

Analyse von Lagerschäden und -ausfällen



Inhalt

SKF – Kompetenz für Bewegungstechnik	4
Einführung	7
1 Lagerlebensdauer und Lagerausfälle	8
Einflussfaktoren der Lagergebrauchsdauer	8
Wann sollte ein Lager ersetzt werden?	9
2 Inspektion und Schadensdiagnose	10
Inspektion während des Betriebs	10
Geräusch- und Schwingungsüberwachung	11
Temperaturüberwachung	11
Überwachung der Schmierbedingungen	11
Inspektion bei Maschinenstillstand	11
Lagerinspektion	11
Inspektion der Gegenlaufflächen	12
Schadensbehebung	12
Häufige Symptome für Lagerstörungen	12
Störungszustände und Lösungen	15
3 Laufspuren	32
Normale Laufspuren	34
Radiale Lager – einseitige, konstante Radiallast	34
Radiallager – gleichphasige, konstante, radiale drehende Last	35
Radiale Lager – einseitige, konstante Axiallast	36
Radiallager – Kombination einseitiger, konstanter Radial- und Axiallasten	37
Axiallager – einseitige, konstante Axiallast	37
Laufspuren infolge anomaler Betriebsbedingungen	38
Radiale Lager – einseitige, konstante Radiallast	38
Axiallager – einseitige, konstante Axiallast	40
4 ISO-Klassifizierung der Schadensarten	42
Klassifizierung der Schadensarten – ISO-Arbeitsgruppe	42
Schadensarten	44
Ermüdung	44
Verschleiß	48
Korrosion	52
Elektroerosion	55
Plastische Verformung	58
Brüche und Risse	61

5 Schäden und Maßnahmen	64
Ermüdung aus der Tiefe	65
Ermüdung von der Oberfläche	66
Abrasiver Verschleiß	68
Adhäsiver Verschleiß	70
Feuchtigkeitskorrosion	71
Passungsrost	73
Stillstandsmarken (False Brinelling)	75
Überstrom	76
Kriechstrom	77
Überlast	79
Eindrückungen	81
Gewaltbruch	83
Ermüdungsbruch	84
Wärmespannungsrisse	85
6 Sonstige Untersuchungen	86
7 Fallstudien	88
Zugentgleisung	88
Elektromotor mit veränderlicher Drehzahl	90
Tonknetterproblem	92
Backenbrecherproblem	94
8 Anhänge	96
Anhang A: SKF Klassifizierung nach ISO 15243:2004	96
Anhang B: Einflussfaktoren der Lagerauswahl	97
Anhang C: Lagerschäden und -ausfälle – Arten und Ursachen	99
Anhang D: Erfassen von Informationen	100
Anhang E: Glossar	101

SKF – Kompetenz für Bewegungstechnik

SKF entwickelte sich aus einer einfachen, aber gut durchdachten Lösung für ein Fluchtungsfehlerproblem in einer schwedischen Textilfabrik und 15 Mitarbeitern im Jahre 1907, zu



einer weltweit führenden Unternehmensgruppe für Bewegungstechnik. Mit den Jahren haben wir unser umfassendes Wälzlagerwissen auf die Kompetenzbereiche Dichtungen, Mechatronik-Bauteile, Schmiersysteme und Dienstleistungen erweitert. Unser Netzwerk qualifizierter Experten umfasst 46 000 Mitarbeiter, 15 000 Vertriebspartner, Niederlassungen in mehr als 130 Ländern und eine wachsende Zahl an SKF Solution Factory Standorten weltweit.

Forschung und Entwicklung

Wir verfügen über fundiertes Praxiswissen aus mehr als vierzig Industriebranchen, das SKF Mitarbeiter vor Ort bei unseren Kunden sammeln konnten. Wir arbeiten Hand in Hand mit weltweit führenden Experten und Partner-Universitäten, die Grundlagenforschung und Entwicklungsarbeit in den Fach-

gebieten Tribologie, Zustandsüberwachung, Anlagenmanagement und theoretische Lagergebrauchsdauer leisten. Kontinuierliche Investitionen in Forschung und Entwicklung unterstützen unsere Kunden dabei, ihre marktführende Stellung in den jeweiligen Branchen zu halten.

Wir stellen uns auch den schwierigsten Herausforderungen

Mit der richtigen Mischung aus fachlichem Know-how und wertvoller Erfahrung sowie einer eingehenden Kenntnis, wie sich unsere Kerntechnologien erfolgreich kombinieren lassen, entwickeln wir innovative Lösungen, die auch anspruchsvollsten Herausforderungen gerecht werden. Wir arbeiten eng mit unseren Kunden über die gesamten Maschinen- und Anlagenzyklen zusammen und verhelfen ihnen so zu einem rentablen und nachhaltigen Wachstum.



Wir arbeiten für eine nachhaltige Zukunft

Seit 2005 arbeitet SKF mit Nachdruck daran, die Belastung der Umwelt durch die eigenen Fertigungs- und Vertriebsaktivitäten zu reduzieren. Dies betrifft auch die Aktivitäten unserer Zulieferer. Mit dem neuen SKF BeyondZero Portfolio an Produkten und Dienstleistungen lassen sich die Energieeffizienz steigern, Energieverluste reduzieren und neue Technologien für die Nutzung von Wind-, Sonnen- und Gezeitenenergie entwickeln. Durch diese kombinierte Vorgehensweise reduzieren wir nicht nur die negativen Umweltauswirkungen unserer eigenen Aktivitäten, sondern auch die unserer Kunden.

In einer SKF Solution Factory stellt SKF ihren Kunden vor Ort Fachwissen und Fertigungskompetenz für maßgeschneiderte Lösungen und Dienstleistungen zur Verfügung.



In Zusammenarbeit mit den SKF IT- und Logistiksystemen sowie den Anwendungsexperten bieten SKF Vertragshändler ihren Kunden weltweit ein leistungsstarkes Mix aus Produkt- und Anwendungswissen an.



Unser Wissen – Ihr Erfolg

SKF Lifecycle-Management ist die Art und Weise, wie wir unsere Technologieplattformen und Dienstleistungen integrieren und sie auf jeder Stufe im Lebenszyklus einer Maschine anwenden, damit unsere Kunden erfolgreicher, nachhaltiger und profitabler arbeiten können.



Wir arbeiten intensiv mit unseren Kunden zusammen

Mit SKF Produkten und Dienstleistungen können unsere Kunden ihre Produktivität steigern, Instandhaltungsarbeiten minimieren, eine höhere Energie- und Ressourceneffizienz erzielen und die Gebrauchsdauer und Zuverlässigkeit ihrer Maschinenkonstruktionen optimieren.



Lager und Lagereinheiten

SKF ist ein weltweiter Marktführer bei der Konstruktion, Entwicklung und Fertigung von Hochleistungslagern, Gelenklagern, Lagereinheiten und Gehäusen.

Innovative Lösungen

Ganz gleich, ob Linear- oder Drehbewegung oder beides kombiniert, SKF Ingenieure unterstützen Sie während jeder Lebenszyklusphase der Maschine bei der Verbesserung der Leistung. Dieser Ansatz ist nicht auf Einzelkomponenten wie Lager oder Dichtungen beschränkt. Er bezieht sich auf die Gesamtanwendung und das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten.



Instandhaltung von Maschinen und Anlagen

SKF Zustandsüberwachungssysteme und der SKF Instandhaltungsservice unterstützen Sie dabei, ungeplante Stillstandszeiten auf ein Minimum zu reduzieren, Ihre Betriebseffizienz zu verbessern und die Wartungskosten zu senken.



Dichtungslösungen

SKF bietet Standarddichtungen sowie kundenspezifische Dichtungslösungen an. Das Ergebnis sind längere Betriebszeiten, eine höhere Maschinenzuverlässigkeit, geringere Reibungs- und Leistungsverluste und eine verlängerte Schmierstoff-Gebrauchsdauer.

Optimierung und Überprüfung der Ausführung

SKF optimiert gemeinsam mit Ihnen bestehende oder neue Konstruktionsentwürfe. Dabei verwenden wir eine eigene 3D-Simulationssoftware als virtuellen Prüfstand für die Funktionseignung des Designs.



Mechatronik-Bauteile

SKF Fly-by-Wire-Systeme für Verkehrsflugzeuge und SKF Drive-by-Wire-Systeme für Offroadfahrzeuge, Landmaschinen und Gabelstapler ersetzen schwere mechanische oder hydraulische Systeme mit hohem Fett- oder Ölverbrauch.



Schmierungslösungen

Von Spezialschmierstoffen bis hin zu modernsten Schmiersystemen und Schmierungsmanagement-Dienstleistungen helfen Ihnen SKF Lösungen, schmierungsbedingte Stillstandszeiten sowie den Verbrauch teurer Schmierstoffe zu reduzieren.



Antriebs- und Bewegungssteuerung

Dank des umfangreichen Produktangebots von Aktuatoren und Kugelgewindedrieben bis hin zu Profilschienenführungen finden SKF Experten gemeinsam mit Ihnen passende Lösungen selbst für anspruchsvollste Linearführungen.

Einführung

Wälzlager gehören bei der breiten Mehrheit der Maschinen zu den wichtigsten Komponenten. Sie müssen in Bezug auf Tragfähigkeit, Laufgenauigkeit, Geräuschentwicklung, Reibung und Reibungswärme, Lebensdauer und Zuverlässigkeit extrem hohe Anforderungen erfüllen. Es ist daher nur natürlich, dass Wälzlager eine so bedeutende Rolle spielen und im Laufe der Jahre im Rahmen umfassender Forschungsarbeiten laufend verbessert wurden.

Wälzlagertechnologie hat sich zu einem ganz eigenen wissenschaftlichen Zweig entwickelt. SKF war hier von Anfang an führend. Dank dieser Forschungsarbeiten ist es heute möglich, Lager höchster Qualität herzustellen, die nominelle Lebensdauer eines Lagers relativ genau im Voraus zu berechnen und auf ein umfassendes Anwendungswissen zurückzugreifen, um die Lagerlebensdauer der betreffenden Maschine zu maximieren.

Es kann jedoch trotz sorgfältiger Konstruktion und Fertigung und trotz eingehender Anwendungstests manchmal vorkommen, dass ein Lager die erforderliche Lagerlebensdauer nicht erreicht. Ausfälle führen im Allgemeinen zu wirtschaftlichen Verlusten (Produktionsausfall), Folgeschäden an benachbarten Teilen und Reparaturkosten.

Ein vorzeitiger Lagerausfall kann mehrere Gründe haben. Jeder Ausfall hinterlässt bestimmte Spuren am Lager (Schadensbild).

Folglich lässt sich in den meisten Fällen durch Untersuchung des beschädigten Lagers die Ursache für den Ausfall feststellen,

sodass geeignete Maßnahmen ergriffen werden können, um eine Wiederholung zu vermeiden. Diese Druckschrift soll Grundkenntnisse über Lagerausfälle und Schadensanalysen vermitteln.

Anhand der hier enthaltenen Informationen können einfache Ausfallsituationen bewertet und entsprechende Untersuchungen eingeleitet werden. Für die umfassende Schadensanalyse eines ausgefallenen Wälzlagers reichen die Informationen jedoch nicht aus, und sie bieten auch keinen Ausgleich für fehlende Erfahrungen auf diesem Gebiet.

Informationen über diese Druckschrift

Diese Druckschrift besteht aus den folgenden Kapiteln:

- 1 Lagerlebensdauer und Lagerausfälle**
Die meisten Lager überleben die Anlagen, in die sie eingebaut sind. Nur wenige versagen.
- 2 Inspektion und Schadensdiagnose**
Wenn ein Problem auftritt, können eine Inspektion bei Betrieb oder Stillstand und eine sofortige Schadensdiagnose Hinweise auf die Ursache geben. Das äußerst wichtige Thema der Zustandsüberwachung (rechtzeitige Feststellung von Schäden) wird hier nicht behandelt. Weitere Informationen zur Zustandsüberwachung finden Sie im *SKF Service-Handbuch* oder in einschlägiger Fachliteratur.

3 Laufspuren

Nachdem ein Schaden aufgetreten ist, muss das Lager untersucht und analysiert werden. Die Analyse setzt eine fundierte Kenntnis der Laufspuren voraus.

4 ISO-Klassifizierung der Schadensarten

Entsprechende Begriffe und das ISO-Klassifizierungssystem helfen bei der Verständigung über die Art des Schadens und die möglichen Ursachen.

5 Schäden und Maßnahmen

In diesem Kapitel wird eine Reihe von Fällen einschließlich Gegenmaßnahmen beschrieben. Hier wird nur auf die zerstörungsfreie Analyse eingegangen.

6 Sonstige Untersuchungen

Für komplexe Fälle stehen in den Labors von SKF mehrere weiterführende zerstörende Analysemethoden zur Verfügung. Dieses Kapitel enthält eine kurze Übersicht.

7 Fallstudien

Die Analyse von Lagerschäden kann relativ komplex sein. Dies wird am Beispiel einiger Fallstudien veranschaulicht.

8 Anhänge

Die Anhänge A bis E enthalten grundlegende Übersichtsdiagramme, Hinweise zur Erfassung von Informationen zu Lagerschäden sowie ein Glossar als einfaches Nachschlagewerk.

1 Lagerlebensdauer und Lagerausfälle

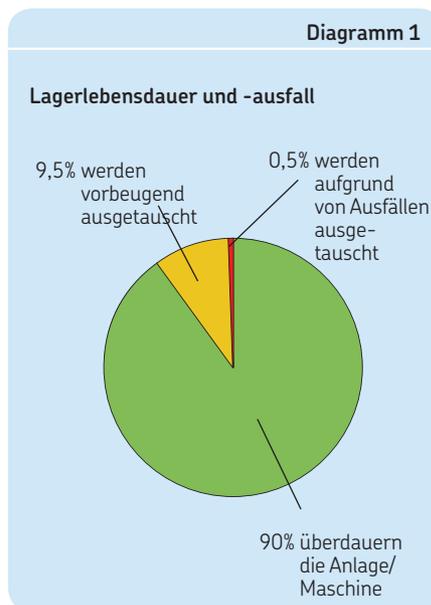
Jedes Jahr werden weltweit ca. zehn Milliarden Lager hergestellt. Tatsächlich versagt nur ein Bruchteil aller eingesetzten Lager (→ **Diagramm 1**). Die meisten Lager (ca. 90%) überleben die Anlagen, in die sie eingebaut sind. Einige Lager (9,5%) werden aus Sicherheitsgründen (zur Vorbeugung) ausgetauscht, bevor sie ausfallen können. Ungefähr 0,5% der Lager werden aufgrund von Schäden oder Ausfällen ersetzt. Somit werden jedes Jahr rund 50 000 000 Lager aufgrund von Schäden oder Ausfällen ausgetauscht.

Für Lagerschäden oder -ausfälle kann es mehrere Gründe geben. Allgemein gilt Folgendes:

- 1/3 der Ausfälle erfolgt aufgrund von Ermüdung
- 1/3 der Ausfälle erfolgt aufgrund von Schmierproblemen (falscher Schmierstoff, falsche Menge, falsche Schmierfrist)
- 1/6 der Ausfälle erfolgt aufgrund von Verunreinigungen (unwirksame Dichtungen)
- 1/6 der Ausfälle erfolgt aus anderen Gründen (unsachgemäße Handhabung oder Montage, höhere oder andere Belastung als vorgesehen, falsche oder unzureichende Passungen)

Die Zahlen variieren je nach Branche oder Anwendung. So sind beispielsweise Lagerausfälle in der Zellstoff- und Papierindustrie meistens nicht auf Ermüdung, sondern auf Verunreinigungen und unzureichende Schmierung zurückzuführen.

Jeder dieser Vorfälle erzeugt ein eindeutiges Schadensbild, eine sogenannte „Spur“ (in Bezug auf Laufbahnen wird der Begriff „Laufspuren“ verwendet, → *Laufspuren*, Seite 32). Daher lässt sich die Schadensur-



sache in den meisten Fällen durch sorgfältige Untersuchung des betroffenen Lagers feststellen. Auf der Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse können Gegenmaßnahmen ergriffen werden, damit sich das Problem nicht wiederholt.

Dies lässt sich am Beispiel einer Anwendung mit unwirksamen Dichtungen veranschaulichen: Wenn durch die Dichtungen Verunreinigungen in Form von Schmutzpartikeln in das Lager gelangen, werden sie u. U. von den Wälzkörpern überrollt. Durch das Überrollen entstehen Eindrückungen in den Laufbahnen (→ **Bild 1**). Harte Partikel können Eindrückungen mit scharfen Kanten hinterlassen. Wenn der Bereich um die Eindrückung dann durch die normale Rollbewegung der Wälzkörper einer Wechselbeanspruchung ausgesetzt wird, ermüdet die Oberfläche, und das Metall an der Laufbahn beginnt sich zu lösen. Man spricht in diesem Fall von „Schälung“. Sobald Schälung auftritt, vergrößert sich der Schaden, bis das Lager nicht mehr einsetzbar ist.

Einflussfaktoren der Lagergebrauchsdauer

Die nominelle Lebensdauer eines Lagers in einer Anwendung kann im Allgemeinen anhand der entsprechenden SKF Formel berechnet werden:

$$L_{nm} = a_1 a_{SKF} \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

wobei

L_{nm} = nominelle SKF Lebensdauer (bei einer Zuverlässigkeit von 100 – n¹%) [Mio. Umdrehungen]

a_1 = Lebensdauerbeiwert für die Überlebenswahrscheinlichkeit

a_{SKF} = SKF Lebensdauerbeiwert

C = dynamische Tragzahl [kN]

P = äquivalente dynamische Lagerbelastung [kN]

p = Exponent der Lebensdauer Gleichung (p=3 für Kugellager, p=10/3 für Rollenlager)

¹⁾ Der Beiwert n gibt die Ausfallwahrscheinlichkeit an, d. h. die Differenz zwischen der erforderlichen Erlebenswahrscheinlichkeit und 100%.

Bei dieser Methode werden nicht nur Belastungen berücksichtigt, sondern auch andere wichtige Faktoren, wie Zuverlässigkeit, Schmierbedingungen, Verunreinigungen und Ermüdungsgrenzbelastung.

Ob die Gebrauchsdauer eines Lagers die berechnete nominelle Lebensdauer erreicht oder überschreitet, hängt von einer Reihe von Faktoren ab:

- **Lagerqualität**

Nur nach höchsten Qualitätsstandards hergestellte Lager können eine lange Gebrauchsdauer gewährleisten.

- **Lagerung**

Eine ordnungsgemäße Lagerung ist für die Lagergebrauchsdauer ebenfalls ein wichtiger Aspekt. Vermeiden Sie zu hohe Lagerbestände. Durch Anwendung des Prinzips „First in, first out“ wird sichergestellt, dass sich grundsätzlich „frische“ Lager im Regal befinden. Dies ist insbesondere für Lager mit Dichtungen oder Deckscheiben wichtig, da diese werkseitig geschmiert sind und das Schmierfett nur begrenzt haltbar ist. Denken Sie außerdem daran, dass die Lager, die heute hergestellt werden, angesichts der drastischen Veränderungen in der Fertigungstechnologie eine wesentlich längere Lebensdauer haben als noch vor 10 oder 15 Jahren.

- **Anwendung**

Verwenden Sie die richtigen Lager für die Anwendung.

- **Montage**

Lager funktionieren nur dann ordnungsgemäß, wenn sie richtig eingebaut sind (→ *SKF Service-Handbuch*). Unsachgemäße Einbauverfahren können leicht zu Schäden an den Lagern und somit zu vorzeitigem Ausfällen führen.

- **Schmierung**

Verschiedene Betriebsbedingungen erfordern verschiedene Schmierstoffe, Nachschmierfristen und Schmierstoffwechselintervalle. Es ist also nicht nur wichtig, den richtigen Schmierstoff zu verwenden – Schmierstoffmenge, Schmierfrist und Schmiermethode müssen ebenfalls stimmen.

- **Dichtungslösung**

Eine Dichtung sorgt dafür, dass der Schmierstoff im Lager bleibt und keine Verunreinigungen eindringen. Ein vorzeitiger Lagerausfall könnte zu Undichtigkeiten in der Anwendung führen.

Wann sollte ein Lager ersetzt werden?

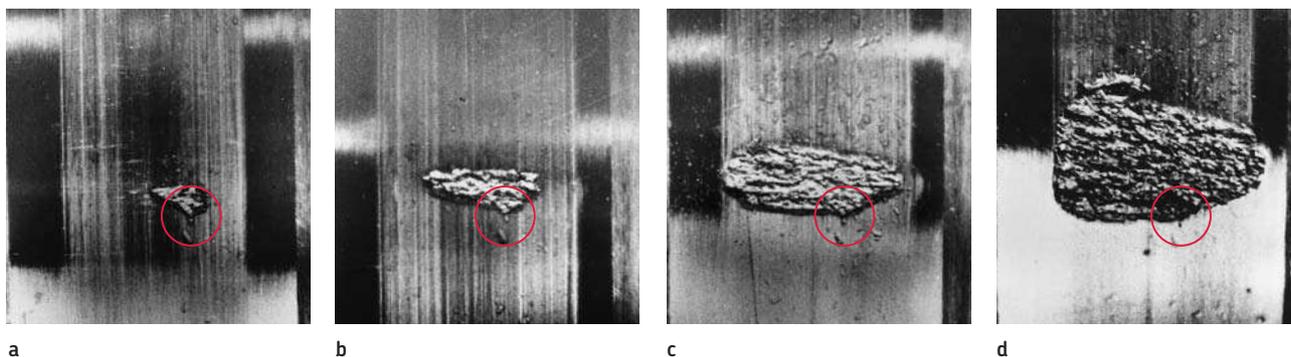
Die Zeit vom ersten (ursprünglichen) Schaden bis zur Unbrauchbarkeit des Lagers kann von Fall zu Fall stark variieren. Bei höheren Drehzahlen dauert es unter Umständen nur wenige Sekunden. Bei großen, langsam drehenden Maschinen kann es Monate dauern. Die Frage, wann ein Lager ersetzt werden sollte, lässt sich am besten durch Überwachung des Lagerzustands beantworten (→ *Inspektion und Schadensdiagnose, Seite 10*).

Wenn ein Lagerschaden unerkannt bleibt und das Lager nicht ersetzt wird, bevor es komplett ausfällt, können Sekundärschäden an der Maschine und zugehörigen Komponenten die Folge sein. Außerdem ist es bei einem Komplettausfall des Lagers unter Umständen schwer, wenn nicht sogar unmöglich, die Ursache des Ausfalls festzustellen.

Schadensprogression

Ein harter Schmutzpartikel wurde überrollt und in die Laufbahn des Innenrings eines Zylinderrollenlagers eingedrückt (a). Die Oberfläche begann zu ermüden, was sich in Form einer Schälung direkt hinter der Eindrückung bemerkbar machte. Im Laufe der Zeit wurde die Schälung immer größer (b, c). Wäre die Maschine nicht rechtzeitig angehalten worden, hätte es zu Sekundärschäden an Maschinenteilen kommen können. Die ursprüngliche Eindrückung ist nicht mehr erkennbar (d).

Bild 1

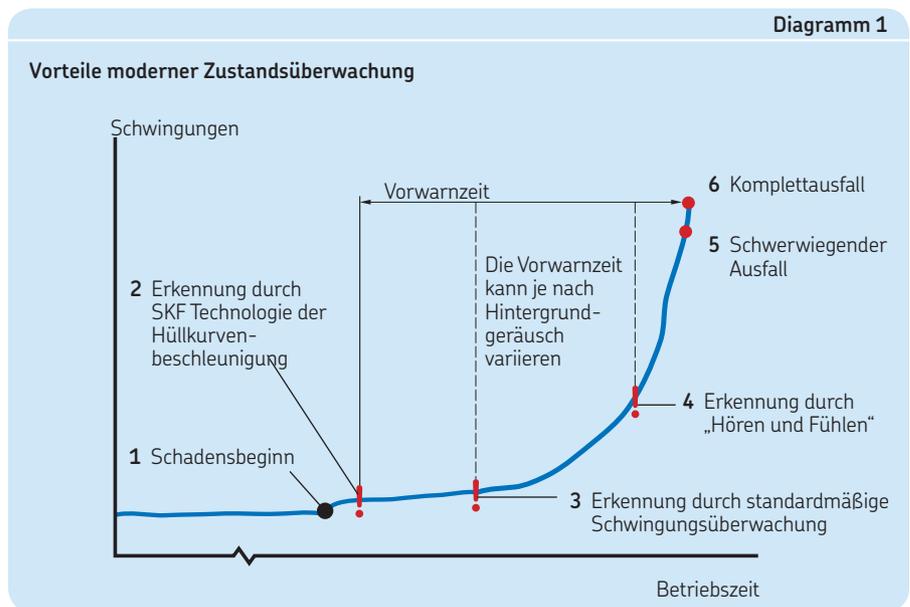


2 Inspektion und Schadensdiagnose

Inspektion während des Betriebs

Die frühzeitige Erkennung von Lagerschäden noch vor einem Ausfall gibt dem Anwender die Möglichkeit, Lager bereits bei planmäßigen Routinewartungen auszutauschen und dadurch kostspielige ungeplante Maschinenstillstände von vornherein zu vermeiden. Zu wichtigen Maschinenparametern für die Überwachung des Maschinenzustands gehören Geräuschpegel, Temperatur und Schwingungspegel.

Verschlossene oder beschädigte Lager weisen in der Regel eindeutige Symptome auf. Da sie viele verschiedene Ursachen haben können, müssen sie sorgfältig untersucht werden (→ *Schadensdiagnose, Seite 12*).



Aus praktischen Gründen können nicht alle Maschinen oder Maschinenfunktionen mit modernen Systemen überwacht werden. In diesen Fällen kann die Maschine einer Sicht- oder Hörprüfung unterzogen werden, um Probleme festzustellen. Eine Maschinenprüfung mithilfe der menschlichen Sinne ist jedoch nur bedingt von Vorteil. Bis der Schaden so weit fortgeschritten ist, dass er sich bemerkbar macht, ist es vielleicht schon zu spät. Der Einsatz objektiver Technologien wie der modernen Schwingungsanalyse hat den Vorteil, dass der Schaden in einem frühen Entwicklungsstadium erkannt wird, noch bevor er problematische Formen annimmt (→ **Diagramm 1**). Mithilfe professioneller Zustandsüberwachungsgeräte und der SKF Technologie der Hüllkurvenbeschleunigung kann die Vorwarnzeit maximiert werden.

Bild 1 zeigt die in **Diagramm 1** dargestellte Schadensprogression:

- 1 Beginnender Abrieb am Lager.
- 2 Erste von SKF Technologie der Hüllkurvenbeschleunigung erkannte Schälung.
- 3 Schälung ist so weit fortgeschritten, dass der Schaden mittels standardmäßiger Schwingungsüberwachung erkannt werden kann.
- 4 Weitere Schälung führt zu starker Schwingungs- und Geräusentwicklung sowie einem Anstieg der Betriebstemperatur.
- 5 Auftritt schwerer Schäden: Ermüdungsbruch am Lagerinnenring.
- 6 Komplettausfall mit Sekundärschäden an anderen Komponenten.

Geräusch- und Schwingungsüberwachung

Eine gängige Methode zur Identifizierung von Verschleiß oder Schäden an einem Lager ist die Hörprüfung. Lager, die in einem guten Zustand sind, laufen leise. Schleif-, Quietsch- und sonstige ungewöhnliche Geräusche weisen auf einen schlechten Lagerzustand oder ein Problem hin.

Schwingungsüberwachung ist aufgrund der folgenden drei grundlegenden Fakten erforderlich:

- Alle Maschinen erzeugen Schwingungen.
- Ein beginnendes mechanisches Problem wird gewöhnlich von stärkeren Schwingungen begleitet.

- Anhand des Schwingungsverhaltens kann auf die Art des Fehlers geschlossen werden.

Temperaturüberwachung

Es ist wichtig, die Betriebstemperatur an Lagerpositionen zu überwachen. Wenn die Betriebsbedingungen nicht geändert wurden, weist ein Anstieg der Betriebstemperatur häufig auf einen drohenden Lagerschaden hin. Denken Sie jedoch daran, dass ein Temperaturanstieg unmittelbar nach der Inbetriebnahme der Maschine und nach jeder Nachschmierung (bei Verwendung von Schmierfett) normal ist und ein bis zwei Tage andauern kann.

Überwachung der Schmierbedingungen

Lager können nur bei adäquater Schmierleistung maximale Leistungen erzielen. Die Schmierbedingungen eines Lagers sollten daher genauestens überwacht werden. Der Zustand des Schmierstoffs selbst sollte ebenfalls regelmäßig kontrolliert werden, vorzugsweise durch Analyse von Proben.

SKF empfiehlt für schmierungsbezogene Inspektionen die folgenden allgemeinen Richtlinien:

- Bereiche um die Lagerpositionen auf austretenden Schmierstoff überprüfen.
- Darauf achten, dass Schutzkragen und Labyrinthdichtungen stets mit Schmierfett gefüllt sind, um maximalen Schutz zu gewährleisten.
- Automatische Schmiersysteme auf ordnungsgemäße Funktion und Abgabe der richtigen Schmierstoffmenge an die Lager überprüfen.
- Füllstand in Wannen und Behältern überprüfen und ggf. Schmierstoff nachfüllen.
- Bei manueller Fettschmierung fristgerecht nachschmieren.
- Bei Ölschmierung Öl fristgerecht auswechseln.
- Stets den angegebenen Schmierstoff verwenden.

Inspektion bei Maschinenstillstand

Bei stillstehender Maschine bietet sich die Gelegenheit, den Zustand von Lagern, Dichtungen, Dichtungsgegenläufflächen, Gehäusen

und Schmierstoff zu kontrollieren. Für eine allgemeine Inspektion muss häufig lediglich ein Gehäusedeckel abgenommen werden. Falls ein Lager Schäden aufweist, muss es ausgetauscht und eingehend untersucht werden.

Wellen- und Riemenausrichtung sowie Maschinenfundament und -außenflächen können bei einem Maschinenstillstand ebenfalls einer gründlichen Inspektion unterzogen werden.

Jeder gestörte Zustand – sei es eine fehlende Scheibe oder ein schadhaftes Fundament – können die Maschinenleistung beeinträchtigen. Je eher das Problem erkannt wird, desto früher können Abhilfemaßnahmen ergriffen werden. Es ist weit weniger kostspielig, Lager und zugehörige Komponenten bei einer regulär geplanten Abschaltung zu ersetzen, als es auf einen ungeplanten Ausfall ankommen zu lassen, durch den die Maschine unerwartet außer Betrieb gesetzt wird.

Lagerinspektion

Lager sind nicht immer einfach zugänglich. Teilweise freiliegende Lager können jedoch einer Sichtprüfung unterzogen werden. Der günstigste Zeitpunkt für eine Inspektion der Lager ist während der Routinewartung.

Bei der Untersuchung eingebauter Lager empfiehlt SKF die folgenden allgemeinen Richtlinien:

Vorbereitung

- Die Außenflächen der Maschine reinigen.
- Gehäusedeckel abnehmen, um das Lager zugänglich zu machen.
- Schmierstoffproben zur Analyse entnehmen.
Bei Ölschmierung Proben aus Ölwanne/-behälter entnehmen. Bei fettgeschmierten offenen Lagern Proben von verschiedenen Stellen innerhalb des Lagers entnehmen. Zustand des Schmierstoffs per Sichtprüfung kontrollieren. Zur Erkennung von Verunreinigungen eine dünne Schicht Schmierstoff auf einem Blatt Papier verteilen und unter einer Lampe untersuchen.
- Freiliegende Außenflächen des Lagers mit einem fusselfreien Tuch reinigen.

Inspektion

- Die freiliegenden Außenflächen des Lagers auf Passungsrost kontrollieren. Die Lagerringe auf Risse untersuchen.

2 Inspektion und Schadensdiagnose

- Bei abgedichteten Lagern die Dichtungen auf Verschleiß oder Schäden überprüfen.
- Sofern möglich, die Welle langsam drehen und auf unregelmäßigen Widerstand im Lager achten. Ein unbeschädigtes Lager dreht sich mühelos.

Geschmierte offene Lager in bestimmten Lagergehäusen (z. B. Stehlagergehäusen) können wie folgt einer genaueren Vor-Ort-Inspektion unterzogen werden:

- Sämtliches Schmierfett um das Lager entfernen.
- Lager mit einem nicht metallischen Schaber so gut wie möglich von Schmierfett befreien.
- Lager mit einem mineralölbasierten Lösungsmittel reinigen. Dazu das Lösungsmittel in das Lager sprühen. Die Welle beim Reinigen sehr langsam drehen und weitersprühen, bis sich im Lösungsmittel kein Schmutz und kein Fett mehr ansammelt. Große Lager, die Ablagerungen stark oxidierten Schmierstoffs enthalten, mit einer hochkonzentrierten alkalischen Lösung (10% Natriumhydroxid und 1% Netzmittel) reinigen.
- Das Lager mit einem fusselreifen Tuch oder sauberer, trockener Druckluft reinigen (das Lager jedoch nicht drehen).
- Lagerlaufbahnen, Käfig(e) und Wälzkörper auf Schälungen, Riefen, Kratzer, Streifen, Verfärbungen und spiegelähnliche Flächen überprüfen. Sofern möglich, die radiale Lagerluft messen (um festzustellen, ob Verschleiß vorliegt) und überprüfen, ob sie innerhalb der Spezifikation liegt.

- Bei zufriedenstellendem Zustand des Lagers dieses sofort mit geeignetem Fettschmieren und das Gehäuse schließen. Sind Lagerschäden vorhanden, das Lager ausbauen und vor Korrosion schützen. Anschließend eine umfassende Analyse durchführen.

Allgemeine Empfehlungen

- Den Inspektionsvorgang mit Fotoaufnahmen dokumentieren, um den Zustand des Lagers, des Schmierstoffs und der Maschine im Allgemeinen festzuhalten.
- Den Zustand des Schmierfetts an verschiedenen Stellen überprüfen und mit frischem Fett vergleichen (→ **Bild 2**). Eine repräsentative Probe des Schmierfetts zur späteren Analyse zurückbehalten.
- Bestimmte große und mittlere Lager können überholt werden. Weitere Informationen finden Sie im *SKF Service-Handbuch* und in der Druckschrift *SKF Rekonditionierungs-Services*.

Inspektion der Gegenläufigen

Die Gegenläufigen von Dichtlippen müssen glatt sein, um eine wirkungsvolle Abdichtung zu gewährleisten. Wenn die Gegenläufige verschlissen oder beschädigt ist, funktioniert die Dichtlippe nicht mehr richtig.

Achten Sie bei der Inspektion der Gegenläufigen auch auf Korrosion. Ist nur leichte Korrosion vorhanden, können Sie diese mit feinem Nassschleifpapier entfernen.

WARNUNG: Beim Umgang mit Lösungsmitteln und alkalischen Lösungen die geltenden Sicherheitsvorschriften beachten und Schutzeinrichtungen verwenden.

Schadensbehebung

Nicht ordnungsgemäß funktionierende Lager weisen in der Regel eindeutige Symptome auf. Um diese Symptome zu erkennen und möglichst frühzeitig entsprechende Gegenmaßnahmen einzuleiten, ist ein betriebsweites Zustandsüberwachungsprogramm empfehlenswert. Für den Fall, dass keine Zustandsüberwachungstechnik vorhanden oder anwendbar ist, bietet der folgende Abschnitt nützliche Hinweise zu den häufigsten Symptomen und möglichen Ursachen. Sofern möglich, werden auch einige praktische Lösungen genannt. Je nach Grad des Lagerschadens können einige Symptome irreführend sein, da sie in vielen Fällen das Ergebnis von Sekundärschäden sind. Um Lagerstörungen effektiv beheben zu können, müssen die Symptome nach den Anzeichen analysiert werden, die in der Anwendung als Erstes beobachtet wurden. Näheres dazu finden Sie unter *ISO-Klassifizierung der Schadensarten* auf **Seite 42**.

Häufige Symptome für Lagerstörungen

Symptome für Lagerstörungen lassen sich gewöhnlich auf einige wenige beschränken, die besonders häufig vorkommen und im Folgenden aufgelistet werden. Jedes Symptom ist in Zustandskategorien unterteilt, die Rückschlüsse auf die betreffenden Symptome zulassen (→ **Tabelle 1**). Jeder Zustand ist mit einem Zifferncode versehen, der auf praktische Lösungen für den betreffenden Zustand verweist (→ **Tabelle 2, Seite 16**).

Die hier enthaltenen Informationen zur Schadensdiagnose dienen lediglich als Richtlinie.

Bild 2



Frisches Schmierfett:
braune Farbe

Gebrauchtes
Schmierfett: graue
Farbe

Tabelle 1

Häufige Symptome für Lagerstörungen

- A Übermäßige Wärmeentwicklung
→ **Tabelle 1a**
- B Übermäßige Geräuschentwicklung
→ **Tabelle 1b**
- C Übermäßige Schwingungen
→ **Tabelle 1c, Seite 14**
- D Übermäßige Wellenbewegung
→ **Tabelle 1d, Seite 14**
- E Übermäßiges Reibungsmoment
beim Drehen der Welle
→ **Tabelle 1e, Seite 15**

Tabelle 1a

Symptom A: Übermäßige Wärmeentwicklung	
Mögliche Ursache	Lösungscode
Schmierproblem	
• Unzureichende Schmierung – zu wenig Schmierfett bzw. Ölstand zu niedrig	1
• Schmierstoffüberschuss – zu viel Schmierfett ohne Abfuhrmöglichkeit bzw. Ölstand zu hoch	2
• Falscher Schmierstofftyp – falsche Konsistenz, falsche Viskosität, falsche Additive	3
• Falsches Schmiersystem	4
Dichtungszustände	
• Gehäusedichtungen sitzen zu fest bzw. werden durch andere Komponenten behindert	5
• Mehrere Dichtungen in einer Lagerung (bzw. einem Gehäuse)	6
• Außendichtungen (Gehäusedichtungen) fluchten nicht	7
• Zu hohe Betriebsdrehzahl für berührende Dichtungen im Lager	8
• Dichtungen werden nicht ordnungsgemäß geschmiert	9
• Dichtungen sind falsch ausgerichtet	10
Unzureichende Lagerluft beim Betrieb	
• Falsche Auswahl der ursprünglichen Lagerluft	11
• Wellenmaterial dehnt sich stärker aus als der Lagerstahl (z. B. Edelstahl)	12
• Großer Temperaturunterschied zwischen Welle und Gehäuse (Gehäuse ist wesentlich kühler als die Welle)	13
• Zu langer Verschiebeweg auf kegeligem Lagersitz	14
• Übermäßige Unrundheit von Welle oder Gehäuse – Lager in ovalem Gehäuse klemmt	15
• Übermäßig feste Wellenpassung oder überdimensionierter Wellensitzdurchmesser	16
• Übermäßig feste Gehäusepassung oder unterdimensionierter Gehäusesitzdurchmesser	17
Unangemessene Lagerbelastung	
• Zu hohe Belastung der Lager durch Änderung der Anwendungsparameter	18
• Versatz zwischen zwei Einheiten	19
• Fluchtungsfehler zwischen zwei Einheiten	20
• Verkehrt herum eingebautes Lager	21
• Unwucht	22
• Verwendung des falschen Lagers als Festlager	23
• Übermäßige Axiallasten	24
• Unzureichende Belastung	25
• Übermäßige Vorspannung	26

Tabelle 1b

Symptom B: Übermäßige Geräuschentwicklung	
Mögliche Ursache	Lösungscode
Metall/Metall-Kontakt zwischen den Wälzpartnern	
• Zu wenig Schmierstoff	1
• Ölfilm zu dünn für Betriebsbedingungen	3
• Wälzkörper gleiten (rutschen)	25
Verunreinigungen	
• Eindrückungen in Laufbahnen und/oder Wälzkörpern durch Eindringen und Überrollen fester Verunreinigungen	27
• Von Herstellung oder vorherigen Lagerausfällen zurückgebliebene Feststoffpartikel im Gehäuse	28
• Verringerung der Schmierstoffviskosität durch flüssige Verunreinigungen	29
Zu lose Passung	
• Lose Passung des Innenrings auf der Welle	30
• Übermäßige lose Passung des Außenrings im Gehäuse	31
• Wellenmutter auf Welle oder Lagerhülse ist locker	32
• Lager nicht richtig mit benachbarten Komponenten verspannt	33
• Übermäßige radiale/axiale Lagerluft	34
Oberflächenbeschädigung	
• Abrieb durch unwirksame Schmierung	1, 2, 3, 4
• Anschmierungsschäden durch gleitende Wälzkörper	25
• Eindrückungen in Laufbahnen und/oder Wälzkörpern durch Überrollen fester Verunreinigungen	27
• Eindrückungen in Laufbahnen und/oder Wälzkörpern durch Stoß- oder Schlagbelastung	35
• Stillstandsmarken an Laufbahnen und/oder Wälzkörpern durch statische Schwingungen	36
• Schälungen an Laufbahnen und/oder Wälzkörpern durch Materialermüdung	37
• Durch Oberflächenermüdung verursachte Schälungen an Laufbahnen und/oder Wälzkörpern	38
• Chemischer Angriff an Laufbahnen und/oder Wälzkörpern durch chemische/flüssige Verunreinigungen	39
• (mikroskopische) Materialablösungen an Laufbahnen und/oder Wälzkörpern durch Feuchtigkeit oder schädliche elektrische Ströme	40
• Riffelbildung an Laufbahnen und/oder Wälzkörpern durch schädliche elektrische Ströme	41
Schleifen	
• Gehäusedichtungen falsch installiert	7
• Spann- bzw. Abziehhülse falsch eingebaut	32
• Abstandsringe nicht richtig verspannt	33
• Fahnen an Sicherungsscheibe verbogen	42

Tabelle 1c

Symptom C: Übermäßige Schwingungen

Mögliche Ursache	Lösungscode
Metall/Metall-Kontakt zwischen den Wälzpartnern	
• Wälzkörper gleiten (rutschen)	25
Verunreinigungen	
• Eindrückungen in Laufbahnen und/oder Wälzkörpern durch Eindringen und Überrollen fester Verunreinigungen	27
• Von Herstellung oder vorherigen Lagerausfällen zurückgebliebene Feststoffpartikel im Gehäuse	28
Zu lose Passung	
• Lose Passung des Innenrings auf der Welle	30
• Übermäßige lose Passung des Außenrings im Gehäuse	31
Oberflächenbeschädigung	
• Verschleiß durch unwirksame Schmierung	1, 2, 3, 4
• Anschmierungsschäden durch gleitende Wälzkörper	25
• Eindrückungen in Laufbahnen und/oder Wälzkörpern durch Überrollen fester Verunreinigungen	27
• Eindrückungen in Laufbahnen und/oder Wälzkörpern durch Stoß- oder Schlagbelastung	35
• Stillstandsmarken an Laufbahnen und/oder Wälzkörpern durch statische Schwingungen	36
• Schälungen an Laufbahnen und/oder Wälzkörpern durch Materialermüdung	37
• Durch Oberflächenermüdung verursachte Schälungen an Laufbahnen und/oder Wälzkörpern	38
• Chemischer Angriff an Laufbahnen und/oder Wälzkörpern durch chemische/flüssige Verunreinigungen	39
• (mikroskopische) Materialablösungen an Laufbahnen und/oder Wälzkörpern durch Feuchtigkeit oder schädliche elektrische Ströme	40
• Riffelbildung an Laufbahnen und/oder Wälzkörpern durch schädliche elektrische Ströme	41

Tabelle 1d

Symptom D: Übermäßige Wellenbewegung

Mögliche Ursache	Lösungscode
Lose	
• Lose des Innenrings auf der Welle	30
• Übermäßige Lose des Außenrings auf der Welle	31
• Lager nicht richtig auf Welle oder im Gehäuse befestigt	32
Oberflächenbeschädigung	
• Verschleiß durch unwirksame Schmierung	1, 2, 3, 4
• Ermüdungsbedingte Schälungen an Laufbahnen und/oder Wälzkörpern	37
• Durch Oberflächenermüdung verursachte Schälungen an Laufbahnen und/oder Wälzkörpern	38
Falsche Lagerluft	
• Lager mit falscher Lagerluft eingebaut	11
• Lager nicht richtig auf Welle oder im Gehäuse befestigt, übermäßiges Endspiel	33

Tabelle 1e

Symptom E: Übermäßiges Reibungsmoment beim Drehen der Welle

Mögliche Ursache	Lösungscode
Vorgespanntes Lager	
• Auswahl der falschen Lagerluft für Ersatzlager	11
• Wellenmaterial dehnt sich stärker aus als der Lagerstahl (z. B. Edelstahl)	12
• Großer Temperaturunterschied zwischen Welle und Gehäuse	13
• Zu langer Verschiebeweg auf kegeligem Lagersitz	14
• Übermäßige Unrundheit von Welle oder Gehäuse – Lager klemmt	15
• Übermäßig feste Lager- und/der Gehäusepassung	16, 17
• Übermäßige Vorspannung – falscher Einbau (Vorspannung)	26
Dichtungsreibung	
• Gehäusedichtungen sitzen zu fest bzw. werden durch andere Komponenten behindert	5
• Mehrere Dichtungen in einer Lagerung (bzw. einem Gehäuse)	6
• Außendichtungen (Gehäusedichtungen) fluchten nicht	7
• Dichtungen werden nicht ordnungsgemäß geschmiert	9
Oberflächenbeschädigung	
• Ermüdungsbedingte Schälungen an Laufbahnen und/oder Wälzkörpern	37
• Durch Oberflächenermüdung verursachte Schälungen an Laufbahnen und/oder Wälzkörpern	38
• Riffelbildung an Laufbahnen und/oder Wälzkörpern durch schädliche elektrische Ströme	41
Ausführung	
• Wellen- und/oder Gehäuseschultern fluchten nicht mit dem Lagersitz	43
• Lagerschulter ist zu groß – Behinderung von Dichtungen/Deckscheiben	44

Störungszustände und Lösungen

Praktische Lösungen zur Behebung gängiger Symptome für Lagerstörungen finden Sie in **Tabelle 2** auf **Seite 16**.

