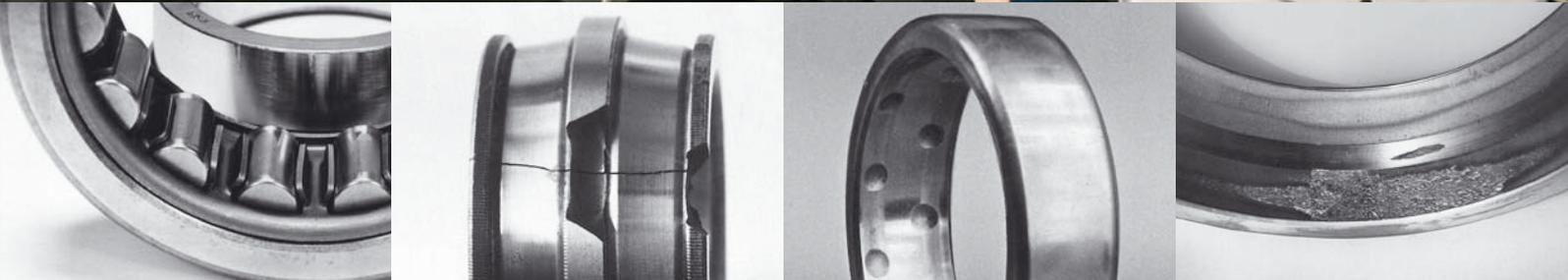
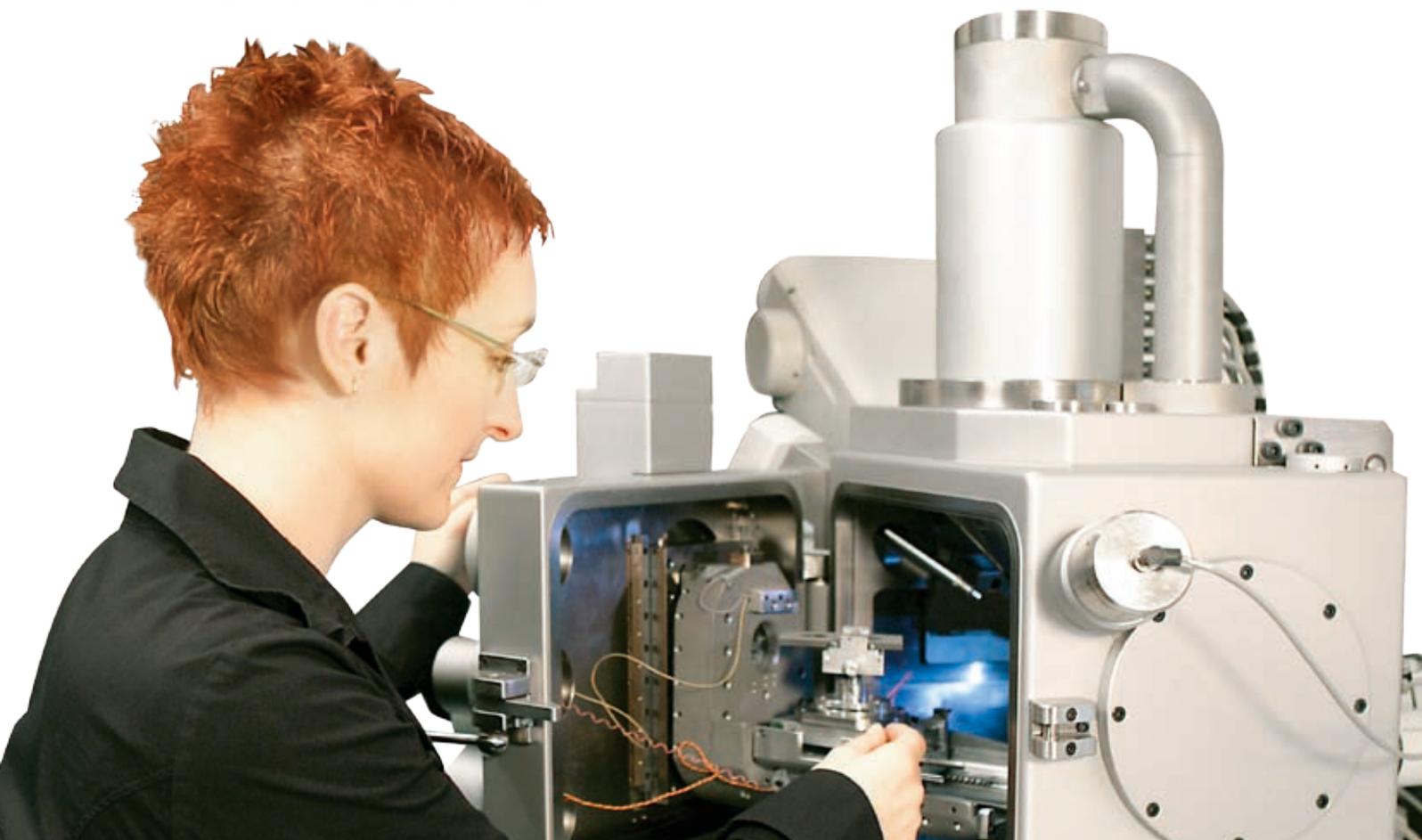


# Wälzlagerschäden und ihre Ursachen



# Inhalt

<b>Einleitung</b> .....	<b>3</b>	<b>Risse</b> .....	<b>30</b>
<b>Wälzlagerschäden und ihre Ursachen</b> .....	<b>3</b>	Risse infolge unsachgemäßer Behandlung .....	30
<b>Wie ist die Lebensdauer eines Wälzlagers definiert?</b> .....	<b>3</b>	Risse infolge zu starken Aufpressens .....	31
		Risse infolge von Ansmierungen .....	32
		Risse infolge von Passungsrost .....	32
<b>Laufbilder und ihre Bedeutung</b> .....	<b>4</b>	<b>Käfigschäden</b> .....	<b>33</b>
		Käfigschäden infolge von Schwingungen .....	33
		Käfigschäden infolge überhöhter Drehzahl .....	33
		Käfigschäden infolge von Verschleiß .....	33
		Käfigschäden bei Blockieren des Lagers .....	33
		Weitere Ursachen für Käfigschäden .....	33
<b>Verschiedene Arten von Lagerschäden</b> .....	<b>8</b>	<b>SKF – Kompetenz für Bewegungstechnik</b> .....	<b>34</b>
<b>Verschleiß</b> .....	<b>8</b>		
Verschleiß durch schmirgelnde Teilchen .....	8		
Verschleiß infolge unzureichender Schmierung .....	9		
Verschleiß infolge von Schwingungen .....	10		
<b>Eindrückungen</b> .....	<b>12</b>		
Eindrückungen durch fehlerhaften Einbau oder Überlastung ..	12		
Eindrückungen durch Fremdpartikel .....	13		
<b>Ansmierungen</b> .....	<b>14</b>		
Ansmierungen an Rollenstirnflächen und Führungsborden ..	14		
Ansmierungen an Rollen und Laufbahnen .....	15		
Ansmierungen in der Laufbahn im Abstand der Wälzkörper ..	16		
Ansmierungen an Außenflächen .....	18		
Ansmierungen in Axialkugellagern .....	18		
<b>Oberflächenzerrüttung</b> .....	<b>19</b>		
<b>Korrosion</b> .....	<b>20</b>		
Spaltkorrosion .....	20		
Reibkorrosion .....	21		
<b>Schäden infolge Stromdurchgang</b> .....	<b>22</b>		
<b>Schälung</b> .....	<b>24</b>		
Schälung infolge Vorspannung .....	24		
Schälung infolge ovaler Verformung .....	25		
Schälung infolge axialer Vorspannung .....	25		
Schälung infolge Schiefstellung .....	26		
Schälung infolge von Eindrückungen .....	26		
Schälungen infolge von Ansmierungen .....	27		
Schälung infolge von Passungsrost .....	27		
Schälung infolge von Rostnarben .....	28		
Schälung infolge von Riffel- oder Kraterbildung .....	29		

# Einleitung

## Wälzlagerschäden und ihre Ursachen

Wälzlager zählen bei den meisten Maschinen zu den wichtigsten Bauteilen. An ihre Tragfähigkeit und Betriebszuverlässigkeit werden hohe Anforderungen gestellt. Aus diesem Grund sind Wälzlager seit Jahren Gegenstand intensiver Forschung, und mit der Zeit hat sich die Wälzlagertechnik zu einem speziellen Wissenschaftszweig entwickelt. SKF gehört zu den Pionieren und ist seit langem führend auf diesem Gebiet.

Ein Ergebnis dieser Forschungsarbeit ist die Möglichkeit, die Ermüdungslebensdauer eines Lagers mit hoher Genauigkeit zu berechnen. Dadurch können die Lebensdauer der Lager und die der Maschine aufeinander abgestimmt werden.

Ab und zu tritt der Fall ein, dass ein Lager die berechnete Lebensdauer nicht erreicht. Dafür gibt es viele Gründe – wie z.B. unerwartet hohe Belastung, unzureichende oder ungeeignete Schmierung, unsachgemäße Handhabung, unwirksame Dichtungen oder zu feste Passungen und damit zu geringe Lagerluft. Jeder dieser Faktoren ruft einen eigenen, typischen Schadensfall hervor und äußert sich in einem charakteristischen Schadensbild am Lager. Folglich ist es in den meisten Fällen schon während der Untersuchung des beschädigten Lagers möglich, die Schadensursache herauszufinden und geeignete Vorkehrungen zu treffen, um ein erneutes Auftreten des Schadens zu vermeiden.

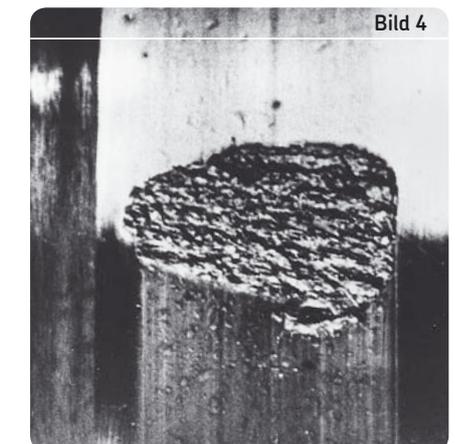
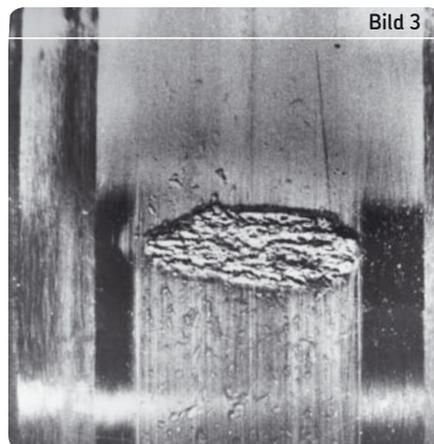
## Wie ist die Lebensdauer eines Wälzlagers definiert?

Vereinfacht ausgedrückt: ein Wälzlager kann nicht beliebig lange laufen. Früher oder später wird Werkstoffermüdung auftreten und die Lebensdauer des Lagers beenden, es sein denn, die Betriebsbedingungen wären

ideal und die Ermüdungsgrenzbelastung würde nicht überschritten.

Der Zeitraum, bis sich die ersten Anzeichen von Werkstoffermüdung zeigen, ist abhängig von der Drehzahl des Lagers und der Größe der Belastung. Ermüdung ist die Folge von wechselnden Schubspannungen unmittelbar unter der belasteten Laufbahnoberfläche. Diese Spannungen verursachen Risse, die sich allmählich bis zur Oberfläche ausbreiten. Werden diese Risse von den Wälzkörpern überrollt, brechen Werkstoffteilchen aus. Dieser Vorgang, der als Ausbröckelung oder Schälung bezeichnet wird, schreitet fort (→ **Bilder 1 – 4**), bis das Lager schließlich unbrauchbar wird.

*Fortschreitende Stadien einer Schälung*



Als Lebensdauer eines Wälzlagers wird die Anzahl Umdrehungen bezeichnet, die das Lager erreicht, bevor sich die ersten Anzeichen von Werkstoffermüdung an einer Laufbahn oder an einem Wälzkörper bemerkbar machen. Das bedeutet nicht, dass das Lager danach nicht weiter verwendet werden kann. Schälungen breiten sich relativ langsam aus und machen sich durch zunehmendes Laufgeräusch und Schwingen im Lager bemerkbar. Deshalb bleibt in aller Regel genügend Zeit, um den Austausch des Lagers vorzubereiten.

# Laufbilder und ihre Bedeutung

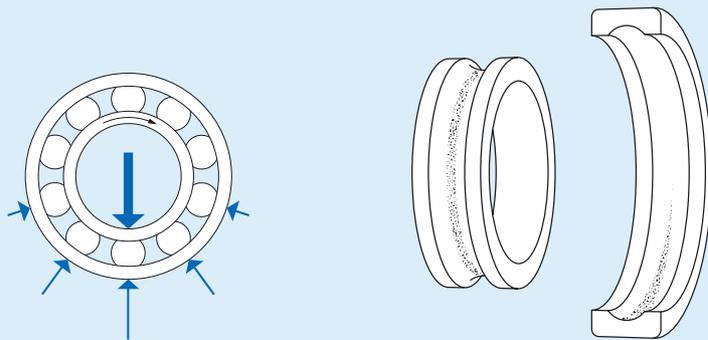
Bei einem unter Belastung umlaufenden Wälzlager nehmen die einander berührenden Oberflächen der Ringlaufbahnen und Wälzkörper in der Regel allmählich ein etwas matteres Aussehen an. Dies ist kein Verschleißindiz im üblichen Sinn und ohne Einfluss auf die Lagerlebensdauer. Die matten Oberflächenbereiche der Innen- oder Außenringlaufbahn ergeben Laufbilder, die je nach Umlauf- und Belastungsverhältnissen unterschiedlich aussehen. Eine Untersuchung der Laufbilder an einem zerlegten Lager gibt Aufschluss darüber, unter welchen Bedingungen das Lager eingesetzt war. Bei Kenntnis der Unterschiede zwischen normalen und abweichenden Laufbildern lässt sich beurteilen, ob das Lager unter normalen oder außergewöhnlichen Bedingungen gelaufen ist.

Die folgenden Skizzen zeigen normale Laufbilder bei verschiedenen Umlauf- und Belastungsverhältnissen (→ **Bilder 1 – 6**) sowie typische Laufbilder, die sich aus ungünstigen Betriebsbedingungen ergeben (→ **Bilder 7 – 14**).

In den meisten Fällen ist der Lagerschaden schon aus dem Laufbild ersichtlich. Wenn die Zusammenhänge bekannt sind, erweisen sich Aussehen und Lage des Laufbildes als nützliche Hilfsmittel zur Schadensdiagnose.

Am Beispiel von Radial- und Axial-Rillenkugellagern werden charakteristische Laufbilder erläutert. Die Aussagen können jedoch auch auf andere Lagerarten übertragen werden.

