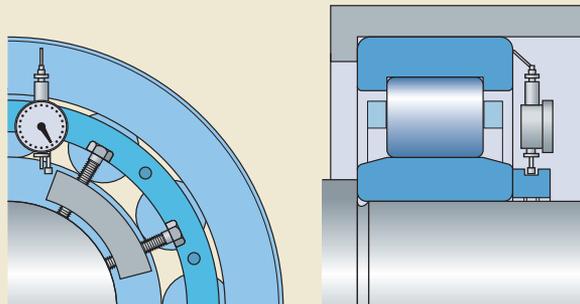
Der Fluchtungsfehler ergibt sich durch Messung der beiden um 180° versetzten Punkten auf der Seitenfläche des Außenrings, die die maximale Abweichung  $d_x$  ergeben. Der Fluchtungsfehler lässt sich berechnen aus

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

Hierin sind  
 $\beta$  der Fluchtungsfehler, Winkelminuten  
 $d_x$  die maximale Abweichung, mm  
D der Außendurchmesser des Lagers, mm

Der zulässige Höchstwert für den Fluchtungsfehler  $\beta$  beträgt 4 Bogenminuten.

Bild 12



Messgerät zum Prüfen  
der Ausrichtung

### Lagerschmierung

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

- Bei Zylinderrollslagern sollte der freie Raum im 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 zusammengebaut werden.
- Selbsthaltende Lager werden wegen Platzmangels von vorn 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 Gehäusolumens füllen.
- Das Schmierfett darf nicht verunreinigt sein.
- Bei ölgeschmierten Lagern ist das Gehäuse bis zum erforderlichen Ölstand mit frischem, sauberem Öl zu füllen.

### Weitere Informationen zum Lagereinbau

Weitere Informationen über den Einbau von Lagern enthalten der SKF Hauptkatalog oder der interaktive SKF Lagerungskatalog online unter [www.skf.com](http://www.skf.com). Auch das SKF Service-Handbuch gibt weitere Informationen. Informationen über den Einbau einzelner bestimmter Lager können online über [www.skf.com/mount](http://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).



Schmieren  
eines Lagers



Testen eines Motors



Das Schwingungsniveau kann mit Zustandsüberwachungsgeräten von SKF geprüft werden

## 5 Ein- 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 unsachgemäßer 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 (→ Abschnitt „Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen“, ab Seite 91).
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 Ein- und Ausbau Ausbau

### Normaler Hakenabzieher



### 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.

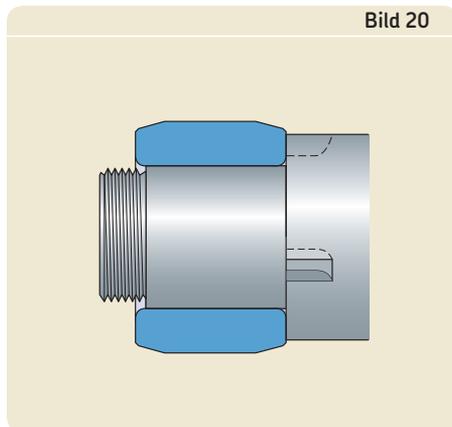
Für Lager in Elektromotoren gibt es vier Ausbaurverfahren:

- 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 Zylinderrollslagern.

*Nuten in der Welle  
erleichtern den Ausbau*



*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 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

## 5 Ein- und Ausbau Ausbau

Weise ausgebauten Lagers ab. Wenn das Lager später noch untersucht werden soll oder wenn eine Beschädigung des Lagers beim Ausbau aus anderen Gründen so weit wie möglich vermieden werden soll, ist der Außenring beim Ausbau 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 Passungsrost 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 der SKF Rillenkugellager-Abzieher TMMD 100 (→ **Bild 24**), der Innenauszieher SKF TMIP oder der Werkzeugsatz TMBP20E (→ **Bild 24**).



Bild 21

*Abzieher mit  
Trennstück*



Bild 22

*Beschädigungen  
vermindern  
durch Drehen  
des Außenrings*

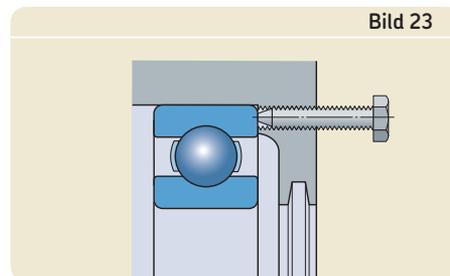


Bild 23

*Gewindebohrungen  
im Gehäuse erleichtern  
den Ausbau des  
Außenrings*



Bild 24

*SKF Innenauszieher*

## 5 Ein- 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

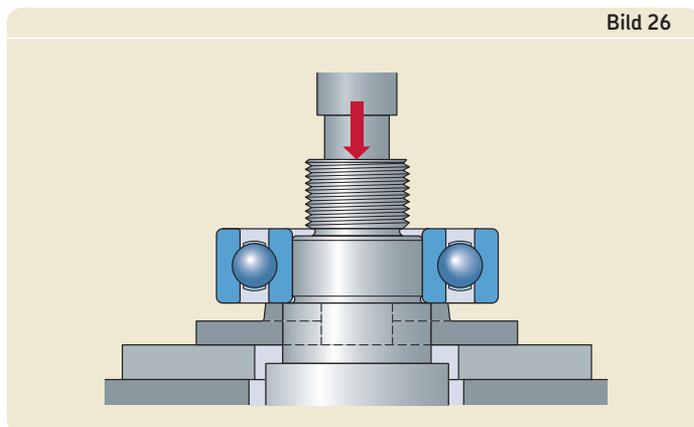


Bild 26

### 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 dem Presssitz abgestützt 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 Ausbaurverfahren ist einfach. Nach dem Entfernen des Außenrings wird die Laufbahn des Innenrings mit einem dickflüssigen, oxidationsbeständigen 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 -verteiler-nuten vorgesehen wurden. Darüber hinaus sind hydraulisch unterstützte Schwerlast-Hakenabzieher mit einer Abziehkraft von bis zu 500 kN erhältlich.

Thermoring  
aus Aluminium

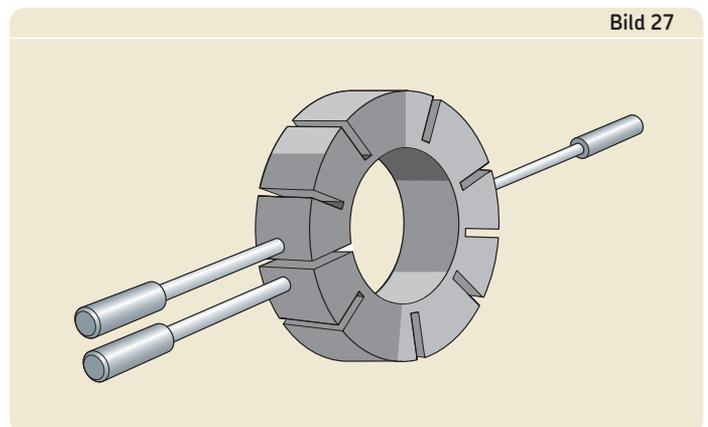


Bild 27

## 5 Ein- 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 online unter [www.skf.com](http://www.skf.com), sowie das SKF Service-Handbuch und die Website [www.skf.com/mount](http://www.skf.com/mount).