ACHTUNG!

Um das Risiko ernsthafter Verletzungen zu verringern, vor Beginn der Arbeiten die erforderlichen Wartungssicherungsmaßnahmen (Lockout/Tagout, LOTO) ausführen.

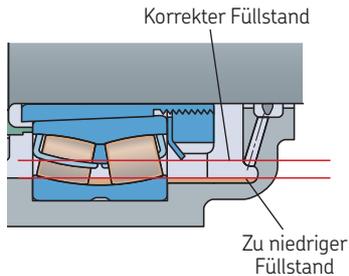
WARNUNG: Direkter Kontakt mit mineralölbasierten Produkten kann allergische Reaktionen hervorrufen! Vor dem Umgang mit Schmierstoffen die entsprechenden Sicherheitsdatenblätter sowie alle Anweisungen und Warnhinweise lesen. Stets Schutzhandschuhe tragen.

Störungszustände und Lösungen

Lösungscode

Zustand/Praktische Lösung

1

**Zu wenig Schmierstoff**

Fettschmierung

Anmerkungen zu Erstbefüllung bzw. Inbetriebnahme

- Das Schmierfett sollte das Lager zu 100% füllen und bis zum Ende der Welle im Gehäuse reichen (1/3 bis 1/2).
- Falls im Gehäuse neben dem Lager nur wenig Platz ist, muss die Schmierfettmenge u. U. verringert werden, um eine verschäumungsbedingte Überhitzung zu vermeiden.

Maßnahmen während des Betriebs:

- Dichtungen auf Verschleiß, Schäden und Undichtigkeiten kontrollieren.

Maßnahmen während des Nachschmierens:

- Sicherstellen, dass die Schmierfrist eingehalten wird (sie darf nicht zu lang sein).
- Sicherstellen, dass frisches Schmierfett in das Lager gelangt.

Ölbadschmierung

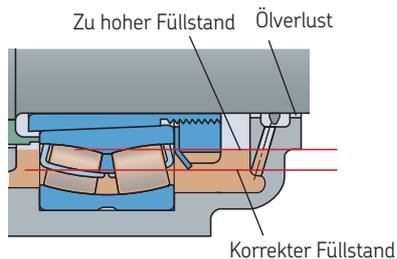
Anmerkungen zu Erstbefüllung, Nachfüllen oder Stillstand:

- Der Ölstand im Ölbad sollte bei Stillstand bis zur Mitte des untersten Wälzkörpers reichen.

Maßnahmen während des Betriebs:

- Sicherstellen, dass das Gehäuse richtig belüftet wird, um Gegendruck zu vermeiden, der zu einer Funktionsstörung der automatischen Schmierstoffgeber führen kann.
- Dichtungen auf Verschleiß, Schäden und Undichtigkeiten kontrollieren.
- Gehäuse spalt auf Undichtigkeiten überprüfen und ggf. eine dünne Schicht Dichtungszement auftragen.

2

**Zu viel Schmierstoff**

Zu viel Schmierstoff kann zu übermäßiger Verschäumung und erhöhten Temperaturen führen.

Fettschmierung

Anmerkungen zu Erstbefüllung bzw. Inbetriebnahme:

- Das Schmierfett sollte das Lager zu 100% füllen und bis zum Ende der Welle im Gehäuse reichen (1/3 bis 1/2).
- Falls im Gehäuse neben dem Lager nur wenig Platz ist, muss die Schmierfettmenge u. U. verringert werden, um eine verschäumungsbedingte Überhitzung zu vermeiden.

Maßnahmen während des Betriebs:

- Kontrollieren, ob überschüssiges Schmierfett durch die Dichtungen oder eine Ablassschraube abgeführt werden kann. Durch einen Fettmengenregler kann die Anwendung von zu viel Schmierfett vermieden werden.
- Ausrichtung der Dichtungen kontrollieren, damit überschüssiges Schmierfett abgeführt werden kann, ohne dass Verunreinigungen eindringen.
- Sicherstellen, dass die Schmierfristen nicht zu kurz sind.
- Sicherstellen, dass beim Nachschmieren die richtige Menge verwendet wird.

Ölbadschmierung

Maßnahmen:

- Sicherstellen, dass der Ölstand im Ölbad bei Stillstand bis zur Mitte des untersten Wälzkörpers reicht.
- Ölrücklauföffnungen auf Verstopfungen überprüfen.
- Der Einbau eines Sichtglases in alle Gehäuse ermöglicht eine schnelle und einfache Kontrolle des Ölstands.

Störungszustände und Lösungen

Lösungscode

Zustand/Praktische Lösung

3

**Falscher Schmierstoff**

Maßnahmen:

- Anwendung überprüfen, um die korrekte Grundölviskosität (Fett, Öl) für die jeweiligen Betriebsbedingungen zu bestimmen.
- Metall/Metall-Kontakt zwischen den Wälzpartnern kann zu übermäßiger Wärmeentwicklung und vorzeitigem Verschleiß führen, was letztendlich eine stärkere Geräuschentwicklung zur Folge hat.
- Bei einem Wechsel des Fett- oder Öltyps die Mischbarkeit des neuen Typs überprüfen.
- Fettkonsistenz überprüfen.
- Betriebsviskosität überprüfen.

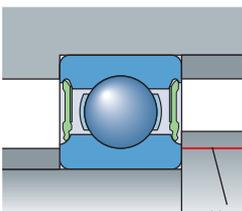
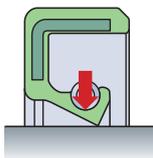
4

Falsches Schmiersystem

Maßnahmen:

- Betriebsdrehzahl überprüfen und Betriebstemperatur messen.
- Eignung des verwendeten Schmiersystems überprüfen.
- Eine Umstellung von Fett auf Öl kann eine einfache Lösung darstellen.
- Eine Umstellung von Ölbadenschmierung auf Ölumlaufschmierung kann eine Lösung darstellen.
- Die Ergänzung eines vorhandenen Ölschmiersystems durch einen Zusatzkühler kann ebenfalls zur Vermeidung vieler wärmebedingter Probleme beitragen.
- Für besondere Anforderungen SKF oder den Anlagenhersteller zurate ziehen.
- Nenndrehzahlen im Produkthandbuch des Herstellers nachschlagen. SKF Werte für Bezugs- und Grenzdrehzahlen stehen online unter www.skf.com/bearings zur Verfügung.

5



Korrekte Höhe

Gehäusedichtungen sitzen zu fest

Maßnahmen:

- Gegen Dichtungen mit der richtigen Spannung austauschen. Alternative: Welle maschinell bearbeiten, um die richtige Spannung für die vorhandene Federdichtung zu erhalten.
- Sicherstellen, dass die Dichtungen ordnungsgemäß geschmiert werden.
- Dichtlippen auf Verschleiß überprüfen.
- Filzdichtungen sollten vor dem Einbau in warmem Öl getränkt werden.

Lagerdichtungen werden von anderen Komponenten behindert

Maßnahme:

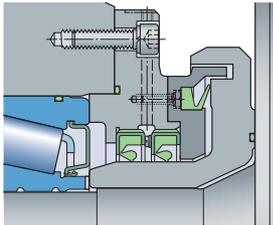
- Benachbarte Komponenten der Dichtungen auf Folgendes überprüfen:
 - Widerlagerhöhen (→ www.skf.com/bearings)
 - Möglichkeit zur Aufnahme von Axialverschiebungen bei Wellenausdehnung

Störungszustände und Lösungen

Lösungscode

Zustand/Praktische Lösung

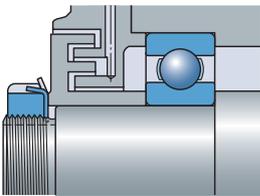
6

**Mehrere Dichtungen in einer Lagerung (bzw. einem Gehäuse)**

Anmerkungen:

- Wenn mehrere berührende Dichtungen verwendet werden, um das Eindringen von Verunreinigungen zu verhindern, nehmen Reibung und Wärme zu.
- Bevor einer Anwendung weitere Dichtungen hinzugefügt werden, die Wärmewirkung auf Lager und Schmierstoff in Erwägung ziehen.
- Die zusätzliche Leistung, die zum Drehen der Anlage erforderlich ist, ist ebenfalls zu berücksichtigen.

7

**Außendichtungen (Gehäusedichtungen) fluchten nicht**

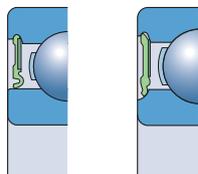
Anmerkungen zur Montage:

- Fluchtungsfehler zwischen Welle und Gehäuse bzw. Gehäusedichtung können bei berührungslosen oder Spaltdichtungen zu Reibung führen. Dies kann höhere Temperaturen, stärkere Geräuschentwicklung und schnelleren Verschleiß in der Einlaufphase zur Folge haben. Außerdem wird dadurch die Abdichtung beeinträchtigt.

Maßnahmen:

- Ausrichtung kontrollieren und ggf. korrigieren.
- Falls Fluchtungsfehler unvermeidbar sind, muss u. U. das Spiel bzw. der Spalt zwischen den äußeren Dichtungen vergrößert werden.

8



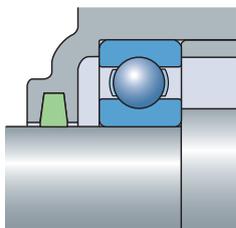
Dichtscheiben

Zu hohe Betriebsdrehzahl für berührende Dichtungen im Lager

Anmerkungen:

- Für Dichtlippen gilt eine Grenzdrehzahl. Falls die Betriebsdrehzahl diese Grenzdrehzahl überschreitet, sind Schäden an der Dichtlippe und Fettaustritt die Folge.
- Bei Erhöhung der Betriebsdrehzahl oder Verwendung eines Lagers mit einer anderen Dichtung kontrollieren, ob die Lagerdichtung für die Drehzahl geeignet ist.
- Berührende Dichtungen erzeugen mehr Wärme als reibungsarme Dichtungen, Deckscheiben oder offene Lager.

9

**Dichtungen werden nicht ordnungsgemäß geschmiert**

Anmerkungen:

- Trocken laufende berührende Dichtungen können zu einem wesentlichen Temperaturanstieg in der Anlage beitragen.

Maßnahmen während der Montage:

- Sicherstellen, dass Dichtungen bei der Inbetriebnahme neuer oder überholter Anlagen ordnungsgemäß geschmiert werden. (Filzdichtungen sollten vor dem Einbau in warmem Öl getränkt werden.)

Maßnahmen während des Betriebs:

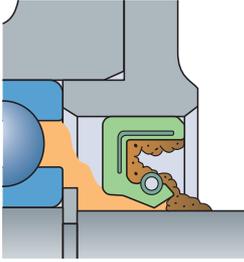
- Normalerweise wird der Schmierstoff im Gehäuse nach außen gegen die Dichtungen geschleudert, sodass diese automatisch geschmiert werden.
- Ordnungsgemäß geschmierte Dichtungen laufen kühler und sorgen für eine wirksame Abdichtung, da alle Lücken zwischen den Kontaktflächen mit einer Schmierstoffbarriere gefüllt werden.
- Ordnungsgemäße Schmierung verringert außerdem vorzeitigen Dichtungsverschleiß.
- Dichtungen auf Verschleiß oder Schäden kontrollieren.

Störungszustände und Lösungen

Lösungscode

Zustand/Praktische Lösung

10

**Dichtungen sind falsch ausgerichtet – Schmierfett kann nicht abgeführt werden**

Anmerkungen zur Montage:

- Je nach Anwendung müssen berührende Dichtungen u. U. in einer bestimmten Richtung ausgerichtet sein, um entweder die Abfuhr von Schmierstoff zu ermöglichen oder den Austritt von Öl zu verhindern.

Maßnahme:

- Die richtige Ausrichtung der Dichtungen für die Anlage anhand der Anwendungszeichnungen feststellen oder beim Anlagenhersteller erfragen.

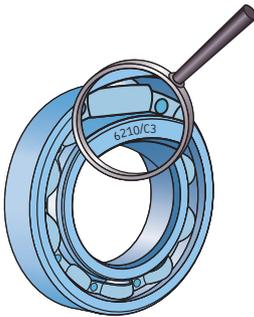
Anmerkungen zum Betrieb:

- Nach außen weisende Dichtlippen ermöglichen gewöhnlich die Abfuhr von überschüssigem Schmierstoff und verhindern das Eindringen von Verunreinigungen.

Maßnahme:

- Dichtungen müssen korrekt ausgerichtet werden, um das Lager vor Schmierfettverlusten und Verunreinigungen zu schützen.

11

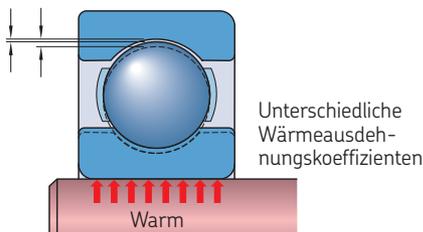
**Falsche Auswahl der ursprünglichen Lagerluft**

Maßnahme:

- Auf der Verpackung nachsehen, ob die Lagerluft des neuen Lagers der Originalspezifikation entspricht.
- Wenn das Lager nach dem Austausch überhitzt und eine größere Lagerluft für die Anwendung erforderlich ist, beim Technischen SKF Beratungsservice nachfragen, welche Auswirkungen eine größere Lagerluft auf die Anlage und das Lager hat.
- Alle Abmessungen kontrollieren, da die Lagerluft durch Komponentenverschleiß beeinflusst werden kann.

12

verringerte Lagerluft



Unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten

Warm

Wellen- und Gehäusematerial dehnt sich stärker aus als der Lagerstahl

Anmerkungen zu Neukonstruktion und Aufarbeitung:

- In einigen Fällen können Wellen- und Gehäusematerialien geändert werden – beispielsweise können Wellen aus Edelstahl gefertigt werden, um sie lebensmitteltauglich zu machen, oder es wird ein Gehäuse aus Aluminium verwendet, um das Gewicht der Anlage zu verringern.
- Wenn das Wellenmaterial einen höheren Wärmeausdehnungskoeffizient hat als der Lagerstahl, hat dies eine weitere Verringerung der radialen Lagerluft zur Folge. Daher ist für gewisse Edelstahllwellen (300er-Reihe) entweder eine etwas losere Wellenpassung oder ein Lager mit größerer radialer Lagerluft (z. B. CN bis C3, C3 bis C4 usw.) erforderlich.
- Wenn der Wärmeausdehnungskoeffizient des Gehäusematerials höher ist als der des Lagerstahls (z. B. bei Aluminiumgehäusen), ist u. U. eine engere Passung erforderlich, damit sich der Außenring im Gehäusesitz nicht dreht.

Maßnahme:

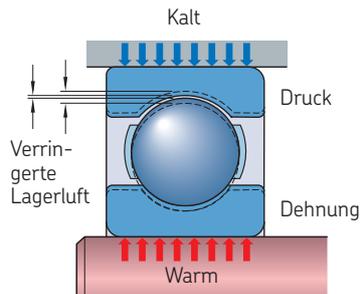
- In beiden Fällen ist es u. U. nötig, die Auswirkungen des neuen Wellen- bzw. Gehäusematerials auf die Lagerluft zu berechnen und das Lager zu ersetzen.

Störungszustände und Lösungen

Lösungscode

Zustand/Praktische Lösung

13



Großer Temperaturunterschied zwischen Welle und Gehäuse

Anmerkungen zur Konstruktion:

- Konstruktionsbedingt sind die Temperaturen bei Lagerungen am Innenring häufig höher als am Außenring. Beispielsweise ist die Welle in einem Elektromotor relativ warm, sodass sich der Innenring ausdehnt. Die relativ große Oberfläche der Motordeckel, unter denen sich die Lageraußenringe befinden, ermöglicht eine gute Wärmeableitung, sodass der Temperaturunterschied relativ prägnant ist.

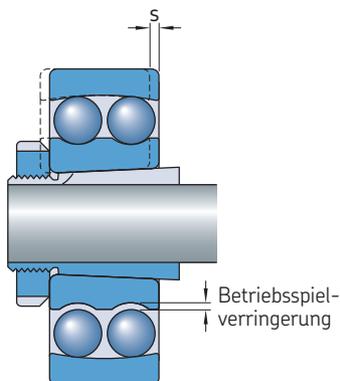
Anmerkungen zum Betrieb:

- Ein großer Temperaturunterschied zwischen Welle und Gehäuse führt zu einer Verringerung der Lagerluft, was eine zu kleine Lagerluft oder sogar Vorspannung zur Folge haben kann, sodass die Betriebstemperaturen ansteigen.

Maßnahmen:

- Wellen- und Gehäusetemperaturen in unmittelbarer Nähe des Lagers überprüfen.
- Gegebenenfalls ein Lager mit größerer Lagerluft auswählen, um Vorspannung zu vermeiden (z. B. CN bis C3, C3 bis C4 usw.).

14



Zu langer Verschiebeweg auf kegeligem Lagersitz

Anmerkungen zur Montage:

- Durch Montage eines Lagers mit Kegelbohrung auf einem kegeligen Sitz (Welle oder Hülse) verkleinert sich die radiale Lagerluft.

Anmerkungen zum Betrieb:

- Ein zu langer Verschiebeweg „s“ kann zu einer zu kleinen Lagerluft oder sogar Vorspannung führen. Dadurch steigen die Betriebstemperaturen an.
- Ein zu langer Verschiebeweg „s“ kann eine zu hohe Ringspannung im Lager zur Folge haben, d. h. der Innenring kann reißen.

Maßnahmen:

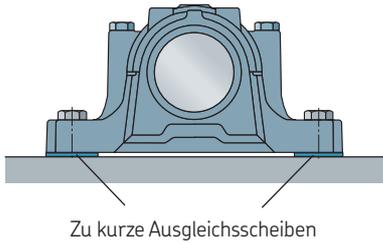
- Selbstausrichtende Kugellager: Nach der Montage auf der Welle kontrollieren, ob sich der Außenring leicht drehen lässt. Falls nicht, Lager ausbauen und neu montieren.
- Pendelrollenlager und CARB Toroidalrollenlager: Lagerluft nach der Montage mit ursprünglicher Lagerluft vergleichen (→ SKF Katalog *Wälzlager* bzw. *SKF Service-Handbuch*), um die Höchstwerte für die Luftverminderung zu ermitteln. Bei unzureichender Lagerluft das Lager ausbauen und neu montieren.
- Bei der Montage das SKF Drive-up Verfahren oder das Anzugswinkelverfahren (für selbstausrichtende Kugellager) bzw. das SKF Drive-up Verfahren oder das Verfahren zur Verringerung der Lagerluft (für Pendelrollenlager und CARB Toroidallager) verwenden. Das bewährte SKF Drive-up Verfahren bietet eine einfache Möglichkeit, ohne Fühlerlehren das richtige Betriebsspiel einzustellen. Für sehr große Lager SensorMount verwenden.

Störungszustände und Lösungen

Lösungscode

Zustand/Praktische Lösung

15



Lagersitz unrund

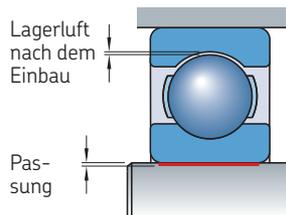
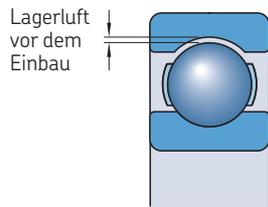
Anmerkungen zum Betrieb:

- Ein Lageraußenring in einem unrunderen oder verformten Gehäuse (Ovalverspannung) führt zu einer verringerten Lagerluft oder Vorspannung, wodurch sich die Betriebstemperatur erhöht.
- Dies ist häufig an zwei 180° auseinanderliegenden Belastungszonen im Außenring zu erkennen.
- Ovalverspannung kann auch die Axialbewegung des Loslagers beeinträchtigen und zu hohen Axialbelastungen führen.

Maßnahmen:

- Tragfläche auf Ebenheit überprüfen, um eine solide Auflage zu gewährleisten. Ausgleichsscheiben sollten die gesamte Fläche des Gehäusesockels abdecken.
- Sicherstellen, dass die Gehäuseaufspannfläche fest genug ist, um Durchbiegung zu vermeiden.
- Wellen- und Gehäusesitze auf Rundheit (Ovalität) kontrollieren. Gegebenenfalls reparieren.

16



Übermäßig feste Wellenpassung oder überdimensionierter Wellensitzdurchmesser

Anmerkungen zur Konstruktion:

- Zwischen Lagerinnenring und Wellensitz ist häufig eine feste Passung erforderlich, was jedoch eine Ausdehnung des Innenrings und eine Verringerung der Lagerluft zur Folge hat.
- Wenn die Passung zu fest ist, hat das Lager u. U. zu wenig Spiel oder es kommt zu Vorspannung im Lager. Dies führt zum Heißlaufen des Lagers.

Maßnahmen:

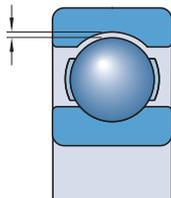
- Eingebautes Lager auf richtige Lagerluft kontrollieren.
- Bei Verwendung einer neuen oder überholten Welle die Lagersitzabmessungen sorgfältig auf Maß- und Formgenauigkeit überprüfen.
- Vor etwaigen Gegenmaßnahmen die Abmessungen der Gehäusebohrung überprüfen.
- Wenn alle Abmessungen den Spezifikationen entsprechen, ist u. U. ein Lager mit einer größeren Lagerluft erforderlich.
- Eine feste Passung auf der Welle und im Gehäuse hat voraussichtlich ein zu kleines Betriebsspiel zur Folge.

Störungszustände und Lösungen

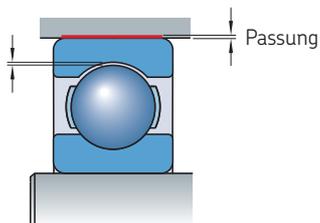
Lösungscode

Zustand/Praktische Lösung

17 Lagerluft vor dem Einbau



Lagerluft nach dem Einbau

**Übermäßig feste Gehäusepassung oder unterdimensionierter Gehäusesitzdurchmesser**

Anmerkungen zur Konstruktion:

- Zwischen Lageraußenring und Wellensitz ist häufig eine feste Passung erforderlich, was jedoch ein Zusammendrücken des Außenrings und eine Verringerung der Lagerluft zur Folge hat.
- Wenn die Passung zu fest ist, hat das Lager u. U. zu wenig Spiel oder es kommt zu Vorspannung im Lager. Dies führt zum Heißlaufen des Lagers.

Maßnahmen:

- Eingebautes Lager auf richtige Lagerluft kontrollieren.
- Bei Verwendung eines neuen oder überholten Gehäuses die Lagersitzabmessungen sorgfältig auf Maß- und Formgenauigkeit überprüfen. Gehäusesitz auf die richtige Passung nachschleifen. Wenn ein Nachschleifen nicht möglich ist, ein Lager mit größerer Lagerluft verwenden.
- Eine feste Passung auf der Welle und im Gehäuse hat voraussichtlich ein zu kleines Betriebsspiel zur Folge.
- Bei Umfangslast am Innenring führt eine feste Passung im Gehäuse dazu, dass das „gleitende“ Lager fest wird und dadurch Axialbelastung und übermäßige Wärmeentwicklung verursacht.

18

Zu hohe Belastung der Lager durch Änderung der Anwendungsparameter

Anmerkungen zu Neukonstruktion und Aufarbeitung:

- Durch eine Erhöhung der Außenbelastung entwickelt sich im Lager mehr Wärme.
- Höhere Lasten verkürzen die Lagergebrauchsdauer.
- Daher sollten bei Konstruktionsänderungen die Lasten überprüft werden, um sicherzustellen, dass sie sich nicht erhöhen.

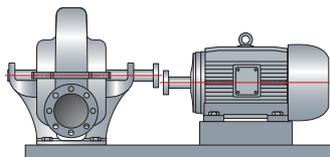
Beispiele:

- Übergang von einer Kupplung zu einem Riementrieb
- Übergang von einer Kupplung zu einer Seilscheibe
- Erhöhung der Drehzahl einer Anlagenkomponente

Maßnahme:

- Änderungen an der Leistung einer Anlagenkomponente sollten mit dem Erstausrüster abgesprochen werden.

19

**Versatz zwischen zwei Einheiten**

Anmerkungen zur Montage:

- Die beiden Gehäuse befinden sich nicht auf einer Linie (waagrecht oder senkrecht)
- Dadurch werden Lager und Dichtungen zusätzlich belastet, d. h. Reibung und Temperatur erhöhen sich, was wiederum eine Verkürzung der Gebrauchsdauer von Lagern, Dichtungen und Schmierstoff zur Folge hat.

Maßnahme:

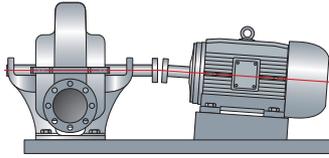
- Gehäuse mit geeigneten Vorrichtungen ausrichten. Für senkrechte Ausrichtung Ausgleichsscheiben verwenden.

Störungszustände und Lösungen

Lösungscode

Zustand/Praktische Lösung

20

**Fluchtungsfehler zwischen zwei Einheiten**

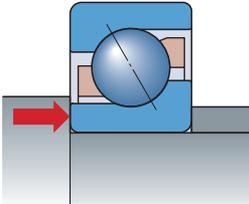
Anmerkungen zur Montage:

- Die beiden Aufspannflächen sind nicht ausgerichtet, sondern winklig zueinander.
- Dadurch werden Lager und Dichtungen zusätzlich belastet, d. h. Reibung und Temperatur erhöhen sich, was wiederum eine Verkürzung der Gebrauchsdauer von Lagern, Dichtungen und Schmierstoff zur Folge hat.

Maßnahme:

- Gehäuse mit geeigneten Vorrichtungen und Ausgleichsscheiben ausrichten.

21

**Verkehrt herum eingebautes Lager verursacht Abhebekräfte an Schrägkugellagern**

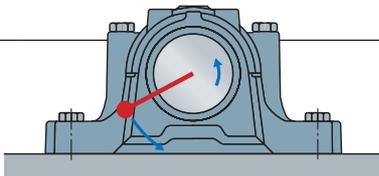
Anmerkungen zur Montage:

- Richtungslager müssen in der richtigen Richtung eingebaut werden, um ordnungsgemäß zu funktionieren.
- Beispiel: Einreihige Schrägkugellager können Axialbelastungen nur in einer Richtung aufnehmen. Wenn ein solches Lager verkehrt herum installiert wird, wirkt die Axialbelastung auf die untere Schulter des Innenrings, wodurch das Lager beschädigt wird. Zudem nimmt die vom Lager erzeugte Wärme zu und es kommt zu einem vorzeitigen Lagerausfall.

Maßnahme:

- Bei der Montage sicherstellen, dass die Axialbelastung von der oberen Schulter aufgenommen wird.

22

**Unwucht**

Anmerkungen zum Betrieb:

- Eine Unwucht kann zu einer Umfangsbelastung am Außenring führen, wodurch die vom Lager erzeugte Wärme stark zunimmt und das Lager stärker belastet wird.

Maßnahmen:

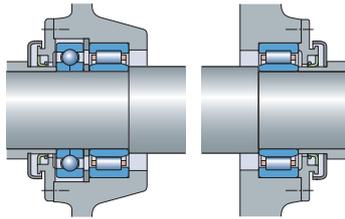
- Rotor auf Schmutzablagerungen/Verunreinigungen überprüfen.
- Die betreffenden Anlagenkomponenten auswuchten.
- Ein zu großer Gehäusesitz kann ebenfalls Schwingungen und ein Wandern (Drehen) des Außenrings verursachen.

Störungszustände und Lösungen

Lösungscode

Zustand/Praktische Lösung

23

**Das falsche Lager wird als (radiales) Festlager verwendet.**

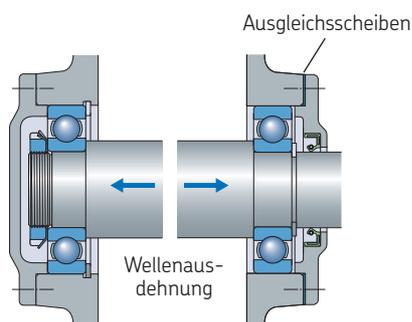
Anmerkungen zur Konstruktion oder Montage:

- In einigen Anwendungen umfasst die Lagerung für die Festposition ein Radiallager und ein Axiallager.
- Wenn das Radiallager axial fest ist, wird es Axialbelastungen ausgesetzt, was zu hohe kombinierte Belastungen zur Folge hat. Dies kann zu übermäßigen Temperaturen und u. U. zu vorzeitigem Lagerausfall führen.
- Wenn das Radiallager radial fest ist, wird es Radialbelastungen ausgesetzt, was hohe bzw. zu hohe kombinierte Belastungen zur Folge hat. Dies kann zu übermäßigen Temperaturen und u. U. zu vorzeitigem Lagerausfall führen.

Maßnahme:

- Sicherstellen, dass das Radiallager axial und das Axiallager radial entlastet wird. Um zu verhindern, dass sich der Außenring des Axiallagers dreht, sollte ein Anschlag angebracht werden. Vierpunktlager haben beispielsweise Haltenuten im Außenring.

24

**Lager sind verspannt und Welle kann sich nicht mehr ausdehnen**

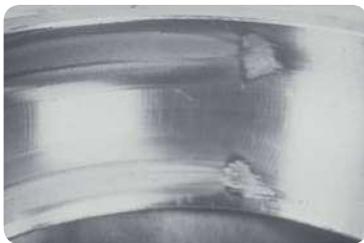
Anmerkungen zur Konstruktion oder Montage:

- Wenn Lager verspannt sind und die Wellenausdehnung zu stark eingeschränkt wird, werden beide Lager internen Axialbelastungen ausgesetzt.
- Diese Axialbelastungen können zu übermäßig hohen Betriebstemperaturen und einem erhöhten Reibungsmoment führen.
- Die Axialbelastungen können hoch sein und eine vorzeitige Schälung der Lager zur Folge haben.

Maßnahmen:

- Ausgleichsscheiben zwischen Gehäuse und Deckel einsetzen, um ausreichend Luft zwischen dem Deckel und der Stirnseite des Außenrings zu schaffen und dadurch axiale Vorspannung der Lager zu vermeiden.
- Durch Ermittlung der voraussichtlichen Wärmeausdehnung der Welle lässt sich feststellen, wie viel Luft zwischen der Stirnseite des Lageraußenrings und dem Gehäusedeckel erforderlich ist.

25

**Anschmieren durch Gleiten (Rutschen) unzureichend belasteter Wälzkörper**

Anmerkungen zur Konstruktion:

- Für einen ordnungsgemäßen Betrieb und zur Vermeidung von Anschmieren muss auf Wälzlager stets eine bestimmte Mindestbelastung wirken (→ www.skf.com/bearings).
- Falls die erforderliche Mindestbelastung nicht erzielt wird, kann es zum Gleiten (Rutschen) kommen. Dies führt zu übermäßiger Wärme- und Geräuschentwicklung. Extrem steife Schmierfette können insbesondere in sehr kalten Umgebungen zu diesem Zustand beitragen.

Maßnahmen:

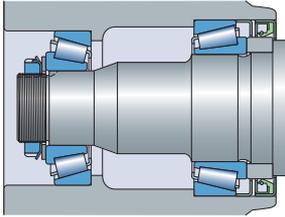
- Es können zusätzliche Außenlasten angebracht werden, z. B. externe Federvorrichtungen, die auf die Stirnseiten der Außenringe wirken.
- Möglicherweise ist auch ein Lager mit einer anderen Lagerluft oder ein anderer Lagertyp erforderlich.
- Die Verwendung eines kleineren Lagers kann ebenfalls eine Lösung darstellen.

Störungszustände und Lösungen

Lösungscode

Zustand/Praktische Lösung

26

**Lagereinstellung führt zu übermäßiger Vorspannung**

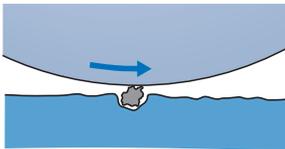
Anmerkungen zur Montage:

- Beim Einstellen des Axialspiels oder der Vorspannung in einer Lagerung kann zu starkes Anziehen der Einstellvorrichtung (Wellenmutter) zu einer übermäßigen Vorspannung und übermäßig hohen Betriebstemperatur führen.
- Eine übermäßige Vorspannung hat außerdem ein höheres Reibungsmoment in den Lagern zur Folge. Beispiel: Kegelrollenlager oder Schrägkugellager mit je einem Lager an beiden Enden der Welle.

Maßnahmen:

- Beim Anlagenhersteller die korrekten Montageverfahren zum Einstellen des Endspiels (Axialspiels) bzw. der Vorspannung in der Anlage erfragen.
- Mit einer Messuhr die axiale Verschiebung der Welle (während und) nach der Einstellung messen.

27

**Feste Verunreinigungen dringen in das Lager ein und verursachen Eindrückungen in den Laufflächen**

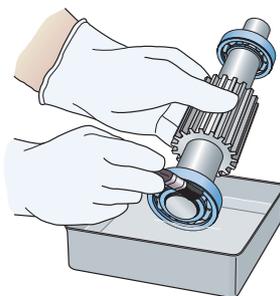
Anmerkungen zum Betrieb:

- Verunreinigungen können die Kontaktflächen von Lagern beschädigen und höhere Geräusch- und Schwingungspegel verursachen. In einigen Fällen können auch die Temperaturen ansteigen.

Maßnahmen:

- Die Dichtungsanordnung auf Folgendes kontrollieren:
 - Es wurde die korrekte Dichtung verwendet.
 - Die Dichtung wurde richtig eingebaut.
 - Die Dichtung weist weder Verschleiß noch Schäden auf und es tritt kein Schmierstoff aus.
- Unter Umständen muss die Schmierfrist verkürzt werden. Durch häufigeres Auftragen kleinerer Mengen frischen Schmierfetts kann verunreinigtes Fett aus dem Lager/Gehäuse ausgetragen werden.
- Es sollte in Erwägung gezogen werden, offene Lager durch abgedichtete Lager zu ersetzen.

28

**Von Herstellung oder vorherigen Lagerausfällen zurückgebliebene feste Verunreinigungen im Gehäuse**

Anmerkungen zur Reinigung oder Montage sowie zur Reinheit des Schmierstoffs:

- Auf den Kontaktflächen von Lagern können Eindrückungen entstehen, wenn im Lagergehäuse feste Verunreinigungen von der Herstellung oder vorherigen Ausfällen, vom Verschleiß anderer Komponenten (z. B. Zahnräder) oder von verunreinigtem Schmierfett zurückbleiben.
- Dies kann zu höheren Temperaturen, verstärkter Geräuschentwicklung und stärkeren Schwingungen führen.

Maßnahmen:

- Grat entfernen und sicherstellen, dass alle maschinell bearbeiteten Flächen glatt sind.
- Vor dem Einbau eines neuen Lagers das Gehäuse und alle darin enthaltenen Komponenten gründlich reinigen.
- Sicherstellen, dass der verwendete Schmierstoff sauber ist und keine Verunreinigungen enthält. (Schmierfettbehälter sollten geschlossenen ordnungsgemäß gelagert werden.)

2

Störungszustände und Lösungen

Lösungscode

Zustand/Praktische Lösung

29

**Verringerung der Schmierstoffviskosität durch flüssige Verunreinigungen**

Anmerkungen zur Montage oder Schmierung sowie zur Abdichtung:

- Flüssige Verunreinigungen verringern die Schmierstoffviskosität, was Metall/Metall-Kontakt zwischen den Wälzpartnern zur Folge haben kann.
- Zudem kann sich dadurch Rost an den Kontaktflächen der Lager bilden.
- Diese Bedingungen können zu erhöhten Temperaturen, Verschleiß und stärkerer Geräuschentwicklung führen.

Maßnahmen:

- Gehäusedichtungen kontrollieren, um sicherzustellen, dass sie geeigneten Schutz vor dem Eindringen flüssiger Verunreinigungen bieten. Anderenfalls die Verwendung abgedichteter Lager in Erwägung ziehen.
- Unter Umständen muss die Schmierfrist verkürzt werden. Durch häufigeres Auftragen kleinerer Mengen frischen Schmierfetts kann verunreinigtes Fett aus dem Lager/Gehäuse ausgetragen werden.

30

**Innenring wandert (dreht sich) auf der Welle**

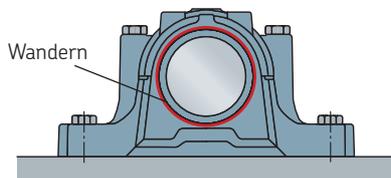
Anmerkungen zu Passungen oder Wandern:

- Die meisten Anwendungen umfassen eine rotierende Welle mit einseitiger radialer und axialer Belastung. Diese wird als Umfangslast am Innenring bezeichnet und erfordert eine feste Passung auf der Welle, um Relativbewegungen zu verhindern. Die ordnungsgemäße Funktion von Lagern ist stark von einer korrekten Passung abhängig.
- Ein unterdimensionierter oder verschlissener Wellensitz kann jedoch zum Wandern bzw. Drehen des Innenrings führen.
- Dies führt zu höheren Geräusch- und Schwingungspegeln sowie stärkerem Verschleiß.