Bild 1

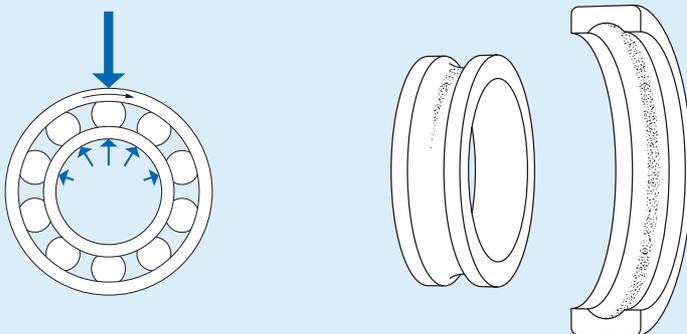


**Radiale Belastung, gleichbleibende Lastrichtung. Umlaufender Innenring – stillstehender Außenring.**

*Innenring: Laufbild gleichmäßig breit, in der Mitte der Laufbahn und über den gesamten Umlauf verlaufend.*

*Außenring: Laufbild in Belastungsrichtung am breitesten und zum Ende der belasteten Zone hin spitz zulaufend. Bei normaler Passung und normaler Lagerluft erstreckt sich das Laufbild über knapp den halben Umfang der Laufbahn.*

Bild 2



**Radiale Belastung, gleichbleibende Lastrichtung. Stillstehender Innenring – umlaufender Außenring.**

*Innenring: Laufbild in Belastungsrichtung am breitesten und zum Ende der belasteten Zone hin spitz zulaufend. Bei normaler Passung und normaler Lagerluft erstreckt sich das Laufbild über knapp den halben Umlauf der Laufbahn.*

*Außenring: Laufbild gleichmäßig breit, in der Mitte der Laufbahn und über den gesamten Umfang verlaufend.*

**Radiale Belastung, mit gleicher Drehzahl wie der Innenring umlaufend. Umlaufender Innenring – stillstehender Außenring.**

Innenring: Laufbild in Belastungsrichtung am breitesten und zum Ende der belasteten Zone hin spitz zulaufend. Bei normaler Passung und normaler Lagerluft erstreckt sich das Laufbild über knapp den halben Umfang der Laufbahn.

Außenring: Laufbild gleichmäßig breit, in der Mitte der Laufbahn und über den gesamten Umfang verlaufend.

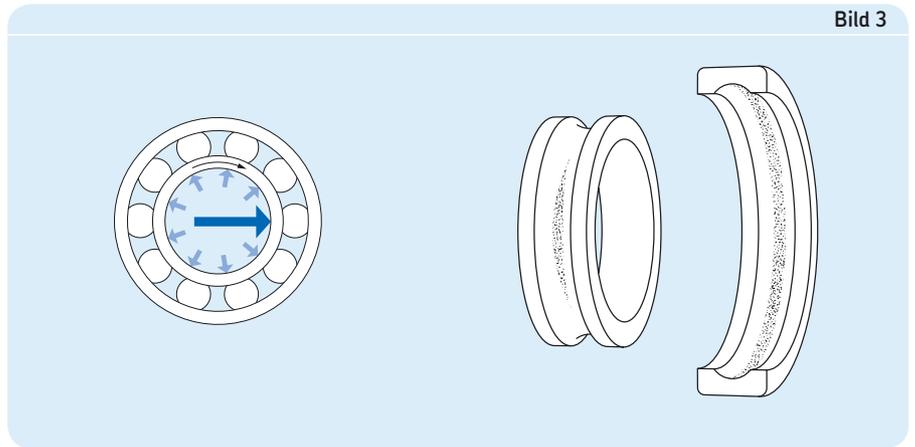


Bild 3

**Radiale Belastung, mit gleicher Drehzahl wie der Außenring umlaufend. Stillstehender Innenring – umlaufender Außenring.**

Innenring: Laufbild gleichmäßig breit, in der Mitte der Laufbahn und über den gesamten Umfang verlaufend.

Außenring: Laufbild in Belastungsrichtung am breitesten und zum Ende der belasteten Zone hin spitz zulaufend. Bei normaler Passung und normaler Lagerluft erstreckt sich das Laufbild über knapp den halben Umfang der Laufbahn.

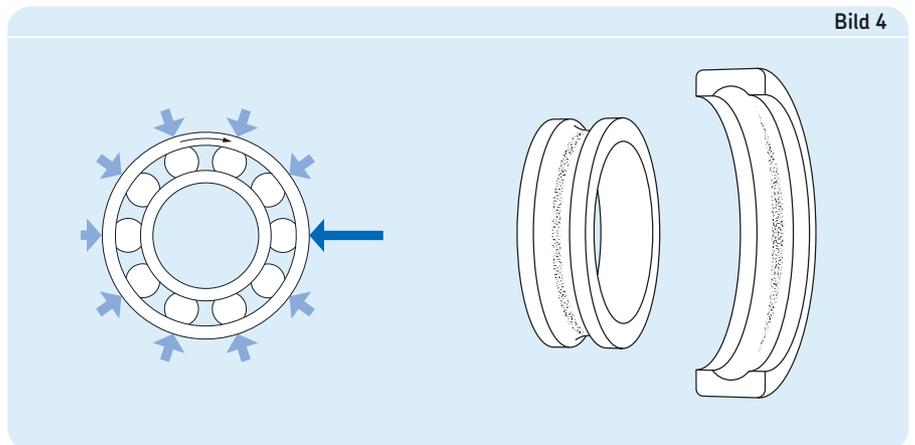


Bild 4

**Axiale Belastung, gleichbleibende Lastrichtung. Umlaufender Innen- oder Außenring.**

Innen- und Außenring: Laufbild erstreckt sich gleichmäßig breit über den gesamten Umfang der Laufbahn beider Ringe, jedoch nach einer Seite verschoben.

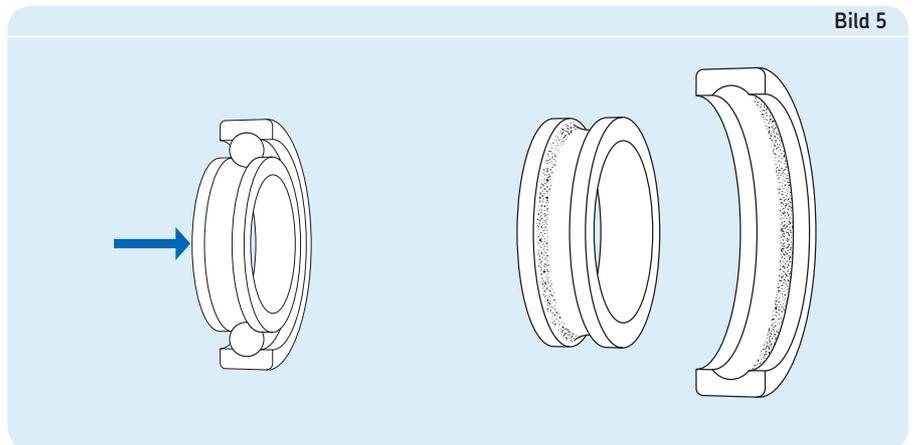


Bild 5

**Kombinierte Belastung, gleichbleibende Lastrichtung. Umlaufender Innenring – stillstehender Außenring.**

Innenring: Laufbild erstreckt sich gleichmäßig breit über den gesamten Umfang der Laufbahn, jedoch nach einer Seite verschoben.

Außenring: Laufbild erstreckt sich über den gesamten Umfang der Laufbahn, ist seitlich verschoben und in Richtung der radialen Belastung am breitesten.

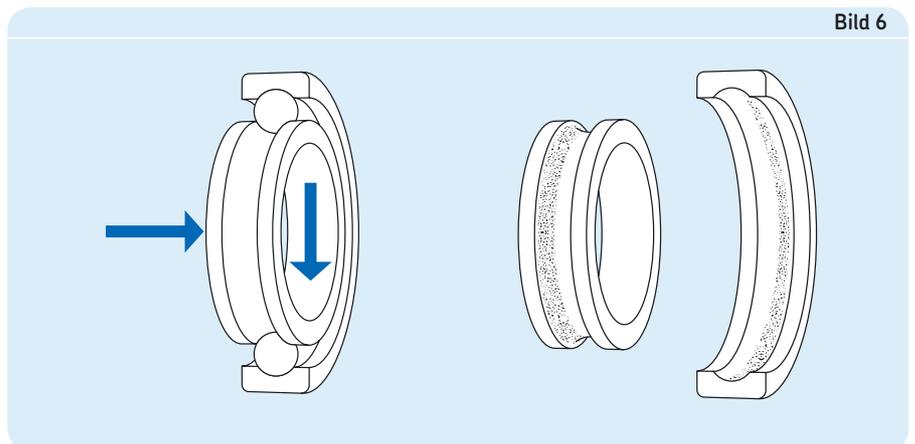
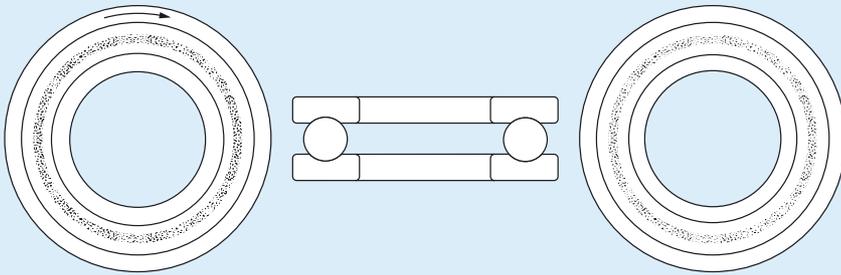


Bild 6

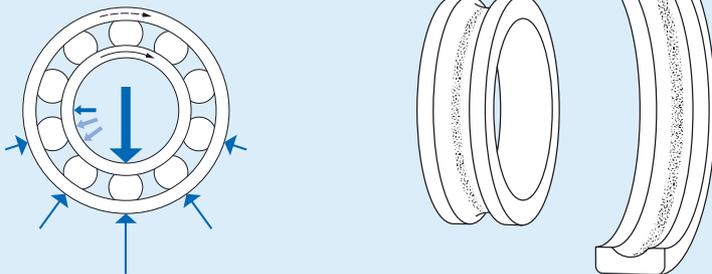
Bild 7



**Axiale Belastung, gleichbleibende Lastrichtung. Umlaufende Wellenscheibe – stillstehende Gehäusescheibe.**

Wellen- und Gehäusescheibe: Laufbild erstreckt sich gleichmäßig breit über den gesamten Umfang der Laufbahnen beider Scheiben.

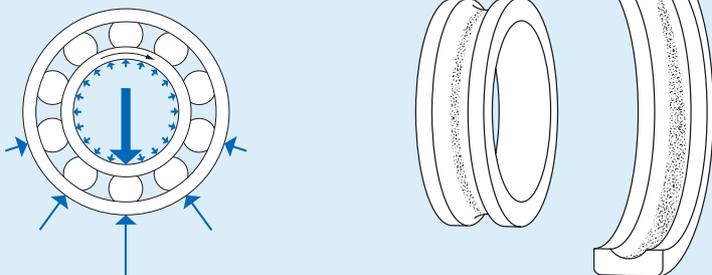
Bild 8



**Radiale Belastung bei gleichbleibender Lastrichtung und zusätzlicher Unwucht. Umlaufender Innenring – Außenring „wandert“.**

Innen- und Außenring: Laufbilder erstrecken sich gleichmäßig breit über den gesamten Umfang der Laufbahnen beider Ringe.

Bild 9

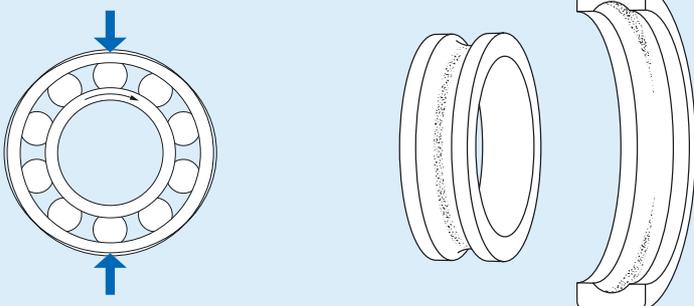


**Lager durch zu feste Passung vorgespannt. Radiale Belastung bei gleichbleibender Lastrichtung. Umlaufender Innenring – stillstehender Außenring.**

Innenring: Laufbild erstreckt sich gleichmäßig breit in der Mitte der Laufbahn über den gesamten Umfang.

Außenring: Laufbild erstreckt sich in der Mitte der Laufbahn über den gesamten Umfang, am breitesten in Richtung der radialen Belastung.

Bild 10



**Ovale Verformung des Außenringes. Umlaufender Innenring – stillstehender Außenring.**

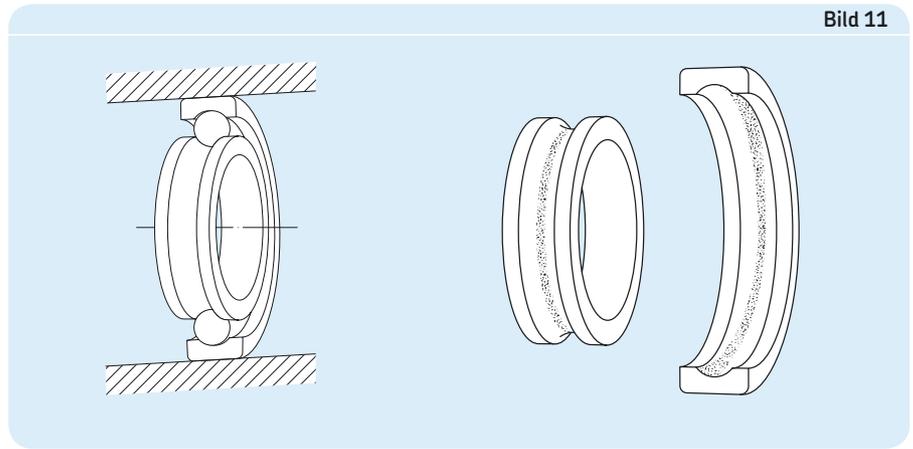
Innenring: Laufbild erstreckt sich gleichmäßig breit in der Mitte der Laufbahn über den gesamten Umfang.

Außenring: Laufbild an zwei diametral gegenüberliegenden Stellen der Laufbahn, am breitesten in Verformungsrichtung.

**Schiefstellung des Außenringes. Umlaufender Innenring – stillstehender Außenring.**

**Innenring:** Laufbild erstreckt sich gleichmäßig breit in der Mitte der Laufbahn über den gesamten Umfang.

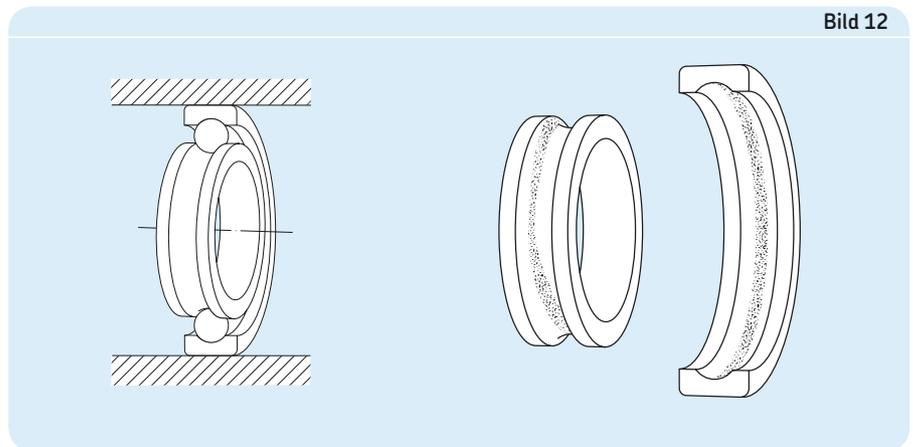
**Außenring:** Laufbild an zwei diametral gegenüberliegenden Stellen der Laufbahn, diagonal zueinander verschoben.