Bild 29

SKF Montagehalter  
für mittelgroße und  
große Lager

## 6 Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen

91 Schäden durch Stromdurchgang

94 Unzureichende Schmierung

96 Werkstoffermüdung

96 Schwingungsschäden

97 Schäden durch unsachgemäße  
Montage und Inbetriebnahme

99 Unzureichende 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 des Lagers auf die Gebrauchsdauer der Maschine 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 Stillstandsschäden, 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 auf den Wälzkörpern und Laufbahnen, 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

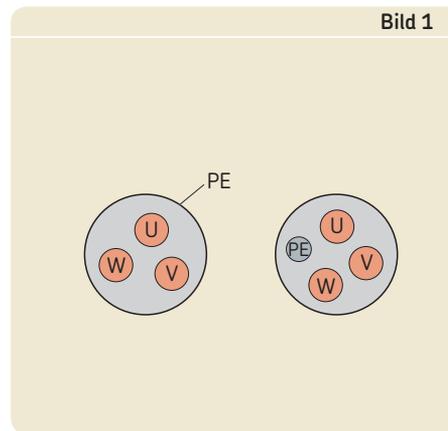
Entwurf und Anordnung der Verkabelung eines Elektromotors oder Generators sind äußerst wichtige Konstruktionsmerkmale. Eine unsymmetrische, nicht abgeschirmte Leitung kann schädliche Ströme erzeugen (→ Bild 1).

### Hochfrequente Ströme

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

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).

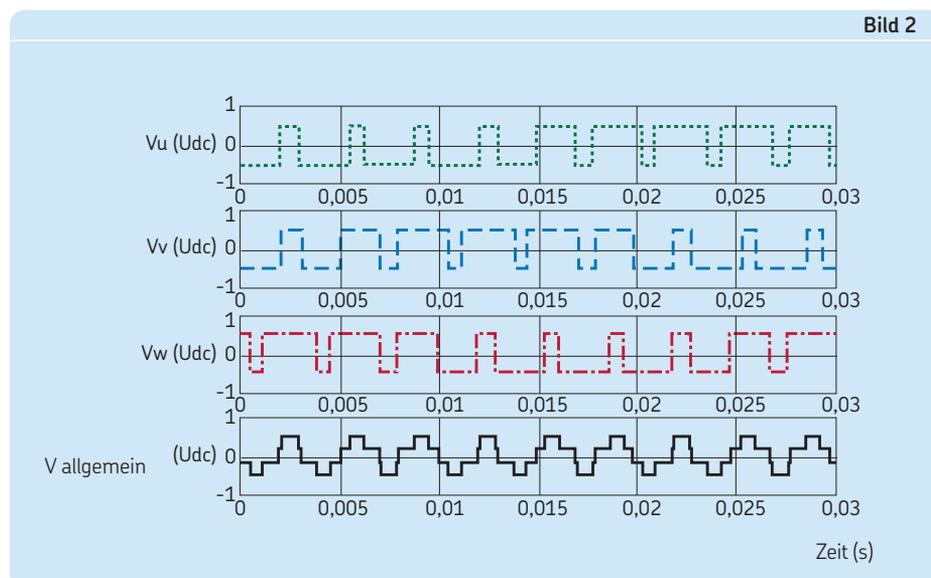
Die meisten modernen Frequenzumrichter versuchen mit moderner Transistortechnologie (Bipolartransistoren mit isoliertem Gate, IGBT), die Erzeugung von Sinuswellen anhand



**Bild 1**  
Abgeschirmte, symmetrische Leitung gegenüber nicht abgeschirmter, unsymmetrischer Leitung (PE = Erdung)

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

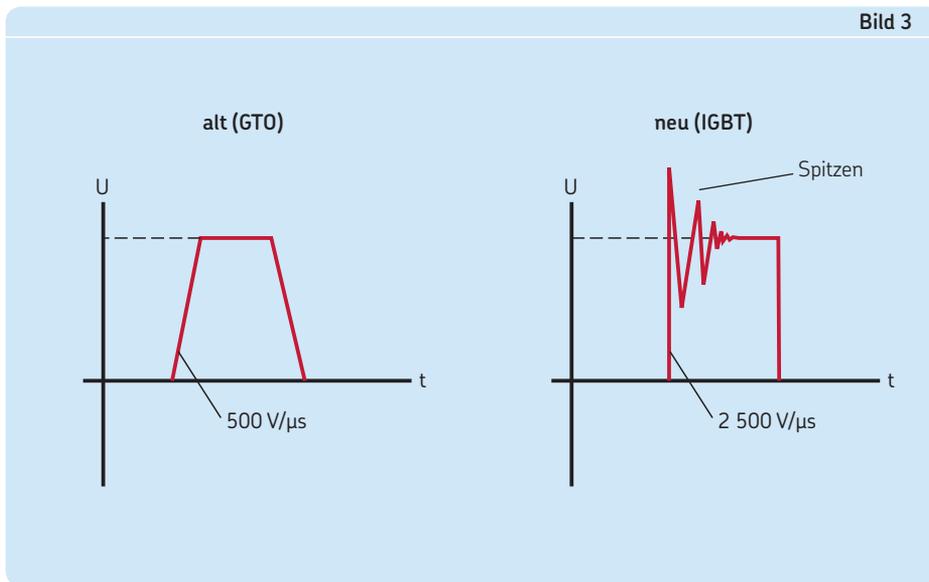


**Bild 2**  
Die Summe der drei Phasen ist nicht gleich Null, sondern erzeugt eine Gleichtaktspannung

## 6 Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen

### Schäden durch Stromdurchgang

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



Dies bedeutet, dass in Antriebssystemen mit Frequenzumrichtern 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 punktuell Schmelzen der Oberfläche verursacht.

Die Flächen „schmelzen zusammen“, nach dem Festwerden reißen sich die beiden Flächen voneinander los, und Krater entstehen.

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 bis 8 µm. Die Größe ist unabhängig davon, ob die Krater auf dem Innenring, der belasteten Zone des Außenrings oder auf den Wälzkörpern liegen. Ihre genaue Form lässt sich nur unter einem Mikroskop mit starker Vergrößerung erkennen.