Maßnahme:

- Den Wellensitz auf die richtige Größe metallisieren und nachschleifen.

31

**Außenring wandert (dreht sich) im Gehäusesitz**

Verschlissener oder überdimensionierter Sitz

Anmerkungen zu Passungen oder Wandern:

- Die meisten Anwendungen umfassen ein ortsfestes Gehäuse mit einseitiger radialer und axialer Belastung. Diese wird als Punktlast am Außenring bezeichnet, wobei der Außenring in den meisten Fällen mit einer losen Passung festgesetzt werden kann.
- Ein überdimensionierter oder verschlissener Gehäusesitz kann jedoch zum Wandern bzw. Drehen des Außenrings führen.
- Dies führt zu höheren Geräusch- und Schwingungspegeln sowie stärkerem Verschleiß.

Maßnahmen:

- Den Gehäusesitz auf die richtige Größe metallisieren und nachschleifen.
- Bei größeren Gehäusen können die maschinelle Bearbeitung des Sitzes auf einen größeren Durchmesser und die Verwendung einer Hülse eine Lösung darstellen.

Unwuchtbelastung

Anmerkungen zu Passungen oder Wandern:

- Durch Wellenunwucht erzeugte Lasten können zum Wandern des Außenrings führen, auch wenn dieser richtig eingepasst ist.

Maßnahmen:

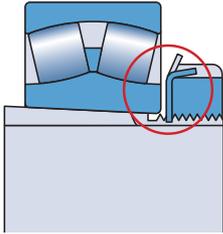
- Unwucht beseitigen.
- Die Maschine auswuchten.

Störungszustände und Lösungen

Lösungscode

Zustand/Praktische Lösung

32

**Wellenmutter auf Welle oder Spannhülse ist locker**

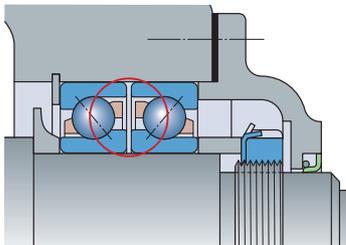
Anmerkungen zur Montage:

- Eine lose Wellenmutter kann dazu führen, dass sich das Lager auf seinem Sitz lockert.
- Dies kann ein Wandern (Drehen) des Innenrings auf dem Wellensitz zur Folge haben.
- Dadurch können sich der Geräuschpegel und die vom Lager erzeugten Temperaturen erhöhen. Außerdem kann sich der Sitz des Lagers verschlechtern.

Maßnahmen:

- Die Wellenmutter anziehen, um den Innenring richtig zu positionieren (Lagerluft).
- Nach der Montage sicherstellen, dass die Wellenmutter fest sitzt (z. B. mit Hilfe der Fahne einer Sicherungsscheibe).

33

**Das Lager ist nicht richtig mit den benachbarten Komponenten verspannt**

Anmerkungen zur Montage:

- Ein Lager, das nicht richtig mit den benachbarten Komponenten verspannt ist, erreicht u. U. nicht die erforderliche Lagerluft oder Vorspannung.
- Dieser Zustand kann zu erhöhter Geräuschentwicklung führen und die Funktion des Lagers beeinträchtigen.

Beispiele:

- Nicht richtig verspanntes Paar Schrägkugellager.
- Dadurch kann sich das Axialspiel im Lagerpaar vergrößern, was zu Lagergleitschäden (Anschmieren), erhöhter Geräuschentwicklung und Schmierproblemen führen kann.
- Eine nicht ordnungsgemäße Verspannung beeinträchtigt auch die Positionierung der Welle.

Maßnahme:

- Sicherstellen, dass die Sicherungsvorrichtung beide Lager richtig an der jeweiligen Wellenschulter bzw. dem jeweiligen Abstandshalter positioniert.

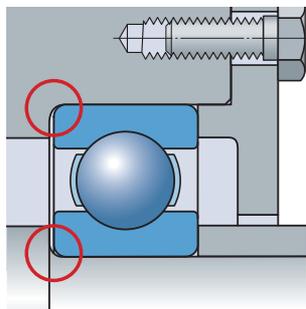
Rundung (Eckenradius) zu groß

Anmerkungen zur Montage:

- Wenn die Rundung einer benachbarten Komponente zu groß ist, wird das Lager nicht richtig unterstützt.
- Dadurch können sich die Lagerringe verformen.
- Das Lager erreicht nicht die richtige Lagerluft (Vorspannung).

Maßnahme:

- Die Gehäuserundung maschinell bearbeiten, um die richtige Unterstützung zu erzielen.

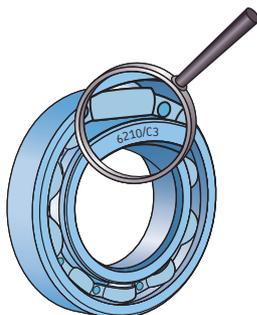


Störungszustände und Lösungen

Lösungscode

Zustand/Praktische Lösung

34

**Zu große radiale bzw. axiale Lagerluft im Lager**

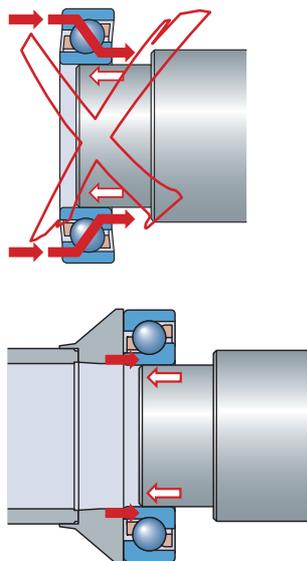
Anmerkungen zum Betrieb:

- Eine zu große radiale oder axiale Lagerluft kann zu erhöhten Geräuschpegeln führen, da die Wälzkörper sich außerhalb der Lastzone frei bewegen können.
- Zudem kann eine zu große Lagerluft auch die Funktion des Lagers beeinträchtigen, da sie ein Gleiten der Wälzkörper verursacht.

Maßnahmen:

- Anhand von Federn oder gewellten Federringen kann eine adäquate Axialbelastung gewährleistet werden, sodass die Wälzkörper jederzeit belastet sind (hauptsächlich in Anwendungen mit Kugellagern).
- Erforderliche ursprüngliche Lagerluft überprüfen und ggf. einstellen.

35

**Stoß- oder schockbelastungsbedingte Eindrückungen in Laufflächen (falsches Montageverfahren)**

Anmerkungen zur Konstruktion:

- Die meisten Lager werden mit fester Passung auf der Welle oder im Gehäuse montiert.

Anmerkungen zur Montage:

- Bei der Montage des Lagerrings mit fester Passung muss auf diesen grundsätzlich Kraft ausgeübt werden. Grundsätzlich darauf achten, dass die Montagekraft nicht auf die Wälzkörper übertragen wird, da dies leicht zu Eindrückungen in Laufbahnen und Wälzkörpern führen kann.
- Der resultierende Schaden kann höhere Geräusch- und Schwingungspegel sowie einen Temperaturanstieg zur Folge haben.
- Das Lager fällt dann wahrscheinlich vorzeitig aus.

Maßnahmen:

- Lager ersetzen.
- Beim Einbau niemals direkt auf das Lager schlagen. Stets eine Montagehülse verwenden.
- Durch Überprüfung der Montageverfahren sicherstellen, dass keine Montagekräfte auf die Wälzkörper übertragen werden.
- Lagereinbauwerkzeug verwenden. (Der SKF Lagereinbauwerkzeugsatz ist hervorragend für kleinere Lager geeignet.)

36

**Stillstandsmarken an Laufflächen**

Anmerkungen zum Betrieb:

- Schwingungen anderer Maschinen können bei nicht drehenden Anlagenkomponenten zu Stillstandsmarken an den Laufflächen führen. Dieser Schaden tritt gewöhnlich in der Lastzone auf und ist an Vertiefungen in den Laufbahnen zu erkennen, die dem Abstand zwischen den Wälzkörpern entsprechen.
- Dieses allgemeine Problem führt zu Geräuschen in Ersatzanlagen, die über längere Zeit nicht betrieben werden.

Maßnahmen:

- Die Welle von Ersatzanlagen regelmäßig drehen, um die Auswirkungen von Schwingungen auf ein Mindestmaß zu reduzieren.
- Die eigentliche Lösung bestünde darin, die Anlage von den Schwingungen zu isolieren. Dies ist aber nicht immer praktikabel.

Störungszustände und Lösungen

Lösungscode

Zustand/Praktische Lösung

37

**Durch Materialermüdung verursachte Schälung der Laufflächen**

Anmerkungen zum Betrieb:

- Reine Materialermüdung in hochwertigen Kugellagern ist selten.
- Ermüdungsbedingte Schälung ist gewöhnlich das Ergebnis anomaler Betriebsbedingungen, die zu höheren Belastungen im Lager führen. Dazu gehören z. B. Schiefstellung, Ovalverspannung oder die Folgen von Materialfehlern wie Einschlüssen oder schlechter Stahlqualität.

Maßnahmen:

- Nur hochwertige Lager verwenden.
- Beschädigte Lager auf Schiefstellung überprüfen. Gegebenenfalls neu ausrichten.
- Beschädigte Lager auf mögliche Ovalverspannung überprüfen. Gegebenenfalls Sitze reparieren und maschinell bearbeiten.

38

**Durch Oberflächenermüdung verursachte Schälung der Laufflächen**

Anmerkungen zum Betrieb:

- Unzureichende Schmierung führt zu Metall/Metall-Kontakt zwischen den Wälzpartnern.
- Zu den Ursachen gehören u. a. eine zu niedrige Viskosität bei Betriebstemperatur, Verschleißpartikel und das Eindringen von Verunreinigungen.

Maßnahmen:

- Betriebsviskosität des Schmierstoffs unter Berücksichtigung der tatsächlichen Betriebsbedingungen überprüfen.
- Gegebenenfalls häufigeres Nachschmieren in Erwägung ziehen, um Verschleißpartikel abzuführen.
- Zustand der Dichtungsanordnung kontrollieren.

**Durch Oberflächenschäden verursachte Schälung der Laufflächen**

Anmerkungen zu Montage oder Betrieb:

- Zu Oberflächenschäden gehören Zustände wie Stoßmarken, schwingungsbedingte Stillstandsmarken, Wasserkorrosion, durch Partikel verursachte Eindrückungen, Stromdurchgang usw.

Maßnahmen:

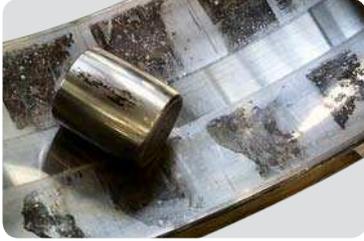
- Schadensquelle ermitteln und entsprechende Maßnahmen ergreifen, z. B. Stoßbelastung der Wälzkörper während der Montage verhindern, Dichtungen ersetzen, um das Eindringen von Verunreinigungen zu vermeiden, Anlagen ordnungsgemäß erden usw.

Störungszustände und Lösungen

Lösungscode

Zustand/Praktische Lösung

39

**Korrosion der Wälzflächen durch chemische/flüssige Verunreinigungen (Wasser, Säuren, Gase usw.)**

Bei Stillstand:

- Korrosion tritt auf, wenn die Anlage still steht, und zwar am häufigsten in fettgeschmierten Lagern.
- Korrosionsschäden treten gewöhnlich im Abstand der Wälzkörper auf.

Maßnahmen:

- Dichtungssystem kontrollieren.
- Dichtungsanordnung durch Installation einer Deckscheibe und/oder Schleuderscheibe aufrüsten.
- Durch häufigeres Auftragen kleinerer Mengen frischen Schmierfetts kann verunreinigtes Fett aus dem Lager/Gehäuse ausgetragen werden.
- Die Welle regelmäßig drehen, um die schädigenden Auswirkungen von Korrosionsschäden zu minimieren.

40

(mikroskopische) Materialablösungen an Laufbahnen und/oder Wälzkörpern

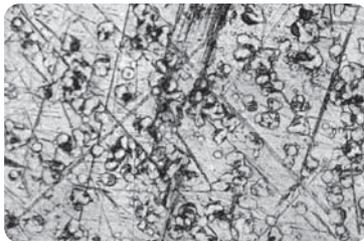
Beim Betrieb:

- (mikroskopische) Materialablösungen an den Laufflächen (sogenannte „Lochkorrosion“) entstehen entweder durch korrosive Verunreinigungen oder Kriechstrom (elektrische Korrosion).
- Sie führen in jedem Fall zu höheren Geräusch- und Schwingungspegeln.

Maßnahmen:

- → Lösungscode 39 und 41.

41

**Krater oder Riffel an Laufbahnen und/oder Wälzkörpern**

Beim Betrieb:

- Kriechstrom (elektrische Korrosion) – Strom der das Lager passiert – kann Krater an der Oberfläche verursachen. Diese sind so klein, dass sie ohne Vergrößerung kaum sichtbar sind. Das SKF Messgerät zum Erkennen von Funkenerosion ist ein berührungsfreies Gerät, mit dem sich Entladeströme nachweisen lassen.

Maßnahmen:

- Bereich auf das 500- bis 1.000-fache vergrößern, um das Vorhandensein von Kratern zu bestätigen.

**Riffelbildung an Laufflächen**

Beim Betrieb:

- Riffel an den Laufflächen sind Sekundärschäden, die in der Regel durch schädigende elektrische Ströme durch das Lager entstehen.
- In einigen seltenen Fällen kann dieses Waschbrettmuster auch das Ergebnis von Schwingungen während des Betriebs sein.
- Durch das Lager fließende Ströme können von Erdungsproblemen, Frequenzumrichtern, Verkabelung, Motordesign und Maschinen mit Ketten- oder Riementrieb herrühren.

Maßnahmen:

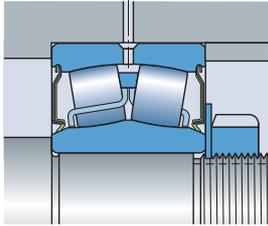
- Anlage auf ordnungsgemäße Erdung kontrollieren.
- Wenn das Problem durch ordnungsgemäße Erdung nicht behoben werden kann, als alternative Lösung INSOCOAT Lager (mit isolierender Beschichtung) oder Hybridlager (mit Keramikwälzkörpern) einbauen oder eine Isolierhülse in die Lagerbohrung einsetzen.

Störungszustände und Lösungen

Lösungscode

Zustand/Praktische Lösung

42

**Fahnen an Sicherungsscheiben verbogen – Behinderung von Käfig oder Lagerdichtungen**

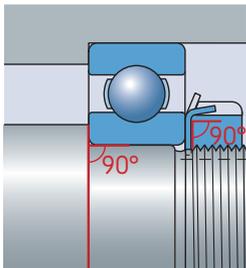
Anmerkungen zur Montage:

- Verbogene Fahnen an Sicherungsscheiben können den Lagerkäfig oder die Lagerdichtungen behindern, Geräusche verursachen und Verschleiß bzw. Schäden beschleunigen.
- Außerdem können die Sicherungsfahnen bzw. Verdrehsicherungen an gebrauchten Sicherungsscheiben unsichtbare Schäden aufweisen und irgendwann abreißen.

Maßnahmen:

- Sicherungsscheiben grundsätzlich nicht wiederverwenden.
- KMFE Wellenmutter mit integriertem Abstandhalter verwenden, um derartige Schäden zu vermeiden. Alternativ dazu kann ein Zwischenring zwischen Lager und Wellenmutter positioniert werden.

43

**Wellen- und/oder Gehäuseschultern fluchten nicht mit dem Lagersitz**

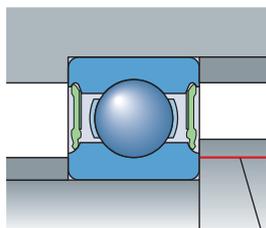
Anmerkungen zu maschinell bearbeiteten Schultern bei der Montage:

- Nicht fluchtende Wellen-/Gehäuseschultern können zur Verformung der Lagerringe führen, wodurch sich das Reibungsmoment und somit die Temperaturen im Lager erhöhen.
- → Lösungscode **19** und **20**.

Maßnahme:

- Teile maschinell auf korrekte Rechtwinkligkeit bearbeiten.

44



Korrekte Höhe

Lagerschulter ist zu hoch – Behinderung von Dichtungen/Deckscheiben

Anmerkungen zu maschinell bearbeiteten Schultern bei Montage und Betrieb:

- Wenn die Schulter zu hoch ist, kann sie die Dichtungen/Deckscheiben behindern.

Maßnahmen:

- Kontrollieren, ob der Schulterdurchmesser den Empfehlungen unter www.skf.com/bearings entspricht.
- Wellenschulter maschinell bearbeiten, um den Dichtungen Spielraum zu verschaffen.

3 Laufspuren

Ein neues Lager sieht sehr ästhetisch aus – es gleicht geradezu einem Kunstwerk (→ **Bild 1**). Seine Bestandteile wurden mit höchster Präzision gefertigt, häufig auf den Bruchteil eines Mikrometers genau. Die Abmessungen der Teile und das zusammengebaute Lager wurden während der Fertigung sorgfältig geprüft. Die geschliffenen Bereiche wie die Flächen der Innen- und Außenringe und der Wälzkörper glänzen.

Betrachtet man jedoch ein Lager, das über längere Zeit im Einsatz war, fallen unter anderem folgende Veränderungen auf:

- zumeist stumpfe Flächen an den Laufbahnen der Ringe (→ **Bild 2**) und Wälzkörper oder manchmal hochglänzende Bereiche
- Käfigverschleiß
- Verschleißmarken an der Innenringbohrung oder der Mantelfläche des Außenrings
- Passungsrost an der Innenringbohrung oder der Mantelfläche des Außenrings
- Schälungen auf den Wälzkörpern und Laufbahnen



Bild 1

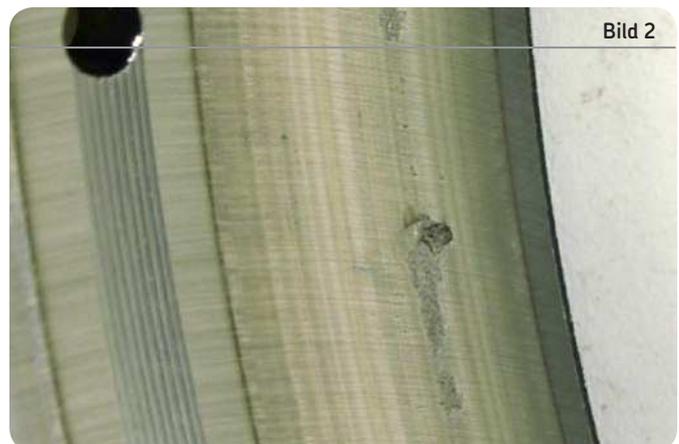
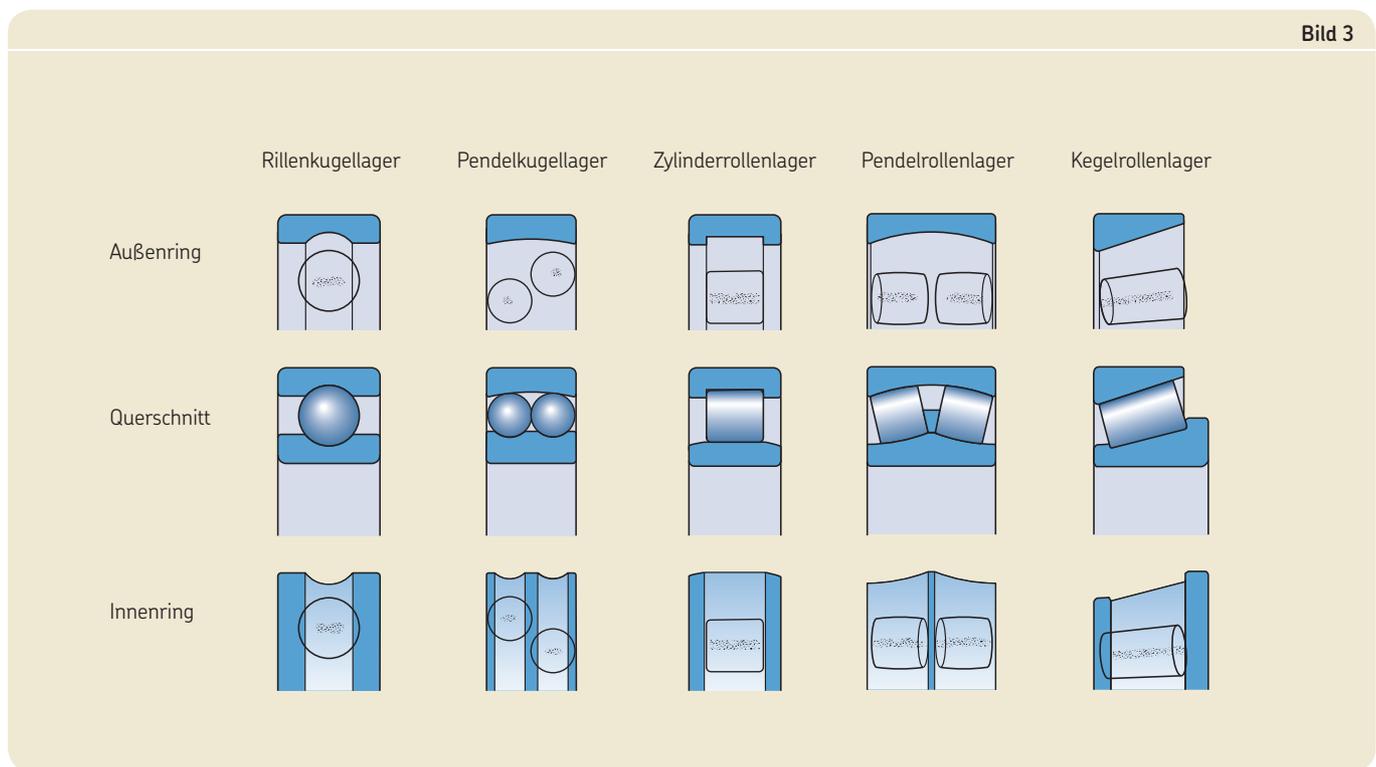


Bild 2

Unabhängig von der Schwere des Lager-schadens kann eine gründliche Inspektion wertvolle Informationen zur Ursache des Problems liefern. Während der Inspektion ist vor allem auf „Spuren“ zu achten, insbesondere an den Laufbahnen (Laufspuren). Laufspuren können „normal“ sein oder auf ein Problem hinweisen. Die Laufspuren geben recht häufig Aufschluss über die Ursache eines Problems. In diesem Kapitel wird eine Reihe typischer Laufspuren beschrieben.

Zur Vereinfachung werden hier Rillenkugellager und Axialkugellager als Beispiele angeführt. Bei anderen Lagertypen können die Laufspuren variieren, da sich die Kontaktflächen je nach Lagertyp, Konfiguration, Belastung und Lagerluft unterscheiden. In **Bild 3** sind einige Beispiele für Laufbahnkontaktflächen dargestellt.



Normale Laufspuren

Radiale Lager – einseitige, konstante Radiallast

Bild 4 zeigt die Lastverteilung in einem Radiallager (drehender Innenring).

Der große Pfeil in der 12-Uhr-Stellung stellt die auf die Welle wirkende Last dar. Die kleinen Pfeile auf 4 bis 8 Uhr stellen die Lastzone im Außenring dar und zeigen, wie die wirkende Last von den Wälzkörpern im Lager verteilt bzw. unterstützt wird.

Drehender Innenring

Bild 5 veranschaulicht, wie eine einseitige, konstante Radiallast, die auf den drehenden Innenring eines Lagers wirkt, von den Wälzkörpern auf dem stehenden Außenring verteilt wird.

Bei einer Umdrehung passiert jeder Punkt auf dem Innenring die Lastzone. Dadurch weist der gesamte Umfang der Innenringlaufbahn in der Mitte eine gleichmäßig breite Spur auf. Dies ist die sogenannte „drehende Lastzone am Innenring“.

Die Spur am Außenring ist ebenfalls mittig, aber auf die Lastzone beschränkt. Sie wird als „Hauptlastzone am Außenring“ bezeichnet. Die Lastverteilung in der Lastzone am Außenring variiert. Die Spur ist in Belastungsrichtung am breitesten und wird von dort aus in beiden Richtungen schmaler. In den meisten Anwendungen werden Lager mit radialer Lagerluft betrieben. Die Lastzone liegt gewöhnlich bei 150° (→ **Bild 4**).

Drehender Außenring

Bild 6 veranschaulicht, wie eine einseitige, konstante Radiallast, die auf den drehenden Außenring eines Lagers wirkt, von den Wälzkörpern auf dem stehenden Innenring verteilt wird.

Bei einer Umdrehung passiert jeder Punkt auf dem Außenring die Lastzone. Dadurch weist der gesamte Umfang der Außenringlaufbahn in der Mitte eine gleichmäßig breite Spur auf.

Die Spur am stehenden Innenring ist ebenfalls mittig, aber auf die Lastzone beschränkt. Die Lastverteilung in der Lastzone am Außenring variiert. Die Spur ist in Belastungsrichtung am breitesten und wird von dort aus in beiden Richtungen schmaler. In den meisten Anwendungen werden Lager mit radialer Lagerluft betrieben. Die Lastzone liegt gewöhnlich bei 150°.

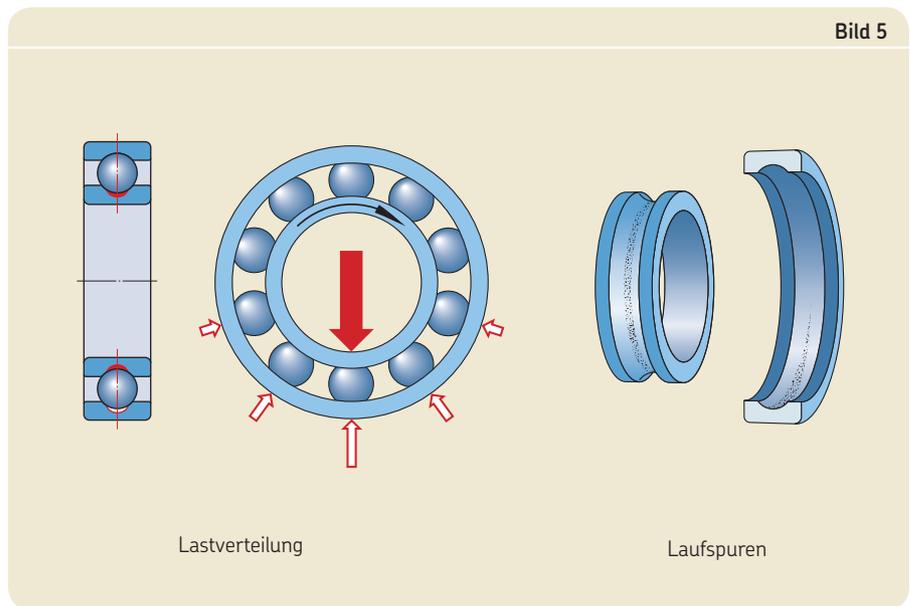


Bild 5

Lastverteilung

Laufspuren

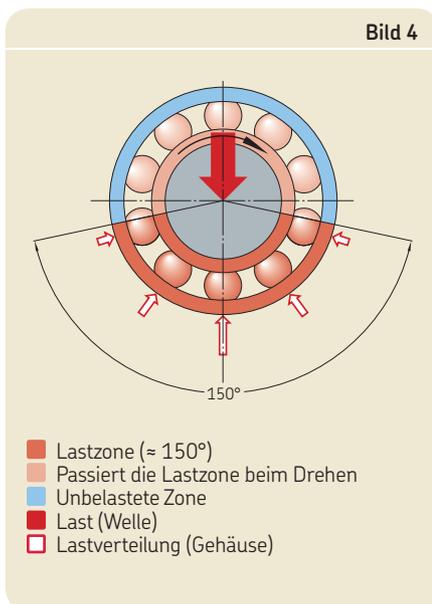


Bild 4

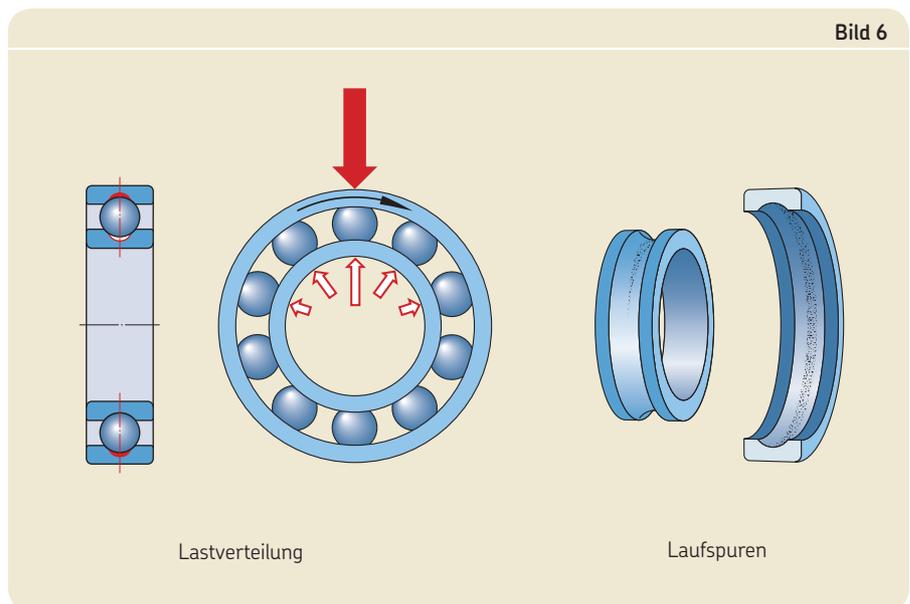


Bild 6

Lastverteilung

Laufspuren

Radiallager – gleichphasige, konstante, radiale drehende Last

Drehender Innenring

Bild 7 veranschaulicht, wie eine konstante, im Verhältnis zum Innenring gleichphasige, radiale drehende Last (z. B. Unwucht- oder exzentrische Last) von den Wälzkörpern auf dem stehenden Außenring verteilt wird.

Der Außenring ist stehend, doch passieren alle Punkte auf diesem Ring nacheinander die Lastzone. Dadurch weist der gesamte Umfang der Außenringlaufbahn in der Mitte eine gleichmäßig breite Spur auf.

Der Innenring läuft zwar um, doch ist die Last am Innenring auf einen Punkt beschränkt. Die Lastverteilung am Innenring variiert. Die Spur in der Mitte ist in Belastungsrichtung am breitesten und wird von dort aus in beiden Richtungen schmaler. In den meisten Anwendungen werden Lager mit radialer Lagerluft betrieben. Die Lastzone liegt gewöhnlich bei 150°.

Die Laufspur entspricht **Bild 6**.

Drehender Außenring

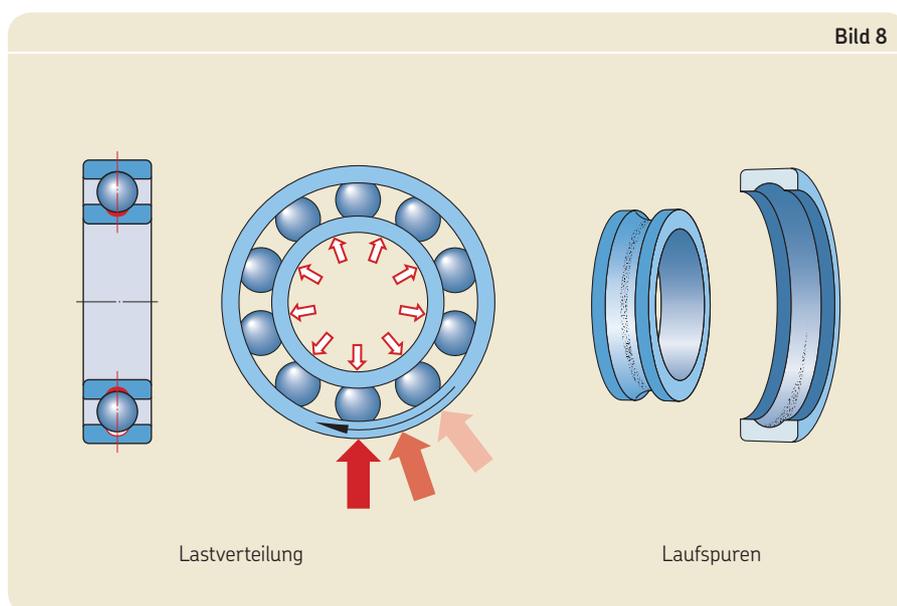
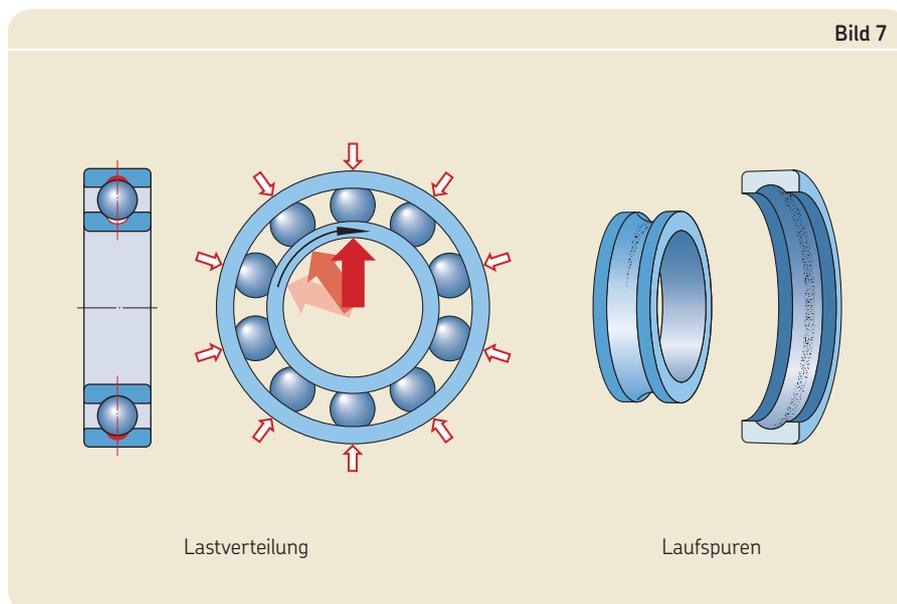
Bild 8 veranschaulicht, wie eine konstante, im Verhältnis zum Außenring gleichphasige, radiale drehende Last (z. B. Unwucht- oder exzentrische Last) von den Wälzkörpern auf dem stehenden Innenring verteilt wird.

Der Innenring ist stehend. Jeder Punkt auf diesem Ring ist der Lastzone ausgesetzt. Dadurch weist der gesamte Umfang der Innenringlaufbahn in der Mitte eine gleichmäßig breite Spur auf.

Der Außenring läuft zwar um, doch ist die Last am Außenring auf einen Punkt beschränkt. Die Lastverteilung am Außenring variiert. Die Spur in der Mitte ist in Belastungsrichtung am breitesten und wird von dort aus in beiden Richtungen schmaler. In den meisten Anwendungen werden Lager mit radialer Lagerluft betrieben. Die Lastzone liegt gewöhnlich bei 150°.

Die Laufspur entspricht **Bild 5**.

3



Radiale Lager – einseitige, konstante Axiallast

Drehender Innen- oder Außenring

Bild 9 veranschaulicht, wie eine auf ein Lager wirkende einseitige, konstante Axiallast von den Wälzkörpern auf dem stehenden Außenring verteilt wird.

Der drehende Ring weist an seinem gesamten Umfang eine seitlich versetzte Laufspur auf.

Am stehenden Ring ist an der gegenüberliegenden Seite eine seitlich versetzte Spur zu erkennen. Da keine Radiallast vorhanden ist, erstreckt sich die Spur am stehenden Ring über dessen gesamten Umfang.

Der Kontaktbereich zwischen Wälzkörper und Laufbahn in einem Rillenkugellager ist ellipsenförmig (→ **Bild 10**). Unter reiner Radiallast befindet sich die Ellipse genau in der Mitte der Laufbahn (→ **Bild 10a**). Wenn das Lager einer Axiallast ausgesetzt wird, arbeitet es mit einem Kontaktwinkel (α), und die Kontaktfläche verschiebt sich entlang des Rillenprofils in Richtung Ringkante (→ **Bild 10b**).

Unter zu hohen Axiallasten oder bei Schiefstellungen wird das Lager u. U. derart belastet, dass die Kontaktellipse nicht mehr von der Laufbahn unterstützt wird (→ **Bild 10c**). Dieses Phänomen wird als „Kontaktzonenverkürzung“ bezeichnet und führt zu Spannungskonzentrationen im Kontaktbereich. Dies kann sich negativ auf die Ermüdungslebensdauer (Kantenlauf) und die Geräuschentwicklung auswirken.

Bild 9

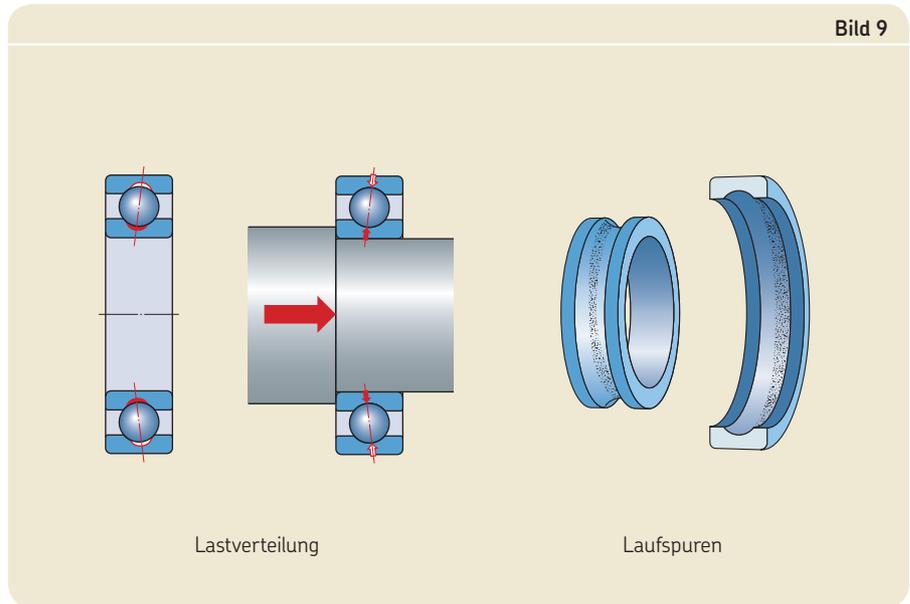
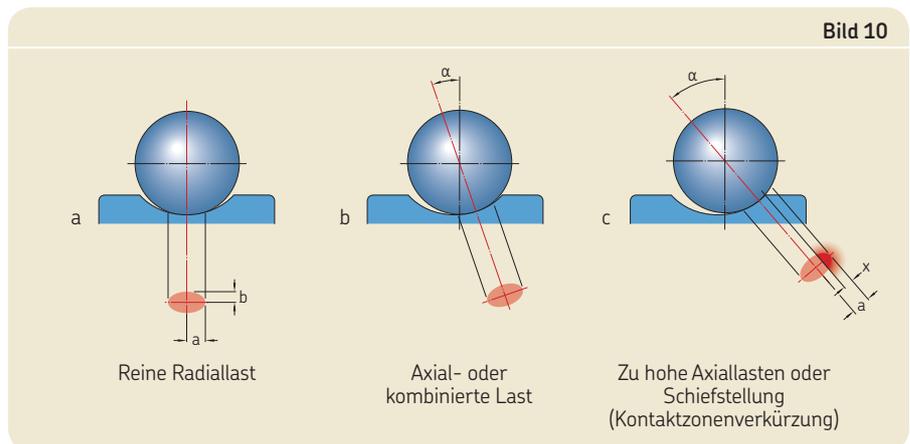


Bild 10



Radiallager – Kombination einseitiger, konstanter Radial- und Axiallasten

Drehender Innenring

Bild 11 veranschaulicht, wie eine auf ein Lager wirkende Kombination einseitiger, konstanter Radial- und Axiallasten von den Wälzkörpern auf dem stehenden Außenring verteilt wird.

Der Innenring weist an seinem gesamten Umfang eine seitlich versetzte Laufspur auf.

Am stehenden Außenring ist an der gegenüberliegenden Seite eine seitlich versetzte Spur zu erkennen. Die Lastverteilung am Außenring variiert. Die Laufspur ist in Richtung der Radiallast am breitesten und wird von dort aus in beiden Richtungen schmaler. Die Lastzone ist länger als die, die nur von einer Radiallast erzeugt wird, beträgt aber nicht unbedingt 360°.

Die Laufspur am Außenring variiert je nach Größenverhältnis zwischen Radiallast und Axiallast wie folgt:

- Unter reiner Radiallast weist nur ein kleiner Abschnitt (ca. 150°) des Außenrings in der Mitte eine Laufspur auf (→ **Bild 5**, **Seite 34**).
- Unter reiner Axiallast weist der gesamte Außenring eine seitlich versetzte Laufspur auf (→ **Bild 9**).
- Unter kombinierter Last befindet sich die Laufspur je nach Größenverhältnis zwischen Radiallast und Axiallast irgendwo dazwischen (→ **Bild 12**).