**Schiefstellung des Innenringes. Umlaufender Innenring – stillstehender Außenring.**

**Innenring:** Laufbild an zwei diametral gegenüberliegenden Stellen der Laufbahn, diagonal zueinander verschoben.

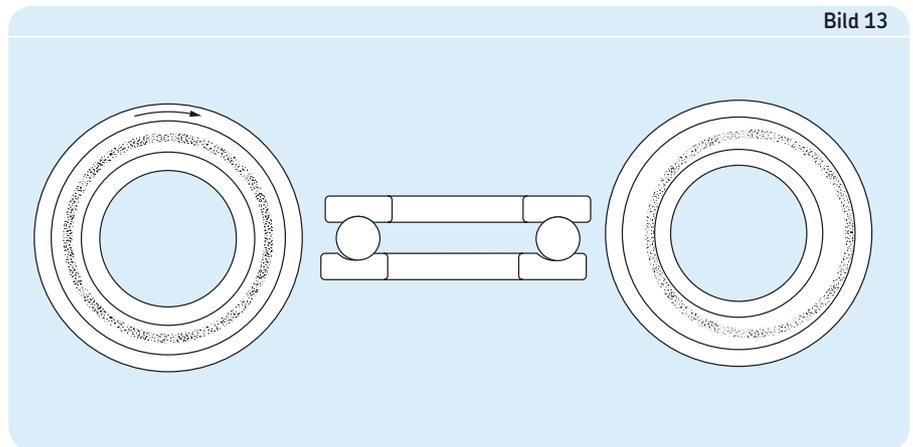
**Außenring:** Laufbild am breitesten in Belastungsrichtung und zum Ende der belasteten Zone hin spitz zulaufend. Die Lagerluft wird durch die Schiefstellung des Innenringes vermindert; die Länge des Laufbildes am Laufbahnumfang hängt davon ab, wie stark die Lagerluft vermindert ist



**Gehäusescheibe exzentrisch gegenüber der Wellenscheibe versetzt. Umlaufende Wellenscheibe – stillstehende Gehäusescheibe.**

**Wellenscheibe:** Laufbild erstreckt sich gleichmäßig breit über den gesamten Umfang der Laufbahn.

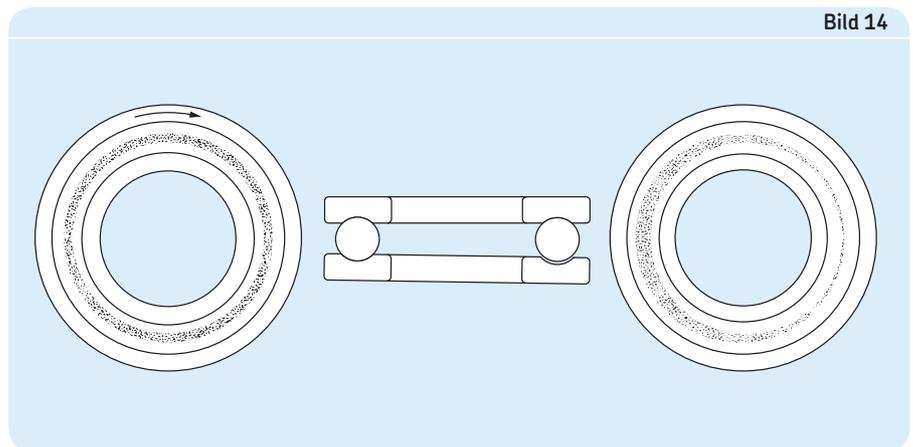
**Gehäusescheibe:** Laufbild erstreckt sich über den gesamten Umfang der Laufbahn, ist jedoch aus der Mitte verschoben.



**Schiefstellung der Gehäusescheibe. Umlaufende Wellenscheibe – stillstehende Gehäusescheibe.**

**Wellenscheibe:** Laufbild erstreckt sich gleichmäßig breit über den gesamten Umfang der Laufbahn.

**Gehäusescheibe:** Laufbild in der Mitte der Laufbahn, jedoch ungleichmäßig breit, am breitesten im Bereich der größten Belastung.



# Verschiedene Arten von Lagerschäden

Jede Schadensursache äußert sich in einem charakteristischen Schadensbild. Solche Schäden, primäre Schäden genannt, sind der Ausgangspunkt für sekundäre, ausfallverursachende Schäden – Schälungen und Risse. Schon der Primärschaden kann zur Unbrauchbarkeit des Lagers führen, beispielsweise wegen zu großer Lagerluft, starker Schwingungen oder Geräusentwicklung. Ein ausgefallenes Lager zeigt häufig eine Kombination von primären und sekundären Schäden.

Die Schadensarten können folgendermaßen unterteilt werden:

## Primäre Schäden

- Verschleiß
- Eindrückungen
- Anschmierungen
- Oberflächenzerrüttung
- Korrosion
- Stromdurchgang

## Sekundäre Schäden

- Schälungen
- Risse

## Verschleiß

Unter normalen Bedingungen ist in Wälzlagern kein nennenswerter Verschleiß feststellbar. Verschleiß kann aber entstehen, wenn Fremdpartikel in das Lager gelangen oder die Schmierung unzureichend ist. Auch Schwingungen, denen stillstehende Lager ausgesetzt sind, verursachen Verschleiß.

## Verschleiß durch schmirgelnde Teilchen

Kleine, schmirgelnde Teilchen, wie z.B. Metallabrieb, die in das Lager eingedrungen sind, verursachen Verschleiß der Laufbahnen, der Wälzkörper und des Käfigs. Die Oberflächen werden mehr oder weniger matt, je nach Körnung und Art der schmirgelnden Teilchen. Abrieb von Messingkäfigen kann als Grünspan helles Fett grün verfärben.

Die Menge an schmirgelnden Teilchen nimmt mit dem Werkstoffabrieb von den Laufflächen und vom Käfig weiter zu. Dieser Prozess schreitet immer schneller fort, bis die Oberflächen so stark verschlissen sind, dass das Lager unbrauchbar ist. Es ist jedoch nicht nötig, Lager mit nur geringem

Verschleiß zu verschrotten. Sie können nach einer Reinigung wieder verwendet werden.

Schmirgelnde Teilchen können auch von außen in das Lager eingedrungen sein, weil die Abdichtung den Betriebsbedingungen nicht angemessen war. Möglicherweise sind die Teilchen auch mit verschmutztem Fett oder während der Montage in das Lager gelangt.

*Außenring eines Pendelrollenlagers, dessen Laufbahn durch schmirgelnde Teilchen verschlissen wurde. Verschlissene und nicht verschlissene Bereiche sind deutlich zu unterscheiden.*



Bild 1

### Verschleiß durch schmirgelnde Teilchen

#### Erscheinungsbild

Kleine Eindrückungen auf den Laufbahnen der Lagerringe und Wälzkörper. Matte, verschlissene Laufbahnoberflächen.

Fett dunkel verfärbt.

#### Ursache

Mangelnde Sauberkeit vor und während des Einbaus.

Unwirksame Dichtungen.

Schmierstoffe durch Abrieb vom Messingkäfig verunreinigt.

#### Maßnahme

Das Lager erst unmittelbar vor dem Einbau aus der Verpackung nehmen. Den Arbeitsplatz und die Werkzeuge sauberhalten.

Die Abdichtung überprüfen und gegebenenfalls verbessern.

Frischen, sauberen Schmierstoff verwenden. Schmiernippel abwischen. Öl filtern.

## Verschleiß infolge unzureichender Schmierung

Wenn die Schmierstoffmenge nicht ausreicht oder der Schmierstoff seine Schmier-eigenschaften verloren hat, kann sich kein genügend tragfähiger Schmierfilm bilden. Es kommt zu metallischem Kontakt zwischen Wälzkörpern und Laufbahnen. In der Anfangsphase wirkt eine auf diese Weise verschlissene Laufbahn wie geläppt. Die mikroskopisch kleinen Rauheitsspitzen, die durch den Fertigungsprozess erzeugt werden, werden abgeschert. Zugleich wird ein gewisser Einlaufeffekt erzielt, durch den die Oberflächen ein spiegelglattes Aussehen erhalten. In diesem Stadium kann es auch zu Oberflächenzerrüttungen kommen (→ Seite 19).

Ist der Schmierstoff vollständig verbraucht, steigt die Temperatur stark an. Der gehärtete Wälzlagerstahl verliert seine Härte, und die Oberflächen verfärben sich blau bis braun. Die Temperatur kann dabei sogar so hoch werden, dass das Lager blockiert.

Zylinderrolle mit spiegelblanker Oberfläche infolge Schmierstoffmangel.

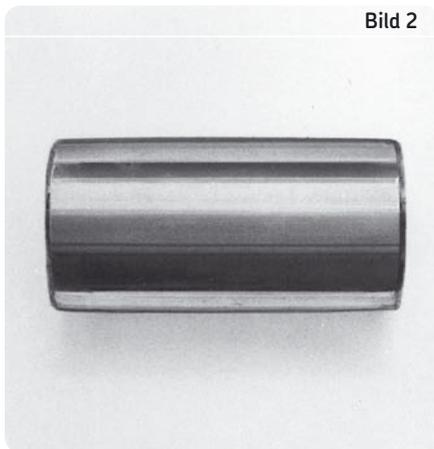


Bild 2

Außenring eines Pendelrollenlagers, das nicht ausreichend geschmiert wurde. Die Laufbahnen sehen wie hochglanzpoliert aus.

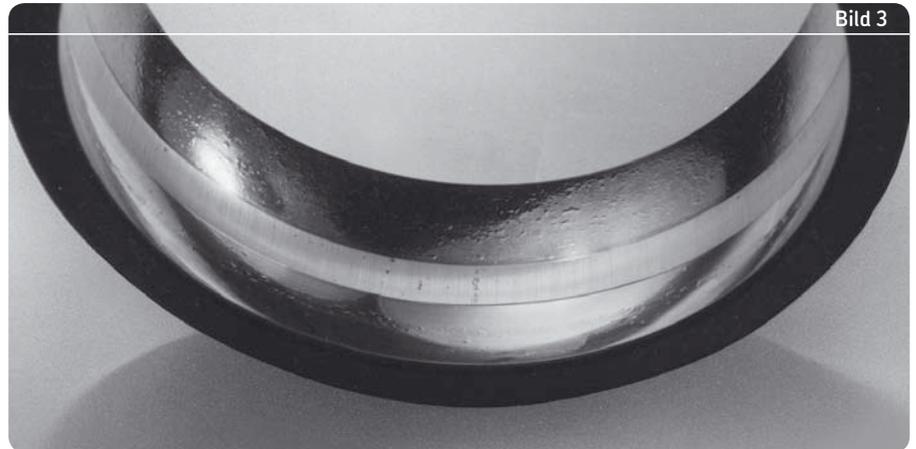


Bild 3

### Verschleiß infolge unzureichender Schmierung

#### Erscheinungsbild

Abgenutzte, häufig spiegelblanker Oberflächen; im fortgeschrittenen Stadium blaue bis braune Verfärbung.

#### Ursache

Der Schmierstoff wurde nach und nach aufgebraucht oder hat seine Schmiereigenschaften verloren.

#### Maßnahme

Überprüfen, ob der Schmierstoff das Lager erreicht. Häufiger nachschmieren.

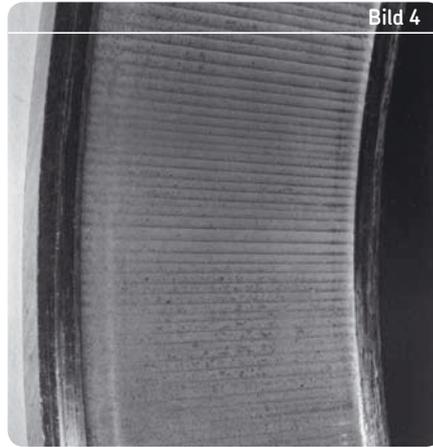
## Verschleiß infolge von Schwingungen

Bei Stillstand eines Lagers befindet sich kein Schmierfilm zwischen Wälzkörpern und Laufbahnen. Es kommt zu metallischem Kontakt. Die Schwingungen erzeugen kleine Relativbewegungen zwischen Wälzkörpern und Lagerringen. Aufgrund dieser Bewegung brechen kleine Teilchen aus den Oberflächen, und es bilden sich mit der Zeit Vertiefungen in den Laufflächen. Dieser Schaden ist als „false brinelling“, manchmal auch als „Waschbrett“ bekannt. Kugeln verursachen Dellen, während Rollen Riffeln zur Folge haben.

In vielen Fällen ist in den Vertiefungen Rost feststellbar. Dieser entsteht durch Oxidation der losgelösten Teilchen, die eine große Oberfläche im Verhältnis zu ihrem Volumen haben. Die Wälzkörper sind nicht sichtbar beschädigt.

Je größer die Energie der Schwingungen ist, um so schwerwiegender ist auch der Schaden. Auch die Dauer der Schwingungen und die Größe der Lagerluft haben Einfluss auf die Schadensentwicklung, die Frequenz der Schwingungen hingegen nicht.

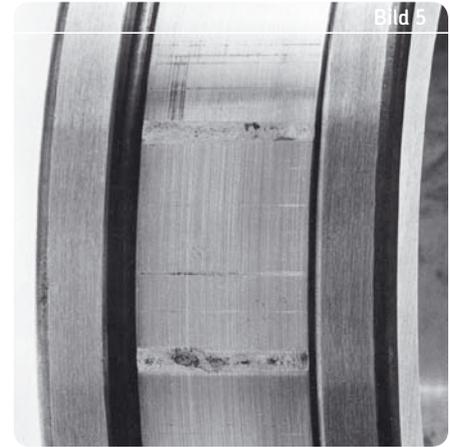
Rollenlager sind empfindlicher gegenüber Schwingungen als Kugellager, wobei unter den Rollenlagern Zylinderrollenlager am anfälligsten sind. Das scheint damit zusammenzuhängen, dass Kugeln in jeder beliebigen Richtung abrollen können. Rollen hingegen können nur in einer Richtung abrollen, während sie in alle anderen Richtungen nur gleiten.



Außenring eines Kegelrollenlagers, das durch Schwingungen während des Betriebs beschädigt wurde.

Die Riffelung durch Schwingungen ähnelt manchmal dem Schadensbild, das bei Stromdurchgang entsteht. Bei Stromdurchgang sind die Vertiefungen jedoch am Grund dunkel gefärbt, nicht blank oder angerostet. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist, dass bei Stromdurchgang die Wälzkörper und die Laufbahnen beschädigt werden, bei Schwingungen nur die Laufbahnen.

Durch Schwingungen beschädigte Lager sind am ehesten in Maschinen zu finden, die außer Betrieb sind und in der Nähe von Maschinen stehen, die Schwingungen erzeugen, also beispielsweise in Transformatorgebläsen, Notstromaggregaten und



Verschleiß durch Schwingungen am Innenring eines Zylinderrollenlagers. Der Schaden ist bei Stillstand des Lagers entstanden. Die deutlich schwächeren Rillen – gut zu unterscheiden von den ausgeprägten Mulden mit korrodiertem Grund – deuten darauf hin, dass sich der Ring für kurze Zeitschnitte in Umfangsrichtung weiterbewegt hat.

Hilfsmaschinen auf Schiffen. Auch Lager in Maschinen, die auf der Schiene, der Straße oder dem Wasser transportiert werden, können durch Schwingungen oder Erschütterungen beschädigt werden.