Eine matte, graue Oberfläche der Wälzkörper kann auf Mikrokrater hinweisen

6



## 6 Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen

### Schäden durch Stromdurchgang/Unzureichende Schmierung

#### Riffelung oder Waschbretteffekt

Eine Riffelung oder der „Waschbretteffekt“ lässt sich als Muster zahlreicher grauer Querstreifen auf den Laufflächen erkennen (→ Bild 5). 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 verkohlen oder dass das Grundöl verbrennt. Dadurch werden die Zusätze schneller verbraucht.

Bei Fettschmierung verfärbt sich der Schmierstoff und wird hart (→ 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 nicht angetriebenen Seite ein isoliertes Lager verwendet. SKF bietet zwei verschiedene Arten stromisolierter Lager an: INSOCOAT Lager und Hybridlager. Weitere Informationen über INSOCOAT Lager und Hybridlager finden Sie in Kapitel 1 auf Seite 25 und 27.

## Unzureichende Schmierung

Unzureichende Schmierung führt entweder zu Oberflächenzerrüttung oder zu Verschleiß, wodurch die Lagerlebensdauer erheblich verkürzt wird. Wenn der Schmierfilm zwischen den Wälzkörpern und den Laufbahnen 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 Laufbahnen, 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 abgesplitterten Teilchen den Verschleiß verstärken.

Durch Stromdurchgang verursachte Riffelung der Laufbahn



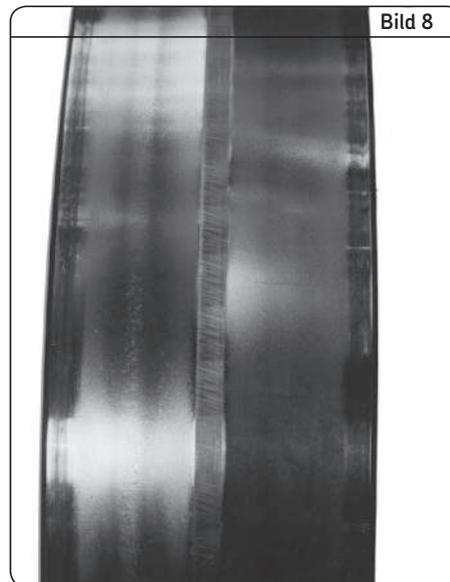
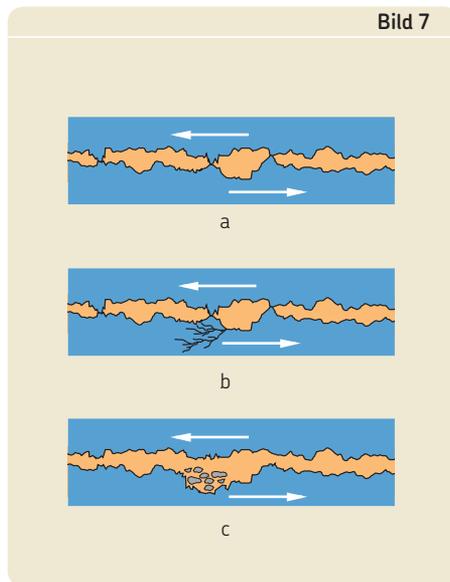
Durch Stromdurchgang verursachte Schwarzfärbung des Schmierfetts



## 6 Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen

### Unzureichende Schmierung

*Oberflächenzerrüttung:  
Durch direkten  
metallischen Kontakt  
verursachte  
Mikroabsplitterungen*



*Matte Oberfläche  
infolge von  
Mikroabsplitterungen*

### Verschleiß

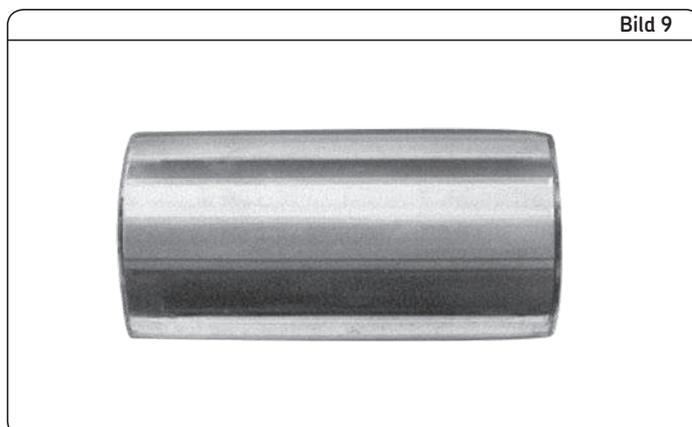
Verschleiß entsteht zwischen zwei Oberflächen, die relativ zueinander gleiten, wenn Schleifkörper zwischen diesen Flächen vorliegen. Die Gleitbewegung hat auf die Oberflächen einen Effekt wie Sandpapier. Verschleiß ist durch matte Oberflächen gekennzeichnet. Es ist ein sich selbst verstärkender Prozess, 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 spiegelblanker Berührungsflächen erzeugen. Das Ergebnis des Verschleißes hängt von der Größe und Härte der Partikel ab (→ Bild 9).

### 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 ausgetauscht oder ob verbesserte Dichtungen eingesetzt werden müssen. Abhängig vom Anwendungsfall kann ein Schmierstoff mit einer höheren Viskosität erforderlich sein, um einen dickeren Schmierfilm in Lager aufzubauen.

*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 zu 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. Sie führt zu Eigenspannungen, die ihrerseits Strukturveränderungen direkt unterhalb der belasteten Oberfläche verursachen.

Mit der Zeit entstehen Risse unterhalb der Oberfläche. Wenn sich diese Risse bis zur Oberfläche ausbreiten, beginnen Werkstoffteilchen auszubrechen, wenn die Risse überrollt werden. Dieser Vorgang entsteht durch Ermüdung unterhalb der Oberfläche und wird als Schälung bezeichnet. Die Schälung schreitet fort, bis das Lager schließlich nicht mehr eingesetzt werden kann.

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 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 innerhalb der Lagerluft Schwingungen ausgesetzt sein und Schaden nehmen.

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

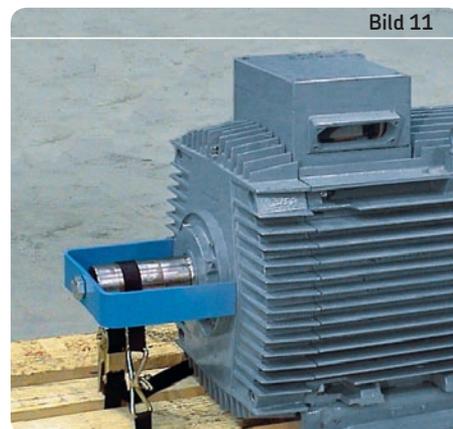
Beim Stillstand eines Motors wird zwischen den Berührungsflächen der Lagerteile kein Schmierfilm gebildet. Das Fehlen dieses Schmierfilms erlaubt direkten metallischen Kontakt zwischen den Wälzkörpern und den Laufbahnen. Bei äußeren Schwingungen führen die Wälzkörper in den Ringen Mikrobewegungen aus. 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 verfarbt oder glänzend. Diese Stillstandsmarkierungen werden unter anderem auch „Riffelbildung“ genannt (→ Bild 10).