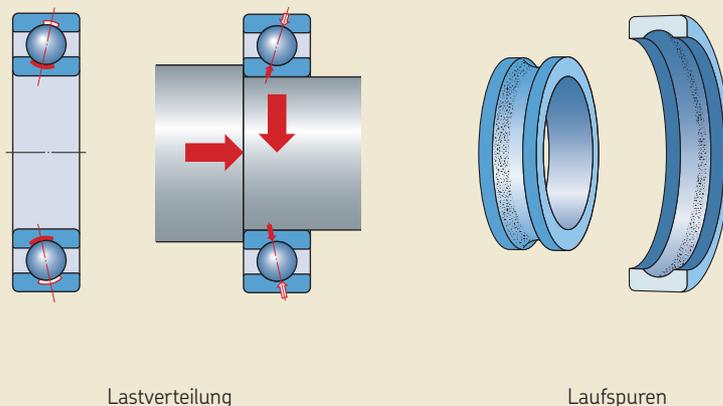
Bei zweireihigen Lagern erzeugen kombinierte Lasten Lastzonen unterschiedlicher Länge. Die Reihe, die die Axiallast aufnimmt, hat eine längere feste Hauptlastzone. Bei einer Axiallast ausreichender Größe wird eine Reihe der Wälzkörper u. U. vollständig entlastet.

Axiallager – einseitige, konstante Axiallast

Drehende Wellenscheibe

Bild 13 veranschaulicht, wie eine auf ein Axialkugellager wirkende einseitige, konstante Axiallast von den Wälzkörpern auf der stehenden Gehäusescheibe verteilt wird. Beide Scheiben weisen eine gleichmäßig breite Spur auf, die sich über den gesamten Umfang der Laufbahnen erstreckt und konzentrisch zur Lagerachse verläuft.

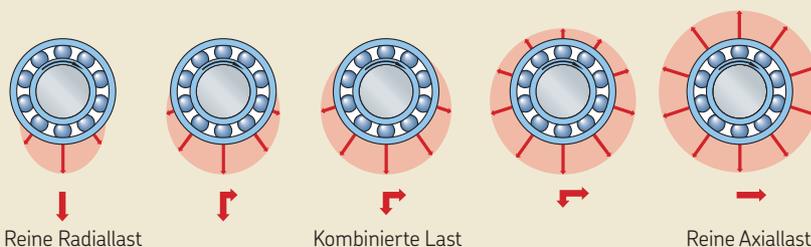
Bild 11



Lastverteilung

Laufspuren

Bild 12

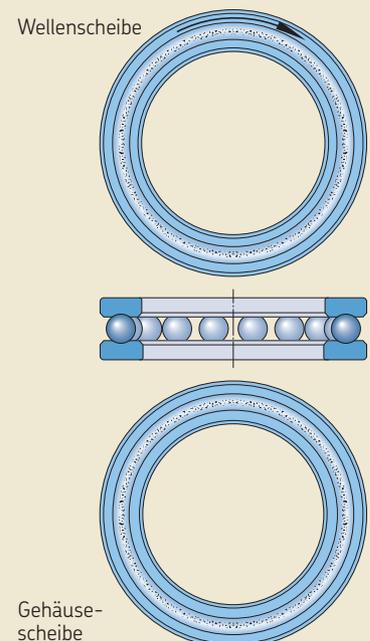


Reine Radiallast

Kombinierte Last

Reine Axiallast

Bild 13



Wellenscheibe

Gehäusescheibe

Laufspuren infolge anomaler Betriebsbedingungen

Radiale Lager – einseitige, konstante Radiallast

Drehender Innenring – schiefgestellter stehender Außenring

Bild 14 veranschaulicht, wie eine einseitige, konstante Radiallast, die auf den drehenden Innenring eines Lagers wirkt, von den Wälzkörpern auf dem stehenden, schiefgestellten Außenring verteilt wird.

Der Innenring weist in der Mitte seiner Laufbahn eine Spur auf, die zwar von gleichmäßiger Breite, aber breiter als normal ist.

Die Laufspur am Außenring erstreckt sich von einer Seite des Rings zur anderen. Breite und Länge der Laufspur hängen vom Grad der Schiefstellung, von der Last sowie von der Lagerluft ab. Die Laufspur kann in einem Bereich von 150° bis 360° liegen.

Dieser Zustand kann auftreten, wenn sich die Lager in separaten Gehäusen ohne konzentrische Gehäusebohrungen befinden.

Drehender Außenring – schiefgestellter stehender Innenring

Bild 15 veranschaulicht, wie eine einseitige, konstante Radiallast, die auf den drehenden Außenring eines Lagers wirkt, von den Wälzkörpern auf dem stehenden, schiefgestellten Innenring verteilt wird.

Der Außenring weist in der Mitte seiner Laufbahn eine Spur auf, die zwar von gleichmäßiger Breite, aber breiter als normal ist.

Die Laufspur am Innenring erstreckt sich von einer Seite des Rings zur anderen. Breite und Länge der Laufspur hängen vom Grad der Schiefstellung, von der Last sowie von der Lagerluft ab. Die Laufspur kann in einem Bereich von 150° bis 360° liegen.

Dieser Zustand kann auftreten, wenn sich die Welle durchbiegt oder die Lagerwellensitze nicht konzentrisch sind.

Bild 14

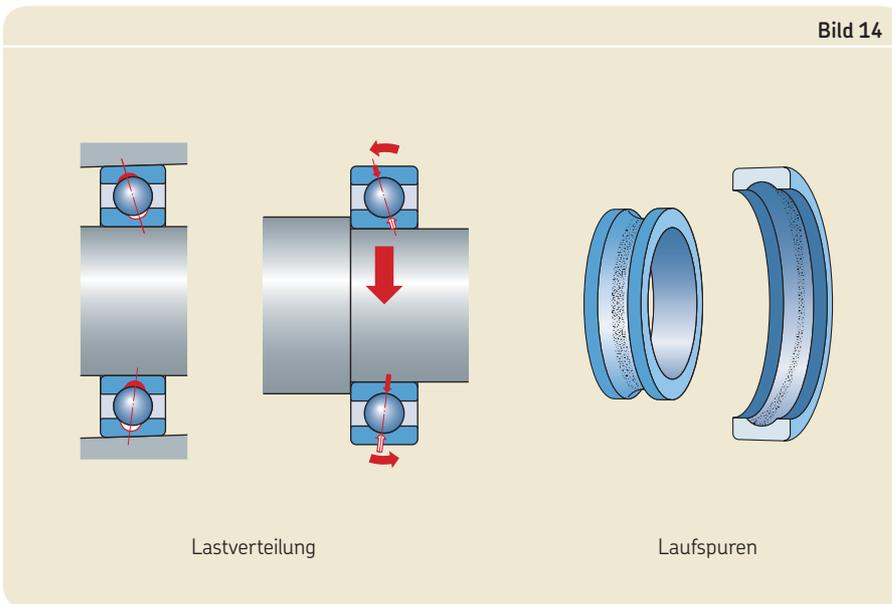
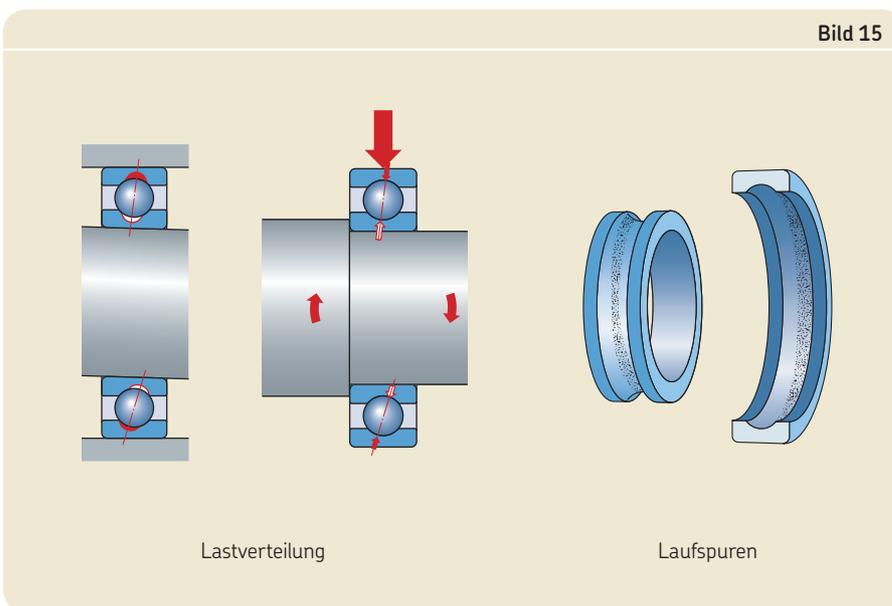


Bild 15



Drehender Innenring – Ovalverspannung des stehenden Außenrings

Bild 16 veranschaulicht, wie eine einseitige, konstante Radiallast, die auf den drehenden Innenring eines Lagers wirkt, von den Wälzkörpern auf dem stehenden, oval verspannten Außenring verteilt wird.

Der Innenring weist in der Mitte seiner Laufbahn eine Spur auf, die zwar von gleichmäßiger Breite, aber breiter als normal ist.

Am Außenring zeichnen sich zwei diametral entgegengesetzte Laufspuren (Lastzonen) ab. Eine Radialverspannung des Außenrings kann aus folgenden Gründen auftreten:

- Das Gehäuse ist auf einer unebenen Fläche montiert.
- Die beiden Hälften eines geteilten Gehäuses sind nicht konzentrisch zueinander.
- Der Gehäusesitz ist aufgrund von Fertigungsfehlern unrund, d. h. es können zwei oder mehr Lastzonen vorhanden sein.

Das Vorhandensein mehrerer Lastzonen erhöht die interne Belastung und die Betriebstemperatur des Lagers, was einen vorzeitigen Lagerschaden oder -ausfall zur Folge hat.

Drehender Innenring – Vorspannung

Bild 17 veranschaulicht, wie eine einseitige, konstante Radiallast, die auf den drehenden Innenring eines radial vorgespannten Lagers wirkt, von den Wälzkörpern auf dem stehenden Außenring verteilt wird.

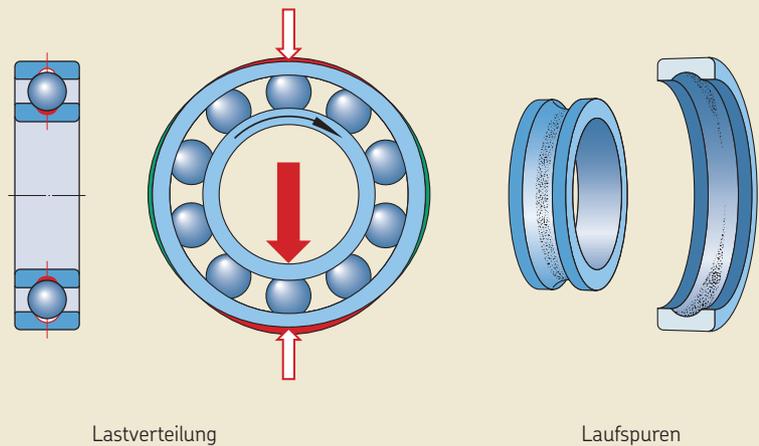
Der Innenring weist in der Mitte seiner Laufbahn eine gleichmäßig breite Spur auf.

Der Außenring weist in der Mitte seiner Laufbahn eine Spur auf, die zwar von gleichmäßiger Breite, aber aufgrund der mit der Vorspannung kombinierten wirkenden Last breiter als normal ist.

Dieser Zustand kann das Ergebnis einer zu festen Passung auf der Welle und/oder im Gehäuse sein. Wenn die Passung zu fest ist, werden die Wälzkörper zwischen den beiden Ringen zusammengepresst, sodass im Lager eine Vorspannung erzeugt wird. Eine zu kleine ursprüngliche Lagerluft kann zu demselben Problem führen.

Eine weitere mögliche Ursache für diesen Zustand ist ein übermäßiger Temperaturunterschied zwischen Welle und Gehäuse. Dadurch kann sich die Lagerluft ebenfalls erheblich verringern. Auch unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten von Wel-

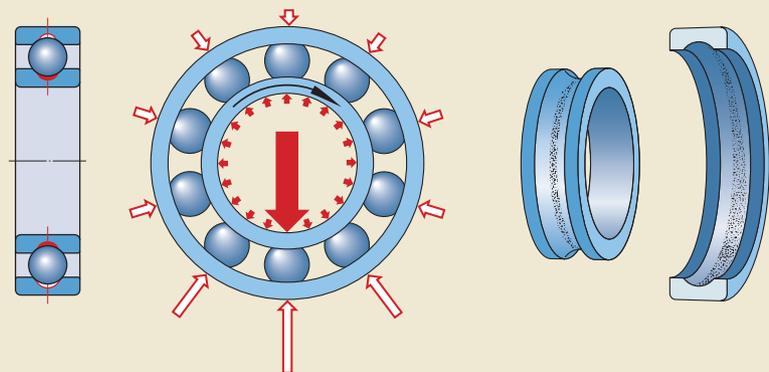
Bild 16



Lastverteilung

Laufspuren

Bild 17



Lastverteilung

Laufspuren

len- und Gehäusematerial können zu einer Verringerung des Lagerspiels beitragen.

Axiallager – einseitige, konstante Axiallast

Drehende Wellenscheibe – exzentrisch positionierte stehende Gehäusescheibe

Bild 18 veranschaulicht, wie eine auf die Wellenscheibe eines Axialkugellagers wirkende einseitige, konstante Axiallast von den Wälzkörpern auf der stehenden, exzentrisch positionierten Gehäusescheibe verteilt wird.

Die Wellenscheibe weist in der Mitte seiner Laufbahn eine Spur auf, die zwar von gleichmäßiger Breite, aber breiter als normal ist.

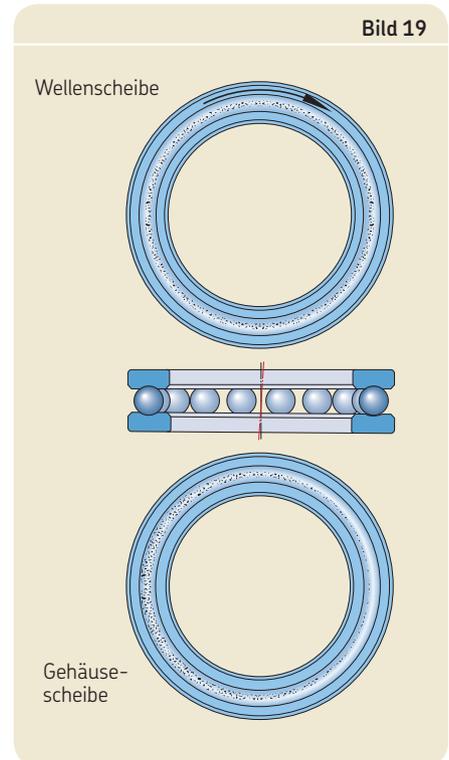
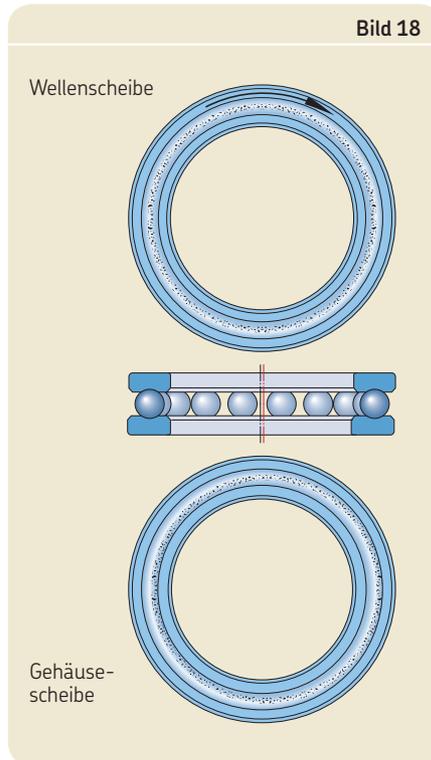
Die Laufspur an der Gehäusescheibe ist gleichmäßig breit, aber im Verhältnis zur Lagerachse nicht mittig.

Drehende Wellenscheibe – schiefgestellte stehende Gehäusescheibe

Bild 19 veranschaulicht, wie eine auf die drehende Wellenscheibe eines Axialkugellagers wirkende einseitige, konstante Axiallast von den Wälzkörpern auf der stehenden, schiefgestellten Gehäusescheibe verteilt wird.

Die Wellenscheibe weist in der Mitte ihrer Laufbahn eine gleichmäßig breite Spur auf.

Die Laufspur an der Laufbahn der Gehäusescheibe ist zwar mittig, aber von unregelmäßiger Breite.



4 ISO-Klassifizierung der Schadensarten

Die Anzahl der Lagerhersteller ist groß, und es gibt viele Veröffentlichungen zu Lagerschäden und -ausfällen. In den verschiedenen Veröffentlichungen werden Lagerschäden und -ausfälle u. U. unterschiedlich klassifiziert, und auch die verwendete Terminologie kann variieren.

Klassifizierung der Schadensarten – ISO-Arbeitsgruppe

1995 wurde innerhalb der ISO-Organisation eine Arbeitsgruppe gegründet mit dem Auftrag, eine allgemeine Klassifizierungsmethode und Terminologie für verschiedene Arten von Lagerschäden festzulegen. Die Arbeitsgruppe ermittelte Folgendes:

- Eine Ausfallursache ist durch bestimmte Merkmale gekennzeichnet.
- Ein bestimmter Ausfallmechanismus kann mit einer bestimmten Schadensart in Zusammenhang gebracht werden.
- Aus dem Schadensbild kann (unter Umständen) die Ausfallursache abgeleitet werden.

Die ISO-Norm 15243 wurde Anfang 2004 veröffentlicht. Seitdem wurden zum Thema Lagerschäden weitere Erkenntnisse und Erfahrungen gewonnen. Die Informationen werden derzeit von einer ISO-Arbeitsgruppe überprüft. Eine neue Norm sollte 2015 herausgegeben werden.

Die Klassifizierung in dieser SKF Veröffentlichung weicht leicht von ISO 15243:2004 ab, da zwei Unterarten (örtliche Überlast durch Mikrokontakte und handhabungsbedingte Eindrückungen) in einer Schadensart zusammengefasst werden (örtliche Überlast durch Mikrokontakte).

Die SKF Klassifizierung basiert auf drei maßgeblichen Faktoren:

- Sie deckt alle Schäden und Veränderungen ab, die während des Betriebs aufgetreten sind¹).
- Sie beschränkt sich auf charakteristische Veränderungen²) im Erscheinungsbild, die (mit relativ hoher Sicherheit) bestimmten Ursachen zugeschrieben werden können.
- Sie beruht auf der Bewertung sichtbarer Veränderungen³), die durch zerstörungsfreie Analysen ermittelt wurden.

Es werden sechs Hauptschadensarten unterschieden, die wiederum in verschiedene Unterarten unterteilt werden (→ **Diagramm 1**). Insgesamt gibt es 14 Schadensarten. In diesem Kapitel werden die Merkmale der einzelnen Schadensarten anhand einiger typischer Beispiele erläutert.

Die Nummerierung in **Diagramm 1** entspricht der Nummerierung der Unterabschnitte von ISO 15243.

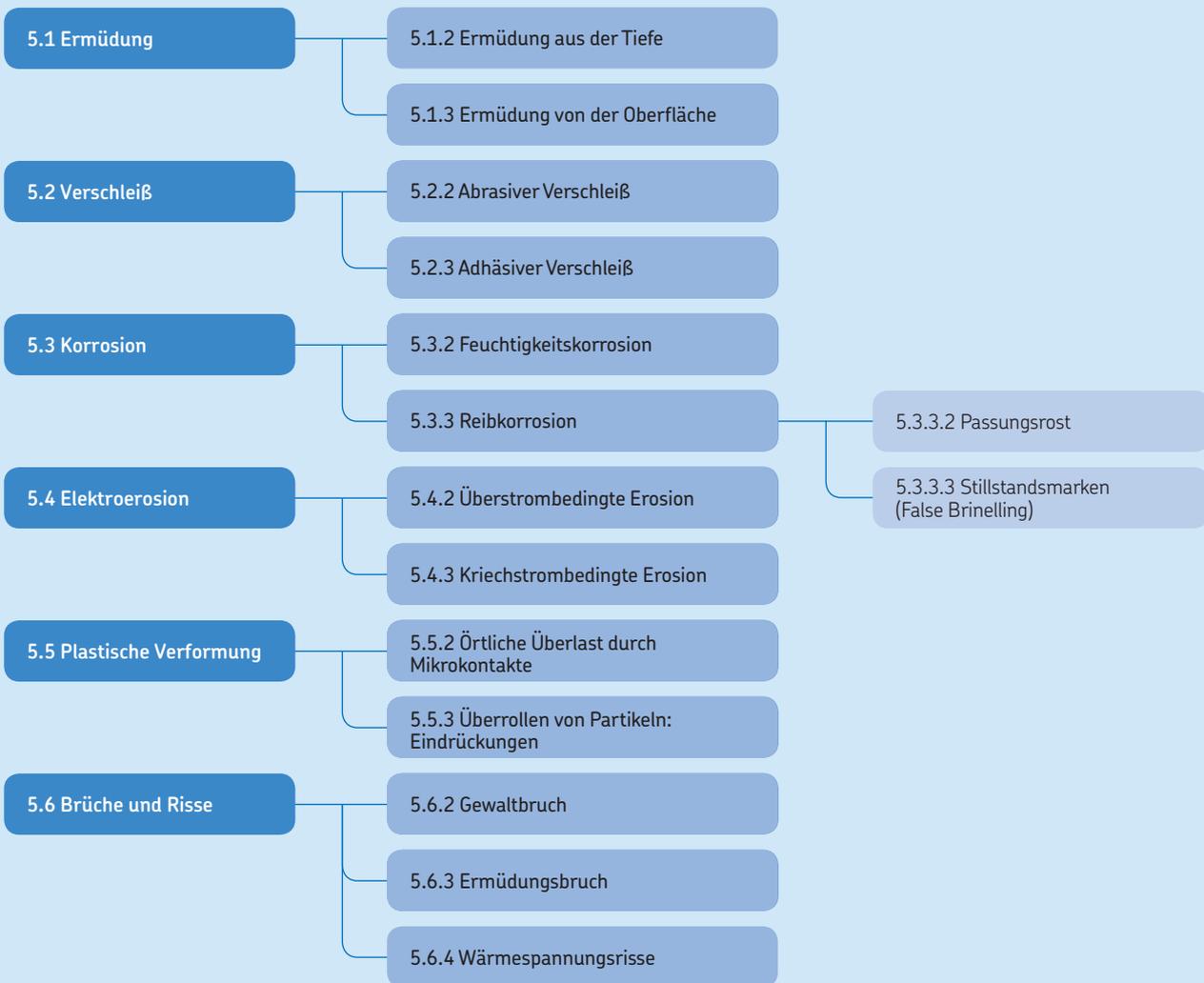
Andere Ursachen für Lagerschäden, wie Fertigungsfehler, Konstruktionsfehler usw., sind in der ISO-Norm nicht klassifiziert und werden daher hier nicht behandelt.

1 „während des Betriebs“: nachdem das Lager die Lagerfabrik verlassen hat.

2 „charakteristische Veränderungen“: Merkmale, die im Rahmen der 14 Schadensarten klassifiziert werden können.

3 „sichtbare Veränderungen“: sichtbare Merkmale, einschließlich Vergrößerungen mit Lichtmikroskopen. Auf zerstörende Analysen wird hier nicht eingegangen.

SKF Klassifizierung nach ISO 15243:2004

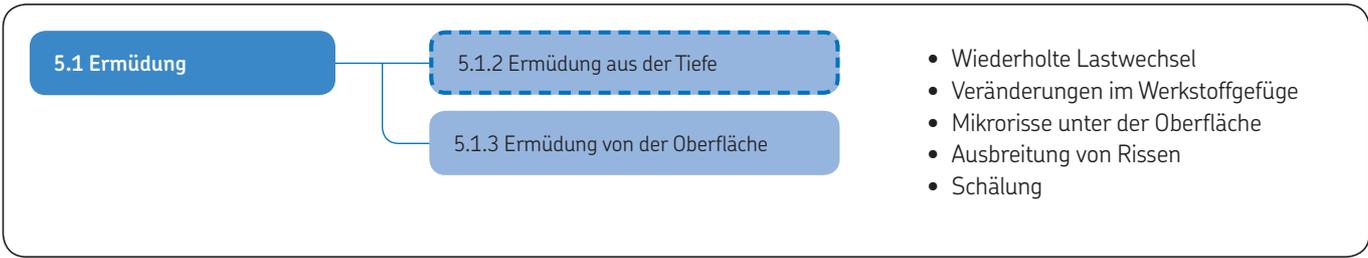


Die Nummerierung entspricht den Nummern der Unterabschnitte von ISO 15243:2004.

Schadensarten

Ermüdung

Ermüdung aus der Tiefe

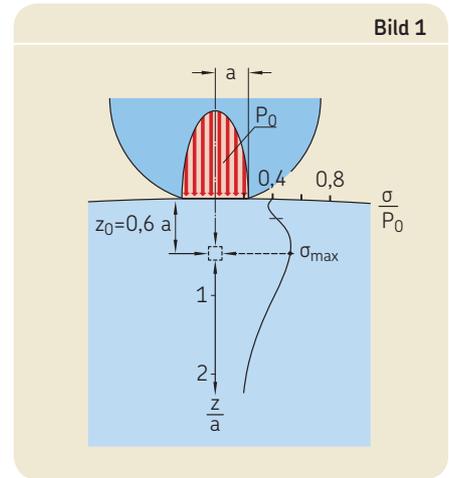


In einem drehenden Lager kommt es im Betrieb unter den Kontaktflächen der Laufbahnen und Wälzkörper zu zyklischen Belastungen.

Stellen Sie sich den drehenden Innenring eines Radiallagers vor, auf das eine Radiallast wirkt. Wenn sich der Ring dreht, tritt ein bestimmter Punkt auf der Laufbahn in die Lastzone ein, erreicht auf seinem Weg eine maximale Last (Spannung), und tritt dann wieder aus der Zone aus. Bei jeder Umdrehung treten Druck- und Schubspannungen auf, wenn dieser ein Punkt die Lastzone passiert (→ Bild 1).

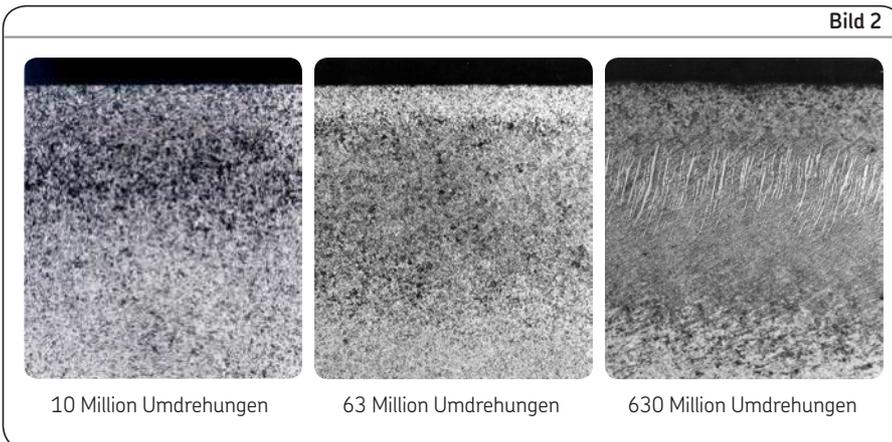
Je nach Last, Temperatur und Anzahl der Belastungszyklen bauen sich über einen bestimmten Zeitraum Eigenspannungen auf und es kommt zu Gefügeänderungen, die den Werkstoff schwächen.

In diesen Gebieten bilden sich unter der Oberfläche an den Stellen höchster Beanspruchung, d. h. um den Bereich der maximalen Wechselschubspannung – gewöhnlich in einer Tiefe von 0,1 bis 0,5 mm – Mikrorisse aus (→ Bild 2 und 3). Die Tiefe hängt von der Last, der Lagergeometrie und der Steifigkeit der Werkstoffe von Wälzkörper und Ring ab. Der Riss erreicht schließlich irgendwann die Oberfläche und führt zur Schälung (→ Bild 4). Die Lebensdauer wird auch von Werkstoff, Reinheit und Gefüge des Stahls sowie der Betriebstemperatur bestimmt.

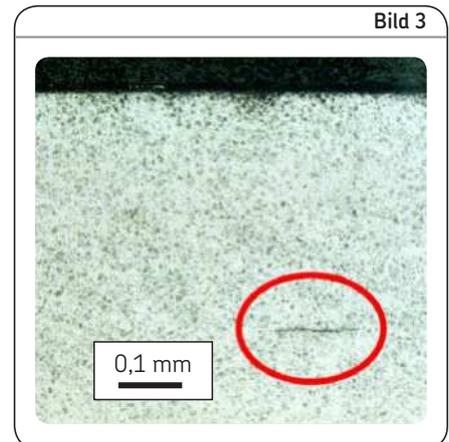


Druck- und Schubspannungen unter der Laufbahn

Strukturelle Veränderungen unter der Laufbahnoberfläche im Laufe der Zeit (hoch beanspruchtes, gut geschmiertes Rillenkugellager)



Rissbildung unter der Laufbahnoberfläche (~ 0,3 mm)



Sobald Schälung auftritt, wird das Lager beschädigt. Dies bedeutet nicht, dass das Lager nicht mehr verwendet werden kann. Die Schälung wächst allmählich und führt zu verstärkter Geräusch- und Schwingungsentwicklung in der Maschine. Die Maschine sollte angehalten und repariert werden, bevor das Lager ausfällt.

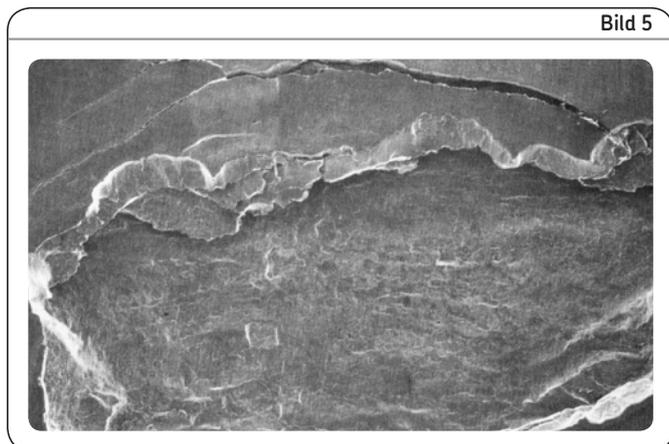
Der Zeitraum vom Beginn der Schälung bis zum Ausfall hängt von der Art der Maschine und den Betriebsbedingungen ab.

Bild 5 zeigt eine Ermüdungsschälung (starke Vergrößerung). Das Lager war lange Zeit in Betrieb, bis der Riss die Oberfläche durchdrang. Dies kommt gewöhnlich in Lagern aus hochreinem Stahl vor, die unter guten Sauberkeits- und Schmierbedingungen betrieben werden. Beachten Sie den glatten Boden des abgeschälten Bereichs und die „sauberen“ Risse darum herum. Dies sind Risse, die bereits an die Oberfläche gelangt sind. Mit der Zeit bricht der Werkstoff weiter aus.

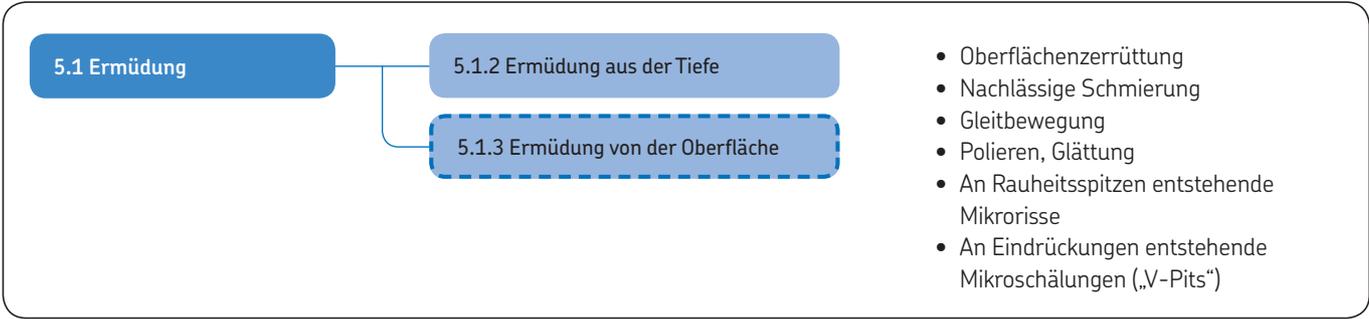


Beginnende Ermüdungsschälung aus der Tiefe am Innenring eines Rillenkugellagers

Ermüdungsschälung aus der Tiefe auf der Laufbahn eines Innenrings (starke Vergrößerung)



**Ermüdung von der Oberfläche
(Oberflächenzerrüttung)**



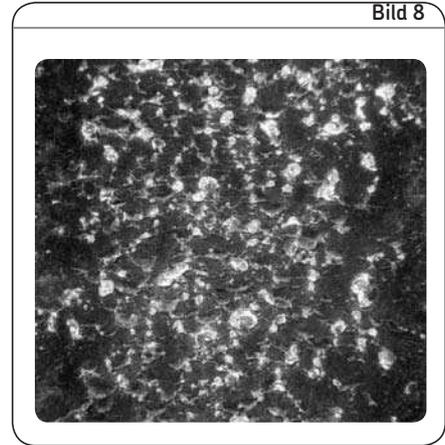
Oberflächenermüdung ist grundsätzlich eine Folge von Mischreibung und Unebenheiten (Eindrückungen) an den Wälzkontaktflächen, was gewöhnlich auf unzureichende Schmierung zurückzuführen ist.

Eine unzureichende Schmierung kann sich auf verschiedenen Faktoren begründen. Wenn die Oberfläche geschädigt wird (z. B. durch Überrollen fester Verunreinigungen), ist die Schmierung nicht mehr optimal, und der Schmierfilm wird dünner oder reicht nicht mehr aus. Dies kann auch der Fall sein, wenn für die Anwendung nicht die richtige Schmierstoffmenge oder der falsche Schmierstofftyp verwendet wird und die Kontaktflächen daher nicht ausreichend getrennt werden. Der resultierende Metall/Metall-Kontakt führt zu Mischreibung, da sich die Rauheitsspitzen an der Oberfläche berühren. Es kommt zu abrasivem Verschleiß und Oberflächenermüdung. An-

schließend können auf den beanspruchten Laufflächen Risse entstehen, die sich zu Mikroschälungen entwickeln, die wachsen und schließlich zum Ausfall führen. Das Risiko von Oberflächenermüdung besteht in allen Lagern, wenn der Ölfilm die Wälzkontaktflächen nicht vollständig trennt.

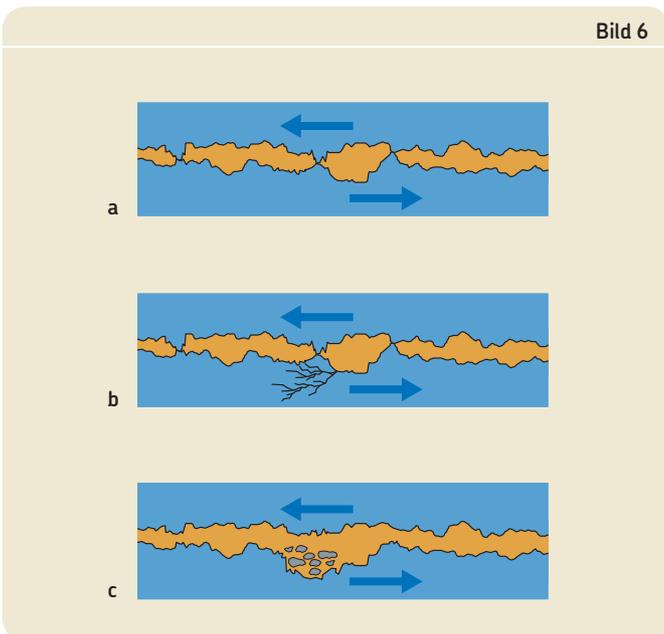
Bei Gleitung an den Wälzkontaktflächen erhöht sich dieses Risiko noch. In allen Wälzlagern kommt es aufgrund ihrer besonderen Geometrie und der elastischen Verformung der Wälzkörper und Laufbahnen unter Last zu Mikroschlupf (auch „Mikrogleiten“).

Eine weitere häufig vernachlässigte Ursache für Oberflächenermüdung ist die Verwendung von EP-Zusätzen im Schmierstoff. Solche Additive können insbesondere bei höheren Temperaturen aggressiv werden und Mikroschälung beschleunigen.

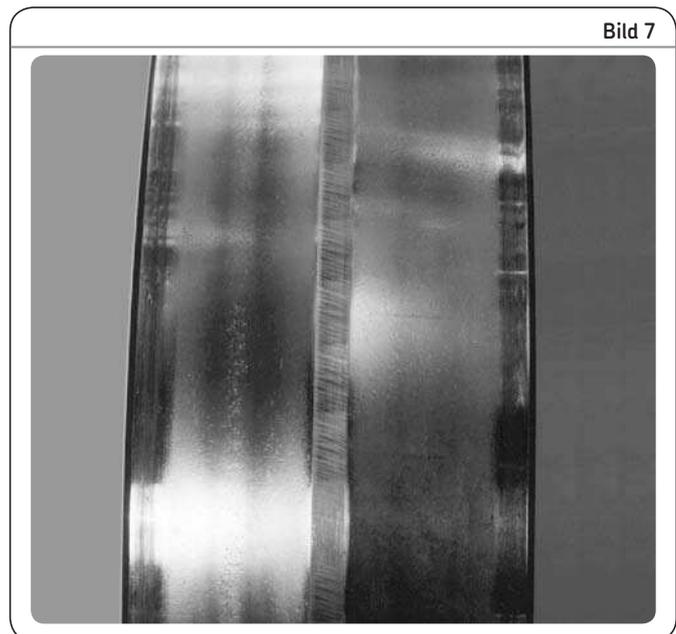


Mikroschälungen und Risse an der Laufbahnoberfläche (starke Vergrößerung)

Mechanismus der Oberflächenermüdung durch Kontakt der Rauheitsspitzen und Mischreibung



Mikroschälungen am Innenring eines Pendelrollenlagers



Oberflächenermüdung ist im Allgemeinen die Folge der Überrollung von Eindrückungen und von Metall/Metall-Kontakt der Rauheitsspitzen, die aufgrund von Mischreibung und Grenzschmierung in direkten Kontakt kommen (→ **Bild 6a**). Wenn die Belastung und die Reibungskräfte eine bestimmte Größe erreichen, bilden sich an der Oberfläche kleine Risse (→ **Bild 6b**). Diese Risse können sich dann zu Mikroschälungen entwickeln (→ **Bild 6c**).

Solche Mikroschälungen von nur wenigen Mikrometer Größe können die Oberfläche dicht bedecken und ihr ein stumpfes, graues Aussehen verleihen (→ **Bild 7**). Risse und Mikroschälungen sind nur unter einem Mikroskop erkennbar (→ **Bild 8**).

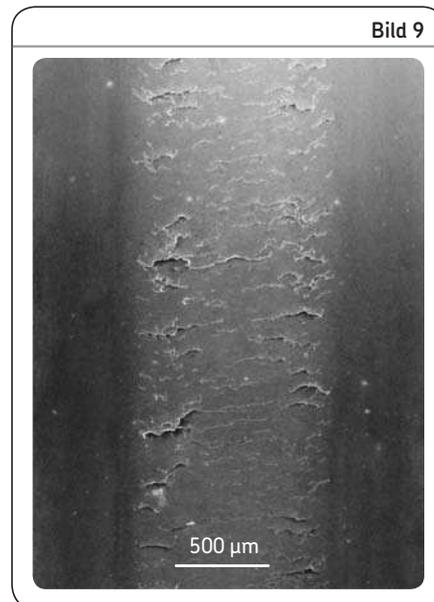
Bild 9 zeigt eine beginnende Schälung infolge von Oberflächenermüdung aufgrund unzureichender Schmierung.

Bild 10 zeigt die Entwicklung von Oberflächenermüdung zu einer großflächigen Schälung.

Je nachdem, zu welchem Zeitpunkt das Lager außer Betrieb genommen und analysiert wird, kann sich die Ursachenbestimmung als schwierig erweisen.