Ist im Voraus abzusehen, dass eine Maschine ständig Schwingungen oder Erschütterungen ausgesetzt ist, sollte dieses Schadensrisiko schon bei der Konstruktion berücksichtigt werden. Bevorzugt sollten dann Kugellager anstelle von Rollenlagern ausgewählt werden. Kugellager sind nicht nur unempfindlicher gegen Schwingungen, sie können auch mit Hilfe von Federn axial angestellt werden, siehe **Bild 6**. Auch ein

### Verschleiß infolge von Schwingungen

#### Erscheinungsbild

Vertiefungen in den Laufbahnen, die bei Rollenlagern länglich und bei Kugellagern rund sind. Sie können am Grund entweder glänzend oder matt und angerostet aussehen.

#### Ursache

Das Lager wurde im Stillstand Schwingungen ausgesetzt.

#### Maßnahme

Lager während des Transports durch radiale Vorspannung sichern. Eine schwingungsdämpfende Unterlage vorsehen. Wenn möglich, Kugellager anstelle von Rollenlagern einsetzen. Nach Möglichkeit Ölbad schmierung vorsehen.

Ölbad, in das alle Wälzkörper in der belasteten Zone eintauchen, bietet Schutz. Eine schwingungsdämpfende Unterlage kann ebenfalls dazu beitragen, Schäden zu vermeiden.

Lager in zu transportierenden Maschinen können geschützt werden, indem man die Welle so sichert, dass Relativbewegungen gegenüber den Lagern unmöglich sind.

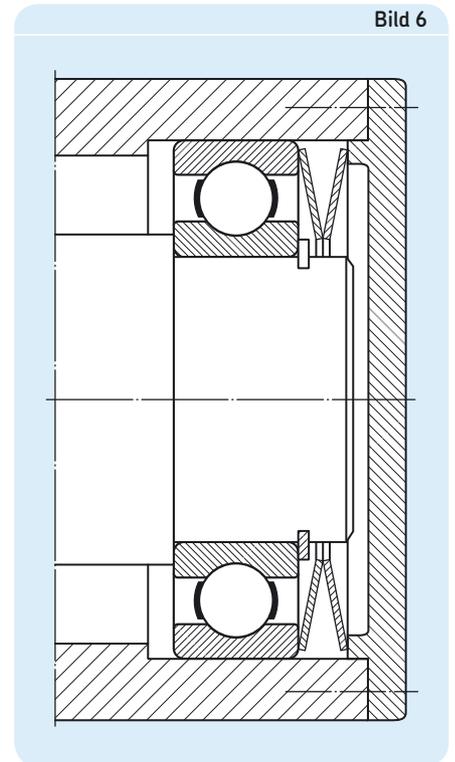


Bild 6

Rillenkugellager mit Federanstellung, um Schäden durch Schwingungen zu verhindern.

Innen- und Außenring eines Zylinderrollenlagers, das Schwingungen ausgesetzt war.

Außenring eines Pendelkugellagers, durch Erschütterung im Stillstand beschädigt. Die Stellung der Ringe zueinander blieb während des Stillstands unverändert.



Bild 7



Bild 8

# Eindrückungen

Laufbahnen und Wälzkörper können eingedrückt werden, wenn die Einbaukräfte am falschen Lagerring aufgebracht und dadurch über die Wälzkörper geleitet werden. Außergewöhnlich hohe Belastungen, die im Stillstand auf das Lager wirken, oder in das Lager eingedrungene Fremdkörper können ebenfalls Eindrückungen verursachen.

## Eindrückungen durch fehlerhaften Einbau oder Überlastung

Der Abstand zweier Eindrückungen entspricht dem der Wälzkörper. Kugellager werden sehr leicht durch Eindrückungen beschädigt, wenn die Kräfte beim Ein- oder Ausbau über die Wälzkörper geleitet werden. Besonders Pendelkugellager sind gefährdet. In Pendelrollenlagern kommt es zu nächst zu Anschmierungen (→ Seite 14) und erst bei höherer Belastung zu Eindrückungen. Dasselbe gilt für Kegelrollenlager, die beim Anstellen nicht gedreht werden.



Bild 1

Auch in Lagern, die mit außergewöhnlich fester Passung eingebaut wurden oder zu weit auf den kegeligen Wellensitz oder eine Hülse aufgepresst wurden, entstehen Eindrückungen.

*Scheibe eines Axial-Rillenkugellagers, das im Stillstand überlastet wurde. Die Eindrückungen sind schmal und radial ausgerichtet.*

*Ein Beispiel für die Auswirkung unsachgemäßer Handhabung. Eine Rolle eines zweireihigen Zylinderrollenlagers war einem Schlag ausgesetzt (→ Bild 2). Ein Umfangs-Foto der Rolle (Abwicklung) zeigt die diametral gegenüberliegenden Eindrückungen (→ Bild 3). Die Rolle erzeugte eine Eindrückung auf der Innenringlaufbahn (→ Bild 4).*

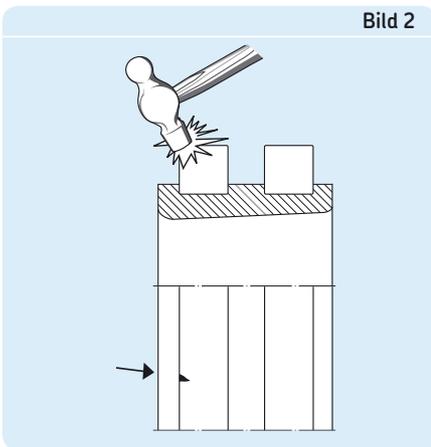


Bild 2

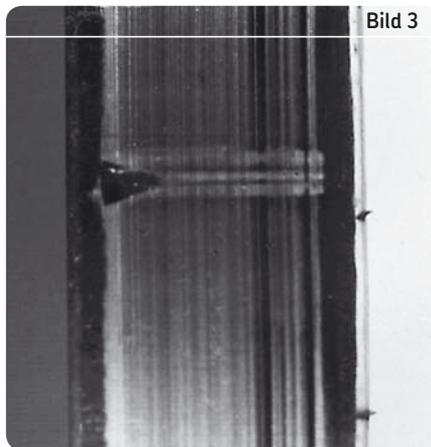


Bild 3

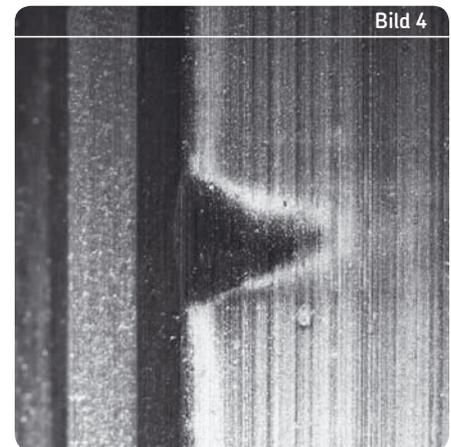


Bild 4

### Eindrückungen durch fehlerhaften Einbau oder Überlastung

#### Erscheinungsbild

Eindrückungen in den Laufbahnen beider Ringe; der Abstand zwischen zwei Vertiefungen entspricht dem Abstand der Wälzkörper zueinander.

#### Ursache

Einbaukräfte am falschen Ring aufgebracht.

Zu starkes Aufpressen auf kegeligen Sitz.

Überlastung im Stillstand.

#### Maßnahme

Einbaukräfte an dem Ring aufbringen, der mit fester Passung eingebaut wird.

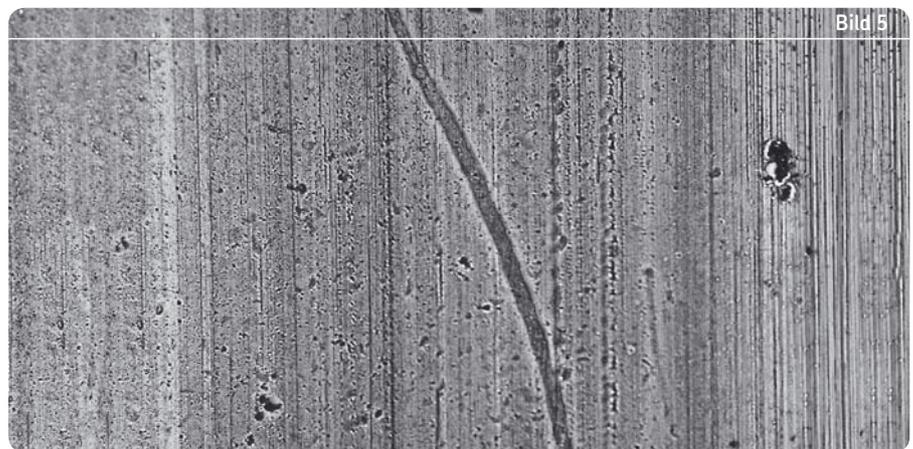
Bei Einbau auf kegeligen Sitz Einbaurichtlinien von SKF beachten.

Überlastung vermeiden oder Lager mit höherer statischer Tragfähigkeit verwenden.

## Eindrückungen durch Fremdpartikel

Fremdpartikel wie z.B. Metallspäne, die in das Lager eingedrungen sind, verursachen Eindrückungen, wenn sie von den Wälzkörpern in die Laufbahnen eingewalzt werden. Nicht nur harte Teilchen verursachen Eindrückungen, sondern z.B. auch Papierteilchen oder Textilfasern. Die Eindrückungen sind meist klein und über die gesamte Laufbahn verteilt.

*Eindrückungen durch Fremdpartikel in der Laufbahn eines Rollenlagers – 50-fache Vergrößerung.*



### Eindrückungen durch Fremdpartikel

#### Erscheinungsbild

Kleine Eindrückungen, die über die Laufbahnen beider Ringe und die Wälzkörper verteilt sind.

#### Ursache

Eindringen von Fremdpartikeln in das Lager.

#### Maßnahme

Beim Einbau auf Sauberkeit achten. Sauberen Schmierstoff benutzen. Abdichtung verbessern.

# Anschmierungen

Wen zwei unzureichend geschmierte Oberflächen unter Last aufeinander gleiten, wird Werkstoff von einer Oberfläche auf die andere übertragen. Dieser Vorgang wird Anschmierung genannt. Die Oberflächen sehen aufgeraut aus. Wenn Anschmierungen auftreten, wird der Werkstoff auf Temperaturen erwärmt, bei denen Umhärtung stattfindet. Hierdurch entstehen örtliche Spannungskonzentrationen, die Risse oder Schälung zur Folge haben können.

Bei Rollenlagern tritt Gleitreibung vorwiegend in der Berührungsfläche zwischen Wälzkörperstirnfläche und Führungsborden auf. Anschmierungen können auch auftreten, wenn die Wälzkörper bei Eintritt in die belastete Zone starken Beschleunigungen ausgesetzt sind. Relativbewegungen zwi-

schen den Lagerringen und der Welle oder dem Gehäuse können Anschmierungen in der Innenringbohrung, der Mantelfläche des Außenrings und den Stirnflächen zur Folge haben.

In Axial-Rillenkugellagern kann es zu Anschmierungen kommen, wenn die Belastung im Verhältnis zur Drehzahl zu gering ist.

## Anschmierungen an Rollenstirnflächen und Führungsborden

In Zylinderrollen- und Kegelrollenlagern sowie in Pendelrollenlagern mit Führungsborden können Anschmierungen an den Führungsflächen der Borde und an den Rollenstirnflächen auftreten. Ursache dafür

ist ungenügende Schmierung zwischen Führungsbord und Rollen. Die Anschmierungen treten dann auf, wenn eine hohe Axialbelastung über einen längeren Zeitraum in eine Richtung wirkt, z. B. wenn Kegelrollenlager zu stark gegeneinander angeordnet sind. Bei wechselnder Axialbelastung kommt es seltener zu Anschmierungen, da während der Lastrichtungswechsel Schmierstoffe an die entlastete Berührungsfläche gelangen. Diese Art von Anschmierungen kann durch Wahl eines geeigneten Schmierstoffs weitgehend vermieden werden.

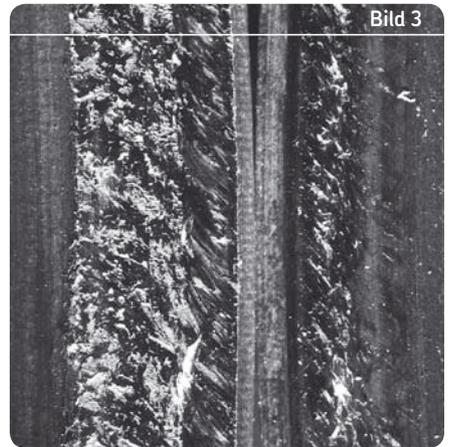
Anschmierungen an der Mantelfläche der Rolle eines Pendelrollenlagers – 100-fache Vergrößerung.



Zylinderrolle mit Anschmierungen an der Stirnfläche, verursacht durch hohe Axialbelastung und unzureichende Schmierung.



Anschmierungen an einem Führungsbord, verursacht durch hohe Axialbelastung und unzureichende Schmierung.

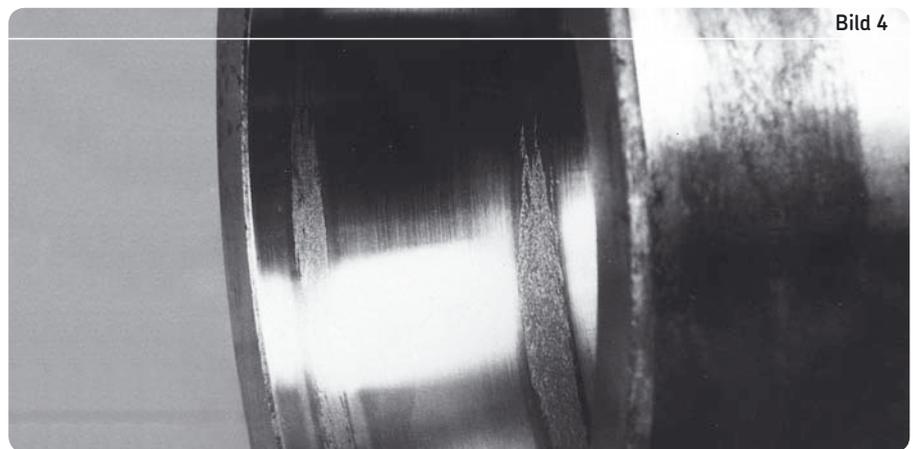


Anschmierungen an Rollenstirnflächen und Führungsborden		
Erscheinungsbild	Ursache	Maßnahme
Rauhe und verfärbte Rollenstirnflächen und Führungsborde.	Gleiten unter hoher Axiallast bei unzureichender Schmierung.	Besser geeigneten Schmierstoff verwenden.

## Anschmierungen an Rollen und Laufbahnen

Unter bestimmten Bedingungen treten Anschmierungen auf Rollen und Laufbahnen von Pendelrollen- und Zylinderrollenlagern auf. Das ist der Fall, wenn die Rolle in der unbelasteten Zone abgebremst werden, sobald sie nicht mehr von den Ringen angetrieben werden. Bei Eintritt in die belastete Zone werden die Rollen dann so stark beschleunigt, dass sie auf den Laufbahnen gleiten und Anschmierungen verursachen.

*Anschmierungen an beiden Laufbahnen eines Pendelrollenlager-Außenrings, verursacht durch Gleiten der Rollen.*



### Anschmierungen an Rollen und Laufbahnen

#### Erscheinungsbild

Rauhe und verfärbte Flächen auf den Laufbahnen am Eintritt in die belastete Zone und an der Mantelfläche der Rolle.

#### Ursache

Beschleunigung der Wälzkörper beim Eintritt in die belastete Zone.

#### Maßnahme

Besser geeigneten Schmierstoff wählen. Lagerluft vermindern.