Der Schaden tritt auch in großen Maschinen mit schweren Rotoren auf. Rollenlager sind besonders anfällig für dieses Phänomen, 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 im Betrieb erkennbar wird. Deshalb kann es schwierig sein, ohne eine eingehende Untersuchung der beschädigten Teile einen „Transport“ als eigentliche Schadensursache auszumachen.



*Riffelbildung in einem Zylinderrollenlager infolge von Schwingungen im Stillstand*



*Motor mit Transportsicherung*

## 6 Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen Schwingungsschäden/Schäden durch unsachgemäße Montage und Inbetriebnahme

### Korrekturmaßnahmen

Schwingungsschäden beim Transport lassen sich einfach vermeiden. Die Lager müssen 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 nicht angetriebenen 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. Riffelbildung kann auch durch Einbau von Motoren mit federvorgespannten Lagern vermieden werden (→ **Kapitel 2** „Lageranordnungen – Federvorspannung“ auf **Seite 47**).

## 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 Gebrauchsdauer nicht erreichen, selbst wenn er aus hochwertigen Komponenten hergestellt ist.

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 erheblich 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.

### Unzureichende Ausrichtung

Wenn die Welle eines Elektromotors nicht sorgfältig zur Welle der angetriebenen Einheit ausgerichtet ist, werden die Lager in beiden Komponenten zusätzlichen Kräften ausgesetzt. Diese zusätzlichen Kräfte könnten stark genug sein, die Lagergebrauchsdauer 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 Wellenausrichtsystem (→ **Bild 12**) zu verwenden. Wenn sich die Wellen auch bei Verwendung

Wellenausrichtsystem



## 6 Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen

### Schäden durch unsachgemäße Montage und Inbetriebnahme

SKF Microlog  
Analyzer für  
Schwingungsmessungen



Bild 13

eines Präzisionsinstruments 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. Es ist durchaus möglich, dass diese Schwingungen die Lagergebrauchsdauer verkürzen.

#### Korrekturmaßnahmen

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

#### Zu hohe Riemenspannung

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

Höhere Belastungen bedeuten gleichzeitig höhere Betriebstemperaturen, die sich negativ auf die Schmierwirkung und dadurch ebenfalls negativ auf die Lagergebrauchsdauer auswirken.

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

#### Korrekturmaßnahmen

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

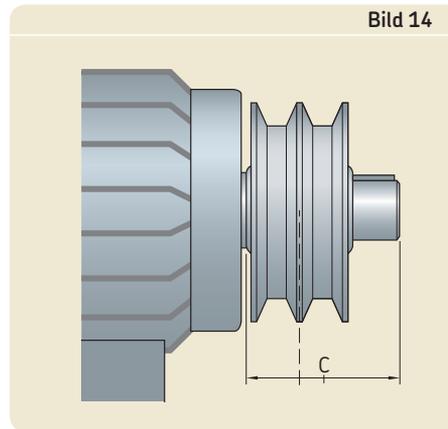


Bild 14

Positionierung  
der Riemenscheibe

#### Übermäßige Wellendurchbiegung

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

Übermäßige Wellendurchbiegung kann auch Reibkorrosion oder Wandern des Innenrings hervorrufen.

#### Korrekturmaßnahmen

Montieren Sie die Riemenscheibe so nah wie möglich am antriebsseitigen Lager.

Der Mittelpunkt der Wellenscheibe muss links von der Mitte des Wellenendes zu liegen kommen (Maß C → Bild 14).

## Unzureichende 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 Anschmierungen auf den Wälzkörpern und Laufbahnen.

Es dauert einige Zeit, bis sich der anfängliche Schaden so weit verstärkt hat, dass der Lagerschaden erkannt 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 dienen.

Dies gilt nicht für vorgespannte Lager (→ Abschnitt „Federvorspannung“ ab Seite 47).

## Sonstige Schäden

### Überlastung durch Montagefehler

Falsche Montageverfahren können die Lagergebrauchsdauer erheblich verkürzen. Ein durch eine fehlerhafte Montage verursachter Schaden zeigt sich häufig durch Eindrückungen im gleichen Abstand, wo die Wälzkörper in die Laufflächen eingedrückt 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 und über die Wälzkörper weitergegeben wird oder wenn für den Einbau von Bauteilen, wie beispielsweise Riemenscheiben, Zahnräder oder Kupplungen, ein Hammer oder ein ähnliches Werkzeug verwendet wird.

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

### Korrekturmaßnahmen

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

Montagefehler:  
Schälungen beginnen  
an Eindrückungen im  
Wälzkörperabstand



Bild 15



Bild 16

Querstreifen aufgrund  
unsachgemäßen  
Einbaus

## 6 Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen

### Sonstige Schäden

#### Schäden infolge von Eindrückungen durch Verunreinigungen

Aus verschiedenen Quellen können Verunreinigungen in das Lagerinnere gelangen. Die häufigsten Quellen von Verunreinigungen sind

- die Arbeitsfläche oder der Arbeitsbereich (beispielsweise Gussand oder andere Verschmutzungen, die nicht vom Gehäuse abgewaschen wurden)
- die Schmierung (Fremdstoffe und Verunreinigungen im Schmierstoff)
- beschädigte oder unwirksame Dichtungen
- beschädigte Wellenoberflächen
- eventuell ungenügende Nachschmierung.