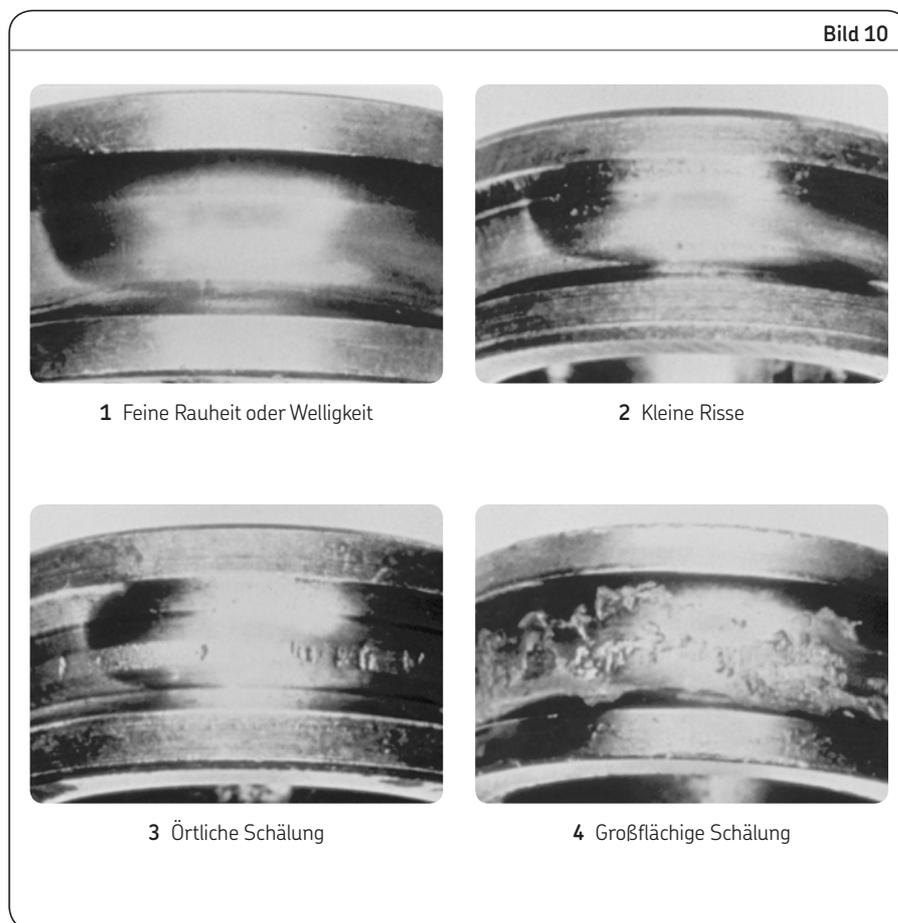
Um Schmierfilmversagen zu diagnostizieren, reicht es nicht aus, lediglich die Wälkontaktflächen und den Zustand des Schmierstoffs zu betrachten. Die Eigenschaften des Schmierstoffs und die verwendeten bzw. benötigten Mengen sind bei der Beurteilung seiner Wirksamkeit ebenso zu berücksichtigen wie die Betriebsbedingungen. Im Laufe der Zeit können die folgenden Schadensstufen infolge unzureichender Schmierung an der Oberfläche auftreten bzw. beobachtet werden:

- 1 Feine Rauheit oder Welligkeit (unter Umständen glänzend)
- 2 Kleine Risse
- 3 Örtliche Schälung
- 4 Großflächige Schälung



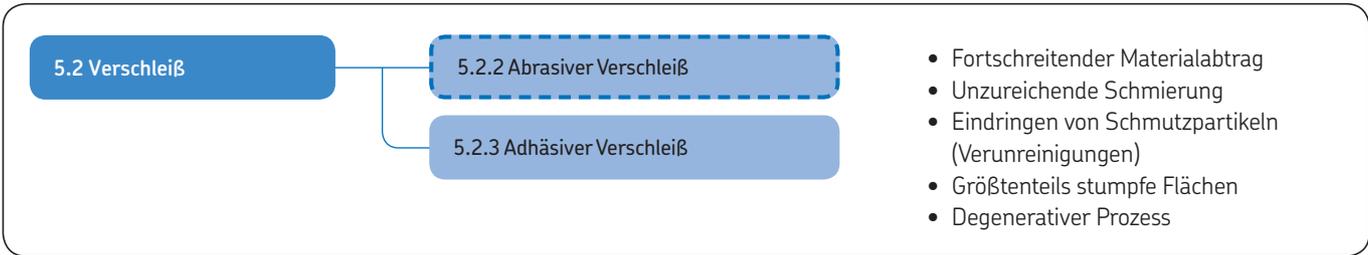
Beginnende Schälung an der Laufbahn des Innenrings eines Rillenkugellagers infolge Oberflächenermüdung

Fortschreitende Oberflächenermüdung am Innenring eines Rillenkugellagers



Verschleiß

Abrasiver Verschleiß



Bei abrasivem Verschleiß wird nach und nach Material abgetragen.

Anfangs tritt am Lager während der Einlaufphase nur sehr leichter Verschleiß auf, meistens lediglich in Form einer Laufspur (→ **Bild 11**).

Echter abrasiver Verschleiß ist in den meisten Fällen die Folge unzureichender Schmierung oder eindringender fester Verunreinigungen. Abrasiver Verschleiß ist gewöhnlich durch stumpfe Flächen gekennzeichnet (→ **Bild 12**).

Bei abrasivem Verschleiß handelt es sich um einen degenerativen Prozess, der irgendwann zur Zerstörung der Mikrogeometrie des Lagers führt, da Verschleißpartikel die Wirksamkeit des Schmierstoffs weiter verringern. Durch abrasive Partikel können die Laufbahnen von Ringen und Wälzkörpern sowie die Käfigtaschen schnell verschleifen. **Bild 12** zeigt abrasiven Verschleiß am Außenring eines Pendelrollenlagers. Die

Tiefe des Verschleißes ist ebenfalls erkennbar (ein schwingungsbedingtes Wellenmuster ist ebenfalls vorhanden).

Der Käfig ist ein wichtiger Bestandteil des Lagers. Ringe und Wälzkörper haben einen Härtegrad von ca. 60 HRC. Die meisten Metallkäfige sind ungehärtet (Blech oder Messing). Bei schlechten Schmierbedingungen ist der Käfig unter Umständen die erste Komponente, die verschleißt. **Bild 13** zeigt Taschenverschleiß in einem Käfig aus massivem Messing.

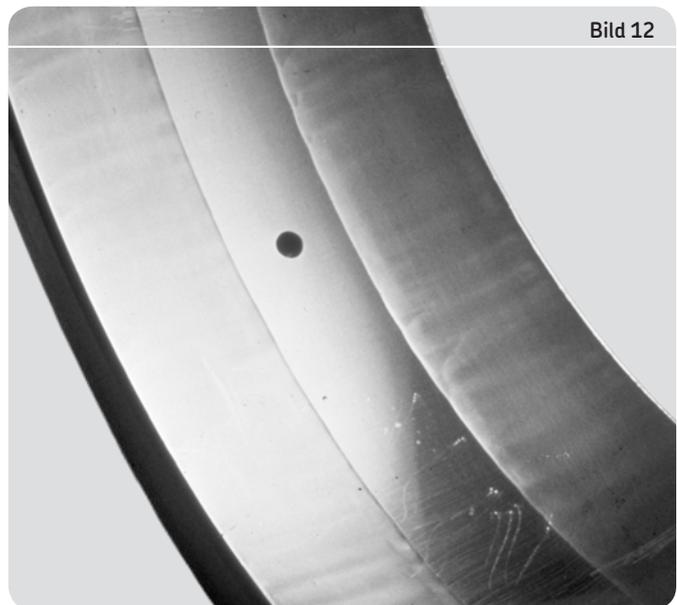


Reibverschleiß an den Käfigstegen eines Zylinderrollenlagers

Leichter abrasiver Verschleiß am Außenring eines Pendelrollenlagers



Fortgeschrittener abrasiver Verschleiß am Außenring eines Pendelrollenlagers (stumpfe, matte Laufbahnen)



Polierverschleiß ist eine besondere Form von abrasivem Verschleiß. Die Laufbahnflächen neuer Lager sind zwar glänzend, aber nicht hoch reflektierend (spiegelähnlich). Spiegelähnliche Flächen an einem in Betrieb befindlichen Lager (→ **Bild 14**) sind auf unzureichende Schmierung zurückzuführen, die Folge eines zu dünnen Ölfilms und als Poliermittel agierender Partikel. Dies führt zu Metall/Metall-Kontakt und somit zu abrasivem Verschleiß sowie Oberflächenermüdung durch plastische Verformung der Rauheitsspitzen (→ **Bild 15**). Je nach Laufzeit, Größe und Härte der Partikel werden die Flächen u. U. extrem blank poliert.

Hochglänzende Flächen können tolerierbar sein, sofern sich abrasiver Verschleiß und plastische Verformung nur auf die Rauheitsspitzen beschränken.

In einigen Fällen geht der Polierverschleiß jedoch über die Rauheitsspitzen hinaus und führt zu einer starken Verformung der Laufbahnen. Die Laufbahnen von Innen- und Außenring und höchstwahrscheinlich auch die Rollen sind dann zwar spiegelblank, aber verschlissen.

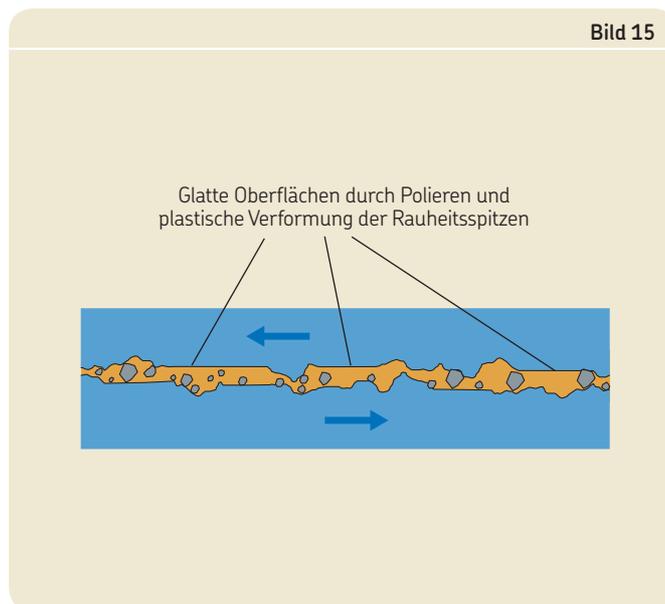
Abrasiver Verschleiß ist das Ergebnis einer Kombination von Faktoren: Die Viskosität des Öls ist zu niedrig, und es enthält übermäßig viele abrasive Mikropartikel. Zu weiteren Faktoren kann eine Kombination aus niedrigen Drehzahlen, hohen Lasten und unzureichendem Ölfilm gehören.

Zur Vermeidung derartiger Schäden verwenden Sie einen Schmierstoff höherer Viskosität und kontrollieren dessen Reinheit regelmäßig.

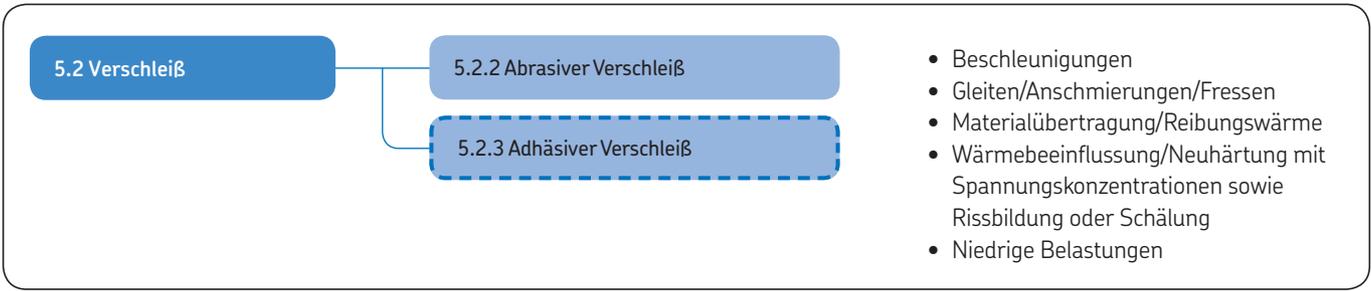
Polierverschleiß (spiegelähnliche Laufbahnoberflächen) an den Innen- und Außenringen eines Pendelrollenlagers



Polierverschleiß in einem Lager



Adhäsiver Verschleiß (Anschmierung)



Adhäsiver Verschleiß ist ein schmierungsbedingter Schaden, der zwischen zwei gegeneinander gleitenden Flächen auftreten kann (→ **Bild 16**).

Dabei kommt es zu Mikroverschweißungen und Materialübertragung (Anschmierung) von der einen auf die andere Wälzfläche. Dieser Vorgang wird gewöhnlich von Reibungshitze begleitet, die manchmal zum ungewollten Anlassen bei erhöhter Temperatur (Härteverlust) oder zu Neuhärtungen (selbstabgeschreckter Martensit) der betroffenen Kontaktflächen führen kann.

Die Reibungshitze erzeugt örtliche Spannungskonzentrationen, durch die Risse oder Schälungen an den Wälzflächen entstehen können.

Anschmierungen kommen unter normalen Betriebsbedingungen nicht häufig vor. Die relative Gleitgeschwindigkeit muss wesentlich höher sein als der durch die Lagergeometrie und die elastische Verformung im Wälzkontaktbereich bedingte Mikroschlupf.

Anschmierung (adhäsiver Verschleiß) aufgrund hoher Beschleunigungen

Bei Wälzlagern, die bei relativ hohen Drehzahlen eingesetzt werden, kann es unter bestimmten Bedingungen an den Flächen der Wälzkörper und Laufbahnen zu Anschmierungen kommen. Außerhalb der Lastzone verzögert sich die Drehbewegung der Wälzkörper, da sie nicht von den Ringen getrieben werden.

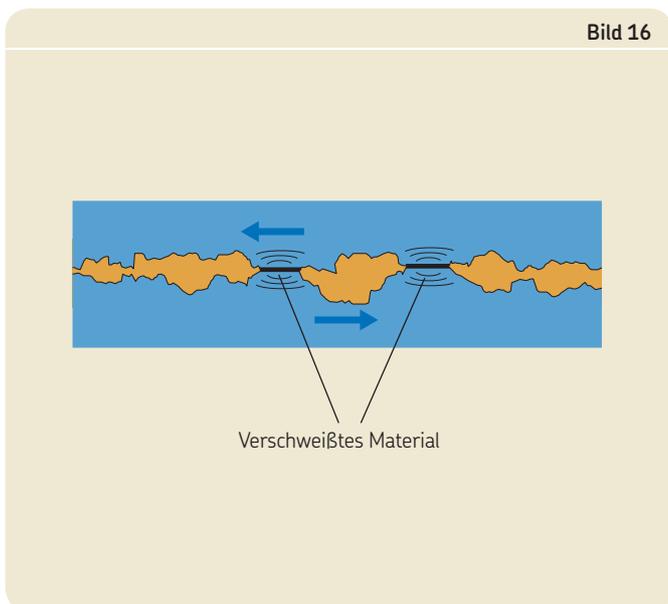
Wälzkörper werden daher beim Eintritt in die Lastzone einer hohen (plötzlichen) Beschleunigung ausgesetzt (→ **Bild 17**). Durch diese plötzliche Beschleunigung kann es zum Gleiten kommen. Die dadurch erzeugte Wärme kann so hoch sein, dass die beiden metallischen Flächen an den sich berührenden Kontaktpunkten miteinander verschweißen (→ **Bild 16**). Durch dieses Mikroverschweißen und Abreißen wird Material von einer zur anderen Fläche übertragen (angeschmiert), wodurch sich wiederum die Reibung erhöht (→ **Bild 18**).

Bei diesem Vorgang wird der Werkstoff durch die Wärmeentwicklung außerdem ungewollt hoch angelassen oder es kommt zur Neuhärtung. Dies kann zu örtlichen Spannungskonzentrationen führen, d. h. es besteht ein hohes Risiko für die Bildung von Rissen, die zum vorzeitigen Ausfall des Lagers führen. Risse können um 90° versetzt in Gleitrichtung entstehen.

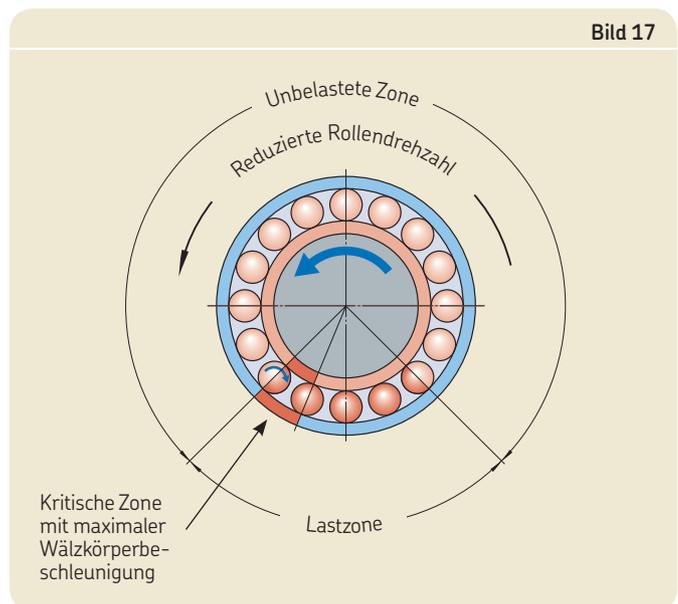
Das Phänomen der Anschmierung wird auch „Fressverschleiß“ genannt.

Anschmierungen sind eine gefährliche Art von Oberflächenschaden, da die betroffenen Flächen normalerweise nach und nach rauer werden. Mit zunehmender Oberflächenrauheit wird der Ölfilm immer dünner, und Metall/Metall-Kontakte nehmen zu – ein Teufelskreis, der den unweigerlichen Verschleiß des Lagers zur Folge hat. Große Lager sind relativ anfällig für Anschmierungen. Das Gewicht der Wälzkörper gewinnt an Bedeutung, und außerhalb der Lastzone werden sie erheblich langsamer. Beim Wieder-

Prinzip des adhäsiven Verschleißes



Während der Beschleunigung der Wälzkörper beim Eintritt in die Lastzone ist das Risiko von adhäsivem Verschleiß am größten



eintritt in die Lastzone werden sie nahezu sofort auf die Drehzahl beschleunigt, aber aufgrund ihres Gewichts geraten sie dabei (teilweise) ins Gleiten.

In Kugellagern kann es auch aufgrund von Kreiseffekten zu Ansmierungen kommen. In diesen Fällen ändert sich der Berührungswinkel der Wälzkörper außerhalb der Lastzone. Beim Eintritt in die Lastzone werden sie jedoch wieder in den richtigen Winkel gezwungen (mit Schlupf).

Ansmierung (adhäsiver Verschleiß) aufgrund zu niedriger Belastung

Ansmierungen können auch zwischen Wälzkörpern und Laufbahnen auftreten, wenn die Belastung im Verhältnis zur Umlaufdrehzahl zu gering ist.

Ansmierungen lassen sich u. a. durch folgende Maßnahmen vermeiden:

- Erhöhung der Last
- Verwendung kleinerer Lager
- Verwendung von Hybridlagern (leichtere Wälzkörper, geringere Neigung zum Verschweißen)
- Schutzbeschichtung
- Verwendung einer anderen Käfigausführung
- Überprüfung der Schmieröl/-fettauswahl

Weitere Beispiele für Ansmierungen (adhäsiven Verschleiß)

Ansmierungen können auch zwischen dem Käfig und der zugehörigen Kontaktfläche sowie zwischen den Rollenstirnseiten und den Führungsborden auftreten. **Bild 19** zeigt eine Rolle eines Axial-Pendelrollenlagers, die am Führungsbord rieb. Die Stirnseite der Rolle weist Ansmierungsschäden aufgrund unzureichender Schmierung auf.



Bild 18

Ansmierungsschaden an den Laufbahnen des Außenrings eines Pendelrollenlagers (Ansmierungen im Bereich des Eintritts in die Lastzone)

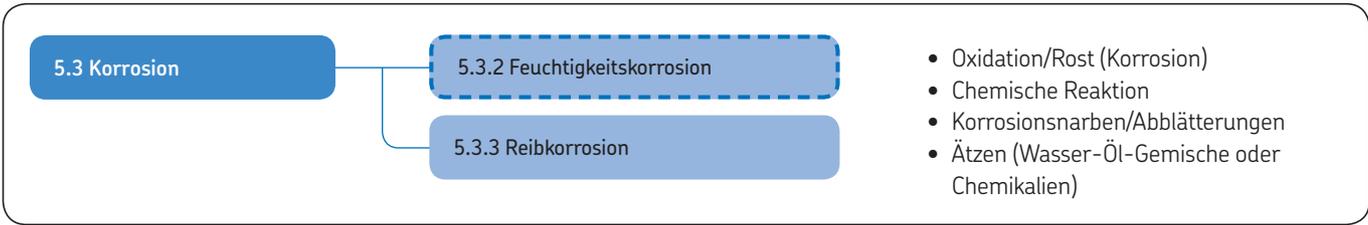


Bild 19

Ansmierungen auf der Kontaktfläche eines Axial-Pendelrollenlagers

Korrosion

Feuchtigkeitskorrosion



Unwirksame Dichtungsanordnungen können das Eindringen von Feuchtigkeit, Wasser und aggressiver Flüssigkeiten in das Lager begünstigen. Wenn die Menge der flüssigen Verunreinigungen so groß ist, dass der Schmierstoff die Stahlflächen nicht mehr ausreichend schützen kann, bildet sich Rost.

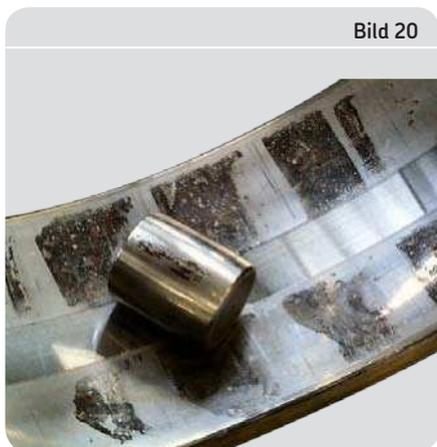
Oxidation

Auf blanken, der Luft ausgesetzten Stahlflächen bildet sich eine dünne, schützende Oxidschicht. Diese Oxidschicht ist jedoch nicht undurchlässig, und wenn Wasser oder Korrosionsmittel mit den Stahlflächen in Berührung kommen, oxidieren diese.

Korrosion

Korrosion ist bei Papiermaschinen und Prozessanlagen in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie vielleicht die häufigste Ursache für vorzeitigen Lagerausfall. Bei diesen Maschinen dringen im Rahmen des Betriebsablaufs Wasser und andere Flüssigkeiten in die Lager ein. Wasser kann auch beim Waschen während des Stillstands der Maschine eindringen, wodurch sich grauschwarze Streifen im Abstand der Wälzkörper bilden (→ Bild 20).

Korrosion an Außenring und Wälzkörper eines Pendelrollenlagers

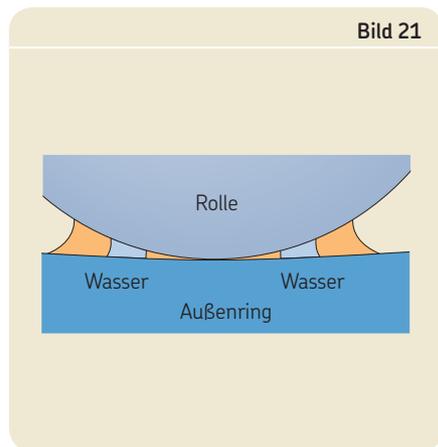


Ätzen

Bei Stillstand sammelt sich am Boden des Lagers freies Wasser im Schmierstoff an. Die Wasserkonzentration ist in einem bestimmten Abstand vom der Wälzkontaktbereich am höchsten (→ Bild 21). Der Grund dafür ist, dass das freie Wasser schwerer als das Schmieröl ist und nach unten sinkt, bis es eine geeignete Lücke zwischen dem Wälzkörper und der Laufbahn erreicht und sich dort sammelt. Dies kann zu tiefer Stillstandskorrosion führen, sogenanntem „Ätzen“ (→ Bild 22). Ätzen tritt am ehesten in Anwendungen mit aggressiven Chemikalien und hohen Temperaturen auf, z. B. in der Trockenpartie einer Papiermaschine.

Ätzen führt zu vorzeitiger, großflächiger Schälung, da der Werkstoff einer strukturellen Veränderung ausgesetzt wird und sich die Flächen in der Lastzone so weit verkleinern, dass es zu einer Überlastung kommt. Korrosion lässt sich am besten durch richtige Abdichtung der Anwendung vermeiden, sodass Wasser und aggressive Flüssigkeiten gar nicht erst in den Schmierstoff gelangen können. Die Verwendung eines Schmierstoffs mit guten Rostschutzeigenschaften ist ebenfalls hilfreich.

Freies Wasser im Schmierstoff sammelt sich am Boden des Lagers



- Oxidation/Rost (Korrosion)
- Chemische Reaktion
- Korrosionsnarben/Abblätterungen
- Ätzen (Wasser-Öl-Gemische oder Chemikalien)

Beginnende Ätzstellen im Wälzkörperabstand an der Laufbahn des Innenrings eines Pendelrollenlagers



Reibkorrosion – Passungsrost

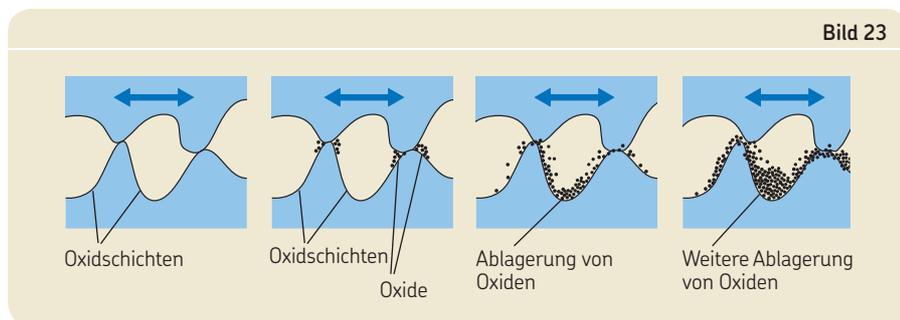
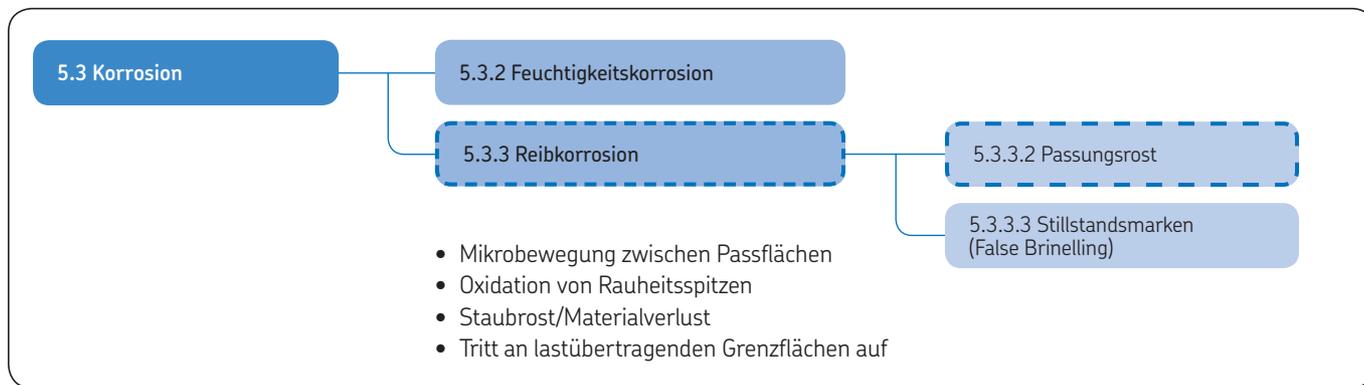


Bild 23

Schematische Darstellung der verschiedenen Entwicklungsstadien von Passungsrost

SKF empfiehlt nicht, zur Vermeidung von Passungsrost speziell formulierte Klebstoffe zu verwenden.

Passungsrost tritt auf, wenn es zu einer Relativbewegung zwischen einem Lagering und dem zugehörigen Wellen- oder Gehäusesitz kommt. Passungsrost ist gewöhnlich die Folge einer zu losen Passung oder von Formungenauigkeiten.

Die Relativbewegung kann dazu führen, dass sich kleine Materialpartikel von der Oberfläche des Lagers und seinem Sitz lösen. An der Luft oxidieren diese Partikel schnell, wodurch sich Eisenoxid bildet (→ Bild 23). Eisenoxid hat ein größeres Volumen als Eisen (Stahl). Durch Passungsrost werden die Lagerringe u. U. nicht gleichmäßig unterstützt, was sich negativ auf die Lastverteilung im Lager auswirken kann.

Korrodierte Bereiche fungieren außerdem als Bruchkerben.

Passungsrost tritt in Form von Roststellen am Außendurchmesser des Außenrings oder in der Bohrung des Innenrings auf. An den entsprechenden Stellen sind oft deutliche Marken in den Laufspuren zu erkennen. In einigen Fällen tritt Passungsrost als Sekundärschaden infolge starker Schälung der Laufbahn auf.

Je nach chemischer Reaktion weisen Korrosionsstellen folgende Merkmale auf:

- rote Färbung (Hämatit, Fe_2O_3)
- schwarze Färbung (Magnetit, Fe_3O_4)

Bild 24 zeigt Passungsrost infolge einer nicht richtig maschinell bearbeiteten Wellenoberfläche oder Wellendurchbiegung (aufgrund einseitig freitragender oder radialer Belastung).

Bild 25 zeigt Passungsrost infolge übermäßig hoher Belastung oder fehlerhaftem Sitz.

Zur Vermeidung von Passungsrost sollten entweder die Passungstoleranzen angepasst oder eine spezielle Montagepaste bzw. Korrosionsschutzschicht verwendet werden.

Passungsrost an der Innenringbohrung infolge eines inadäquaten Wellensitzes oder Wellendurchbiegung

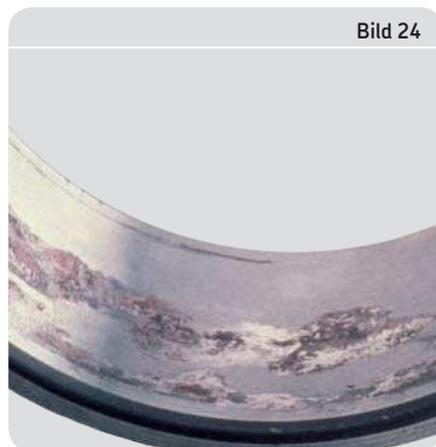


Bild 24

Passungsrost an der Innenringbohrung infolge hoher Belastung oder inadäquaten Wellensitzes

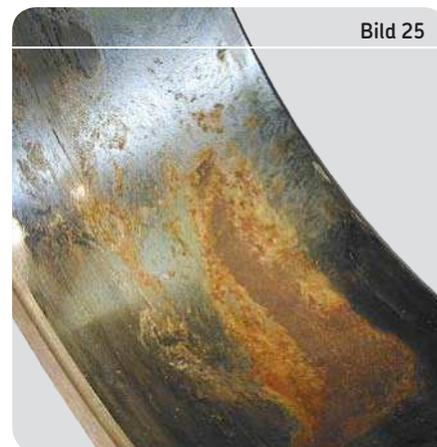
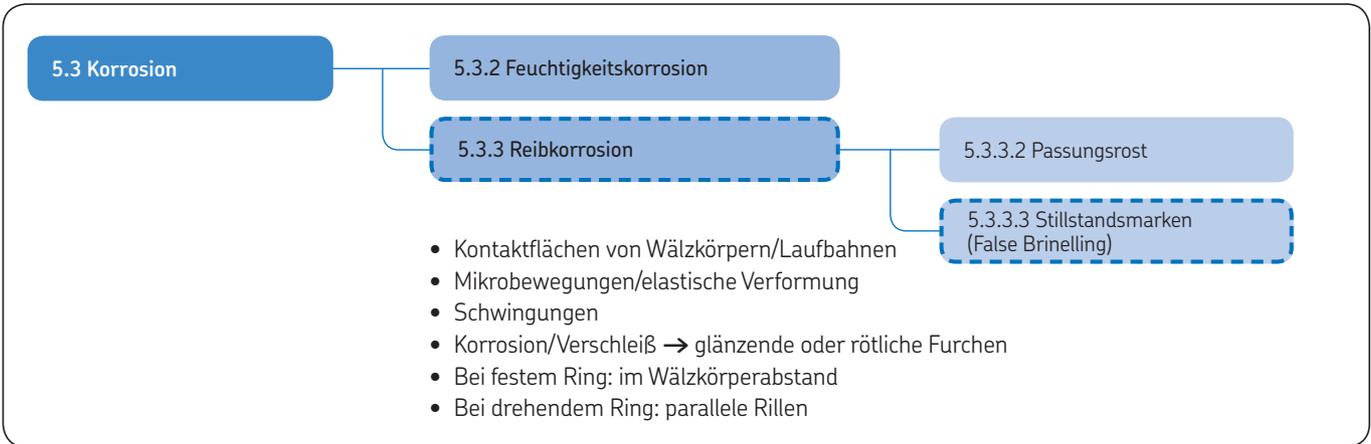


Bild 25

**Reibkorrosion – Stillstandsmarken
(False Brinelling)**



Stillstandsmarken entstehen an den Kontaktflächen infolge von Mikrobewegungen und/oder elastischem Kontakt bei zyklischen Schwingungen. Je nach Intensität der Schwingungen, Schmierstoffzustand und Last tritt eine Kombination von Korrosion und Verschleiß auf, die flache Furchen in der Laufbahn verursacht.

Im Fall eines festen Lagers bilden die Furchen die Form der Wälzkörper ab:

- kugelförmige Furchen bei Kugellagern
- längliche Furchen bei Rollenlagern

Bei fettgeschmierten Anwendungen sind Stillstandsmarken gewöhnlich rötlich braun, während sie in ölgeschmierten Anwendungen die Form stark glänzender, spiegelähnlicher Furchen annehmen.

In vielen Fällen ist Rost in den Furchen zu erkennen. Dieser wird durch Oxidation der ausgebrochenen Partikel verursacht, die im Vergleich zu ihrem Volumen eine große Fläche aufweisen und der Luft ausgesetzt sind.

An den Wälzkörpern selbst sind nur geringe Schäden sichtbar.

Bild 26 zeigt ausgeprägte Stillstandsmarken am Außenring eines Pendelkugellagers.

Bild 27 zeigt Stillstandsmarken am Außenring eines Zylinderrollenlagers. Die Ursache sind Schwingungen bei Stillstand. Das Lager war in Zusatzausrüstung mit langen Stillstandszeiten eingebaut. Am Rollenumfang sind im Wälzkörperabstand mehrere Reihen von Rillen zu erkennen, von denen jede während eines Stillstands entstand. Die Größe des Schadens hängt von der Stärke der Schwingung, der Schwingungsfrequenz und von der Dauer des Stillstands ab.



Ausgeprägte Stillstandsmarken an der Laufbahn des Außenrings eines Pendelkugellagers

Stillstandsmarken (Rillen) an der Laufbahn des Außenrings eines Zylinderrollenlagers



Elektroerosion

Überstrombedingte Erosion

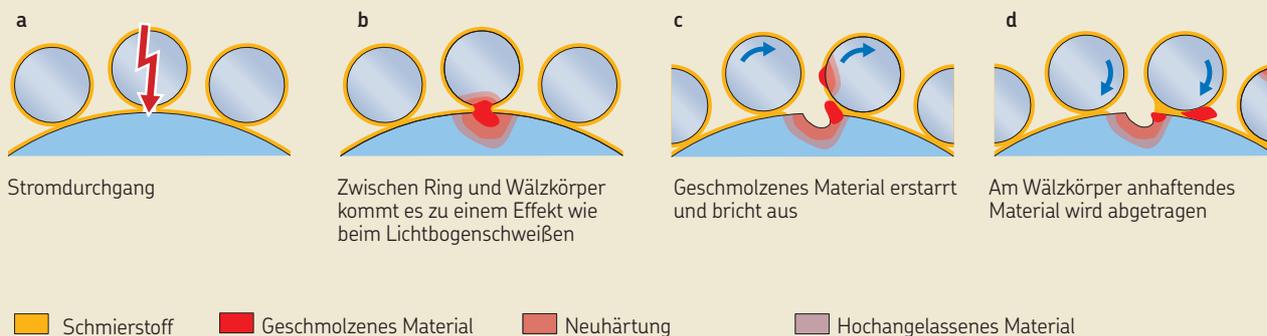
5.4 Elektroerosion

5.4.2 Überstrombedingte Erosion

5.4.3 Kriechstrombedingte Erosion

- Fortschreitender Materialabtrag
- Hoher Strom: Funkenbildung
- Örtliche Erhitzung in extrem kurzen Intervallen: Schmelzen/Schweißen
- Krater von bis zu 0,5 mm

Bild 28



Mechanismus überstrombedingter Erosion

Wenn elektrischer Strom (→ Bild 28) durch die Wälzkörper von einem Ring zum anderen Ring fließt, (a) sind Schäden die Folge. An den Kontaktflächen laufen ähnliche Prozesse wie beim Lichtbogenschweißen ab, d. h. hohe Stromstärken fließen über eine kleine Fläche (b). Das Material erwärmt sich und erreicht Temperaturen, die zu Neuhärtung oder Aufschmelzen führen. Das Ergebnis sind verfärbte Bereiche unterschiedlicher Größe, in denen das Material angelassen bzw. neugehärtet wurde oder geschmolzen ist. Wo Material geschmolzen und dann auf-

grund der Drehbewegungen des Wälzkörpers weggebrochen ist, bilden sich Krater (c). Das überschüssige Material am Wälzkörper wird abgetragen (d). Erscheinungsbild: Krater an Laufbahnen und Wälzkörpern. An den Laufbahnen von Kugellagern sind mitunter zickzackförmige Brandstellen zu sehen. Örtliche Brandstellen sind an den Laufbahnen und Wälzkörpern sichtbar.

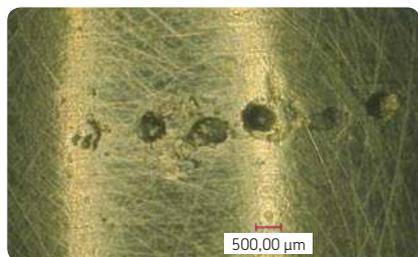
Bild 29 zeigt ein Beispiel eines Pendelrollenlagers, das einem übermäßigen elektrischen Strom ausgesetzt wurde. An der Rolle ist eine Reihe großer Krater zu erkennen. In

der Vergrößerung sind die Krater mit dem geschmolzenen Material an den Rändern deutlich zu erkennen.

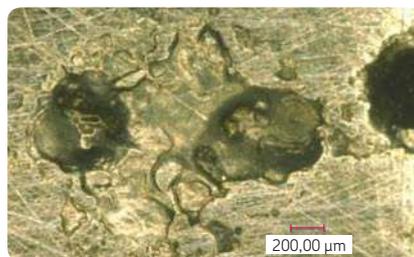
Bild 30 zeigt Schäden, die Stromdurchgang an einem Rillenkugellager an der Laufbahn des Außenrings und an der Kugel verursacht hat. Beachten Sie die zickzackförmigen Brandstellen.

Überstrombedingte Erosion an der Rolle eines Pendelrollenlagers

Bild 29



Krater von 0,5 mm Durchmesser



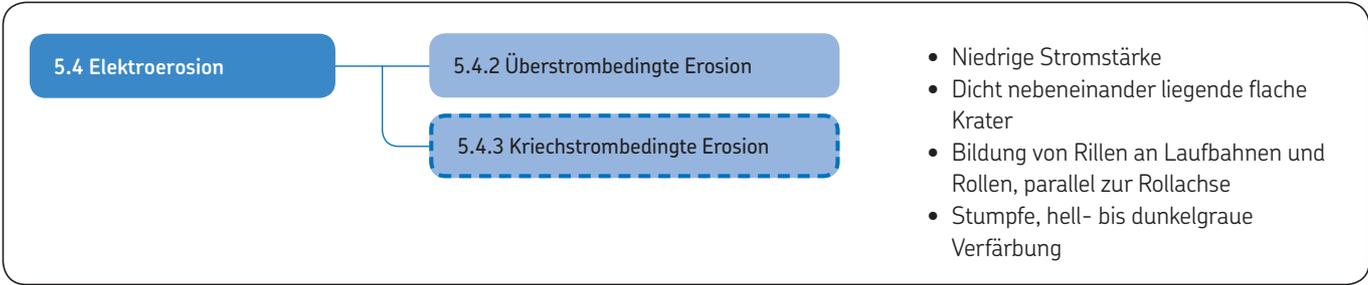
Vergrößerung

Überstrombedingte Erosion an der Laufbahn des Außenrings eines Rillenkugellagers

Bild 30



Kriechstrombedingte Erosion



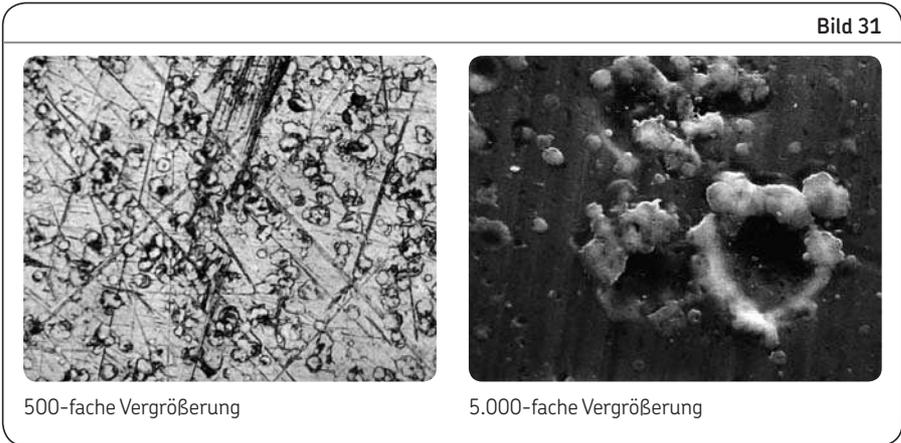
- Niedrige Stromstärke
- Dicht nebeneinander liegende flache Krater
- Bildung von Rillen an Laufbahnen und Rollen, parallel zur Rollachse
- Stumpfe, hell- bis dunkelgraue Verfärbung

In der Anfangsphase kriechstrombedingter Erosion entstehen an der Oberfläche gewöhnlich dicht nebeneinander liegende flache Krater, die kleiner sind als die, die durch Überstrom verursacht werden. Diese Schäden entstehen selbst bei vergleichsweise geringen Stromstärken. **Bild 31** zeigt die Krater in 500-facher und 5.000-facher Vergrößerung.