## Anschmierungen in der Laufbahn im Abstand der Wälzkörper

Eine häufige Fehlerursache beim Einbau von Zylinderrollenlagern besteht darin, dass der Ring mit Käfig und Rollensatz gegenüber dem anderen Ring verkantet und nicht gedreht wird. Die Rollen schleifen dabei über die Laufbahn des anderen Ringes und verursachen dort streifenförmige Anschmierungen quer zur Laufrichtung. Auch die Rollen können beschädigt werden. Diese Schadensart lässt sich vermeiden, wenn die Laufbahn gut geschmiert und einer der Ringe während des Einbaus gedreht wird. Bei Serieneinbau ist es vorteilhaft, eine Führungshülse zu benutzen (→ **Bild 5**). Ähnliche Schäden können entstehen, wenn die Lageringeringe mit zu fester Passung bei zu gerin-

ger radialer Lagerluft eingebaut werden und damit das Lager vorgespannt wird.

Streifenförmige Anschmierungen auf den Laufbahnen von Pendelrollen- und Kegelrollenlagern sind die Folge von unsachgemäßer Handhabung oder von Einbaufehlern. Schläge oder hohe Kräfte am falschen Ring können schmale, quer verlaufende Anschmierungen auf den Laufbahnen verursachen, wenn das Lager nicht gedreht wird, siehe (→ **Bild 8**).

Führungshülse.

Zylinderrollenlager mit streifenförmigen Anschmierungen im Rollenabstand auf der Innenlaufbahn und auf den Rollen. Die Ringe wurden beim Einbau gegeneinander verkantet und nicht gedreht.

Bild 5

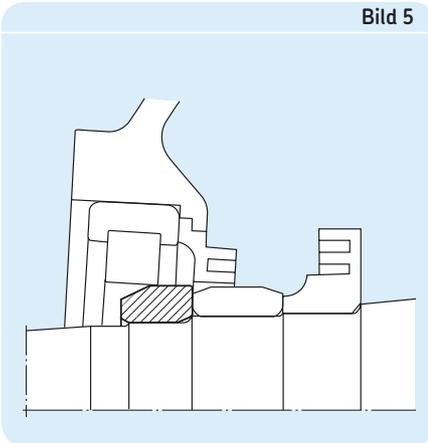
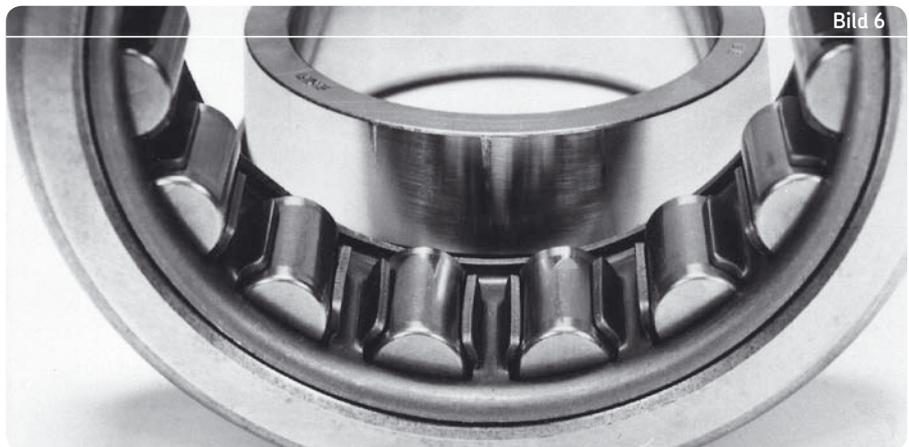


Bild 6



### Anschmierungen in der Laufbahn im Abstand der Wälzkörper

#### Erscheinungsbild

Streifenförmige Anschmierungen senkrecht zur Laufrichtung im Rollenabstand auf den Laufbahnen von Zylinderrollenlagern.

Streifenförmige Anschmierungen senkrecht zur Laufrichtung im Rollenabstand auf den Laufbahnen von Pendelrollen- und Kegelrollenlagern.

#### Ursache

Beim Einbau wurden der Ring mit Käfig und Rollensatz und der andere Ring gegeneinander verkantet.

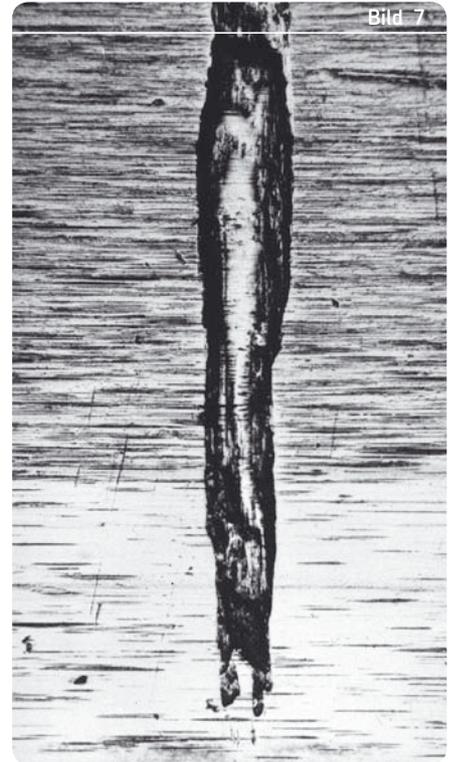
Schlagwirkung oder zu starkes Anstellen ohne gleichzeitiges Drehen des Lagers.

#### Maßnahme

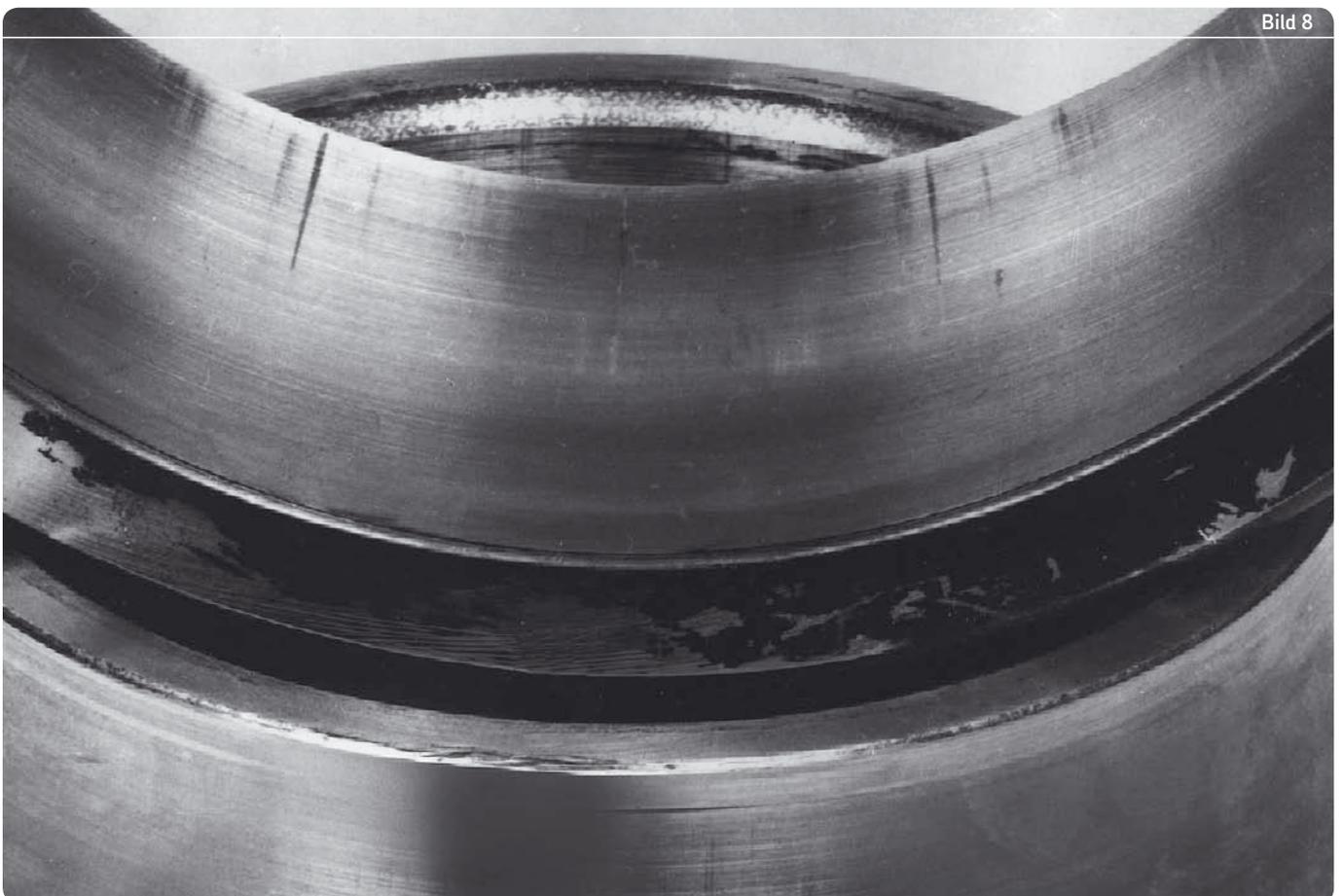
Beim Einführen Innen- bzw. Außenring drehen. Oberflächen gut schmieren. Bei Serienbau Führungshülse verwenden.

Lager während des Anstellens drehen. Einbaukräfte am Ring mit der festeren Passung aufbringen, nie über die Wälzkörper leiten.

Eine der streifenförmigen Ansmierungen aus Bild 8 – 50-fach vergrößert.

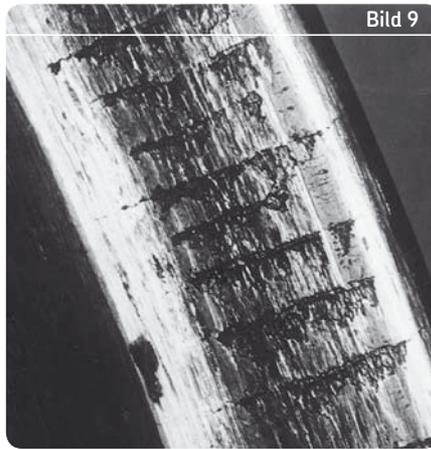


Außenringlaufbahn eines Pendelrollenlagers mit streifenförmigen Ansmierungen, verursacht durch einen Schlag gegen den Innenring.



## Anschmierungen an Außenflächen

Anschmierungen können auch an Außenflächen hoch belasteter Lager vorkommen. Sie sind die Folge von Relativbewegungen zwischen Lagerring und Welle bzw. Gehäuse. Anschmierungen an der Innenringbohrung, der Außenringmantelfläche oder den Stirnflächen können nur durch die Wahl einer Passung vermieden werden, die fest genug ist, um Relativbewegungen zu verhindern. Ein axiales Verspannen der Ringe reicht nicht aus.



Anschmierungen an der Seitenfläche eines Zylinderrollenlager-Innenrings.



Anschmierungen an der Mantelfläche eines Pendelrollenlager-Außenrings. Von der Gehäusebohrung wurde Werkstoff auf den Lagerring übertragen.

### Anschmierungen an Außenflächen

#### Erscheinungsbild

Rauhe und verfärbte Innenringbohrung, Außenringmantelfläche oder Stirnfläche.

#### Ursache

Relativbewegung gegenüber Welle oder Gehäuse.

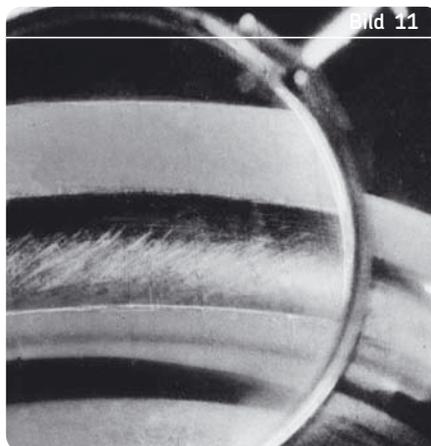
#### Maßnahme

Festere Passung wählen.

## Anschmierungen in Axialkugellagern

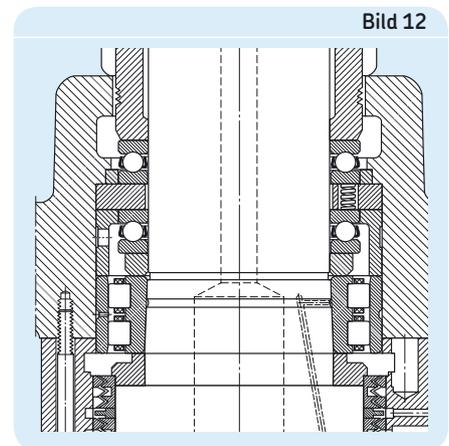
Anschmierungen in den Laufbahnen von Axialkugellagern können auftreten, wenn die Drehzahl im Verhältnis zur Belastung zu hoch ist. Die Zentrifugalkraft drängt dann die Kugeln in den flachen Laufrillen nach außen. Dort rollen sie nicht mehr einwandfrei ab, d. h. es entstehen hohe Gleitanteile in der Berührungsfläche Kugel/Laufbahn, die zur Bildung diagonal verlaufender streifenförmiger Anschmierungen im äußeren Bereich der Laufbahn führen. Werden Axialkugellager bei niedriger Belastung und hohen Drehzahlen eingesetzt, lassen sich derartige Schäden vermeiden, wenn die Lager zusätzlich belastet werden, z. B. durch vorgespannte Federn (→ Bild 12). Einzelheiten

zur Berechnung der erforderlichen Mindest-Axialbelastung sind im SKF Hauptkatalog oder im IEC angegeben.



**Bild 11:** Laufbahn mit streifenförmigen Anschmierungen. Drehzahl im Verhältnis zur Lagerbelastung zu hoch.

**Bild 12:** Anstellen Axial-Rillenkugellager mit Hilfe von Federn.



### Anschmierungen in Axialkugellagern

#### Erscheinungsbild

Diagonal verlaufende streifenförmige Anschmierungen.

#### Ursache

Belastung im Verhältnis zur Drehzahl zu niedrig.

#### Maßnahme

Lager mittels Federn anstellen.

# Oberflächenzerrüttung

Wird der Schmierfilm zwischen Laufbahn und Wälzkörper zu dünn, kommen die Rauheitsspitzen der Oberflächen kurzzeitig miteinander in Berührung. Dabei bilden sich in der Oberfläche kleinste Risse; dieser Vorgang wird Oberflächenzerrüttung genannt. Diese Risse dürfen nicht mit Ermüdungsrissen verwechselt werden, die unter der Oberfläche entstehen und zu Schälungen führen. Die Risse bei Oberflächenzerrüttung sind zunächst mikroskopisch klein, vergrößern sich schnell und beeinträchtigen schließlich den ruhigen Lauf des Lagers. Die Risse können auch die Bildung von Ermüdungsrissen unter der Oberfläche beschleunigen und somit die Lagerlebensdauer verkürzen.

Unter günstigen Schmierverhältnissen besteht keine Gefahr der Oberflächenzerrüttung, d. h. solange der Schmierfilm nicht zu dünn wird, sei es aus Mangel an Schmierstoff, wegen Viskositätsänderungen bei Temperaturerhöhung oder wegen zu hoher Belastung.

Oberflächenzerrüttung, die als Band über den gesamten Umfang einer Rolle eines Pendelrollenlagers verläuft.



Bild 1

Oberflächenzerrüttung der in Bild 1 gezeigten Rolle – 100-fach vergrößert.