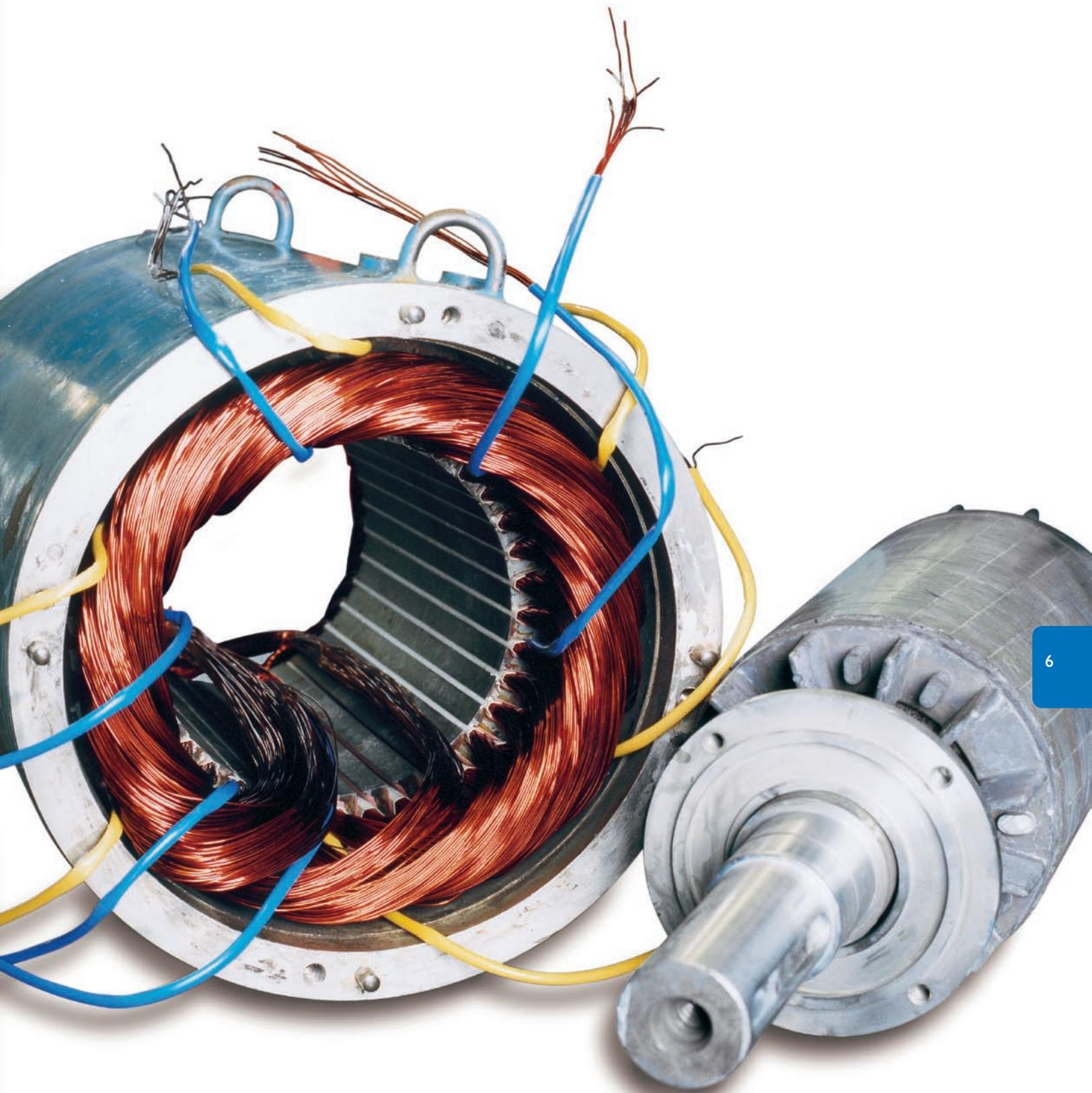
Wenn diese Fremdpartikel von den Wälzkörpern überrollt werden, erzeugen sie Eindrückungen in den Laufbahnen (→ **Bild 17**), die zu Ermüdung und eventuell zu Schälungen führen können.

#### Korrekturmaßnahmen

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



*Laufbahneindrückungen durch überrollte Fremdteilchen*



A worker in a blue uniform and hard hat is shown in profile, looking at a handheld diagnostic device. The device has a screen and several buttons. The worker is wearing safety glasses and earplugs. The background is a complex industrial environment with various pipes, valves, and machinery. The overall color scheme is dominated by blue and grey tones.

**7** SKF Servicedienstleistungen und Systemlösungen

104 SKF Beratungsdienstleistungen

105 SKF Berechnungshilfsmittel

107 Anwendungsspezifische Lösungen

112 Zustandsüberwachung

# SKF Servicedienstleistungen und Systemlösungen

*SKF hat sein umfassendes Know-how über industrielle Anwendungen zur Entwicklung von Systemlösungen genutzt, mit denen sich kostengünstige 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 die echten Bedingungen typischer Elektromotoren und Generatoren erfüllen.*

## SKF Beratungsdienstleistungen

Die zur Berechnung und Auslegung eines Elektromotors erforderlichen Angaben sind diesem Handbuch zu entnehmen. Es gibt jedoch Anwendungen, wo es wünschenswert ist, die erwartete Lagergebrauchsdauer möglichst genau zu bestimmen, entweder weil keine ausreichende Erfahrung mit vergleichbaren Lagerungen vorliegt oder weil Wirtschaftlichkeit bzw. Betriebssicherheit äußerst wichtig sind. In diesen Fällen bietet es sich beispielsweise an, auf die SKF Beratungsdienstleistungen zurückzugreifen. In Kombination mit der 100jährigen Praxiserfahrung mit umlaufenden Maschinenteilen bieten sie Berechnungen und Simulationen anhand hoch entwickelter Computerprogramme. Ihre Unterstützung basiert auf dem gesamten SKF Know-how zu Lageranwendungen. Die Anwendungsfachleute von SKF können

- technische Probleme untersuchen
- die passende Systemlösung vorschlagen
- die richtige Schmierung und das optimale Instandhaltungsprogramm auswählen.

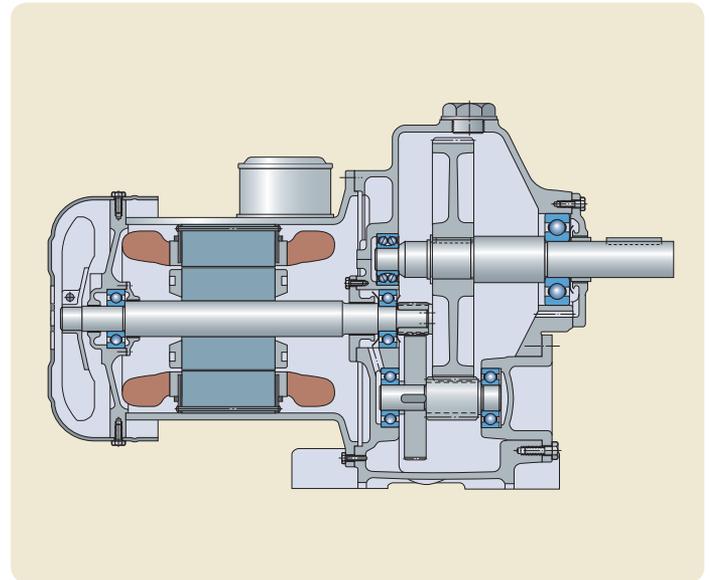
Die SKF Beratungsdienstleistungen bieten einen neuen Ansatz für Dienstleistungen zu Maschinen und Anlagen für Erstausrüster und Endkunden. Zu diesen Vorteilen gehören:

- Schnellere Entwicklungsprozesse und kürzere Zeit bis zur Marktreife.
- Geringere Umsetzungskosten dank virtueller Prüfung vor dem Fertigungsanlauf.
- Verbesserte Lagerungen durch geringere Geräusch- und Schwingungspegel.
- Höhere Leistungsdichte durch Aktualisierung und Nachrüsten.
- Längere Gebrauchsdauer durch verbesserte Schmierung oder Abdichtung.