Mit der Zeit kann durch die Krater ein Waschbrettmuster an den Laufbahnen entstehen (→ **Bild 32** und **34**). Bei Rollenlagern zeichnet sich das Waschbrettmuster auch an den Rollen ab (→ **Bild 34**). Bei Kugellagern verfärben sich gewöhnlich die Kugeln (stumpfes Hell- bis Dunkelgrau) über ihre gesamte Oberfläche.

Der Umfang des Schadens hängt von einer Reihe von Faktoren ab: Stromstärke, Dauer des Stromflusses, Lagerbelastung, Drehzahl und Schmierstoff.

Bild 33 zeigt den Querschnitt eines Lagers in 500-facher Vergrößerung. Im weißen Bereich erlitt das Metall eine Neuhärtung auf typisch 66 bis 68 HRC. An diesen Stellen ist der Werkstoff sehr hart und spröde. Unter den Neuhärtungen befindet sich eine schwarze, durch die Wärmeeinwirkung



Krater aufgrund kriechstrombedingter Erosion

angelassene Schicht, die weicher ist (56 bis 57 HRC) als der sie umgebende Lagerwerkstoff.

Bildung eines Waschbrettmusters aufgrund kriechstrombedingter Erosion



Kriechstrombedingte Veränderungen der Werkstoffhärte

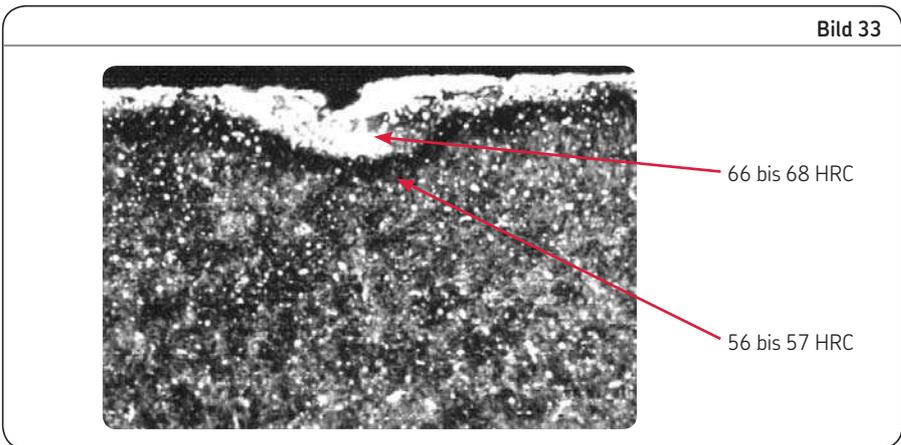
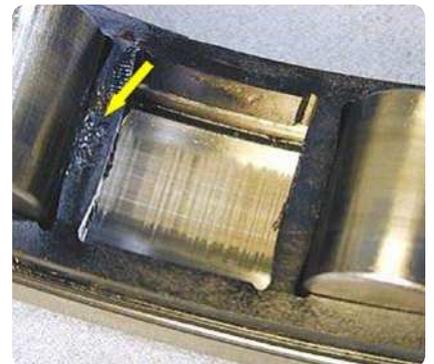
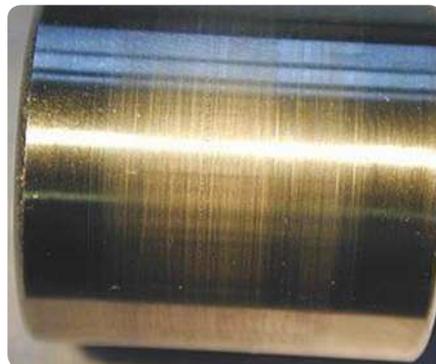
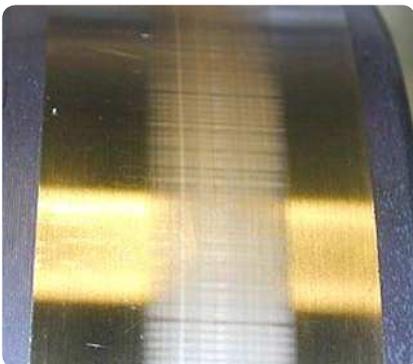


Bild 34 zeigt kriechstrombedingte Schäden an einem Zylinderrollenlager. An Laufbahnen und Rollen bildet sich ein Waschbrettmuster aus. Beachten Sie das Schmierfett an den Käfigtaschen. Bei Eintritt dieser Schadensart verkohlt das Schmierfett allmählich und verliert seine Fähigkeit, einen Schmierfilm zu bilden. Dies führt irgendwann zu Oberflächenermüdung, Schälung und sogar Festfressen.

Bildung eines Waschbrettmusters an Innen- und Außenringlaufbahnen sowie Rollenmantelflächen

Bild 34



Plastische Verformung

Überlastungsbedingte Verformung

5.5 Plastische Verformung

5.5.2 Örtliche Überlast durch Mikrokontakte

5.5.3 Überrollen von Partikeln: Eindrückungen

- Statische oder stoßartige Belastungen
- Vertiefungen (plastische Verformung) im Wälzkörperabstand
- Handhabungsschäden
- Örtliche Überlast
- Von harten/scharfen Gegenständen verursachte Kerben

Überlastverformung kann durch statische Überlastung, Stoßbelastung oder unsachgemäße Handhabung verursacht werden. Da die resultierenden Schäden in jedem dieser Fälle gleich aussehen, wurden sie in einer Schadensunterart zusammengefasst.

Bild 35 zeigt einen Fall, in dem sich der Käfig durch einen direkten Hieb verformt hat. Wenn dieses Lager in Betrieb genommen würde, wären laute Geräusche und starke Schwingungen die Folge.

Laufbahnen und Wälzkörper können eingedrückt werden, wenn die Einbaukraft auf die Wälzkörper übertragen wird (→ **Bild 36**) oder das Lager nicht umläuft, aber anormalen Belastungen ausgesetzt wird. Der Abstand zwischen den Eindrückungen entspricht dem Abstand zwischen den Wälzkörpern (→ **Bild 37**).

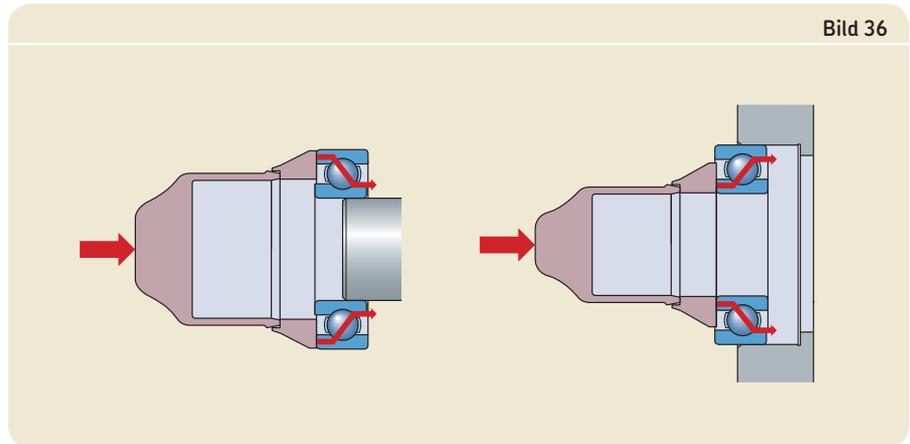


Bild 36

Örtliche Überlast durch Mikrokontakte aufgrund eines falschen Montageverfahrens

Plastische Verformung am Käfig eines Schrägkugellagers aufgrund unsachgemäßer Handhabung



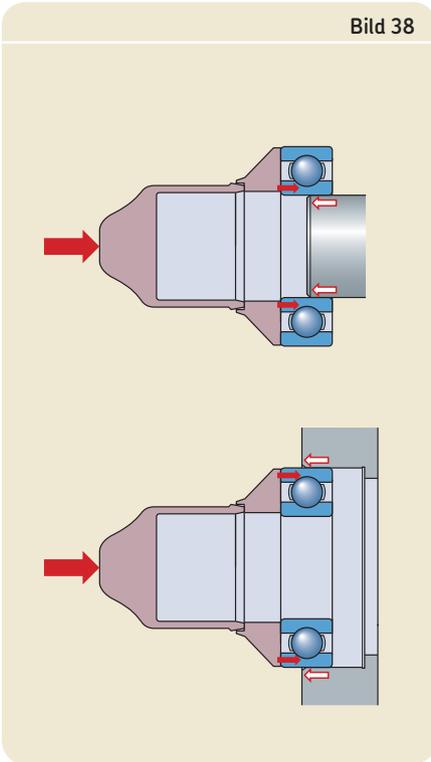
Bild 35

Kugeleindrückungen an der Laufbahn eines zweireihigen Schrägkugellagers aufgrund unsachgemäßer Montage



Bild 37

Bild 38



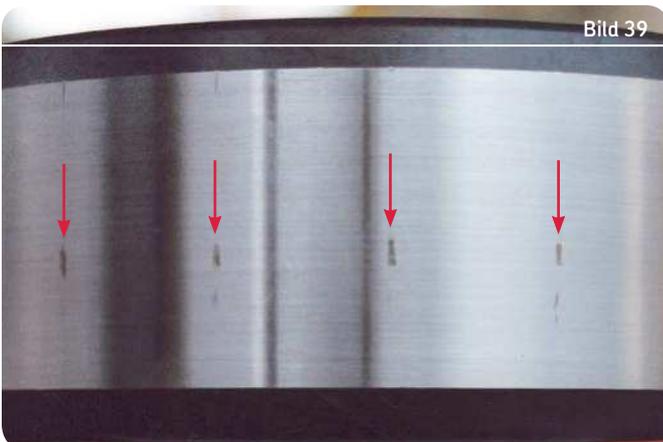
Sachgemäßer Einbau

Die Lösung: Verwenden Sie stets die richtigen Montagewerkzeuge und -verfahren (→ Bild 38).

Bei Fertigung, Transport, Lagerung und Montage kommt es auf richtige Handhabung an. Eine unsachgemäße Handhabung zeichnet sich durch örtliche Überlastung und sichtbare, durch harte und/oder scharfe Gegenstände verursachte Kerben aus. Bild 39 zeigt ein Beispiel für ein unsachgemäß montiertes Zylinderrollenlager in der Einbauphase. Die Rollen haben auf der Laufbahn des Innenrings im Wälzkörperabstand Verletzungen hinterlassen. Dieses Lager würde im Betrieb laute Geräusche und starke Schwingungen verursachen.

Innenring eines Zylinderrollenlagers mit Montageverletzungen

Bild 39



Überlastungsbedingte Verformung

5.5 Plastische Verformung

5.5.2 Örtliche Überlast durch Mikrokontakte

5.5.3 Überrollen von Partikeln: Eindrückungen

- Örtliche Überlast
- Überrollen von Partikeln: Eindrückungen
- Weicher bzw. gehärteter Stahl/hartes Mineral

Feste Verunreinigungen können über die Dichtungen oder den Schmierstoff in das Lager gelangen. Sie können auch das Ergebnis von Verschleiß oder Schäden an einer benachbarten Komponente (z. B. einem Zahnrad) sein.

Wenn eine feste Verunreinigung von den Wälzkörpern überrollt wird, wird sie in die Laufbahn gedrückt und hinterlässt eine Eindrückung. Dabei müssen die Partikel, die die Eindrückung erzeugen, nicht unbedingt hart sein. Sofern sie groß genug sind, können selbst eher weiche Partikel Schaden anrichten.

Die erhabenen Kanten einer Eindrückung führen durch Spannungserhöhung zu Oberflächenermüdung. Wenn die Ermüdung einen gewissen Grad erreicht, setzt im hinteren Bereich der Eindrückung vorzeitige eine Schälung ein (→ Bild 40). Die Schälung beginnt als Oberflächenriss.

Anhand der SKF Lebensdauertheorie lässt sich die eindrückungsbedingte Verkürzung der Lagergebrauchsdauer berechnen. Als wichtigste Betriebsdaten für die Berech-

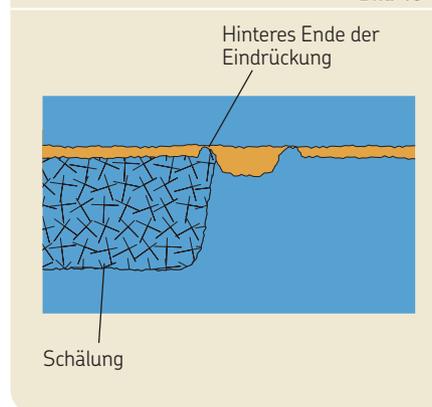
nung werden Lagertyp und -größe, Drehzahl, Lagerlast, Viskositätsverhältnis sowie Größe, Härte und Konzentration der Schmutzpartikel zugrunde gelegt.

Reinheit des Schmierstoffs und vorsichtige Handhabung bei der Montage tragen als wesentliche Faktoren zur Vermeidung von Eindrückungen bei.

Bild 41 zeigt eine durch eine Eindrückung verursachte Schälung an einem Rillenkugellager. Die Überrollrichtung ist von unten nach oben. Die V-Form ist ein typisches Merkmal für einen Eindrückungsschaden an einem Lager, bei dem die Schälung am hinteren Ende der Eindrückung beginnt und sich nach vorne hin öffnet.

In Bild 42 sind die Folgen eines Eindrückungsschadens deutlich zu sehen (Innenring eines Pendelrollenlagers). Die Überrollrichtung ist von rechts nach links. Eine relativ große, weiche Verunreinigung geriet in die Laufbahn und wurde überrollt. Am Grund der Eindrückung sind immer noch Bearbeitungsstrukturen sichtbar. Die erhabenen Kanten der Eindrückung sind eben-

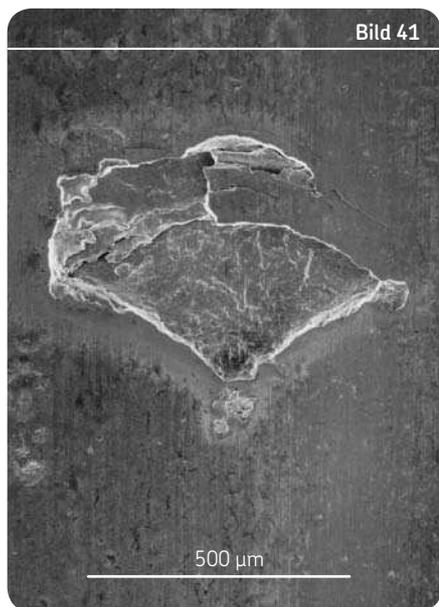
Bild 40



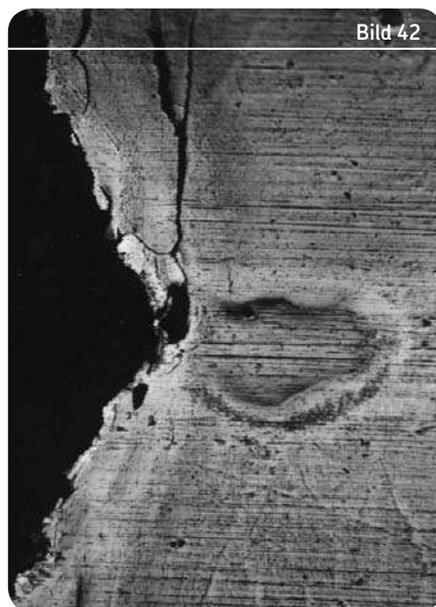
Am hinteren Ende einer Eindrückung beginnende Schälung

falls zu beachten. Links hinter der Eindrückung ist eine große Schälung (schwarz) zu sehen, wo sich Material abgelöst hat. Auch einige Risse sind sichtbar, die ebenfalls auf eine bevorstehende Materialablösung hinweisen.

Schälung infolge einer Eindrückung am Innenring eines Rillenkugellagers

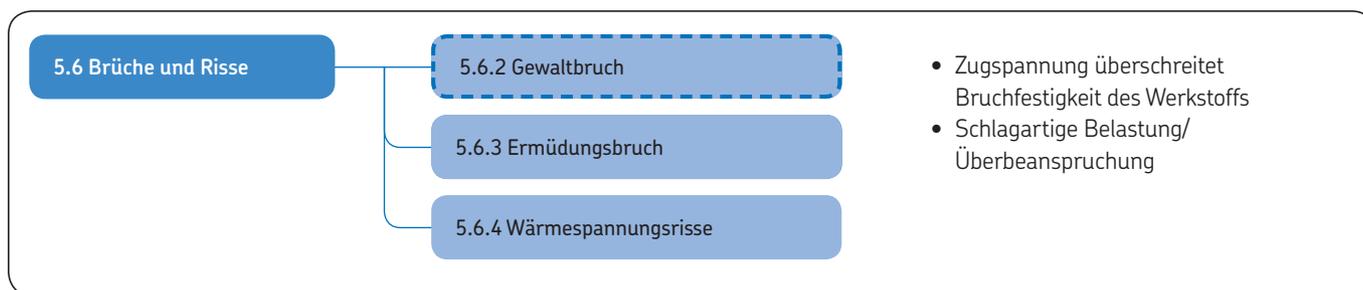


Schälung infolge einer Eindrückung an einem Pendelrollenlager



Brüche und Risse

Gewaltbruch



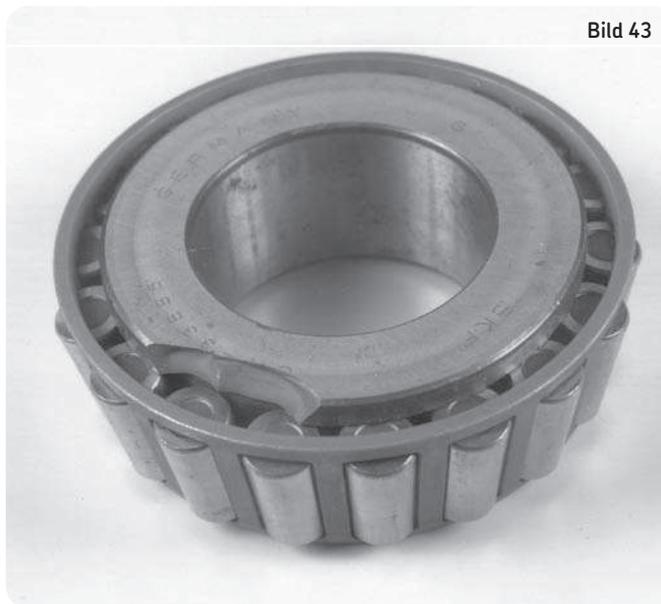
Wenn die anliegende Spannung die Zugfestigkeit des Werkstoffs übersteigt, kommt es zum Gewaltbruch. Häufige Ursachen für einen Gewaltbruch sind örtliche Überlastung und Überbeanspruchung.

Bild 43 zeigt einen Gewaltbruch infolge grober Behandlung, einer häufigen Ursache für Schäden dieser Art. Ein Beispiel dafür ist die Kaltmontage eines Lagers mit Hammer und Meißel.

Wenn direkt auf den Ring geschlagen wird, können feine Risse entstehen, die sich während des Betriebs des Lagers schnell zu durchgängigen Rissen entwickeln.

Ein zu langer Verschiebeweg (→ **Bild 44**) auf einem kegeligen Lagersitz kann zum Brechen des Innenrings führen. Die Ringspannungen (Zugspannungen), die infolge eines zu langen Verschiebewegs im Ring auftreten, führen während des Betriebs zum Reißen des Rings. Martensitgehärtete Ringe sind dafür anfälliger als bainitgehärtete Ringe.

Dieselben Schäden können eintreten, wenn Lager erwärmt und auf überdimensionierten Wellen montiert werden.

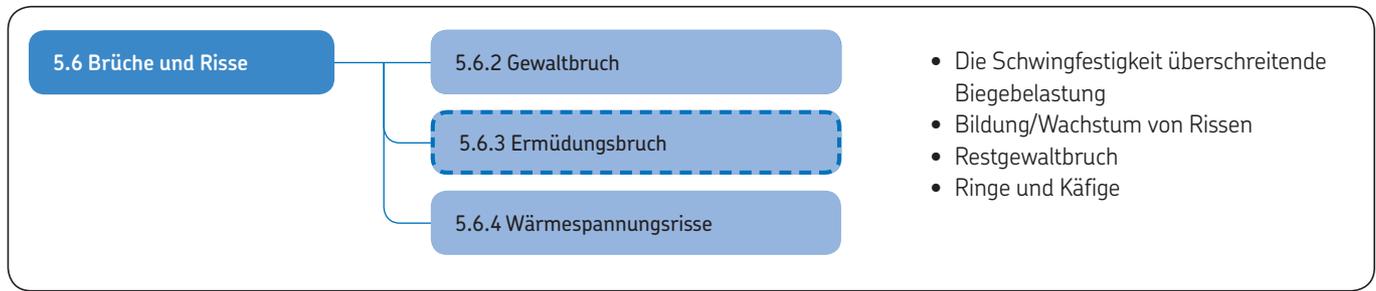


Durch grobe Behandlung verursachter Bruch an der breiten Schulter des Innenrings eines Kegelrollenlagers

Gebrochener Innenring eines Pendelrollenlagers infolge eines zu langen Verschiebewegs



Ermüdungsbruch



Ein Ermüdungsbruch tritt auf, wenn die Schwingfestigkeit (Dauerfestigkeit) eines Werkstoffs unter zyklischer Biegebelastung überschritten wird. Wiederholtes Biegen führt zu Haarrissen, die sich allmählich vergrößern, bis im Ring oder Käfig ein durchgehender Riss entstanden ist.

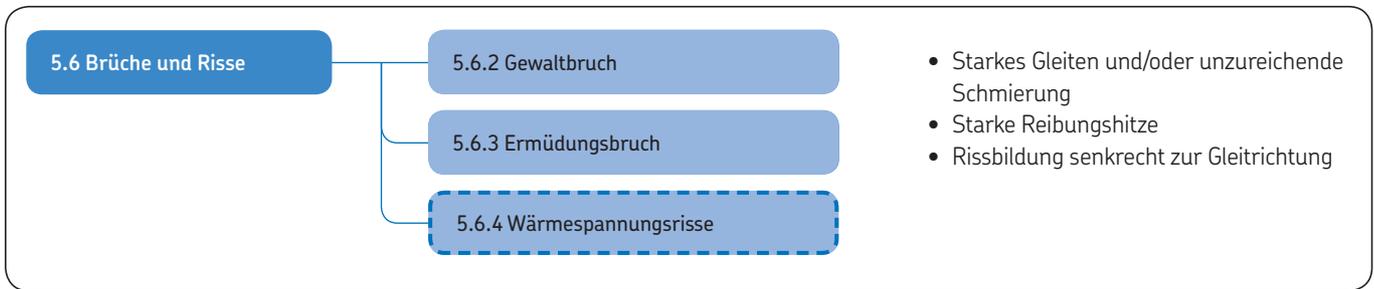
Bild 45 zeigt ein Beispiel für den eingeringenen Außenring eines Pendelrollenlagers. Das Lager wurde in ein Gehäuse mit unzureichender Tragfähigkeit in der Lastzone eingebaut. Infolgedessen wurde der Lageraußenring zyklischen Biegespannungen ausgesetzt, bis schließlich ein Riss im Ring entstand.

Ermüdungsbruch am Außenring eines Pendelrollenlagers



Bild 45

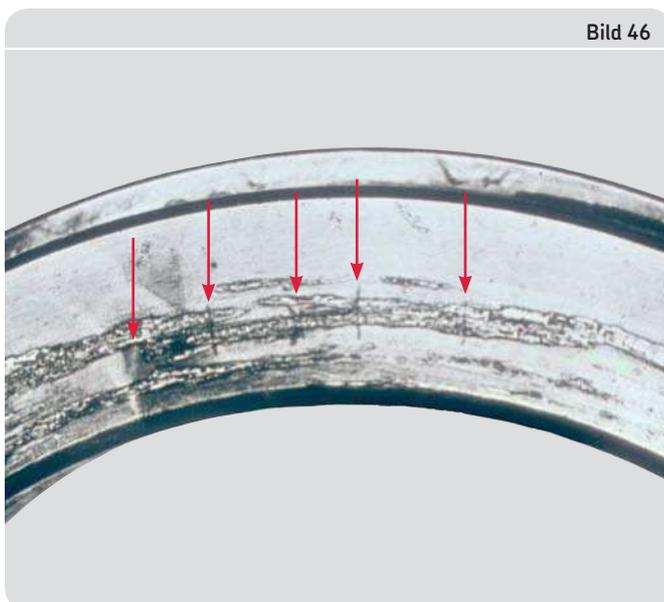
Wärmespannungsrisse



Zwei gegeneinander gleitende Flächen erzeugen Reibungswärme. Bei einer starken Gleitbewegung kann die Wärme Risse verursachen, gewöhnlich senkrecht zur Gleitrichtung.

Ein typisches Beispiel ist in **Bild 46** dargestellt. Ein drehender Innenring wurde mit loser Passung montiert und einer Axiallast ausgesetzt. „Wandern“ führte zu einer Gleitbewegung zwischen Lagerstirnseite und Wellenschulter, was Anschmierungen zur Folge hatte. Durch Reibungswärme entstehen querlaufende Risse, und irgendwann bricht der Ring.

Querlaufende Wärmespannungsrisse an der Stirnseite des Innenrings eines Kegelrollenlagers



5 Schäden und Maßnahmen

Dieses Kapitel dient zur Ergänzung von Kapitel 4, „ISO-Klassifizierung der Schadensarten“, und enthält eine Reihe zusätzlicher Illustrationen.

Es ist leider nicht möglich, auf alle Arten von Schäden einzugehen. Lagerschäden können unterschiedliche Formen annehmen und hängen von folgenden Faktoren ab: Lagertyp, Lagergröße, Betriebsbedingungen, Schmierung, Verunreinigung usw. Daher wird hier nur eine begrenzte Anzahl von Fällen dargestellt.

Die Abbildungen sind gemäß ISO-Klassifizierung nach Unterarten gegliedert. Jede Unterart wird von einer Liste möglicher Maßnahmen begleitet. Zu jeder Abbildung werden Angaben zu Lagertyp, beschädigter Komponente und möglicher Ursache gemacht.

Ermüdung aus der Tiefe

Maßnahmen:

- Sicherstellen, dass für die gegebenen Anwendungsbedingungen und entsprechenden Variationen (Last, Temperatur, Drehzahl, Schiefstellung, Montage usw.) das richtige Lager verwendet wird.
- Moderne, dem neuesten Stand der Technik entsprechende Qualitätslager verwenden.
- Sofern möglich, Lager der SKF Explorer Leistungsklasse mit verlängerter Lebensdauer verwenden.
- Sicherstellen, dass benachbarte Komponenten ordnungsgemäß konstruiert und gefertigt wurden.
- Auf richtigen Einbau achten.



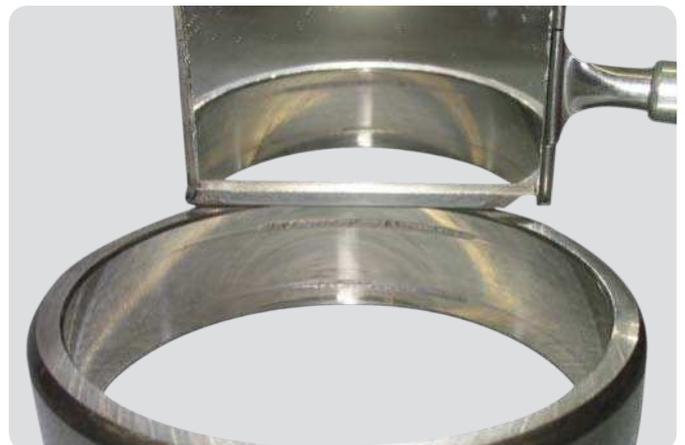
*Innenring eines Rillenkugellagers
Materialermüdung*



*Innenring eines Pendelrollenlagers
Materialermüdung*



*Innenring eines Kegelrollenlagers
Einseitige Laufbahnschälung aufgrund von Schiefstellung und dadurch verursachter Randbelastung, was zu höherer Beanspruchung und Ausfall führt*



*Außenring eines Pendelkugellagers
Schälungen im 180°-Abstand infolge von Ovalverspannung und daraus resultierender Überlastung*

Ermüdung von der Oberfläche

Maßnahmen:

- Sicherstellen, dass für die gegebenen Anwendungsbedingungen und entsprechenden Variationen (Last, Temperatur, Drehzahl, Schiefstellung, Montage usw.) das richtige Lager verwendet wird.
- Adäquate Schmierung sicherstellen: richtiger Schmierstoff, richtige Menge, richtige Schmierfrist.
- Flächentrennungsfähigkeit des Schmierstoffs verbessern (Schmierstoffviskosität, Additive, Schmierfettformulierung).
- Schmierstoffqualität regelmäßig kontrollieren.
- Verunreinigung auf ein Minimum reduzieren (verbesserte Abdichtung, Ölfilter).



Innenring eines Pendelrollenlagers
Unzureichende Schmierung, Oberflächenzerrüttung mit beginnender Schälung



Innenring eines Pendelrollenlagers
Unzureichender Schmierfilm: verunreinigungsbedingter abrasiver Verschleiß und schließlich Oberflächenzerrüttung und Schälung



Außenring eines Pendelrollenlagers
Oberflächenzerrüttung und fortgeschrittene Schälung infolge von verunreinigungsbedingtem abrasivem Verschleiß



Außenring eines Kegelrollenlagers
Oberflächenzerrüttung und fortgeschrittene Schälung infolge eines unzureichenden Schmierfilms



Innenring eines Zylinderrollenlagers
 Unzureichender Schmierfilm, starke Schiefstellung, fortgeschrittene Schälung



Außenring eines Zylinderrollenlagers
 Unzureichender Schmierfilm, leichte Schiefstellung, fortgeschrittene Schälung



Innenring eines Kegelrollenlagers
 Unzureichender Schmierfilm, großflächige Schälung



Innenring eines Rillenkugellagers
 Zu dünner Schmierfilm und Schälung infolge übermäßiger Axialbelastung



Innenring eines zweireihigen Schrägkugellagers
 Überlastung und zwei 180° auseinanderliegende Lastzonen infolge übermäßiger Schiefstellung



Innenring eines Rillenkugellagers
 Schälungen im Kugelabstand aufgrund von Stoßbelastung beim Einbau

5

Abrasiver Verschleiß

Maßnahmen:

- Sicherstellen, dass die verwendete Dichtungsanordnung den Betriebsbedingungen entspricht.
- Adäquate Schmierung sicherstellen: richtiger Schmierstoff, richtige Menge, richtige Schmierfrist.
- Zustand des Schmierstoffs regelmäßig kontrollieren.
- Zustand der Dichtungsanordnung regelmäßig kontrollieren.
- Gehäuse- und Wellenpassungen kontrollieren, um Wandern zu vermeiden.



Innenring eines Pendelrollenlagers
Abrasier Verschleiß der Laufbahnen aufgrund verunreinigungsbedingter unzureichender Schmierung – leicht glänzend



Außenring eines Pendelrollenlagers
Abrasier Verschleiß der Laufbahnen – frühes Stadium



Außenring eines Pendelrollenlagers
Abrasier Verschleiß der Laufbahnen. Die axial belastete Fläche ist außerdem teilweise verfärbt, was auf unzureichende Schmierung und Wärmeentwicklung hinweist. Die andere Laufbahn weist eine schmalere, matt glänzende Laufspur auf.



Innenring eines Pendelrollenlagers
Abrasier Verschleiß der Laufbahnen infolge von Verunreinigung durch feine Partikel – eher glänzend. Aufgrund von Käfigtaschenverschleiß haben die Käfige auf beiden Seiten eine Rille in den Werkstoff gegraben.



Innenring eines Pendelrollenlagers

Abrasiver Verschleiß der Laufbahnen aufgrund von Verunreinigung und daraus resultierender unzureichender Schmierung – eine Laufbahn ist infolge axialer Belastung stärker beschädigt



Innenring eines Pendelrollenlagers

Unzureichende Schmierung, abrasiver Verschleiß der Laufbahnen und beginnende Schälung auf einer Seite infolge eingedrungener Verunreinigungen



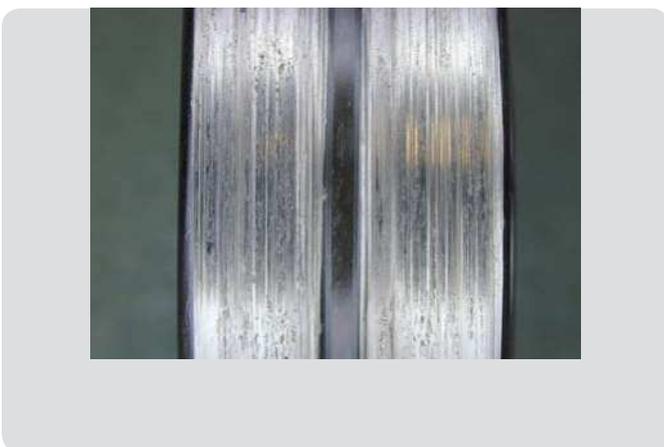
Innenring eines Pendelrollenlagers

Starker abrasiver Verschleiß an festem Innenring – zwei Verschleißzonen, eine davon mit starkem Verschleiß; Wandern des Innenrings führte zu zweiter Verschleißzone



Käfig eines Schrägkugellagers

Abrasiver Verschleiß der Käfigtaschen infolge unzureichender Schmierung und Schwingungen. Verschlissene Käfigstege.



Außenring eines Pendelrollenlagers

Wandern des Rings im Gehäuse aufgrund falscher Passung – Marken von abrasivem Verschleiß an Außenfläche



Außenring eines Pendelrollenlagers

Wandern des Rings im Gehäuse aufgrund falscher Passung – Anzeichen von abrasivem Verschleiß an Außenfläche

5

Adhäsiver Verschleiß

Maßnahmen:

- Sicherstellen, dass das Lager ausreichend belastet wird.
- Sicherstellen, dass die Dichtungsanordnung wirksam ist.
- Verwendung kleinerer Lager in Erwägung ziehen.
- Schmierstoffauswahl überprüfen (Viskosität, AW- und EP-Zusätze).
- Verwendung von Beschichtungen in Erwägung ziehen.
- Verwendung von Hybridlagern in Erwägung ziehen.



Innenring eines Pendelrollenlagers
Zu niedrige Last in Verbindung mit unzureichender Schmierung



Innenring eines Kegelrollenlagers
Adhäsiver Verschleiß des Bordes und glänzende Laufbahn infolge von Verunreinigung und unzureichender Schmierung



Kegelrollenlager – Rolle
Marken von adhäsivem Verschleiß an der breiten Rollenstirnseite infolge von Verunreinigung und unzureichender Schmierung



Außenring eines Axial-Pendelrollenlagers
Erst adhäsiver Verschleiß, dann übermäßige Wärmeentwicklung und schließlich Fressen

Feuchtigkeitskorrosion

Maßnahmen:

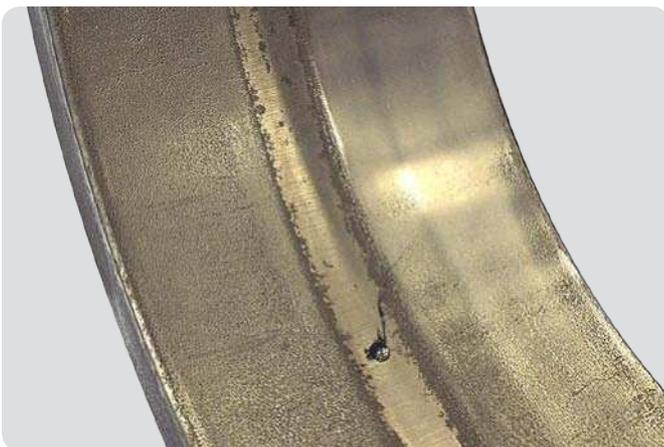
- Sicherstellen, dass die Lagerung ordnungsgemäß geschützt ist.
- Je nach Betriebsumgebung Verwendung von abgedichteten Lagern in Erwägung ziehen.
- Adäquate Schmierung sicherstellen: richtiger Schmierstoff, richtige Menge, richtige Schmierfrist.
- Lager nicht vor dem eigentlichen Einbau auspacken.
- Eingebaute Lager auf geeignete Weise schützen.



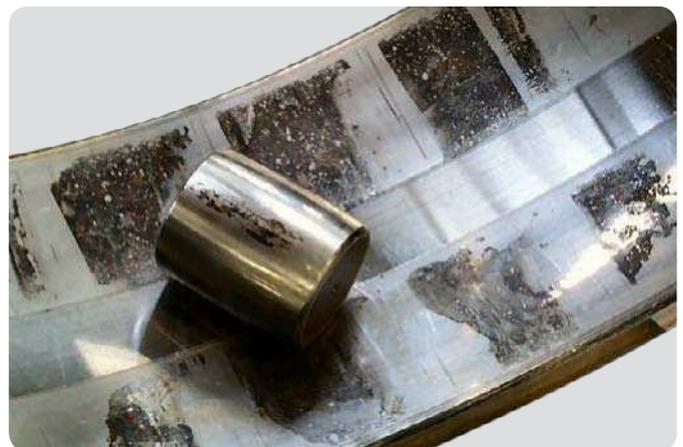
Kegelrollenlager in einer Pumpeneinheit
Dichtungsversagen, Lagerkorrosion und rötlich verfärbtes Schmierfett



Kugelrollenlager – Rolle
In das Lager eingedrungene große Wassermengen führten zur Korrosion der Rolle



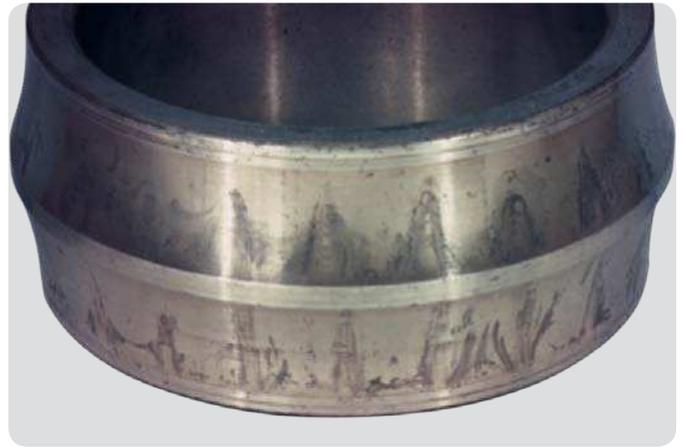
Außenring eines Pendelrollenlagers
Eine unwirksame Dichtungsanordnung führte zum Eindringen eines korrosiven Stoffs in das Lager



Außenring und Rolle eines Pendelrollenlagers
Zu hoher Wassergehalt im Schmierstoff, Stillstandskorrosion der Laufbahn im Rollenabstand



Außenring eines Pendelrollenlagers
Zu hoher Wassergehalt im Schmierstoff, beginnende Stillstandsmarken im Rollenabstand



Innenring eines Pendelrollenlagers
Durch Wasser verunreinigter Schmierstoff, Stillstandsmarken im Rollenabstand



Außenring eines Pendelrollenlagers
Unwirksame Dichtungsanordnung, Stillstandskorrosion

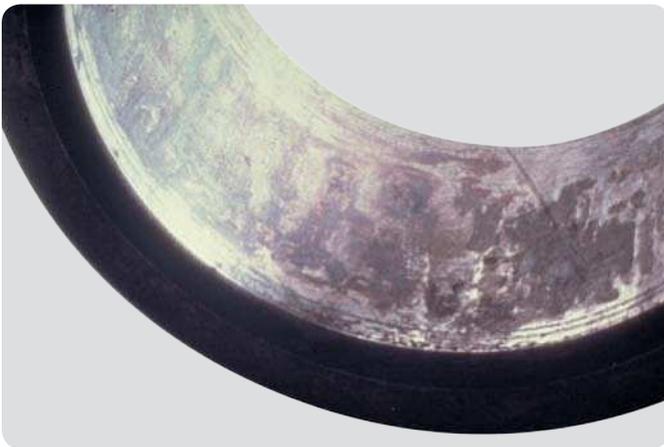


Kegelrollenlager – Rolle
Rostige Laufbahnoberfläche aufgrund von Fingerschweiß

Passungsrost

Maßnahmen:

- Richtige Passungen auswählen.
- Sicherstellen, dass die Lagersitze hinreichend maschinell bearbeitet wurden.
- Sicherstellen, dass die Lagersitze den Maß- und Formvorgaben entsprechen (auch nach Überholung der Maschine).
- Bei losen Passungen u. U. Montagepaste oder Korrosionsschutzschicht auf eine der Lagerflächen auftragen.