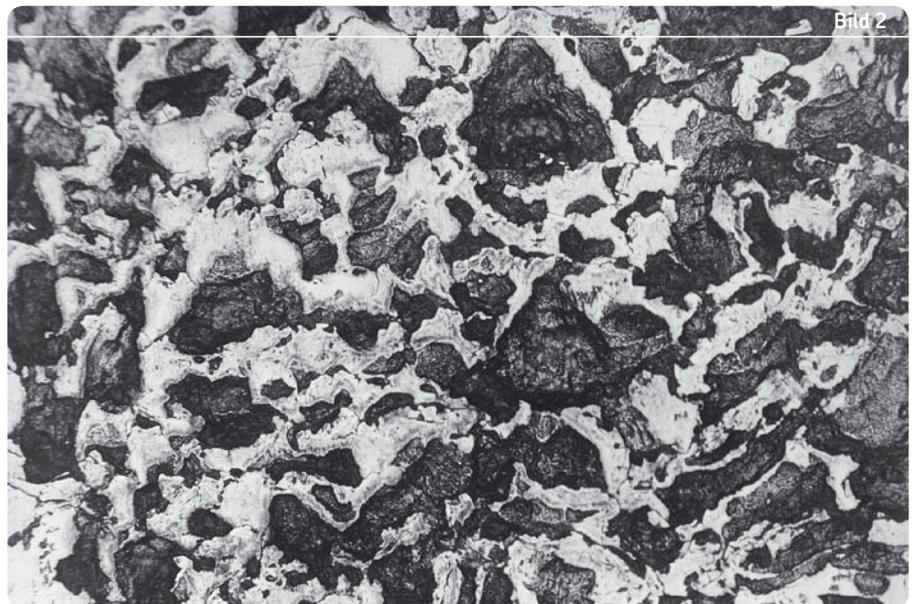


Bild 2

## Oberflächenzerrüttung

### Erscheinungsbild

Anfangs ist mit bloßem Auge keine Beschädigung feststellbar. Im fortgeschrittenen Stadium sind kleine, flache Krater mit kristalliner Bruchfläche zu erkennen.

### Ursache

Nicht ausreichende Schmierung oder ungünstige Schmierverhältnisse.

### Maßnahme

Schmierung verbessern.

# Korrosion

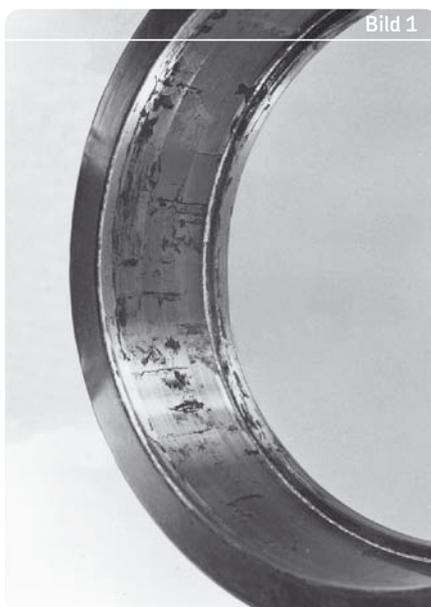
Wenn Wasser oder aggressive Medien in solchen Mengen in das Lager gelangt, dass der Schmierstoff die Stahloberfläche nicht mehr ausreichend schützen kann, entsteht Rost. Der Prozess der Spaltkorrosion führt schnell zu Rostnarben. Eine weitere Erscheinungsform der Korrosion ist die Reibkorrosion oder Reiboxidation.

## Spaltkorrosion

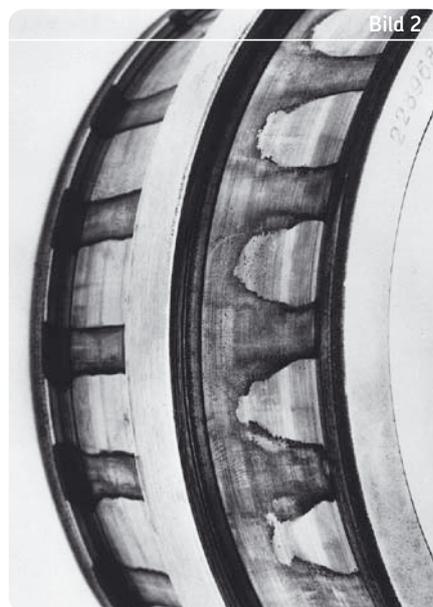
Auf blanken Stahloberflächen, die der Luft ausgesetzt sind, bildet sich eine dünne schützende Oxidschicht. Diese Schicht ist jedoch nicht undurchdringlich. Sobald Wasser oder aggressive Medien mit der Stahloberfläche in Kontakt treten, kommt es zu chemischen Reaktionen und es bilden sich Rostnarben.

Spaltkorrosion ist eine große Gefahr für Lager, da sie Schäden durch Schälung und Risse auslösen kann. Säuren greifen Stahl schnell an, während alkalische Lösungen weniger gefährlich sind. Salze bilden zusammen mit Wasser ein Elektrolyt, das galvanische Korrosion verursacht, auch Wasserätzung genannt. Salzwasser oder Meerwasser sind deshalb besonders gefährlich.

Rostnarben im Außenring eines Zylinderrollenlagers.



Starke Korrosion infolge Wassereinwirkung (Wasserätzung) auf dem Innenring eines Pendelrollenlagers.



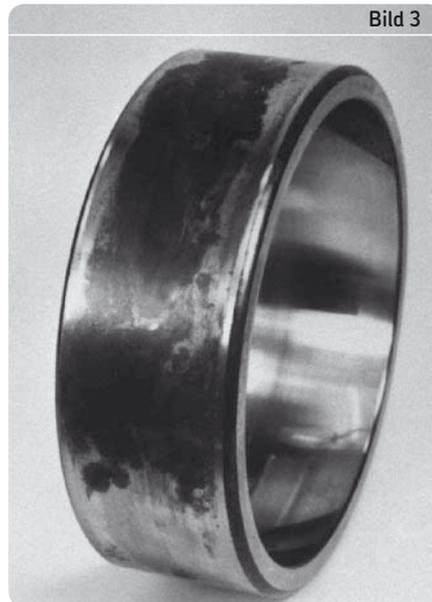
Spaltkorrosion		
Erscheinungsbild	Ursache	Maßnahme
Grau-schwarze Streifen quer zu den Laufbahnen, meist im Abstand der Wälzkörper. Im späteren Stadium Lochfraß an den Laufbahnen und anderen Lageroberflächen.	Einwirkung von Wasser, Feuchtigkeit oder aggressiven Medien im Lager über einen längeren Zeitraum.	Abdichtung verbessern. Schmierstoff mit besseren Korrosions-Schutzeigenschaften einsetzen.

## Reibkorrosion

Ist die dünne Oxidschicht verletzt, dringt die Oxidation tiefer in den Werkstoff vor, beispielsweise bei Relativbewegungen zwischen Lagerring und Welle oder Gehäuse, bedingt durch eine zu lose Passung. Dieser Prozess wird mit Reibkorrosion oder Reiboxidation bezeichnet und kann im fortgeschrittenen Stadium stellenweise tief in den Lagerwerkstoff vordringen. Durch die Relativbewegung können auch kleine Werkstoffteilchen aus der Oberfläche herausgerissen werden. Diese Teilchen oxidieren schnell an der Luft und bilden den Passungsrost.

Der Passungsrost führt dazu, dass die Lagerschalen nicht mehr gleichmäßig am Lagersitz anliegen. Dies wirkt sich ungünstig auf die Lastverteilung im Lager aus. Roststellen wirken außerdem wie Kerben.

*Passungsrost am Außenring eines Pendelrollenlagers.*



*Starker Passungsrost in der Bohrung eines Pendelkugellagers.*



Reibkorrosion		
Erscheinungsbild	Ursache	Maßnahme
Ausgedehnte Roststellen auf der Mantelfläche des Außenrings oder in der Bohrung des Innenrings. Das Laufbild lässt an den entsprechenden Stellen des Ringes eine stärkere Abnutzung der Laufbahn erkennen.	Passung zu lose. Formfehler am Wellen- oder Gehäusesitz.	Richtige Passung wählen bzw. Formfehler beseitigen.

# Schäden infolge Stromdurchgang

Wenn elektrischer Strom durch ein Lager fließt, d. h. von einem Ring über die Wälzkörper zum anderen Ring, kommt es zu einem Lagerschaden. An den Übergangsstellen ähnelt dieser Vorgang dem Lichtbogenschweißen.

Der Lagerwerkstoff wird dabei bis zur Anlass- und sogar Schmelztemperatur erwärmt. Dabei entstehen verfärbte, unterschiedlich große Bereiche, in denen der Werkstoff angelassen, neu gehärtet oder aufgeschmolzen wurde. An Stellen, an denen das Metall aufgeschmolzen wurde, können sich auch kleine Krater bilden.

Stromdurchgang führt häufig zu Riffelbildung auf den Laufbahnen der Lagerringe. Auch auf Rollen ist diese Riffelung zu finden, während sich Kugeln lediglich dunkel verfärben.

Schäden durch Stromdurchgang und Schäden durch Schwingungen können manchmal schwierig zu unterscheiden sein. Ein Merkmal, dass die Riffelung durch Stromdurchgang verursacht wurde, ist der dunkle Grund der Rillen im Gegensatz zum glänzenden oder rostigen Aussehen der Rillen, die durch Schwingungen entstanden sind. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist das Fehlen von Schäden auf den Wälzkörpern bei der Riffelung aufgrund von Schwingungen.

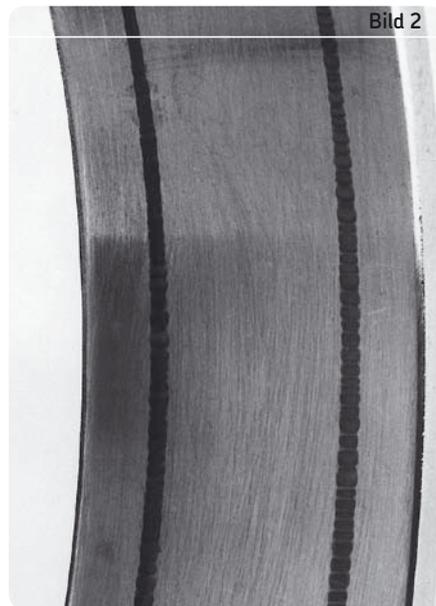
Sowohl Wechsel- als auch Gleichstrom verursachen Lagerschäden, und zwar schon bei niedriger Stromstärke. Dabei sind stillstehende Lager durch Strom weniger gefährdet als umlaufende. Das Schadensausmaß hängt von folgenden Faktoren ab: Stromstärke, Zeitdauer, Lagerbelastung, Drehzahl und Schmierstoff.

Die einzige Möglichkeit, solche Schäden zu vermeiden, ist, Stromdurchgang durch das Lager zu verhindern.

Riffelung, verursacht durch Stromdurchgang, im Außenring eines Pendelrollenlagers.

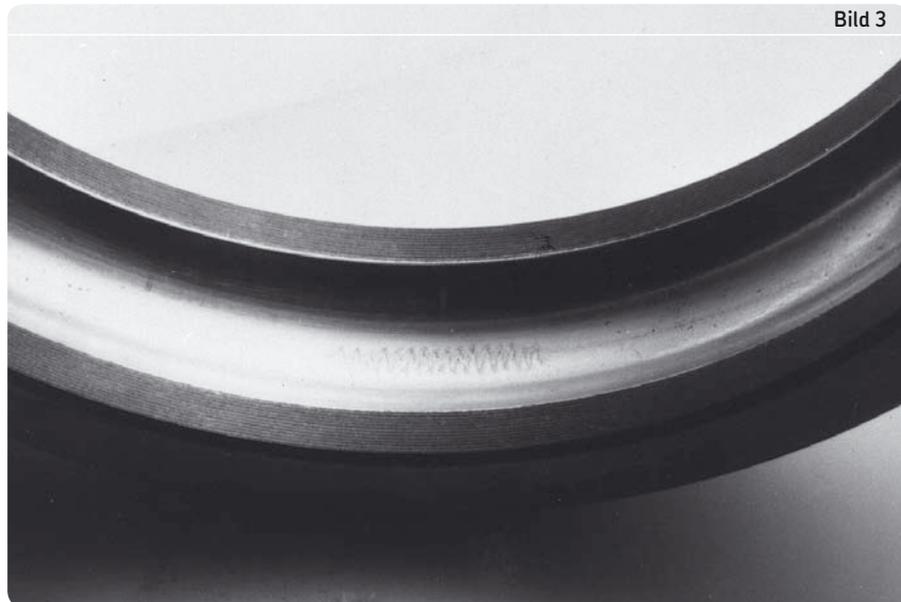


Schaden infolge Stromdurchgang im Außenring eines Pendelkugellagers.



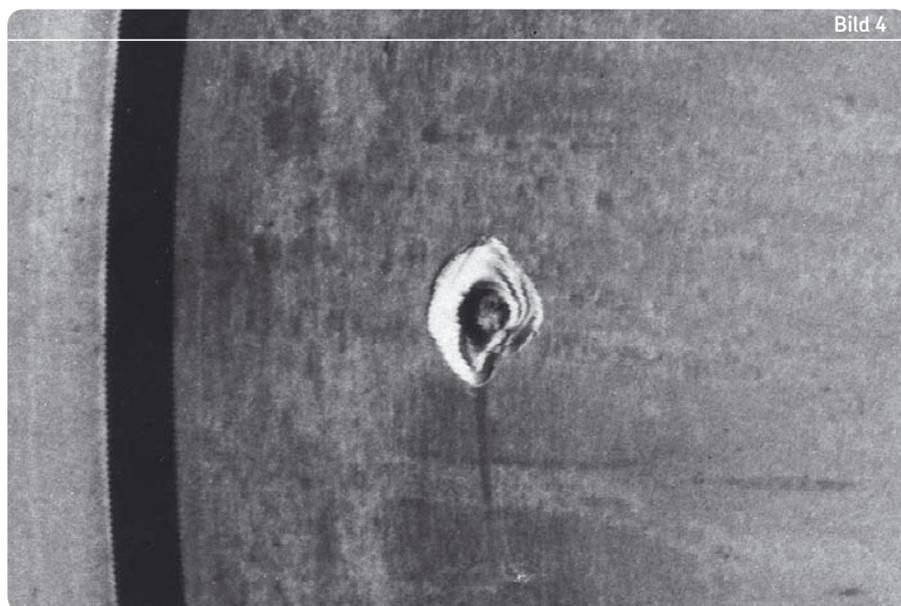
Schäden infolge Stromdurchgang		
Erscheinungsbild	Ursache	Maßnahme
Dunkelbraune oder grau-schwarze Riffelung oder Krater auf Laufbahnen und Rollen. Kugeln sind nur dunkel verfärbt. Manchmal zickzackförmige Einbrennungen in den Laufbahnen von Kugellagern.	Stromdurchgang durch das umlaufende Lager.	Strom am Lager vorbeileiten. Stromisolierte Lager verwenden.
Örtliche Einbrennung auf Laufbahnen und Wälzkörpern.	Stromdurchgang durch das stillstehende Lager.	Strom am Lager vorbeileiten. Das zu schweißende Teil so erden, dass Stromdurchgang im Lager verhindert wird. Stromisolierte Lager verwenden.