### Hochentwickelte Computerprogramme

Die SKF Beratungsdienstleistungen nutzen hoch entwickelte Computerprogramme, die folgende Aufgaben erfüllen:

- Analytisches Modellieren umfassender Lagerungen aus Welle, Gehäuse, Getriebe, Kupplungen usw.
- Statische Untersuchungen, d.h. Bestimmung der elastischen Verformung und Beanspruchungen in Bauteilen mechanischer Systeme.



- Dynamische Untersuchungen, d.h. Bestimmung des Schwingungsverhaltens von Systemen unter Betriebsbedingungen („virtueller Test“).
- Visuelle und animierte Darstellung der Durchbiegung von Bauteilen der Struktur.
- Optimierung der Systemkosten, der Gebrauchsdauer, des Schwingungs- und Geräuschpegels.

Die hoch entwickelten Computerprogramme, die bei den SKF Beratungsdienstleistungen standardmäßig für Berechnungen und Simulationen verwendet werden, sind im Abschnitt „SKF Berechnungshilfsmittel“ auf **Seite 105** dargestellt.

Weitere Informationen zur Tätigkeit der SKF Beratungsdienstleistungen erhalten Sie von Ihrem SKF Dienstleister vor Ort.

## 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.

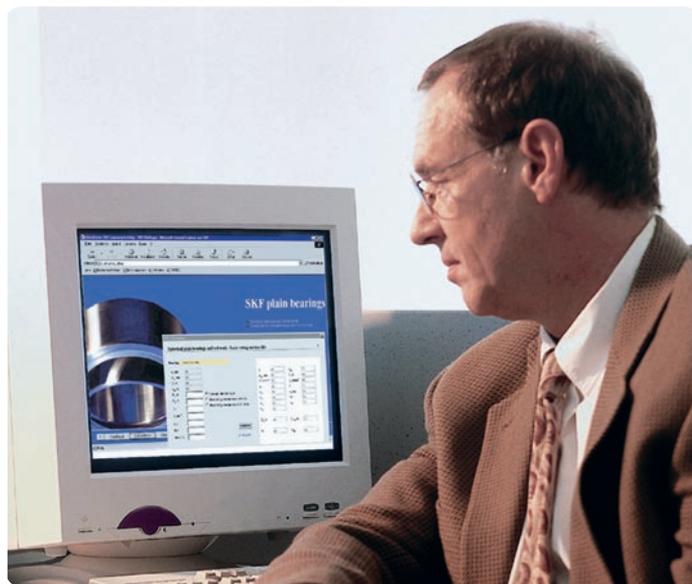
Zudem können CAD-Zeichnungen in Kunden-Anwendungszeichnungen importiert werden, die mit den wichtigsten handelsüblichen CAD-Programmen erstellt wurden.

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

Der interaktive SKF Lagerungskatalog steht online unter [www.skf.com](http://www.skf.com) zur Verfügung.

### 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 flexible Systeme, in die auch Umbauteile des Kunden



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 zu untersuchen. Damit lassen sich auch Berechnungen zur Wälzermüdung durchführen, die auf der allgemeinen Formulierung der erweiterten SKF Lebensdauer aufbauen. SKF Bearing Beacon ist aus dem Forschungs- und Entwicklungswerkzeug Orpheus abgeleitet (siehe nächsten Abschnitt) und ist 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 Getriebe, optimiert werden. Es kann zur Lösung der gesamten nichtlinearen Bewegungsgleichungen eines Lagersatzes und seiner Umbauteile, einschließlich Getriebe, 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 (Welligkeit) oder Fluchtungsfehlern (Schiefstellung) an Umbauteilen auf. Es versetzt die SKF Beratungsingenieure in die Lage, die für eine bestimmte Lagerung am besten geeignete Lagerart und -größe

auszusuchen und gleichzeitig Vorschläge für die erforderlichen Einbau- und Vorspannungsbedingungen zu machen.

#### **Beast**

Beast ist ein Simulationsprogramm, mit dem SKF Beratungsingenieure die dynamischen Verhältnisse innerhalb eines Lagers detailliert nachbilden können.

Es kann als virtueller Prüfstand 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 Gebrauchsdauer zu geben. Mit einem dieser Programme kann auch die Schmierfilmdicke im elasto-hydrodynamischen Kontaktbereich bestimmt werden. Zudem lassen 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 (PBM) 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 Produktionsausfällen 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 Motorgehäuse, können kostspieliger sein als andere.

*INSOCOAT Lager sind entweder am Außenring oder am Innenring isoliert*

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 Lager → Kapitel 1, Seite 25), oder man verwendet keramische Wälzkörper wie in einem Hybridlager (→ Kapitel 1, Seite 27). Jede dieser Lösungen erfüllt zwei Funktionen: Lager und Isolator (→ Bild 1 und 2).

Wenn in einer Anwendung Kreisströme Elektroerosion hervorrufen genügt ein einziges isoliertes Lager auf der nicht angetriebenen 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.

### 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 $\Omega$ -Widerstand. Die Beschichtung verträgt Spannungen bis über 1 000 V Gleichstrom, bevor es zu einem Durchschlag und einem Lichtbogen kommt. Bei den keramischen

*Hybrid-Rillenkugellager*



Bild 1



Bild 2

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.

### Windkraftanlagen

Die Umwandlung von Wind in elektrische Energie ist nur über einen Generator in der Windkraftanlage möglich. Bei größeren Turbinen, im Allgemeinen über 800 kW, wird aktuell meist ein doppelt gespeister Generator eingesetzt. Ein solcher asynchroner Rotor verfügt über eine aktive Rotorwicklung, die über einen Frequenzwandler versorgt wird, wodurch die Turbine innerhalb eines relativ weiten Bereichs der Windgeschwindigkeit optimal Strom erzeugen kann.

Wegen des besonderen Aufbaus von doppelt gespeisten Generatoren und der Verwendung von Frequenzrichtern ist es wahrscheinlich,

dass die hochfrequenten Ströme durch die Generatorlager laufen (→ Kapitel 6 „Lagerschäden und Korrekturmaßnahmen“, ab Seite 92). Entsprechend können Elektroerosion, Lagerausfälle und Generatorausfälle auftreten, wodurch Isolierung auf beiden Seiten erforderlich wird.