*Innenring eines Zylinderrollenlagers
Falsche Wellenpassung (zu lose)*



*Innenring eines Zylinderrollenlagers
Falsche Wellenpassung, ungleichmäßige Unterstützung*

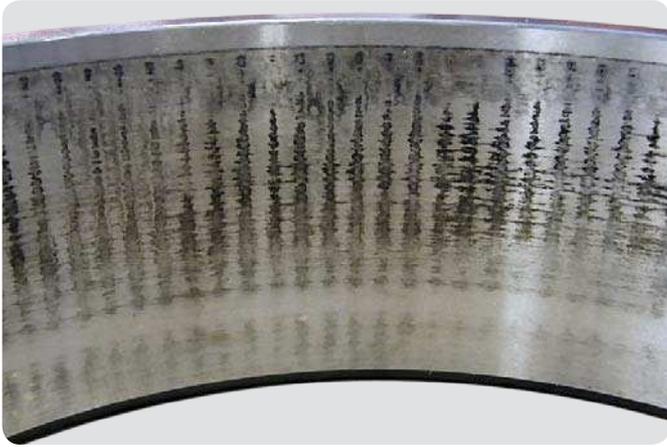


*Innenring eines Zylinderrollenlagers
Falsche Wellenpassung, ungleichmäßige Unterstützung*



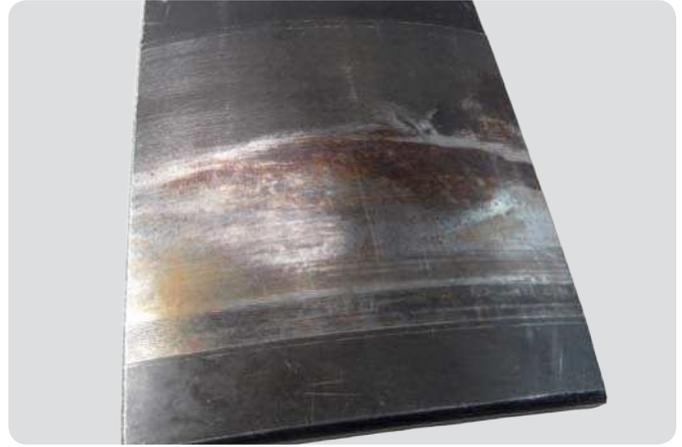
*Innenring eines Kegelrollenlagers
Falsche Wellenpassung*

5 Schäden und Maßnahmen



Innenring eines Kegelrollenlagers

Mikrobewegungsmarken in der Bohrung aufgrund von Welligkeit der Wellenoberfläche infolge unsauberer maschineller Bearbeitung



Außenring eines Kegelrollenlagers (phosphatiert)

Ungleichmäßige Unterstützung des Rings



Außenring eines Pendelrollenlagers

Brauner, durch Mikrobewegungen am Außendurchmesser entstandener Passungsrost als Folge fortgeschrittener Laufbahnschälung und beim Ausbau verursachter Kratzer



Außenring eines Pendelrollenlagers

Unzureichend unterstützter Ring



Wellenscheibe eines Axial-Pendelrollenlagers

Falscher Sitz

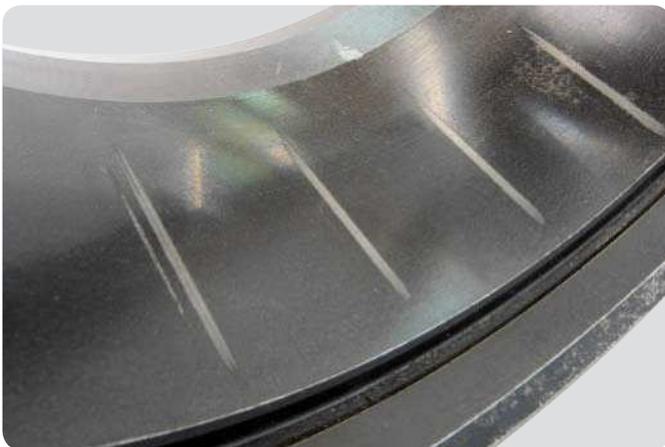
Stillstandsmarken (False Brinelling)

Maßnahmen:

- Lager im Stillstand keinen Schwingungen aussetzen.
- Installation von Dämpfungselementen in Erwägung ziehen.
- Schmierstoff mit Anti-Brinelling-Eigenschaften verwenden.
- Stehende Maschinen regelmäßig drehen.
- Geeignete Lagerkonstruktionen für Schwingungsmaschinen verwenden.



Innen- und Außenring eines Zylinderrollenlagers
Schwingungseinwirkung bei Stillstand, Stillstandsmarken im Rollenabstand



Außenring an einem zweireihigen Kegelrollenlager
Schwingungseinwirkung bei Stillstand, Stillstandsmarken im Rollenabstand



Wellenscheibe eines Axialkugellagers
Schwingungseinwirkung bei Stillstand, wiederholte Stillstandsmarken im Kugelabstand



Innenring eines CARB Toroidalrollenlagers
Schwingungseinwirkung bei Stillstand mit kleinen oszillierenden Bewegungen, Stillstandsmarken im Rollenabstand



Außenring eines Pendelrollenlagers
Einwirkung starker Schwingungen bei Stillstand, Reihen von Stillstandsmarken im Rollenabstand

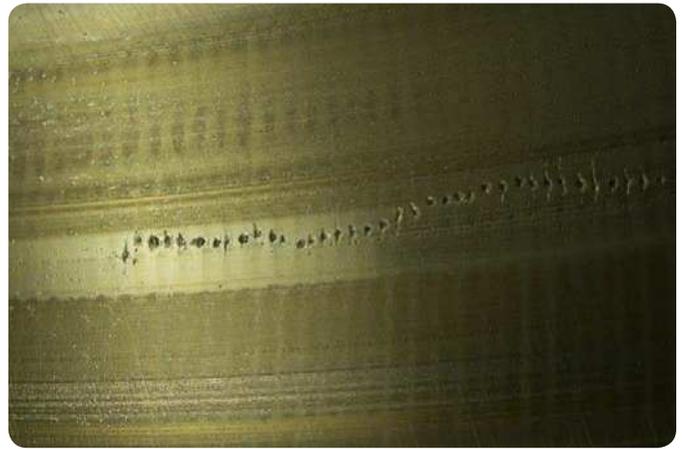
Überstrom

Maßnahmen:

- Ordnungsgemäße Installation der Erdungsanschlüsse sicherstellen.
- Isolierte Lager verwenden (INSOCOAT oder Hybridlager).



Kugellager – Rolle
Große Anzahl stromdurchgangsbedingter Krater in perlenschnurartiger Anordnung



Kugellager – Rolle
Vergrößerte Ansicht von Kratern in perlenschnurartiger Anordnung



Kugellager – Rolle
Große Anzahl stromdurchgangsbedingter Krater in zickzackförmiger Anordnung

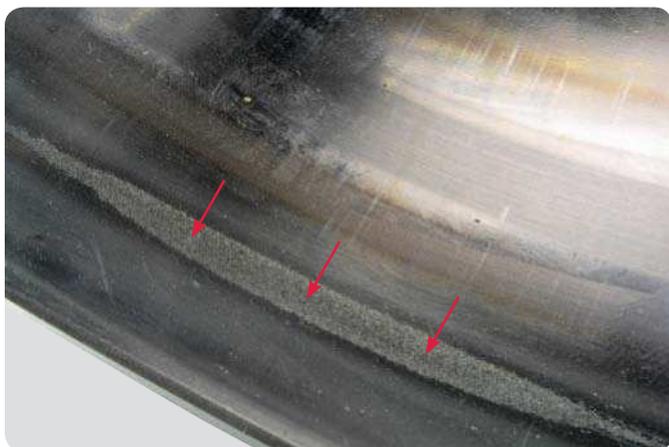


Innenring und Kugel eines Rillenkugellagers
Im Zickzackmuster angeordnete stromdurchgangsbedingte Krater an Kugel und Laufbahn

Kriechstrom

Maßnahmen:

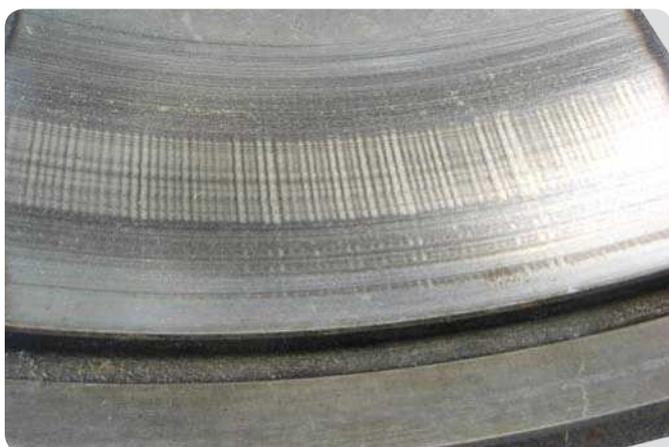
- Symmetrische Kabel verwenden.
- Ordnungsgemäße Ausrichtung von Stator und Rotor sicherstellen.
- Isolierte Lager verwenden (INSOCOAT oder Hybridlager).
- Ordnungsgemäße Installation der Erdungsanschlüsse sicherstellen.



Außenring eines Pendelrollenlagers
Schaden im Anfangsstadium: strumpfe, graue Zone mit kleinen flachen Kratern



Außenring eines Zylinderrollenlagers
Waschbrettmuster im Anfangsstadium



Außenring eines Kegelrollenlagers
Waschbrettmuster im Anfangsstadium



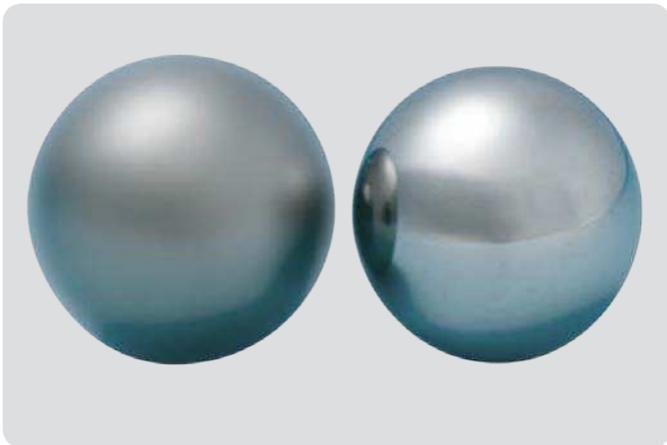
Außenring eines Pendelrollenlagers
Kriechstromschädigung



Außenring eines Zylinderrollenlagers
Waschbrettmuster in fortgeschrittenem Stadium



Außenring und Kugel eines Rillenkugellagers
Waschbrettmuster an der Außenringlaufbahn und matte Kugeloberfläche



Rillenkugellager – Kugeln
Links: beschädigte Kugel – matte Oberfläche
Rechts: neue Kugel – glänzende Oberfläche



Außenring eines Zylinderrollenlagers mit Käfig, Rollen und Schmierfett
Verbranntes Schmierfett (schwarz) an Käfigstegen infolge von Kriechströmen

Überlast

Maßnahmen:

- Geeignete Lagereinbauverfahren verwenden.
- Geeignete Werkzeuge oder Einpressdorne verwenden.
- Montagehinweise und -anweisungen genau befolgen.



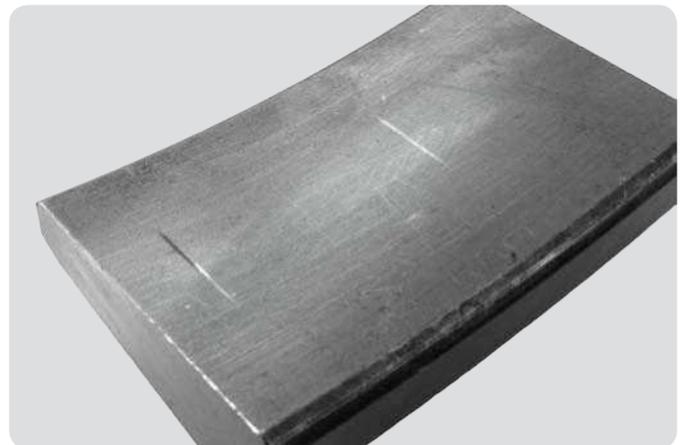
Innenring eines Zylinderrollenlagers
Innen- und Außenring wurden bei der Montage nicht richtig ausgerichtet.
Axiale Marken im Rollenabstand.



Innenring eines Zylinderrollenlagers
Innen- und Außenring wurden bei der Montage nicht richtig ausgerichtet.
Axiale Marken im Rollenabstand.



Außenring eines Kegelrollenlagers
Durch unsachgemäße Handhabung verursachte Riefen



Außenring eines Kegelrollenlagers
Bei der Montage verursachte Riefen



Außenring an einem zweireihigen Kegelrollenlager
Verformung und darauf folgende Schälung im Rollenabstand durch Überbeanspruchung und Schiefstellung im Stillstand



Axial-Kugellager – Rolle
Starke Schlageinwirkung, plastische Verformung



Außenring eines Rillenkugellagers
Plastische Verformung im Kugelabstand durch Krafteinwirkung auf den falschen Ring bei der Montage



Auf Eisenbahnradsatz montiertes Kegelrollenlager
Bleibende Verformung (Abplattung) durch direkten Hieb auf den Käfig bei der Montage

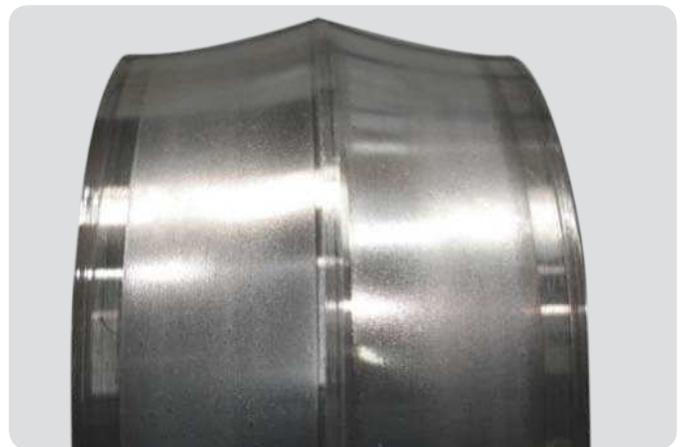
Eindrückungen

Maßnahmen:

- Saubere Arbeitsbedingungen sicherstellen.
- Lager durch geeignete Abdichtung schützen.
- Adäquate Schmierung sicherstellen: richtiger Schmierstoff, richtige Menge, richtige Schmierfrist.
- Lager niemals fallen lassen.
- Lager mit Sorgfalt behandeln.



Innenring eines Rillenkugellagers
Eindrückungen durch Überrollung metallischer Partikel – unwirksame Dichtungsanordnung



Innenring eines Pendelrollenlagers
Viele kleine Eindrückungen durch Überrollung feinsten Partikel – unwirksame Dichtungsanordnung



Außenring eines Pendelrollenlagers
Überrollung metallischer Partikel, die während der Montage eingedrungen sind – mangelnde Sauberkeit



Außenring eines Pendelrollenlagers
Überrollter Span führt zu Schälung



Innenring eines Kegelrollenlagers
Eindrückungen großer metallischer Partikel, die aufgrund einer unwirksamen Dichtungsanordnung in das Lager eingedrungen sind



Rillenkugellager – Kugel
Durch Partikeleindrückungen geschädigte Kugeloberfläche infolge stark verunreinigten Schmierstoffs



Innenring eines Rillenkugellagers
Durch Überrollen von Partikeln verursachte Schälung, beginnend am in Rollrichtung hinteren Ende von Eindrückungen (so genanntes „V-Pitting“)



Außenring eines Pendelrollenlagers
Überrollen von Spänen, die während der Montage eingedrungen sind – mangelnde Sauberkeit

Gewaltbruch

Maßnahmen:

- Richtige Passungen auswählen.
- Geeignete Lagereinbauverfahren verwenden.
- Geeignete Werkzeuge oder Einpressdorne verwenden.
- Montagehinweise und -anweisungen genau befolgen.
- Beim Einbau von Lagern niemals Gewalt anwenden und die Einwirkung von Einbaukräften auf Wälzkörper vermeiden.



Innenring eines Kegelrollenlagers
Das Lager wurde auf einer überdimensionierten Welle angebracht



Stirnseite des Außenrings eines Rillenkugellagers
Bruch an Dichtungsnut aufgrund von Gewalteinwirkung beim Einbau des Lagers



Außenring eines Pendelkugellagers
Bruch infolge übermäßiger Schiefstellung und über der Laufbahnkante laufender Kugeln



Zylinderrollenlager – Innenring, Außenring und Rollen
Festgefressenes Lager – Gewaltbruch am Käfig infolge von Schmierproblemen

Ermüdungsbruch

Maßnahmen:

- Sicherstellen, dass die Lagersitze den Formvorgaben entsprechen.
- Bei geteilten Gehäusen darauf achten, dass die beiden Hälften richtig fluchten.
- Die Lagersitze müssen sauber sein (keine Späne, die größere örtliche Spannungen verursachen könnten).
- Geeignete Montagewerkzeuge und -verfahren verwenden.



Innenring eines Zylinderrollenlagers
Starke Schälung – Ermüdungsbruch als Folgeschaden



Innenring eines Pendelrollenlagers
Starke Schälung – Ermüdungsbruch als Folgeschaden



Außenring eines Pendelrollenlagers
Gewaltbruch infolge eines falschen Gehäusesitzes (am Boden des Gehäuses eingeschlossene Späne)



Außenring eines Pendelrollenlagers
Passungsrstbedingter Gewaltbruch durch falschen Gehäusesitz

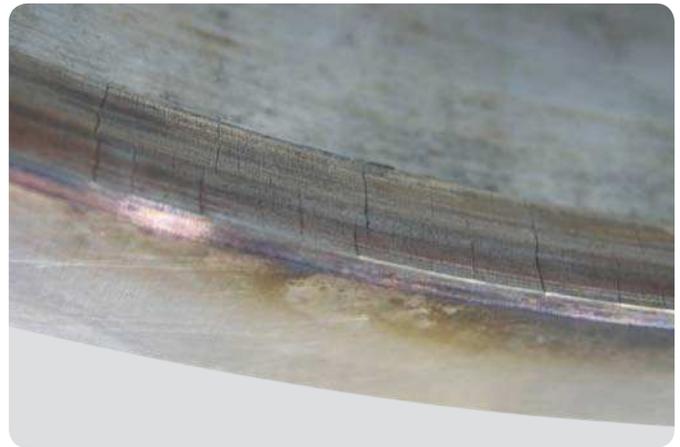
Wärmespannungsrisse

Maßnahmen:

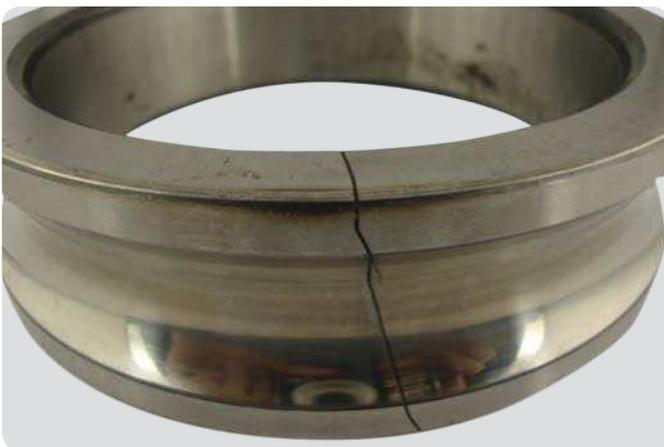
- Gleitflächen schmieren oder beschichten, um örtliche Temperaturspitzen zu vermeiden.
- Adäquate Schmierung sicherstellen: richtiger Schmierstoff, richtige Menge, richtige Schmierfrist.
- Technischen SKF Beratungsservice nach anwendungsspezifischen Lösungen fragen.



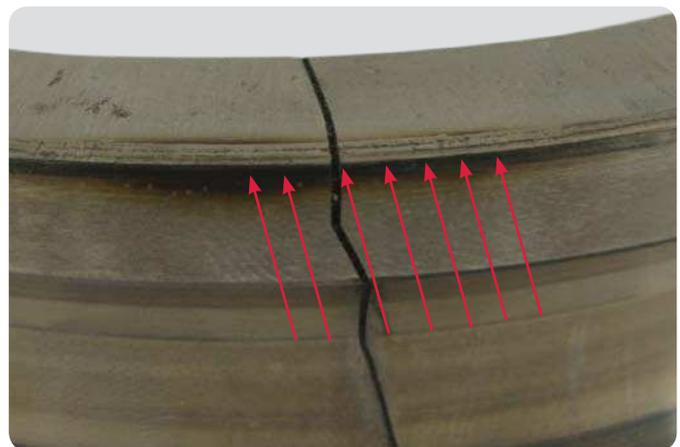
Außenring eines Zylinderrollenlagers
Wärmespannungsrisse an Kontaktfläche zwischen Schulter und Käfig aufgrund unzureichender Schmierung



Außenring eines Zylinderrollenlagers
Wärmespannungsrisse an Kontaktfläche zwischen Schulter und Käfig aufgrund unzureichender Schmierung



Innenring eines Rillenkugellagers
Ringbruch infolge übermäßiger Reibung an feststehendem Teil der Lagerbaugruppe



Innenring eines Rillenkugellagers
Vergrößerte Ansicht des gebrochenen Rings mit zahlreichen Wärmespannungsrisse an der Innenringschulter

6 Sonstige Untersuchungen

Der Gültigkeitsbereich der ISO-Norm 15243 beschränkt sich auf:

- Schäden und Veränderungen im Erscheinungsbild, die während des Betriebs aufgetreten sind
- Veränderungen im Erscheinungsbild, die mit hoher Sicherheit bestimmten Ursachen zugeschrieben werden können
- Schadensbeurteilung mit zerstörungsfreien Verfahren

Angesichts dieser Einschränkungen ist es nicht immer möglich, die Ursache eines Schadens festzustellen. Unter Umständen sind ergänzende Untersuchungen erforderlich. SKF bietet eine Reihe von weiterführenden Untersuchungen in folgenden Kompetenzbereichen an:

Metallurgie

- Bewertung aller Arten von Wärmebehandlung
- Untersuchung von Mikro- und Makroinschlüssen, mikrostrukturellen Anomalien, Karbidnetzwerk und Seigerungen, Korngröße, Faserverlauf, Oberflächenfehlern, Härtebarkeit und weiteren metallurgischen Parametern
- Härteprüfung, Bestimmung von Zugfestigkeit, Streckgrenze und Dehnung, Komponentenprüfung und Prüfung weiterer technischer Parameter
- Metallurgische Untersuchungen
- Unterstützung bei der Ausarbeitung von Spezifikationen für Werkstoffe, Prüfungen und Wärmebehandlung
- Ultraschall-Tauchprüfung (komplette Ringe, Rollen usw.)



Gefügeanalyse



Vorbereitung von Werkstoffproben



Ultraschall-Prüfstand

Schadens- und Beanspruchungsanalyse

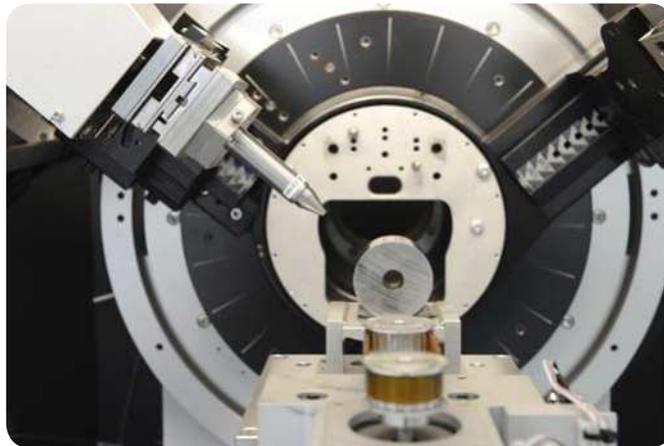
- Schadensanalyse von Lagern und anderen Komponenten (z. B. Gehäuse, Nockenwellen) aus Produktion, Prüfstandsversuchen und Feldrückläufen
- Metallografie und Werkstoffprüfung
- Mikroanalyse von Partikeln und Lagerverunreinigungen, Reaktionsschichten und Beschichtungen
- Röntgenbeugungsgestützte (XRD) Beanspruchungsanalyse von Lagern aus Prüfstandsversuchen oder dem Feld zur Bestimmung des Mechanismus und Fortschritts der Werkstoffschädigung
- XRD-Phasenanalyse zur Messung des Restaustenitgehalts
- Werkstoff- und Technologieberatung

Chemie – Eigenschaften und Verhalten

- Bewertung der physikalischen und chemischen Eigenschaften von Schmierstoffen, Polymeren und Dichtungsmaterialien
- Schmierstoffprüfung zur Bestimmung der Restgebrauchsdauer sowie der Mengen und Arten von Verunreinigungen
- Elementaranalyse von Werkstoffen
- Prüfung der chemischen Zusammensetzung von Metallen durch optische Emissionsspektrometrie bzw. Inertgasschmelz- oder Ausbrandverfahren
- Bewertung von Konservierungsmitteln und Beschichtungen
- Verträglichkeitsprüfung von Schmierstoffen, Polymeren und Dichtungsmaterialien
- Sauberkeitsprüfung von Schmierstoffen und Lagern, einschließlich Teilchenzählung und gravimetrischer Untersuchung



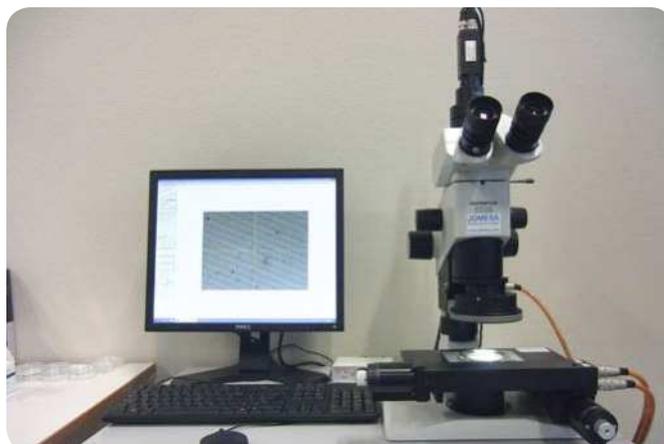
Rasterelektronenmikroskop



Röntgendiffraktometer



Sauberkeitsprüfung (Verunreinigungsanalyse) – Spülung



Sauberkeitsprüfung (Verunreinigungsanalyse) – automatische Auswertung

7 Fallstudien

In diesem Kapitel werden einige Fallstudien betrachtet. Einige davon waren zwar komplex, doch gelang es SKF Technikern mithilfe weiterführender Untersuchungen, den Schadensablauf festzustellen und Gegenmaßnahmen zu empfehlen.

Zugentgleisung

Hintergrundinfo

Branche:	Schienenfahrzeuge
Einsatzbereich:	SKF Radsatzlager für Güterwagons (→ Bild 1 und 2) mit einer Achsnutzlast von 20 Tonnen
Lager:	2 x SKF 229750 J/C3R505 pro Radsatzlager
Problem:	Entgleisung

Güterwagons mit „Y-25“-Drehgestell, einschließlich integriertem Radsatzlager mit Doppelfederaufhängung



Ein Frachtzug passierte einen Heißläuferanzeiger (Gerät zur Erkennung von heißlaufenden Lagern; Geräte dieser Art sind in regelmäßigen Abständen an den Gleisen platziert). Alles schien normal.

Nach 35 km entgleiste der Zug jedoch. Die Achse eines Radsatzes war gebrochen. Der betroffene Wagon war erst kurz zuvor von einem bevollmächtigten Eisenbahnausbesserungswerk überholt worden.

Beobachtungen und Beschreibung des Lager- und Radsatzschadens

Dies war eindeutig mehr als nur ein „Heißläufer“ (→ **Bild 3**). Der Außenring des getriebeseitigen Lagers war stark verformt. Nach dem Grad der Verformung zu urteilen, musste das Metall eine Temperatur von weit über 800 °C erreicht haben.

Zwischen dem Außenring des getriebeseitigen Lagers und der Labyrinthdichtung war eine Lücke von 21 mm Breite entstanden (**Bild 3**, unten links).

Die Breite des Abstandshalters auf der Welle betrug nur 14 mm.

Schadensanalyse

Es gibt zwei verschiedene Ausführungen dieses Radsatzlagers, die fast identisch sind:

- Bei der älteren Ausführung, um die es hier geht und die für eine Achsnutzlast von 20 Tonnen ausgelegt ist, wurde ein Abstandshalter von 35 mm Breite zwischen den Lagerinnenringen verwendet.
- Bei der neueren, für eine Achsnutzlast von 22,5 Tonnen ausgelegten Ausführung hingegen betrug die Breite des Abstandshalters 14 mm. Aufgrund des kürzeren Abstandshalters wurde eine kürzere, stärkere Welle verwendet, um die größere Nutzlast aufzunehmen.

Der kürzere Abstandshalter wurde offenbar während der Überholung eingebaut. Die Lagerinnenringe wurden somit nicht richtig axial verspannt und konnten sich auf ihrem Wellensitz in Richtung Radseite bewegen, was eine stärkere Wellendurchbiegung zur Folge hatte. Zudem saßen die Außenringe nicht richtig im Radsatzlagergehäuse, sodass es in den Labyrinthdichtungen zu Axialkontakt kam. Dies führte zu hoher Reibungshitze, Festfressen der Lager, Wellenbruch und Entgleisung.

Schlussfolgerungen

Der Einbau eines falschen Teils, wenn auch nur eines kleinen Abstandshalters, verursachte sehr hohe Gesamtkosten (Schiene, Fahrleitung, stundenlange Verkehrsunterbrechung, sechs schrottreife Wagons).

Reste des ausgefallenen Radsatzlagers (Schnitt), wie sie für die Schadensanalyse vorgelegt wurden

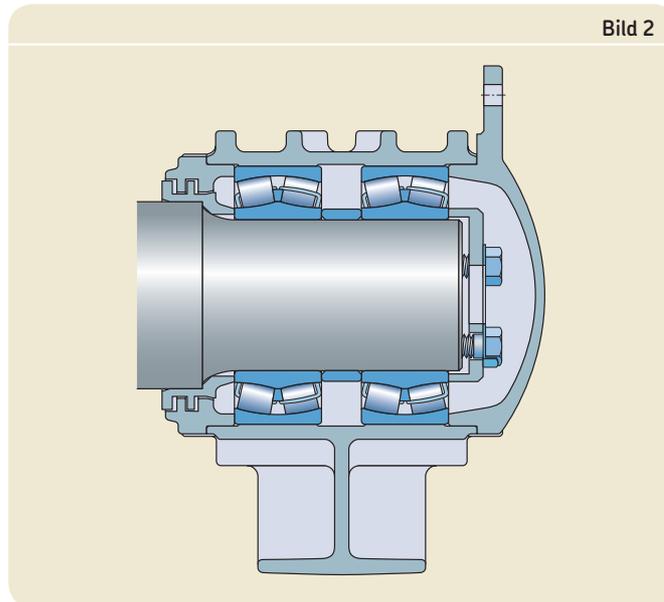


Bild 2

Typische Radsatzlagerung für eine Nutzlast von 20 Tonnen

Die Innenringe sowohl des getriebe- als auch des radseitigen Lagers werden durch folgende Elemente in Position gehalten: einen Labyrinthring auf der Welle, einen 35 mm breiten Abstandshalter zwischen den Innenringen und eine Endplatte. Das Radsatzlager wird axial von einem geteilten Labyrinthdeckel an der Getriebeseite und einem Enddeckel an der Radseite begrenzt.

Empfehlungen für den Kunden

Instandhaltungsanweisungen verbessern und sicherstellen, dass sie eindeutig sind.

Gegenmaßnahmen

Der Kunde überprüfte und verbesserte die Instandhaltungsanweisungen, um sicherzustellen, dass sich derartige Unfälle nicht wiederholen.

Elektromotor mit veränderlicher Drehzahl

Hintergrundinfo

Branche:	Zellstoff- und Papierindustrie
Einsatzbereich:	Elektromotor mit veränderlicher Drehzahl im Aufrollbereich (→ Bild 4) einer Tissuepapiermaschine, 400 VAC mit Frequenzumrichter
Lager:	Loslager: NU 322 ECM/C3VL024 (isoliert) Festlager: 6322 M/C3VL024 (isoliert)
Geschwindigkeit:	variabel, 1 000 bis 1 500 min ⁻¹
Schmierung:	SKF LGEP 2 Schmierfett – manuelle Schmierung
Problem:	durchschnittliche Lagergebrauchsdauer von nur 1 bis 2 Monaten

Beobachtungen und Beschreibung des Lagerschadens

Nach nur einmonatigem Betrieb wies das Zylinderrollenlager schwere Schäden auf. (Das Kugellager war nicht betroffen.) Die Maschine wurde aufgrund starker Schwingungen gestoppt.

Innenring

Die Laufbahn war stark verschlissen. Der Verschleiß war unregelmäßig. An einigen Stellen waren Abflachungen erkennbar. Die Laufbahn hatte ein stumpfes, graues Aussehen (→ Bild 5a).

Außenring

Die Laufbahn war stark verschlissen (Lastzone). Der Verschleiß war unregelmäßig. Es waren Marken sichtbar, wie sie durch Schwingungen verursacht werden (Waschbrettmuster). Die Laufbahn hatte ein stumpfes, graues Aussehen (→ Bild 5b).

Die Isolierschicht an den Außenflächen war intakt.

Schadensanalyse

Die Sichtprüfung offenbarte nur ein unregelmäßiges Wellenmuster, das wie starker Schwingungverschleiß aussah.

Nach näherer Betrachtung der beschädigten Ringe und Gesprächen mit dem Kunden kamen zwei Ursachen in Frage:

- 1) übermäßig starke Schwingungen
- 2) Stromdurchgang durch die Lager

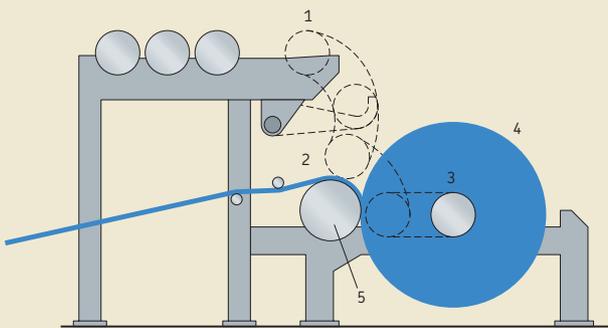
Der Kunde bestätigte jedoch, dass „isolierte“ Lager verwendet wurden und alle Maschinen ordnungsgemäß mit schwingungsdämpfenden Gummipolstern ausgestattet waren.

Da keine der beiden möglichen Ursachen definitiv zu sein schien, ging das Lager zu weiteren Untersuchungen ans Labor zurück.

Typisches Layout eines Tambours (Wickelrolle)

Bild 4

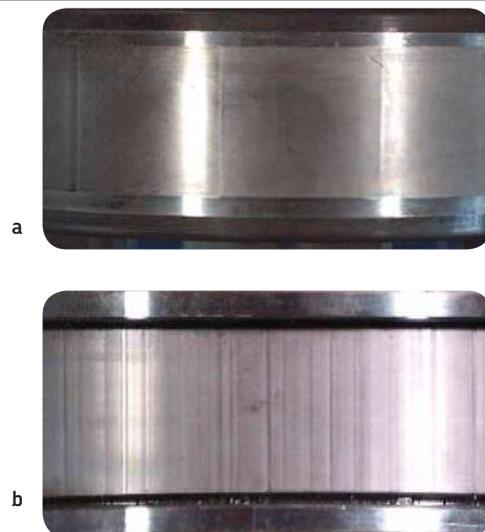
- | | |
|------------------------------------|------------------|
| 1 Verwahrstellung der Tambourspule | 3 Wickelstellung |
| 2 Bahnwechsel auf leere Spule | 4 Tambour |
| | 5 Tambourwalze |



Die Tambourwalze wird vom Elektromotor mit variabler Drehzahl angetrieben

Ausgeprägte Verschleiß- und Schwingungsmarken an den Laufbahnen des Innenrings (a) und Außenrings (b) des Zylinderrollenlagers

Bild 5



Das Lager wurde getrennt. Die Laufbahnen und ein Schnitt durch den Innenring wurden unter dem Mikroskop untersucht – dies führte zu einigen interessanten Erkenntnissen:

An der Laufbahnoberfläche waren Mikrokrater zu sehen, die das Ergebnis eines schädlichen elektrischen Stroms waren, der durch das Lager geflossen war (Kriechstrom) → Bild 6 und 7).

Dadurch entstand das Waschbrettmuster. Danach wurde nach und nach eine große Menge Material abgetragen, was zu dem merkwürdigen Verschleißbild an den Laufbahnen des Innen- und Außenrings führte.

Schlussfolgerungen

Die Schadensart ist eindeutig kriechstrombedingte Erosion (ISO 5.4.3).

Empfehlungen für den Kunden

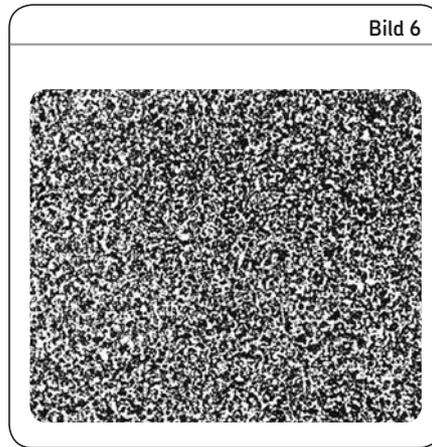
Elektrisches System kontrollieren.

Gegenmaßnahmen

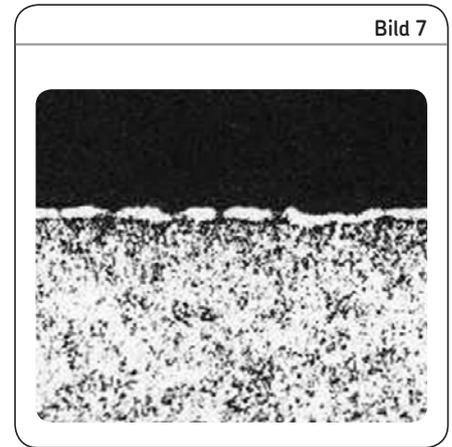
Da hochfrequenter Stromdurchgang als Ursache des Lagerschadens festgestellt wurde, kontrollierte der Kunde das gesamte elektrische System.

Die Untersuchung ergab, dass während einer Reparatur des Motors das Massekabel (Erdungskabel) getrennt und wieder angeschlossen wurde.

Nachdem das Massekabel wieder angeschlossen und ein neuer Satz isolierter Lager eingebaut wurde, traten keine weiteren Probleme auf.



Laufbahnoberfläche des Innenrings in 150-facher Vergrößerung mit einer großen Anzahl von Mikrokratern



Querschnitt des Innenrings in 500-facher Vergrößerung

Der dünne, helle Streifen am oberen Rand (unterhalb des schwarzen Bereichs) ist die Laufbahnoberfläche. Hier wurde der Werkstoff aufgrund der erzeugten Wärme im Kontaktbereich neugehärtet. Unter dem hellen Bereich ist ein dünner grauer Streifen zu sehen, der angelassen wurde. Darunter wiederum hat der Stahl seine normale Härte behalten.

Tonknetterproblem

Hintergrundinfo

Branche:	Baumaschinen
Einsatzbereich:	Tonknetter in einer Ziegelsteinfabrik
Lager:	SKF 24044 CCK/C3W33 – Festlager
Lasten:	unbekannt, aber relativ hoch mit Stoßbelastungen
Geschwindigkeit:	unter 100 min ⁻¹
Temperatur:	ca. 30 °C
Schmierung:	SKF LGEP 2 Schmierfett
Nachschmierung:	30 g alle 30 Stunden
Problem:	vorzeitiger Lagerausfall – Lagergebrauchsdauer von 1,5 Jahren

Beobachtungen und Beschreibung des Lager Schadens

Radiale Lagerluft

Nach dem Waschen und vor dem Zerlegen wurde für das Lager eine radiale Lagerluft von 0,900 mm gemessen. Bei einem neuen Lager liegt sie zwischen 0,250 und 0,320 mm.

Als sich der Innenring drehte, fielen die Rollen aus den Käfigtaschen.

Innenring

Die Bohrung wies keine Anzeichen von Passungsrost auf, und die Seitenflächen waren unbeschädigt.

An den Laufbahnen war starker abrasiver Verschleiß zu erkennen. Am Rand beider Laufbahnen hatten die Käfige eine Rille gegraben, was darauf hinweist, dass sie mit den Laufbahnen in Kontakt gekommen sein müssen. Die Laufbahnen hatten ein stumpfes, graues Aussehen (→ Bild 8).

Sie wiesen kleine Korrosionsstellen auf, die jedoch nicht von Überrollen herrührten.

Einige querlaufende Anschmiermarken (im Rollenabstand) waren beim Ausbau des Lagers entstanden.

Außenring

Die Laufbahnen wiesen starken abrasiven Verschleiß auf und sahen stumpf und grau aus (→ Bild 9). Außerdem waren ausbaubedingte querlaufende Anschmiermarken (im Rollenabstand) zu erkennen.

Am Außendurchmesser war starker Passungsrost sichtbar (→ Bild 10), der durch Wandern des Rings unter hoher Last und ungleichmäßiger Ringunterstützung entstand.

Die Stirnseiten des Außenrings wiesen ebenfalls Passungsrost auf (→ Bild 11), ein weiterer Hinweis auf Wandern des Rings.

Rollen

Die Rollen sahen stumpf und grau aus. Es waren ausbaubedingte Anschmiermarken zu sehen (→ Bild 12).

Käfige

Die Taschen der Fensterkäfige wiesen abrasiven Verschleiß auf. Die Käfigstege waren erheblich verschlissen (→ Bild 13).

Führungsring

Am Führungsring waren keine Anzeichen von Verschleiß oder Schäden sichtbar.