Bild 3



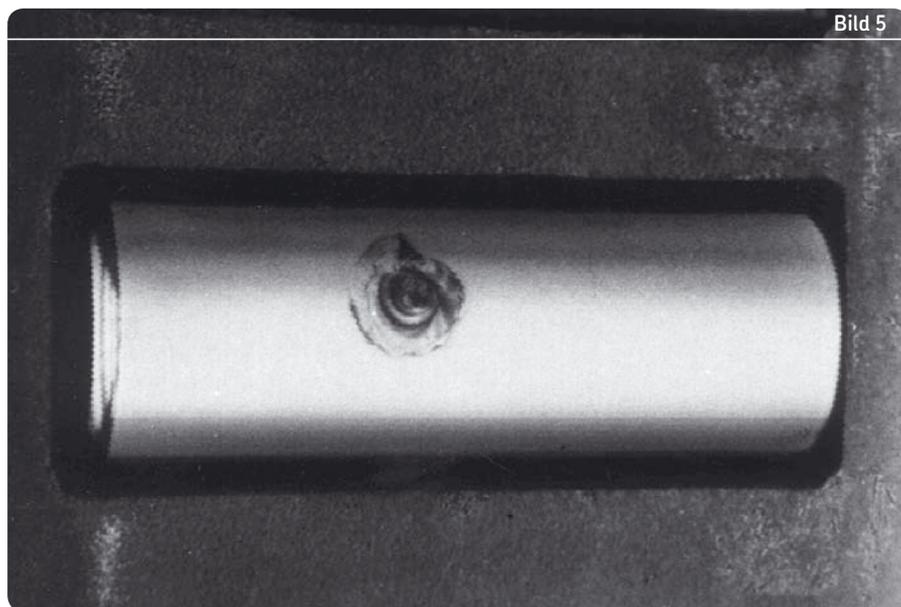
Schaden infolge Stromdurchgang mit zickzackförmigem Verlauf bei einem Rillenkugellager. Dieses Schadensbild entsteht beispielsweise dann, wenn das Lager gleichzeitig hoher Stromstärke und Schwingungen in axialer Richtung ausgesetzt ist.

Bild 4



Innenring eines Eisenbahn-Radsatzlagers, beschädigt durch Stromdurchgang mit hoher Stromstärke im Stillstand.

Bild 5



Zylinderrolle des infolge Stromdurchgang beschädigten Eisenbahn-Radsatzlagers.

# Schälung

Schälungen sind die Folge normaler Ermüdung, d. h. das Lager hat das Ende seiner üblichen Lebensdauer erreicht. Dies ist jedoch nicht die häufigste Ursache für einen Lagerausfall. Schälungen in Lagern können meist anderen Ursachen zugeordnet werden. Werden Schälungen in einem frühen Stadium entdeckt, wenn das Schadensausmaß noch nicht allzu hoch ist, ist es häufig möglich, die Schadensursache zu ermitteln, entsprechende Gegenmaßnahmen einzuleiten und damit Wiederholungsfälle zu vermeiden. Das Laufbild des Lagers liefert hier nützliche Anhaltspunkte (→ Seite 4).

Haben die Schälungen ein bestimmtes Stadium erreicht, macht sich der Schaden durch erhöhtes Laufgeräusch und Schwingungen bemerkbar. Dies ist ein Signal, das Lager auszuwechseln.

Ursachen für vorzeitig auftretende Schälungen können sein: Überschreiten der zulässigen Belastung, Vorspannung durch zu feste Passungen oder durch zu starkes Aufpressen auf einen kegeligen Sitz, Verformung durch Unrundheit des Lagersitzes auf der Welle oder im Gehäuse, zusätzliche Axialbelastung, z. B. als Folge thermischer Ausdehnung. Schälungen können darüber hinaus auch von anderen Schäden ausgehen, wie beispielsweise Eindrückungen, Rost, Stromdurchgang oder Anschmierungen.

## Schälung infolge Vorspannung

*Außenring eines Pendelkugellagers, das zu stark auf einen kegeligen Sitz aufgepresst wurde. Der Schaden wurde schon nach wenigen Umdrehungen des Lagers entdeckt. Schälungen wären kurz nach Inbetriebnahme aufgetreten.*



Schälungen an Innenring und Rollen eines Kegelrollenlagers. Schadensursachen waren zu hohe Belastungen und unzureichende Schmierung.



Bild 2

### Schälung infolge Vorspannung

#### Erscheinungsbild

Stark ausgeprägte Laufbilder auf den Laufbahnen beider Ringe.

Schälungen in der am höchsten belasteten Zone.

#### Ursache

Vorspannung durch zu feste Passung.

Zu starkes Aufpressen auf einen kegeligen Sitz.

Einreihige Schrägkugellager oder Kegelrollenlager zu stark angestellt.

Temperaturunterschied zwischen Innenring und Außenring zu hoch.

#### Maßnahme

Passungen ändern oder Lager mit größerer Radialluft wählen.

Das Lager nicht zu stark auf den kegeligen Sitz pressen. Einbaurichtlinien von SKF beachten.

Die Lager mit geringerer Vorspannung anstellen.

Lager mit größerer Radialluft wählen.

## Schälung infolge ovaler Verformung

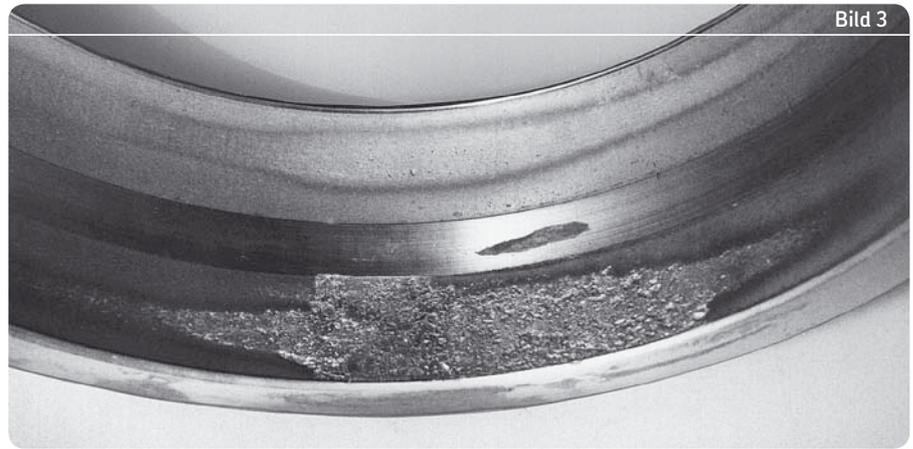


Bild 3

Schälungen am Außenring eines Pendelrollenlagers, das in einer unrunder Gehäusebohrung eingebaut war.

### Schälung infolge ovaler Verformung

Erscheinungsbild	Ursache	Maßnahme
Stark ausgeprägtes Laufbild in zwei diametral gegenüberliegenden Abschnitten der Laufbahnen beider Lagerringe. Schälung in diesen Bereichen.	Unrunder Lagersitz auf der Welle oder im Gehäuse. Unrunde Gehäusebohrungen kommen häufig bei geteilten Lagergehäusen vor.	Im Allgemeinen muss die Welle oder das Gehäuse neu angefertigt werden. Ein Notbehelf kann sein, Metall auf das entsprechende Bauteil auszutragen und den Sitz nachzuschleifen. Falls ein Lager mit Spann- oder Abziehhülse auf einem unrunder Wellensitz befestigt wird, kann der Sitz ggf. nachgeschliffen werden.

## Schälung infolge axialer Verspannung

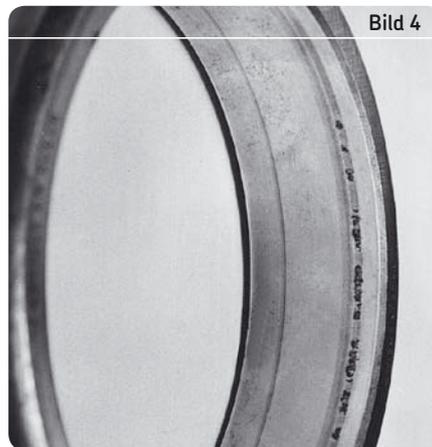


Bild 4

**Bild 4:**  
Außenring eines Pendelkugellagers, das axial zu hoch belastet war; Schälungen in der belasteten Zone.



Bild 5

**Bild 5:**  
Schälungen am Innenring eines Pendelrollenlagers. Das Ausmaß der Schälung über den gesamten Umfang einer Laufbahn zeigt, dass die axiale Belastung im Verhältnis zur radialen Belastung sehr hoch war.

### Schälung infolge axialer Verspannung

Erscheinungsbild	Ursache	Maßnahme
Rillenkugellager: stark ausgeprägte Laufbilder, die auf beiden Ringen axial nach einer Seite verschoben sind.	Unsachgemäßer Einbau, durch den zusätzliche Axialbelastungen aufgebracht werden, z. B. zu starkes Anstellen von einreihigen Schrägkugellagern und Kegelrollenlagern.	Die Anstellung des Lagers bei Einbau überprüfen.
Pendelkugel- und Pendelrollenlager: stark ausgeprägte Laufbilder in der Laufbahn einer Wälzkörperreihe. Schälung in diesen Bereichen.	Axialverschiebung des Loslagers wird behindert.	Die Passungen überprüfen und die Oberfläche leicht einölen.
Einreihige Schrägkugel- und Kegelrollenlager: gleiches Erscheinungsbild wie beim Schaden durch Vorspannung (→ Seite 24).	Die mögliche Axialverschiebung reicht nicht aus, um thermische Ausdehnungen auszugleichen.	Größere Axialverschiebung des Lagers vorsehen, falls der Temperaturunterschied zwischen Welle und Gehäuse nicht vermindert werden kann.

## Schälung infolge Schiefstellung

**Bild 6:**  
Außenring eines Rillenkugellagers bei Schiefstellung gegenüber der Welle. Die Kugeln sind dabei auf einer ovalen Bahn gelaufen. Dies hat dieselben Auswirkungen wie eine ovale Verformung des Ringes (→ Seite 25).

**Bild 7:**  
Innenring eines Zylinderrollenlagers mit Schälungen an einer Seite der Laufbahn als Folge der Überlastung durch Schiefstellung.



### Schälung infolge Schiefstellung

#### Erscheinungsbild

Rillenkugellager: diagonal verlaufendes Laufbild mit Schälung an diametral gegenüberliegenden Laufbahnabschnitten.  
Zylinderrollenlager:  
Schälungen am Laufbahnrand.

#### Ursache

Nicht fluchtende Lagersitze.  
Lager verkantet eingebaut.

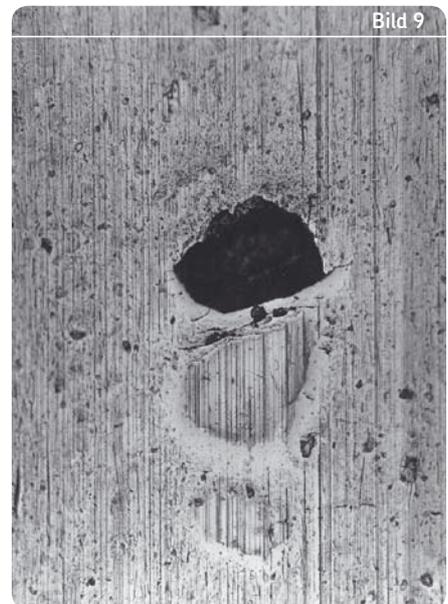
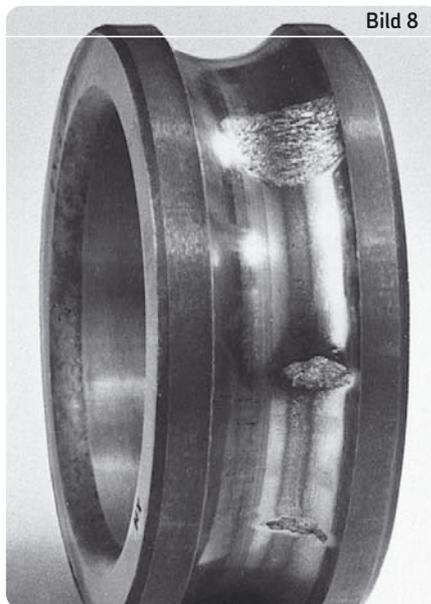
#### Maßnahme

Lagersitze fluchtend ausrichten.  
Montagehülse mit parallelen Stirnflächen verwenden.

## Schälung infolge von Eindrückungen

**Bild 8:**  
Verschiedene Stadien von Schälungen am Innenring eines Rillenkugellagers, der mit fester Passung auf der Welle eingebaut wurde. Dabei wurden durch Schläge gegen den Außenring die Einbaukräfte über die Wälzkörper geleitet und Eindrückungen verursacht.

**Bild 9:**  
Schälung (dunkler Bereich), verursacht durch die unmittelbar daneben liegende Eindrückung – 100-fach vergrößert.



### Schälung infolge von Eindrückungen

#### Erscheinungsbild

Schälungen, ausgehend von Eindrückungen im Abstand der Wälzkörper.  
Schälungen, ausgehend von kleinen Eindrückungen.

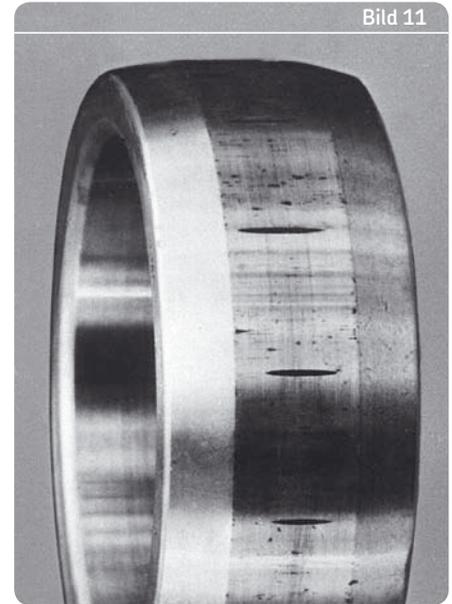
#### Ursache

Eindrückungen durch Einbaufehler oder Überlastung des Lagers im Stillstand (→ Seite 12).  
Eindrückungen durch Überrollen von Fremdpartikeln (→ Seite 13).

## Schälungen infolge von Ansmierungen

**Bild 10:**  
Innenring eines Zylinderrollenlagers mit großflächigen Schälungen, verursacht durch die in **Bild 11** gezeigten Ansmierungen.

**Bild 11**  
Innenring eines Zylinderrollenlagers mit Ansmierungen im Rollenabstand, verursacht durch fehlerhaften Einbau.



### Schälungen infolge von Ansmierungen

#### Erscheinungsbild

Schälungen in den Laufbahnen von Rollenlagern am Eintritt in die belastete Zone.

Schälungen in den Laufbahnen von Rollenlagern im Abstand der Wälzkörper.