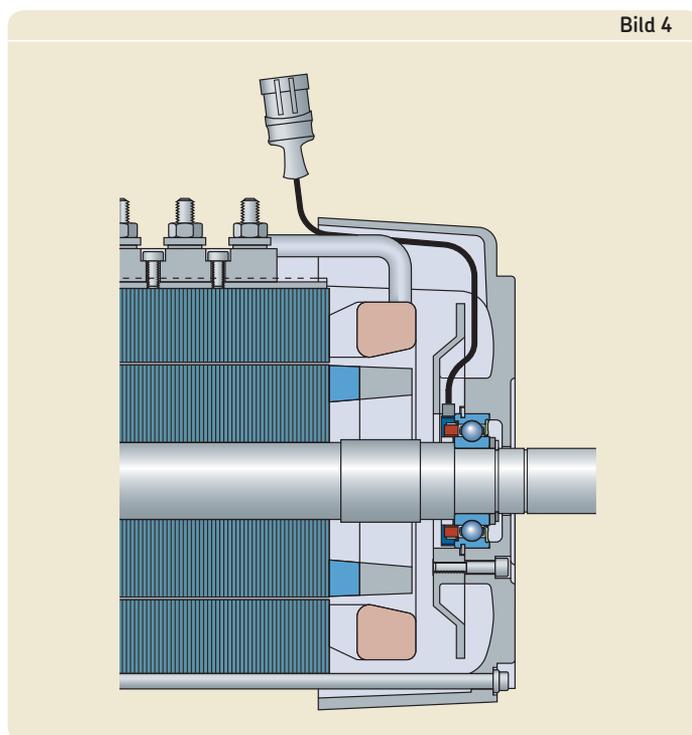
Aus technischer Sicht sind Hybridlager die zuverlässigste Lösung, um den Durchgang hochfrequenter Lagerströme zu verhindern, nicht nur, weil es sich um ausgezeichnete Isolatoren handelt, sondern sie haben auch ausgezeichnete tribologische Eigenschaften, selbst unter schwierigsten Betriebsbedingungen.

Bestimmte extragroße (XL) Hybrid-Rillenkugellager sind ab Lager erhältlich. Sie wurden speziell für Windkraftanlagen ausgelegt und entwickelt, um die Gefahr von Schadströmen praktisch zu verringern, die bei Generatorlagern durch den Kontaktbereich des Lagers laufen.

XL-Hybrid-Rillenkugellager haben Standard-Hauptabmessungen nach ISO 15:1998. Es besteht keine Notwendigkeit neuer Konstruktion, weiterer Bauteile oder besonderer Werkzeuge während des Einbaus. Die Lager sind mit derselben Vorsicht zu behandeln und einzubauen wie Standardlager.

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

SKF  
Sensorlagereinheit



### 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 (→ Bild 3) sind mechatronische Bauteile, die Sensor- und Lagerfunktion kombinieren. Sie sind speziell als Inkrementalgeber für die Motoren- bzw. Maschinensteuerung konzipiert. Diese Einheiten benutzen einen völlig abgeschirmten Sensor. Sensorkörper, Impulsring und Lager sind mechanisch fest verbunden und bilden eine integrierte, einbaufertige Einheit.

Die patentierten SKF Sensorlagereinheiten sind einfache und robuste Bauteile und unterstützen mit einer kompakten und zuverlässigen Kodierung anspruchsvollste Steuerungsanforderungen. Sie sind für Lagerungen mit umlaufenden Innenring und stillstehendem Außenring gedacht.

Insbesondere in Gabelstaplern werden immer kompaktere mittelgroße Elektromotoren eingesetzt, so dass sich eine höhere Leistungsdichte ergibt. Entsprechend treten höhere Motorströme auf (600 bis 800 A). Sie können die Leistung von Sensorlagern beeinträchtigen, deren Sensoren auf dem Hall-Effekt beruhen.

Die SKF Encodereinheit BMH arbeitet mit Induktionssensoren, damit sie magnetischen Störungen gegenüber unempfindlich ist und Störungen vermieden werden.

### Große und sehr große elektrische Maschinen

Die Lagerungen in großen und sehr großen Elektromotoren und Generatoren sind heute meistens Gleitlagereinheiten. Diese Einheit besteht aus einem Gleitlager, einem Gehäuse und anderen Bauteilen wie elektrischer Isolierung oder für Flanschlagereinheiten einer 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 Ölfilmstärke fast auf Null zurückgehen. Diese unzureichende Schmierung kann zu einem direkten metallischen Kontakt führen, der das Gleitlager beschädigen und einen vorzeitigen Ausfall verursachen kann. 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.

Hohe Betriebstemperaturen bewirken eine niedrige Betriebsviskosität des Öls. Die Viskosität kann so gering werden, dass kein schützender Ölfilm mehr aufgebaut werden kann. Daher müssen Gleitlagereinheiten mit speziellen Ölumlaufsystemen einschließlich Kühlern ausgerüstet werden.

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

### SKF Flanschlagergehäuse mit Wälzlagern

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 Druckölssystem aus. Dies kann gerade bei Motoren in Stahlwerken oder bei Schiffsantrieben besonders wichtig sein.

Das für eine Ölbadschmierung 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.

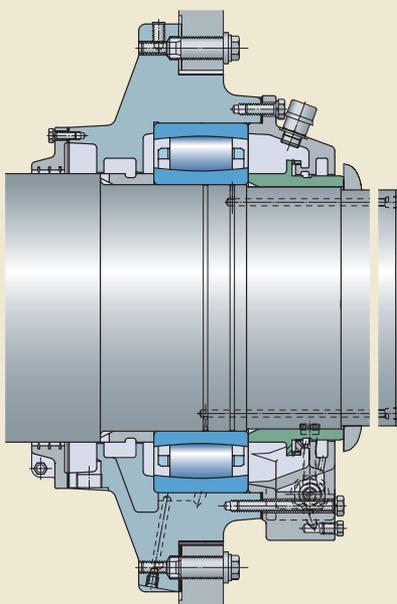
Was die Wartung betrifft, ist lediglich ein regelmäßiger Ölwechsel erforderlich.

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 Komponenten wie hydrostatische Druckölssysteme 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.

Für weitere Informationen wenden Sie sich bitte an die Technische Beratung von SKF.

*Flanschlagergehäuse mit einem CARB Toroidal-Rollenlager*

**Bild 5**



### 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 erfordern

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

All dies ist mit größeren Mühen und Kosten verbunden.