Schmierfett

Das Schmierfett war im Vergleich zu frischem Fett stark verunreinigt und verfärbt.

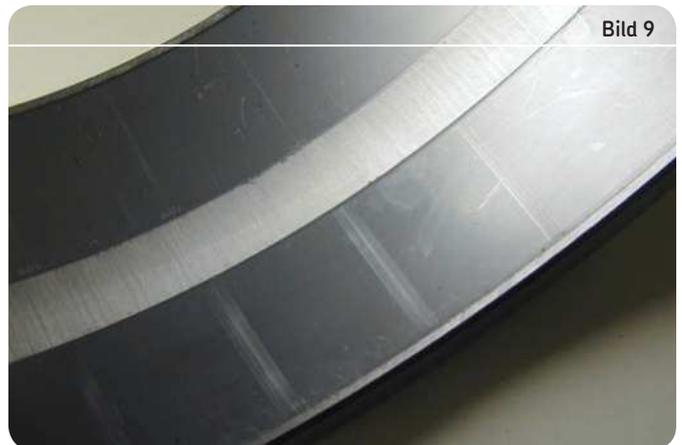
Innenring: starker abrasiver Verschleiß an den Laufbahnen und um den gesamten Umfang verlaufende Rille am Rand beider Laufbahnen

Bild 8



Außenring: starker abrasiver Verschleiß an den Laufbahnen und querlaufende Anschmiermarken

Bild 9



Schadensanalyse

Das Lager wies enormen abrasiven Verschleiß auf. Die Lagerluft in der Käfigtasche hatte sich erheblich vergrößert, wodurch der Käfig absackte und eine Rille in den Rand der Laufbahn grub.

Es gab offenbar ein Problem mit der Schmierung, da Ton in das Lager gelangt war.

Schlussfolgerungen

Die Schadensart ist eindeutig abrasiver Verschleiß (ISO 5.2.2).

Empfehlungen für den Kunden

Dichtungsanordnung verbessern, um das Lager zu schützen. Dazu gibt es folgende Möglichkeiten:

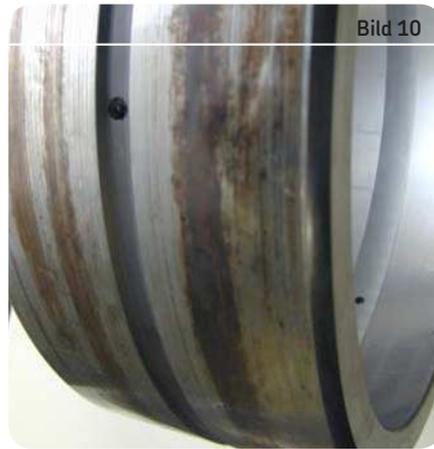
- Täglich nachschmieren
- Abgedichtete SKF Explorer Pendelrollenlager verwenden
- Labyrinthdichtung mit Nachschmierfunktion verwenden
- Vorhandene Dichtungslösung durch SKF Taconite-Dichtungen ersetzen
- Dauerschmiereinrichtung für die Dichtungsanordnung zur Verlängerung der Lagerlebensdauer installieren

Schmierleitungen und Schmiernippel auf Blockierungen kontrollieren.

Lagersitz im Gehäuse kontrollieren und ggf. reparieren.

Gegenmaßnahmen

Der Kunde verbesserte die Dichtungsanordnung und verkürzte die Schmierfristen.



Außenring: Passungsrost am Außendurchmesser



Außenring: Passungsrost an der Stirnseite

Rolle: matt und grau



Käfig: Taschenverschleiß



Backenbrecherproblem

Hintergrundinfo

Branche: Bergbau
Einsatzbereich: Backenbrecher (→ Bild 14, 15 und 16)
Lager: SKF 231/500 CAK/C3W33
Problem: vorzeitiger Lagerausfall (Hauptwellenlager, radseitig)

Der Kunde verwendete nur Lager von hoher Qualität. Die Hauptwellenlager wurden alle fünf Jahre ersetzt. Nach der letzten Überholung fielen die Lager innerhalb von zwei Jahren aus.

Der Kunde bat SKF, die Ursache für die vorzeitigen Ausfälle festzustellen.

Beobachtungen und Beschreibung des Lagerschadens

Innenring

Die Laufbahnen wiesen starken abrasiven Verschleiß auf (→ Bild 17). Es waren keine weiteren Schäden sichtbar.

Außenring

In einem kleinen Bereich der Lastzone war starke Schälung zu erkennen. Ein großer Teil der Lastzone wies starke Schwingungsmarken auf (→ Bild 18).

Am Außendurchmesser war im Lastzonenbereich starker Passungsrost zu sehen (→ Bild 19).

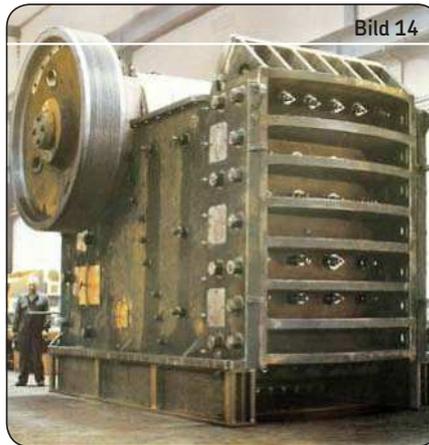
Käfig

Die Käfigtaschen wiesen starken, unregelmäßigen Verschleiß auf (→ Bild 20).

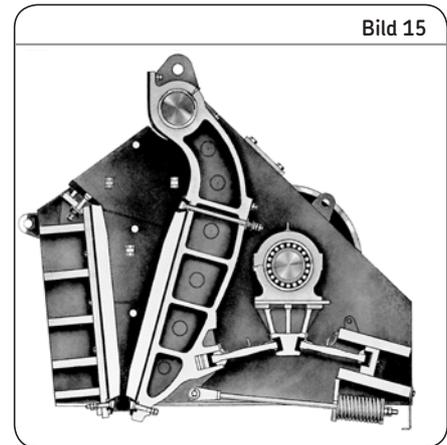
Schadensanalyse

Die Untersuchung des Lagers wies auf zwei Probleme hin:

- 1) Der Außenring wies im Lastzonenbereich Schäden auf, und zwar sowohl am Außendurchmesser (Passungsrost) als auch an den Laufbahnen (Schälung). Dies ließ auf ein Problem mit dem Lagersitz im Gehäuse schließen. Der abrasive Verschleiß an den Laufbahnen des Innenrings war wahrscheinlich ein schälungsbedingter Sekundärschaden, da sich der Zustand des Schmierstoffs als inakzeptabel herausstellte.
- 2) Die Welligkeit der Laufbahnen des Außenrings und der starke Käfigverschleiß



Typischer großer Backenbrecher



Prinzip eines Backenbrechers mit zwei Gelenkhebeln

wiesen auf ein ernsthaftes Schwingungsproblem beim Betrieb hin.

- 2) Quelle/Ursache der beim Betrieb auftretenden Schwingungen ermitteln.

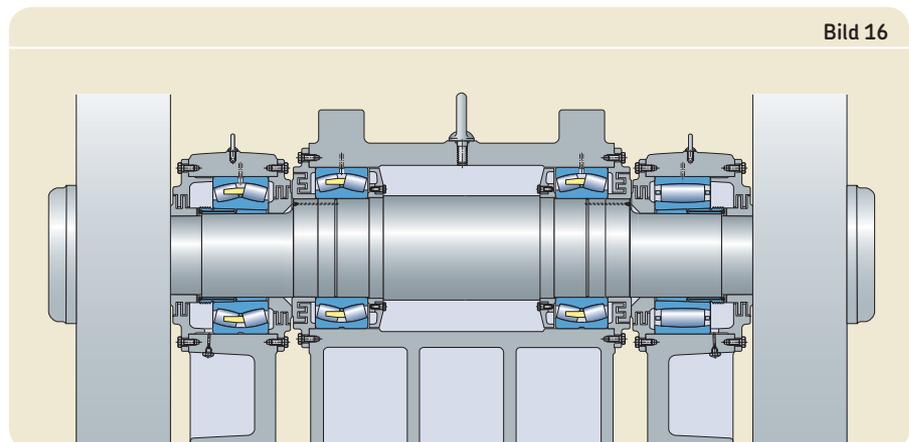
Schlussfolgerungen

Die Schadensursache schien der durch einen beschädigten Außenringsitz verursachte Passungsrost zu sein (ISO 5.3.3.2).

Empfehlungen für den Kunden

- 1) Lagersitz im Gehäuse kontrollieren. Gegebenenfalls reparieren.

Typische Lageranordnung eines Backenbrechers



Gegenmaßnahmen

- 1) Bei einer Inspektion des Gehäuses bestätigte sich, dass der Lagersitz verschlissen war und in der Lastzone keine ausreichende Unterstützung mehr bot. Die Folge war starker Passungsrost am Außendurchmesser des Außenrings, was wiederum zu einer Verformung der Laufbahnen in der Lastzone führte. Die Verformung verursachte vorzeitige Schälung.
- 2) Eine gründliche mechanische Prüfung der Anwendung ergab, dass Material nicht richtig abgeführt wurde, sodass der Brecher durchsackte und wie ein Verdichter wirkte. Dies erklärt die übermäßig starken Schwingungen und die hohen Außenlasten, die eine schnellere Bildung von Passungsrost und die Welligkeit an den Laufbahnen begünstigten.

Im Rahmen einer geplanten Abschaltung wurde der Lagersitz instand gesetzt und die Austrittseite des Brechers neu konstruiert. Seit den Änderungen traten keine weiteren Probleme auf.



Innenring: abrasiver Verschleiß an den Laufbahnen



Außenring: Schälungen in der Lastzone und Schwingungsmarken an der Unterseite des Rings



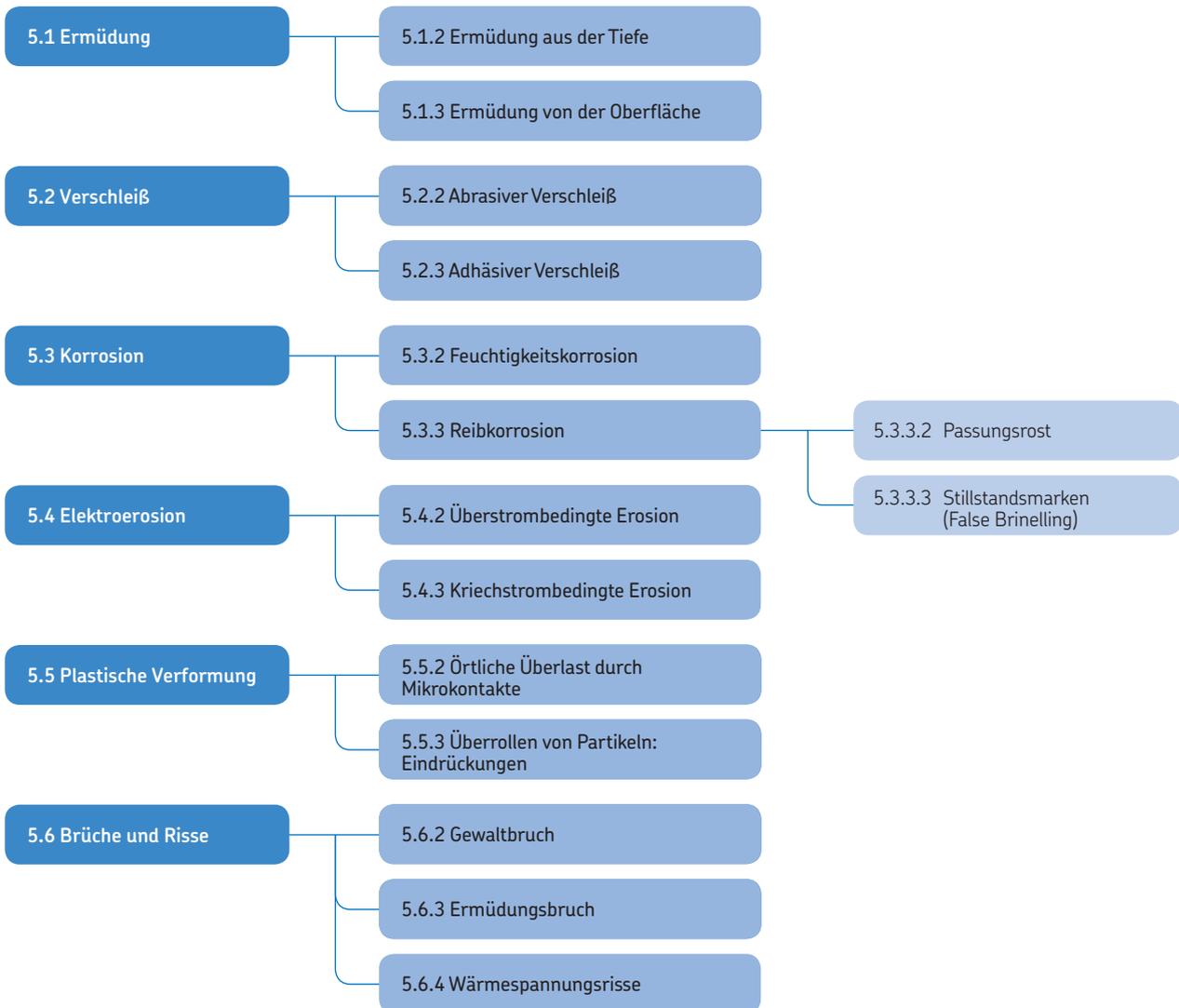
Außenring: starker Passungsrost in der Lastzone des Außendurchmessers



Käfig: starker Taschenverschleiß

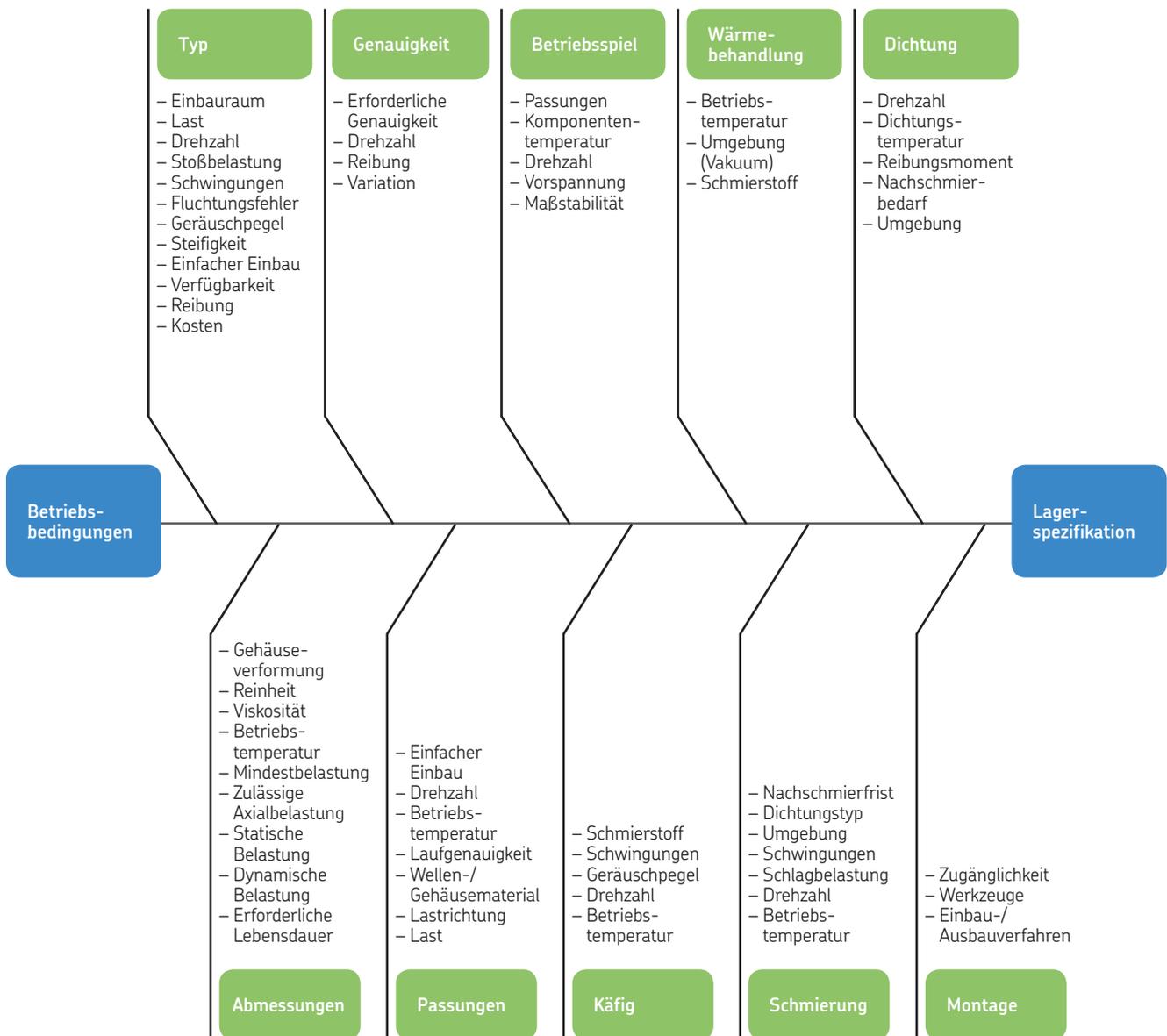
8 Anhänge

Anhang A: SKF Klassifizierung nach ISO 15243:2004¹⁾



¹⁾ Im Vergleich zu ISO 15243:2004, Schadensart 5.5, „Plastische Verformung“, wurden die Unterarten „Überlastungsbedingte Verformung“ und „Handhabungsbedingte Eindrückungen“ in der Schadensart „Überlastungsbedingte Verformung“ zusammengefasst. Schadensart 5.4.2 wurde in „Überstrombedingte Korrosion“ geändert.

Anhang B: Einflussfaktoren der Lagerauswahl



Anhang C: Lagerschäden und -ausfälle – Arten und Ursachen

Welche Flächen weisen Veränderungen auf?	Welche Art von Veränderungen?	Welche der unten stehenden Veränderungen?	Verwandte ISO-Schadensarten	
Beliebige Flächen an beliebigen Lagerkomponenten	Verfärbung	Feuchtigkeitsschäden	5.3.2	
		Verfärbte Schichten und Ablagerungen	5.2.3/5.6.4	
	Brüche und Risse	Ringbruch ohne weitere sichtbare Veränderungen im Bruchbereich	5.6.2	
		Ringbruch im Zusammenhang mit Anschmiermarken	5.2.3/5.6	
		Ringbruch im Zusammenhang mit hitzebedingter Verfärbung	5.2.3/5.6	
		Ringbruch im Zusammenhang mit Schleifbrandstellen	5.6.3	
		Ringbruch im Zusammenhang mit Schlägeinwirkung/mechanischem Schaden	5.5.2/5.6	
Ringbruch im Zusammenhang mit Passungsrost oder Feuchtigkeitsschäden	5.3.2/5.3.3.2/5.6			
An bestimmten Flächen	An Passflächen	Passungsrostverschleiß	Rötliche Oberfläche 5.3.3.2	
		Polierte Oberfläche	5.2.3	
	An Laufbahnen und Wälzkörpern	Veränderungen nur an der Laufbahn der Ringe oder Wälzkörper	Oberflächenschäden durch überrollte Partikel (Eindrückungen)	5.5.3
			Oberflächenschäden durch ausgebrochenes Material (Schälungen)	5.1.2/5.1.3
			Oberflächenverschleiß	5.2.2
			Ermüdung von der Oberfläche	5.1.2
			Oberflächenschäden: Rillen (glänzend/rötlich/mattgrau am Rillengrund)	5.4.3/5.3.3.3
			Oberflächenschäden: Kerben, Rillen, Anschmieren	5.5.2/5.6
			Marken am Umfang der Wälzkörper	5.2.2
			Glänzendes, poliertes Aussehen	5.2.2
		Veränderungen in regelmäßigen Abständen an einem Teil der Laufbahn mindestens eines Rings	Plastische Verformungen	5.5.2/5.6
			Schwingungsbedingte Stillstandsmarken (im Wälzkörperabstand)	5.3.3.3
			Schürfmacken	5.5.2
			Korrosionsmarken, Spaltkorrosion, Ätzmarken	5.3.2
			Schälungen (Ermüdung aus der Tiefe)	5.1.2
	Einzelne örtliche Veränderungen in unregelmäßigen Abständen an einem Teil der Laufbahn mindestens eines Rings	Oberflächenschäden: Schlagmarken, Rillen, Kratzer und Eindrückungen	5.5.2	
		Anschmiermarken an mindestens einer Stelle am Umfang	5.2.3	
		Örtliche Verfärbung (Überhitzung)	5.2.3	
		Stromdurchgangskrater	5.4.2	
		Örtliche Korrosion	5.3.2	
An Käfigen		Gebrochene Käfigstege, Käfigringe, Niete	5.6.3/5.6.2	
		Verschleiß an Gleitflächen	5.2.2/5.2.3	

Anhang D: Erfassen von Informationen

Bei Lagerschäden oder -ausfällen ist es sehr wichtig, alle relevanten Informationen zu sammeln und zu dokumentieren, um die darauf folgende Ursachenanalyse zu erleichtern.

Die notwendigen Überlegungen sind im Folgenden in einer kurzen Übersicht zusammengefasst.

Allgemeine Informationen

- Firma und Ansprechpartner
- Maschine – Beschreibung der Anwendung
- Problembeschreibung

Betriebsdaten

- Zeichnungen und Fotos der Maschine einschließlich hinlänglicher Einzelheiten zum besseren Verständnis der Lagerung
- Anwendungsdaten (Drehzahl, Lasten, Temperatur, Schmiermethode, verwendeter Schmierstoff, Angaben zum Schmierstoffwechsel, Antriebssystem, Lagerbezeichnung, Spezifikationen von Wellen- und Gehäusepassungen, Abdichtung, erforderliche Lagerlebensdauer und Betriebszeit)

Überwachungsdaten

- Zustandsüberwachungshistorie (Schwingungspegel, Temperaturmessungen und Tonaufnahmen)
- Schmierstoffanalysehistorie

Beim Ausbau

- Alle sichtbaren Schäden an der Anlage dokumentieren (lose Riemen, beschädigte/verschlissene benachbarte Teile einschließlich Dichtungen, Kratzer usw.).
- Schmierstoffproben aus dem Lager und dem umgebenden Bereich entnehmen. Proben in sauberen Behältern aufbewahren und kennzeichnen.
- Einbaulage des Lagerrings in der Maschine sowie seine Position in Relation zur Welle/zum Gehäuse markieren.
- Den gesamten Vorgang mit Fotoaufnahmen und Notizen dokumentieren.
- Das Lager vorsichtig ausbauen und das Ausbaurverfahren dokumentieren, wenn sich Schäden nicht vermeiden lassen.
- Die Lagerteile kennzeichnen.
- Die Lager zur weiteren Analyse durch SKF Mitarbeiter vor Schmutz und Feuchtigkeit geschützt in einem geeigneten Behälter aufbewahren. Die Lager nicht reinigen!
- Die Lagersitze kontrollieren. Abmessungen und Erscheinungsbild dokumentieren.



Tipps zum Fotografieren (Smartphone, Digitalkamera):

- Gesamt- und Detailaufnahmen (Zoom) von den verschiedenen zu dokumentierenden Teilen und Merkmalen machen.
- Die Kamera nicht auf Vollautomatik stellen und keinen Blitz verwenden. Stattdessen Belichtung und Sensorempfindlichkeit (ISO-Werte) möglichst manuell einstellen.
- Sofern vorhanden, Makromodus verwenden.
- Die Kamera auf systemeigenen ISO-Wert einstellen. Dies ist häufig der kleinste ISO-Wert. Hohe ISO-Werte verursachen Störungen, die Einzelheiten ausblenden.
- In Bereichen mit mehreren Lichtquellen ein Stativ (→ **Bild 1**) und den Selbstauslöser der Kamera verwenden, um Schatten zu vermeiden.
- Da auf Stahlflächen wegen des fehlenden Kontrasts u. U. kein Scharfstellen der Kamera möglich ist, ein Lineal oder einen Bleistift neben dem Schaden platzieren und darauf fokussieren (→ **Bild 2**). Ein Lineal hat den Vorteil, dass es auch die Abmessungen zeigt.
- Nach dem Fotografieren die Aufnahme grundsätzlich anschauen und vergrößern, um sicherzustellen, dass sie scharf ist.



Anhang E: Glossar

Dieses Glossar enthält die gängigsten Begriffe und Ausdrücke für den Umgang mit Lagerschäden und -ausfällen. Die Begriffe sind alphabetisch sortiert. Gegebenenfalls wird auf ISO 15243 verwiesen.

Abblätterung

→ Schälung

abrasiver Verschleiß

Durch *Abrieb* verursachter allmählicher Materialabtrag von einer oder mehreren Flächen. (ISO 5.2.2)

Abrieb

Ein Verschleißprozess zwischen zwei gegenseitig belasteten und aneinander reibenden Kontaktflächen. Der Verschleiß erfolgt entweder aufgrund mitgerissener harter Partikel zwischen den Kontaktflächen oder aufgrund von harten Vorsprüngen an einer oder beiden Flächen. (ISO 5.2.2)

adhäsiver Verschleiß (Anschmieren)

Schaden, der entsteht, wenn zwei unzureichend geschmierte Flächen unter Last gegeneinander reiben. Anschmieren führt zu Materialwanderung von einer Fläche zur anderen und somit zu einem „zerrissenen“ Erscheinungsbild. (ISO 5.2.3)

Anschmierungen

→ adhäsiver Verschleiß

Ätzen

Ein Prozess, bei dem das Gefüge eines Metalls mithilfe von Chemikalien sichtbar wird.

Aufwerfung (Rand)

Verschobenes Material, das sich um den Rand einer *Eindrückung* ansammelt. (ISO 5.5.3)

Ausfall

Fehler oder *Schaden*, der ein Lager an der Erfüllung seines eigentlichen Zwecks hindert.

Brinelling

→ Überlastung

Bruch

Ausbreitung eines *Risses* bis zur kompletten Trennung. (ISO 5.6)

Druckbelastung (Hertzsche Flächenpressung)

Druckbelastung beim Kontakt zweier Flächen unter einer bestimmten Last.

dunkel anätzende Zone, DAZ (Gefügeveränderung im Werkstoff)

Die DAZ ist ein Bereich unter der Oberfläche, in dem Schädigungsakkumulation zu Veränderungen des Gefüges (Gleitbandbildung) führen und der nach Ätzen des Werkstoffs dunkel erscheint. (ISO 5.1.2)

Eigenspannung

Spannungen, die nach Beseitigung der ursprünglichen Spannungsursachen (Fertigung, Lasten, Temperatur) in einer Komponente zurückbleiben.

Eindruck

→ Eindrückung

Eindrückung (Eindruck)

Schaden, der durch Eindrücken eines Festkörpers in eine Fläche entsteht und eine bleibende (*plastische*) *Verformung* zur Folge hat. Ist bei Wälzlagern in Form von Eindrückungen in den Laufbahnen zu sehen, die durch Überrollen von festen *Verunreinigungen* oder fehlerbedingten Schmutz verursacht werden. Eindrückungen können scharfkantig (durch Hartpartikel), abgerundet (durch Metallpartikel) oder mehrfragmentär (durch spröde Partikel) sein. Die ursprüngliche Oberflächengüte ist oft am Grund von Eindrückungen zu sehen. Durch verformtes Material bildet sich um den Eindruck ein erhabener Rand (*Aufwerfung*). (ISO 5.5.3)

Einlaufen

Einlaufprozess neuer Lager bzw. Anwendungen zur Stabilisierung von Reibung und Reibungswärme.

Einschluss

Unerwünschter, in einen Matrixwerkstoff eingeschlossener Fremdstoff. Siehe auch *Makroeingchluss*.

elastische Verformung

Eine gewaltsame Veränderung der Form einer Komponente, die dessen Elastizitätsgrenze jedoch nicht überschreitet. Die Komponente nimmt wieder ihre ursprüngliche Form an, sobald die verformende Kraft entfernt wird.

elektrische Grübchenbildung

Mikrokrater, die entstehen, wenn ein schwacher schädlicher Strom durch die Wälzkontakte eines Lagers fließt. (ISO 5.4)

Elektroerosion

Makro- oder Mikrokrater, die durch örtliche Schmelzvorgänge entstehen, wenn ein starker schädlicher Strom durch die Wälzkontakte eines Lagers fließt. (ISO 5.4)

Ermüdung

Durch Schädigungsakkumulation in der Stahlmatrix oder an einem Materialfehler verursachte Schwächung (Gefügeveränderungen) des Werkstoffs unter den Kontaktflächen von Wälzkörpern und/oder Laufbahnen eines Lagers.

Ermüdung aus der Tiefe

Schälung einer Laufbahnoberfläche infolge von Tiefenrissen, die sich an die Oberfläche ausbreiten. (ISO 5.1.2)

Ermüdung von der Oberfläche (Oberflächenzerrüttung)

Schaden infolge unzureichender Schmierung aufgrund mangelhafter Filmdicke und/oder Reinheit des Schmierstoffs. Führt zu Metall/Metall-Kontakt (Mischreibung) und im weiteren Schädigungsverlauf zu *Mikrorissen* bzw. *Mikroschälungen* an der Oberfläche. (ISO 5.1.3)

Ermüdungsbruch

Bruch eines Lagerrings oder anderer Komponenten infolge der Ausbreitung eines ermüdungsbedingten Risses. (ISO 5.6.3)

Erosion

Allmählicher Materialverlust aufgrund der mechanischen Interaktion zwischen einer festen Oberfläche und *Verunreinigungen*.

Fehler

Material- oder Produktfehler, die während der Fertigung oder Montage eines Lagers oder seiner Komponenten entstanden sind.

 feste Passung (Presspassung)

Befestigung zwischen zwei ineinander gepressten Teilen durch Reibung der Passflächen.

Feuchtigkeitskorrosion

Chemische Reaktion, die erfolgt, wenn Wasser oder ein anderer chemischer Stoff auf einer Metallfläche verdunstet und dadurch mit Sauerstoff interagieren (oxidieren) kann. (ISO 5.3.3)

Fragment

Ein kleines Teil, das von einem größeren Gegenstand abgebrochen ist oder getrennt wurde.

Fressen (Festfressen)

Wenn ein Lager nicht mehr bewegt oder gedreht werden kann, zumeist weil es blockiert ist oder Komponenten durch Reibungshitze miteinander verschweißt wurden.

Fressverschleiß

Eine Art *adhäsiver Verschleiß*. Örtliche Flächenschweißung führt zum Abreißen von Material von einer der Flächen und hinterlässt große Hohlräume. (ISO 5.2.3)

Fressverschleiß

Eine Art *adhäsiver Verschleiß* – örtlicher Schaden, der durch aufeinanderfolgendes Verschweißen und Wiedertrennen von Kontaktflächen entsteht, ohne dass es zum örtlichen Schmelzen der Flächen kommt. (ISO 5.2.3)

Furche

Eine lange, tiefe Riefe an der Oberfläche einer Laufbahn. (ISO 5.5.2)

Gewaltbruch

Bruch infolge von Spannungskonzentrationen oberhalb der Zugfestigkeit des Werkstoffs. (ISO 5.6.2)

Glätten

Abtragen oder Abflachen von Rauheitspitzen oder anderen Oberflächenunebenheiten, was zu einer geglätteten Oberfläche führt.

Glättung

→ Polieren

Grübchenbildung

Ein allgemeiner Begriff für eine Art von örtlichem Schaden, der in Form von kleinen Löchern, Kratern oder Hohlräumen auftritt. Zu den Ursachen von Grübchenbildung gehören *Oberflächenermüdung*, *Korrosion*, *Elektroerosion* und *Eindrückungen* durch Verunreinigungen.

Halo

Ein kleiner Kreis, der heller ist als der umgebende Bereich.

Hertzche Flächenpressung

→ Flächenpressung

Käfigalterung

Im Laufe der Zeit an Polymerkäfigen auftretender Verlust mechanischer Eigenschaften. Höhere Temperaturen oder aggressive Schmierstoffe können den Alterungsprozess beschleunigen. Messingblechkäfige können auch vorzeitig altern, wenn sie Ammoniak ausgesetzt werden.

Kantenbelastung

Eine Last, die sich infolge übermäßiger Schiefstellung und/oder Belastung auf den Rand einer oder mehrere Wälzkörper erstreckt.

Kerbe

Plastische Verformung, die durch Eindrückungen (statisch oder durch Schlagwirkung) eines harten, möglicherweise scharfen Gegenstands in eine Fläche einer Kontaktkomponente verursacht wird.

Kontaktmikroschlupf

→ Mikroschlupf

Korrosion

Eine Oxidschicht ist das Ergebnis einer chemischen Reaktion mit einer Metallfläche. (ISO 5.3)

Krater

Mikroskopische Gruben kraterähnlichen Aussehens, die an den Laufbahnen und Wälzkörpern auftreten, wenn ein schädlicher elektrischer Strom durch ein Lager fließt. (ISO 5.4)

Kratzen

→ Riefenbildung

kriechstrombedingte Erosion

Schaden an Wälzkontaktflächen, der durch den Durchgang elektrischen Stroms verursacht wurde. (ISO 5.4.3)

Laufspur

Veränderung im Erscheinungsbild eines Lagerteils aufgrund des Kontakts mit einem anderen Lagerteil, z. B. Wälzkörper und Laufbahn.

Makroeinschluss

Verunreinigung oder Partikel – gewöhnlich ein Schlackeneinschluss, der sich durch örtliche Oxidation oder den Einschluss von Partikeln von der feuerfesten Verkleidung während des Stahlabstichs gebildet hat. Lässt sich an polierten und geätzten Flächen durch bis zu zehnfache Vergrößerung oder per Ultraschallprüfung erkennen.

Materialablösung

Eine Art *Oberflächenermüdung*, die infolge unzureichender Schmierung auftritt. Der Schaden sieht aus, als wenn sich eine dünne Schicht Metall abgelöst hätte. (ISO 5.1.3)

matte Oberfläche

Eine nicht reflektierende Oberfläche, die durch *abrasiven Verschleiß* entsteht. (ISO 5.2.2)

Mattierung

Das matte, glanzlose Aussehen einer Lagerlaufbahn infolge unzureichender Schmierung. Der Verschleiß ist durch feine, aus der Laufbahn gerissene Materialablösungen gekennzeichnet. (ISO 5.1.3)

Mikroriss

Mikroskopische Risse, die an oder unter der Oberfläche einer Lagerkomponente auftreten können.

Mikroschälung

Mikroskopische *Schälung* auf den Kontaktflächen.

Mikroschlupf (Kontaktmikroschlupf)
(Mikrogleiten)

Das geometriebedingte teilweise Gleiten zwischen Kontaktflächen in Wälzkörpern

Neuhärtung

Gefügeveränderung, die auftritt, wenn bei örtlicher Erwärmung die Austenitierungstemperatur erreicht bzw. überschritten wird und dann eine rasche Abkühlung erfolgt.

Oberflächenzerrüttung

→ Ermüdung von der Oberfläche

Ovalverspannung

Diametrales Quetschen eines Lagerrings, sodass dieser sich oval verformt.

parallele Riffel

→ Waschbretteffekt

Passungsrost

Eine Schadensart, bei der Mikrobewegungen zwischen zwei sich berührenden Komponenten zur sofortigen Oxidation mikroskopischer Verunreinigungen führt, wobei sich die Oberfläche schwärzlich rot verfärbt. (ISO 5.3.3.2)

Pflügen

→ Riefenbildung

plastische Verformung

Bleibende *Verformung* ohne Materialabtrag. Diese Schadensart tritt auf, wenn eine Last die Streckgrenze des Werkstoffs überschreitet. (ISO 5.5)

Polieren (Glättung)

Glättender Vorgang, kumulative *plastische Verformung* – führt zur Abflachung von *Unebenheiten*, wobei die ursprüngliche gefertigte Oberfläche einer Gleit- oder Rollfläche in einen polierteren Zustand versetzt wird. (ISO 5.1.3)

Polierverschleiß

Eine milde Form von *abrasivem Verschleiß*, die zu einer hochpolierten, reflektierenden Fläche führt. (ISO 5.2.2)

Presspassung

→ feste Passung

Rattermarken

Rippenartige Marken an einer Laufbahn, die entstehen, wenn der Schmierfilm unzureichend ist und Schwingungen auf die Lager einwirken.

Rauheitsspitze

Kleiner Vorsprung (Spitzenpunkt) an maschinell bearbeiteten Flächen, der als Oberflächenrauheit oder Oberflächenprofil gemessen wird.

Reibung

Die Widerstandskraft, die wirkt, wenn sich zwei Gegenstände unter Last gegeneinander bewegen.

Riefe

Schürfschaden an einer Fläche, der durch eine unter Drucklast über sie gleitende Komponente verursacht wurde. (ISO 5.5.2)

Riefenbildung (Pflügen, Kratzen)

Ritzverletzung (Rillenbildung) an einem Lagerring oder Wälzkörper durch Einbettung harter Verunreinigungen in weichere Komponenten (z. B. Käfige), die dann gegen eine Rolle oder Laufbahn reiben, oder durch Komponenten, die beim Einbau gegeneinander schaben. (ISO 5.5.2)

Riffelbildung

→ Waschbretteffekt

Riss

Durch Materialspannungen verursachte Öffnung im Material ohne vollständige Trennung. Siehe auch *Mikroriss* und *Schleifriss*. (ISO 5.6)

Rutschen (Gleiten)

Eine Art *adhäsiver Verschleiß*. Gleitbewegung eines Wälzkörpers auf einer Laufbahn während des Betriebs (unter Last). Sie führt zu Oberflächenschäden, die ein splitterartiges mattes Aussehen aufweisen.

Schaden

Jede Veränderung an einer Komponente, durch die dessen Funktionsfähigkeit beeinträchtigt wird oder dies zu erwarten ist.

Schälung (Abblätterung)

Verlust kleiner Materialbereiche infolge von Ermüdung (von der Oberfläche oder aus der Tiefe). (ISO 5.1)

Schleifbrandstellen

Veränderung (Anlassen, *Neuhärtung*) des oberflächennahen Gefüges durch übermäßige Reibungshitze beim Schleifen.

Nach dem *Ätzen* an der Oberfläche sichtbar.

Schleifriss

Riss, der durch örtliche Erhitzung und rasche Abkühlung beim Schleifen entstand.

Schmetterling

Eine typische Gefügeveränderung durch Wälzermüdung, die im *geätzten Schliff* um *Einschlüsse* entsteht und an die Flügel eines Schmetterlings erinnert.

Stillstandsmarken (False Brinelling)

Bleibende Riffel im Wälzkörperabstand an den Laufbahnen. Sie werden am ruhenden Lager durch schwingungsbedingte Mikrobewegungen der Wälzkörper verursacht. Das Erscheinungsbild kann ähnlich sein wie bei einer *Überlastung* (Brinelling), allerdings ohne *Aufwerfungen* an den Rändern. (ISO 5.3.3.3)

True Brinelling

→ Überlastung

Überlastung (Brinelling, True Brinelling)

Bleibende *Eindrückungen* in Lagerlaufbahnen im Wälzkörperabstand, wenn die statische Belastungsgrenze unter Last überschritten wird. Die *Eindrückungen* entsprechen der Form der Wälzkörper und sind von einer *Aufwerfung* verdrängten Materials umgeben. (ISO 5.5.2)

überstrombedingte Erosion

Durch örtliche Überhitzung entstandene große Krater in den Laufbahnen und Wälzkörpern, die von verfärbtem oder verbranntem Schmierstoff begleitet werden können. (ISO 5.4.2)

Verformung

Veränderung der normalen Form eines Gegenstands. Das Ergebnis kann eine bleibende (*plastische*) oder vorübergehende (*elastische*) Verformung sein.

Verschleiß

Der allmähliche Abtrag von Material von einer Fläche. (ISO 5.2)

Verunreinigungen

Feststoffpartikel oder Flüssigkeiten, die in das Lager eindringen und dessen Funktion beeinträchtigen.

Wälzermüdung

Ermüdung von der Oberfläche oder aus der Tiefe infolge wiederholter Lastwechsel während des Betriebs. (ISO 5.1)

Wandern

Die relative Drehbewegung zwischen einem Lagerring und seinem Sitz auf der Welle oder im Gehäuse.

Wärmespannungsrisse

Risse in einem Lagerring, die durch eine Kombination aus übermäßig hohen Temperaturen und hohen *Eigenspannungen* entstehen. Die übermäßig hohen Temperaturen sind normalerweise das Ergebnis von Reibungshitze, die durch große Gleitkräfte zwischen belasteten Flächen entsteht. (ISO 5.6.4)

Waschbretteffekt (Rillenbildung, parallele Rillen)

Rillen, die sich nach der Entstehung kriechstrombedingter Krater bilden. Diese Schadensart ist an den Laufbahnen von Kugel- und Rollenlagern sowie an Rollen, aber nicht an Kugeln zu finden. Die Rillen verlaufen in gewöhnlich gleichmäßigen Abständen parallel zur Wälzachse. (ISO 5.4.3)

© SKF, CARB, INSOCOAT und SENSORMOUNT sind eingetragene Marken der SKF Gruppe.

™ SKF Explorer ist eine eingetragene Marke der SKF Gruppe.

© SKF Gruppe 2015

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.

PUB BU/13 14219 DE · Juli 2015

Diese Druckschrift ersetzt Druckschrift PI 401 G.

Bestimmte Aufnahmen mit freundlicher Genehmigung von Shutterstock.com