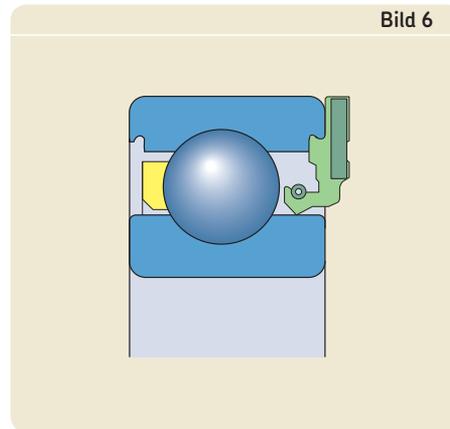
### SKF ICOS Lager-Dichtungs-Einheiten

Zur Vereinfachung der Abdichtung und gleichzeitiger Kostensenkung hat SKF Sealing Solutions 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 Bauteilen. Die ICOS Lager-Dichtungs-Einheit vereinfacht die Montage und kommt ohne kostspielige Bearbeitung der Welle aus, da die Innenringsschulter als perfekte Gegenlauffläche für die Dichtung 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.



SKF ICOS Lager-Dichtungs-Einheit

## 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 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 Fähigkeit, Lagerschäden und andere Maschinenprobleme genau und leicht zu identifizieren.

Durch die Messung einer Vielzahl relevanter Maschinenparameter wie Beschleunigung,

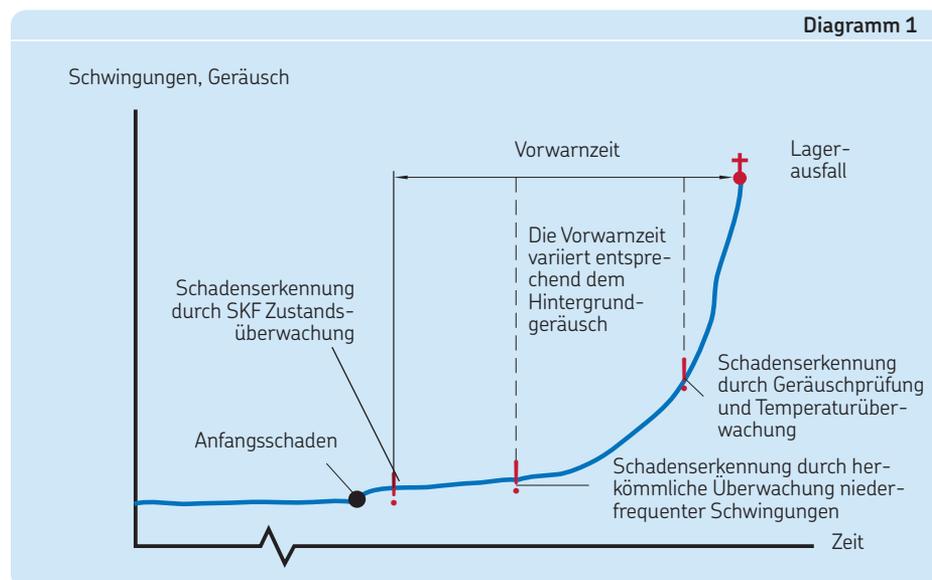
Geschwindigkeit und Verschiebung sowie von Prozessparametern wie Drehzahl, Temperatur, Strom, Druck und Durchfluss erhalten die Betreiber Einblick in den spezifischen Zustand einer Maschine. Moderne Analysetechniken, wie die Auswertung der Hüllkurve über die Beschleunigung, machen Schluss mit den Vermutungen 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.

### 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-



## 7 SKF Servicedienstleistungen und Systemlösungen Zustandsüberwachung

oder Zahnflankenschadens genau festgestellt werden, sondern auch der Ort.

### Bedienerwerkzeuge

Wirtschaftliche und leicht bedienbare Handgeräte liefern schnell grundlegende Anzeichen für Problembereiche.

Der Schwingungsmessstift *Vibration Pen<sup>plus</sup>* 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 kostspieliger 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.

### Regelmäßige Überwachung

Tragbare Datensammler wie der *SKF MICROLOG* erlauben effektive Datensammlung und Vor-Ort-Analyse. Die eingebaute Experten-Funktion bietet Schritt-für-Schritt-Anleitungen für die Analyse kritischer Maschinenfunktionen. Für weitergehende Untersuchungen und Trendbestimmungen können die gesammelten Daten in das Programm *SKF @ptitude Monitoring Suite* geladen werden.

### Kontinuierliche Überwachung

Online-Überwachung für Lager- und Maschinenanalyse rund um die Uhr bietet signifikante Vorteile. Beim *MULTILOG* Online-System sammeln fest installierte Sensoren Daten an schwer zugänglichen Stellen oder problematischen Maschinen. Manuelle Datenerfassung an unterschiedlichen Messpositionen und Maschinenstandorten entfällt.

Mit dem Programm *SKF @ptitude* zeigen die Systeme online die aktuellen Betriebsdaten für eine leistungsfähige „Echtzeit“-Analyse an. So wird ein Höchstmaß an Arbeitssicherheit und Datenkonsistenz erreicht.



*Vibration Pen<sup>plus</sup>*



*SKF MARLIN*  
Datensammler mit  
Erkennung des  
Maschinenzustands



*SKF Microlog-*  
Analysegeräte XA50



*SKF Multilog IMx*

### SKF @ptitude Monitoring Suite

Die SKF @ptitude Monitoring Suite ist ein integriertes und skalierbares Softwareprogramm, das eine umfassende Zuverlässigkeitslösung für Fertigungsanlagen und andere Betriebseinrichtungen bietet. Die Software ermöglicht dem Bediener die vollständige Kontrolle der Daten aus der regelmäßigen und kontinuierlichen Zustandsüberwachung sowie Analyse und Berichterstellung mit ausführlichen Funktionen zur kundenspezifischen Anpassung. In das Programm lassen sich einfach und wirkungsvoll Zusatzmodule integrieren, und es kann zusammen mit computergestützten Instandhaltungsmanagement-Systemen, Warenwirtschaftssystemen und anderen Informationssystemen eingesetzt werden.

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.

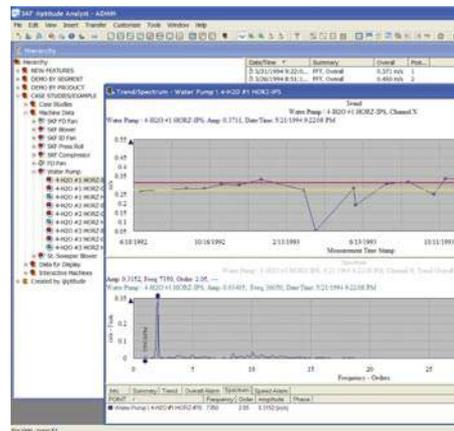
Weitere Informationen erhalten Sie unter [www.skf.com/cm](http://www.skf.com/cm) oder von Ihrem SKF Ansprechpartner vor Ort.

### 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](http://www.mapro.skf.com).



@ptitude Analyst