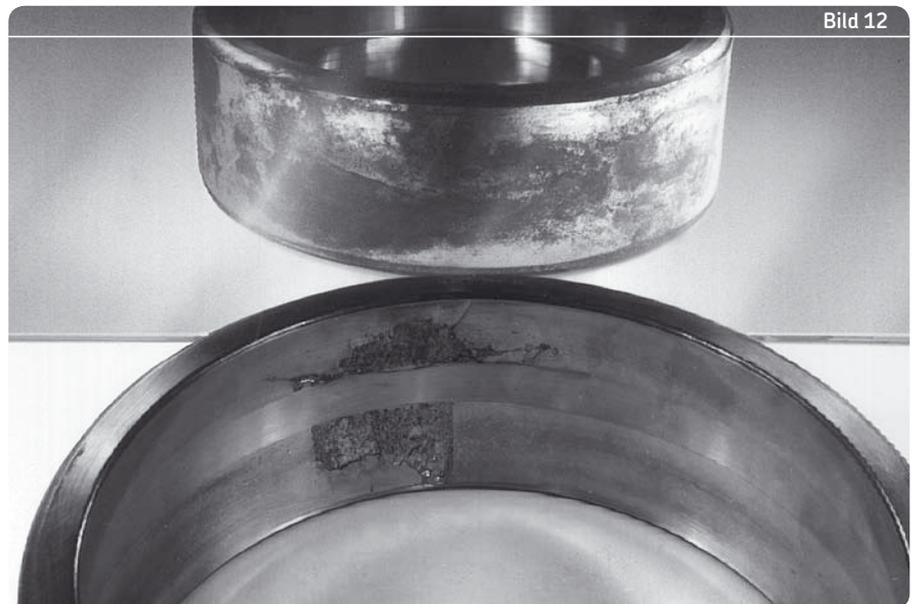
#### Ursache

Ansmierungen durch Gleitvorgänge (→ **Seite 15**).

Ansmierungen quer zur Laufbahn, verursacht durch Einbaufehler (→ **Seite 16**).

## Schälung infolge von Passungsrost

Schälung in der Außenringlaufbahn eines Pendelrollenlagers und entsprechender Bereich der durch starken Passungsrost beschädigten Mantelfläche (für diese Aufnahme wurde der Lagerring vor einen Spiegel gelegt). Die Bildung von Passungsrost in der Passfuge ist mit einer Volumenzunahme verbunden, die zur Verformung des Lagerrings und damit zu örtlicher Überlastung führt. Das Ergebnis sind vorzeitige Ermüdung und Schälung.



### Schälung infolge von Passungsrost

#### Erscheinungsbild

Schälungen in der Laufbahn des Innen- oder Außenrings. Die Lage der Schälung entspricht der des korrodierten Bereichs in der Bohrung des Innenrings oder auf der Mantelfläche des Außenrings.

#### Ursache

Reibkorrosion (→ **Seite 21**).

## Schälung infolge von Rostnarben

Schälung auf der Rolle eines Pendelrollenlagers, ausgehend von Rostnarben.

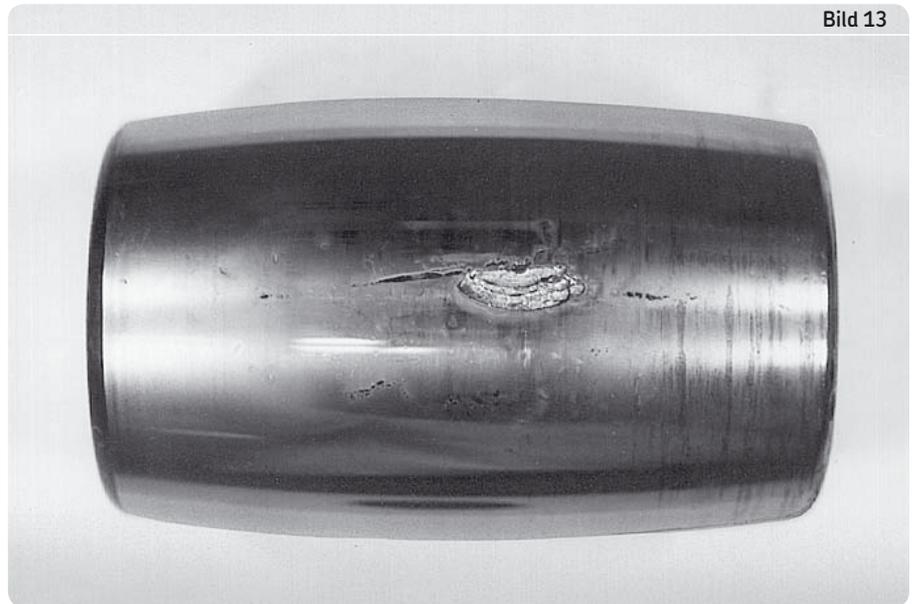


Bild 13

Schnitt durch eine Rolle. Deutlich erkennbar ist der Verlauf des Ermüdungsrisses unter der Oberfläche. Die Schälung hat sich auf diese Weise entwickelt.

Der in Bild 13 gezeigte Schaden in der Vergrößerung.

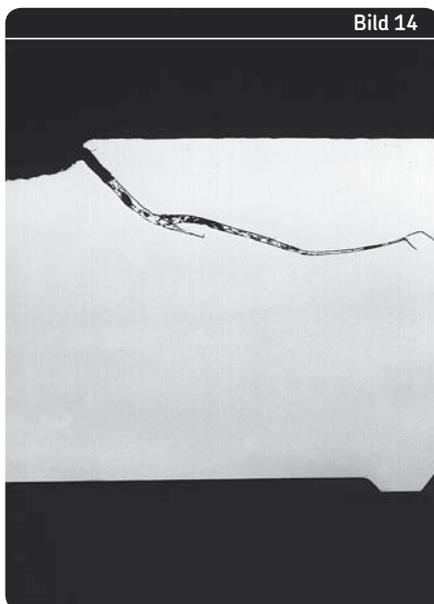


Bild 14

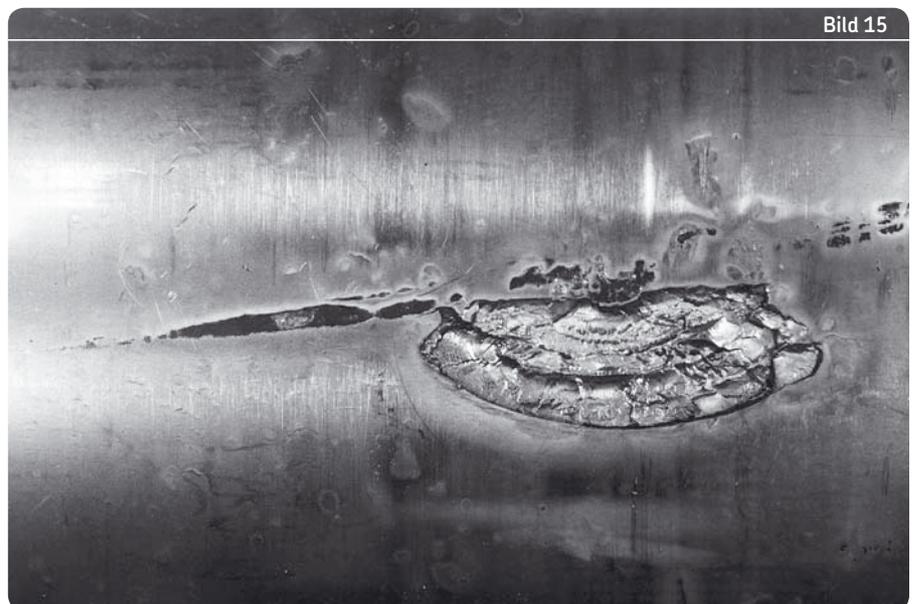


Bild 15

### Schälung infolge von Rostnarben

#### Erscheinungsbild

Schälung, die von Roststellen ausgehen.

#### Ursache

Spaltkorrosion (→ Seite 20).

## Schälung infolge von Riffel- oder Kraterbildung

Außenring eines Pendelkugellagers mit Schälungen, die von durch Stromdurchgang verursachten Kratern ausgegangen sind. Deutlich erkennbar haben sich die Schälungen von den Kratern aus in beide Laufrichtungen weiter ausgebreitet. Ausgebrochene Werkstoffteilchen haben zusätzlich Eindrückungen und dadurch Schälungen verursacht.



Bild 16

Schälungen an beiden Innenringlaufbahnen eines Pendelrollenlagers, ausgehend von Beschädigungen durch Schwingungen.



Bild 17

### Schälung infolge von Riffel- oder Kraterbildung

#### Erscheinungsbild

Schälungen, ausgehend von glänzenden oder korrodierten Riffeln oder Kratern.

Schälungen, ausgehend von dunklen verärbten Riffeln oder eingebrannten Kratern.

#### Ursache

Verschleiß durch Schwingungen des Lagers im Stillstand (→ Seite 10).

Stromdurchgang (→ Seite 22).

# Risse

Risse in Lagerringen entstehen aus verschiedenen Gründen. Einer der häufigsten ist unsachgemäße Behandlung des Lagers während des Ein- oder Ausbaus. Hammerschläge, die direkt oder über einen gehärteten Dorn gegen einen Lagerring geführt werden, können feinste Risse verursachen. Bei Inbetriebnahme des Lagers brechen dann Stücke aus dem Ring heraus. Eine weitere Ursache für Ringbrüche ist ein zu starkes Aufpressen auf einen kegeligen Lagersitz. Die hohe Zugbeanspruchung, die bei starkem Aufweiten im Lagerring entsteht, führt bei Inbetriebnahme des Lagers zur Rissbildung. Das Gleiche geschieht, wenn ein erwärmtes Lager auf einen Wellensitz montiert wird, bei dem das zulässige Größtmaß nicht eingehalten wurde.

Anschmierungen können ebenfalls Risse erzeugen, die rechtwinklig zur Gleitrichtung verlaufen. Diese Risse führen zum Bruch.

Schälungen haben früher oder später immer den Bruch eines Lagerrings zur Folge. Das Gleiche gilt für Passungsrost.



Bild 1

Gerissener Außenring eines Pendelkugellagers. Die Eindrückungen am unteren Laufbahnrand wurden durch unsachgemäße Behandlung verursacht. Der Riss geht von einer dieser Eindrückungen aus.

## Risse infolge unsachgemäßer Behandlung

**Bild 2:**  
Gerissener Innenring eines Pendelrollenlagers. Zur Inspektion einer Laufbahn (im Bild links) wurde eine Rolle entfernt. Als sie anschließend mit Hammerschlägen wieder eingesetzt wurde, brach ein Teil des mittleren Bords aus. Die Schläge wurden über eine Rolle der rechten Rollenreihe auch auf den rechten Haltebord übertragen, so dass dort ein Stück herausbrach. Gleichzeitig riss der Ring über die gesamte Breite.

**Bild 3:**  
Innenring eines Pendelrollenlagers mit teilweise abgeplatzt Haltebord infolge Schlägeinwirkung.



Bild 2



Bild 3

### Risse infolge unsachgemäßer Behandlung

Erscheinungsbild	Ursache	Maßnahme
Risse oder ausgebrochene Stücke, in der Regel an einer Seite des Lagerrings.	Schläge mit Hammer oder gehärtetem Dorn gegen den Lagerring beim Einbau.	Immer einen weichen Dorn oder eine Montagehülse benutzen. Nie mit dem Hammer direkt gegen das Lager schlagen.

## Risse infolge zu starken Aufpressens

*Schnitt durch den Innenring eines Pendelrollenlagers – 3,5-fach vergrößert. Der Ring ist gebrochen, weil er zu fest auf einen kegeligen Sitz aufgedrückt wurde. Ausgangspunkt für den Bruch war die dunkle Stelle an der Kantenrundung.*

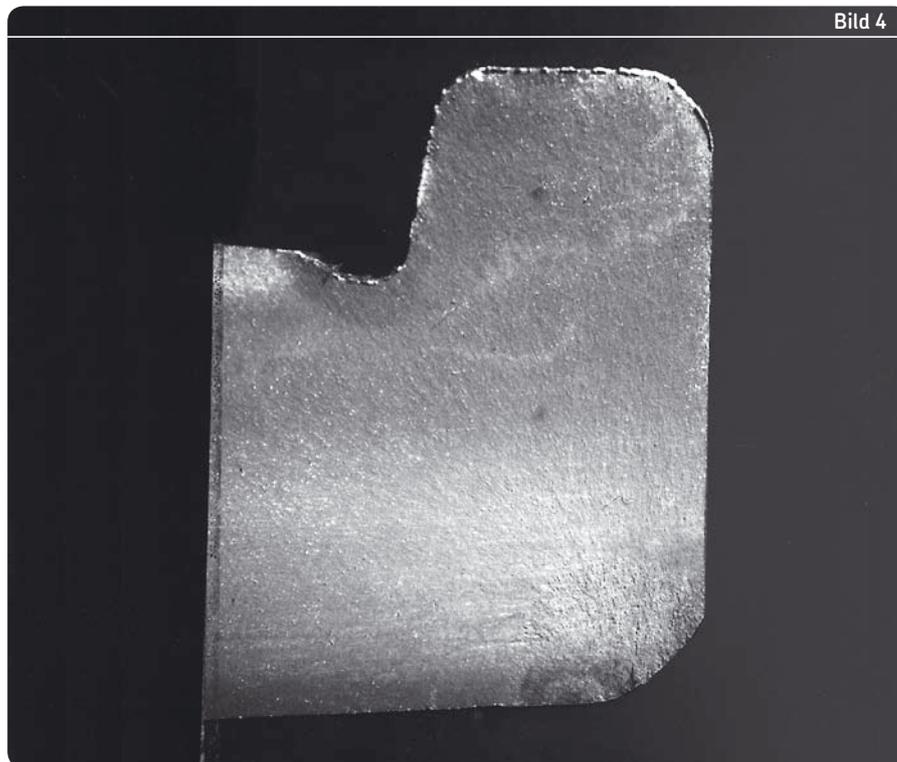


Bild 4



Bild 5

Bruchfläche des Innenrings aus Bild 4

### Risse infolge zu starken Aufpressens

#### Erscheinungsbild

Der Lagerring ist quer durchbrochen und sitzt lose auf der Welle.

#### Ursache

Zu starkes Aufpressen auf einen kegeligen Lagersitz.

Zu feste Passung bei einem zylindrischen Lagersitz.

#### Maßnahme

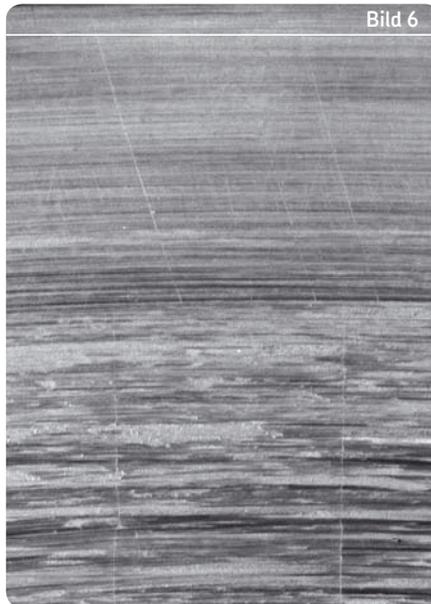
SKF Einbauempfehlungen beachten.

Passung ändern.

## Risse infolge von Ansmierungen

**Bild 6:**  
Ansmierungen an der Stirnfläche eines Lager- rings. Quer zu den Ansmierungen beginnen sich Risse – sogenannte Hitzerrisse – auszubilden.

**Bild 7:**  
Innenring eines Pendelrollenlagers, gebrochen in- folge von Ansmierungen an einer Stirnfläche. Der Ring war gegen einen Abstandsring eingebaut, der keine genügend feste Passung auf der Welle hatte, so dass es zu Relativbewegungen des Ab- standsrings gegenüber Welle und Lagerring kam.



### Risse infolge von Ansmierungen

#### Erscheinungsbild

Riss oder Risse in Verbindung mit Ansmierungen an Lagerringen. Der Ring kann durchgebrochen sein. Durch Ansmierungen verursachte Risse verlaufen im allgemeinen quer zu den Ansmierungen.

#### Ursache

Ansmierungen (→ Seite 14).

## Risse infolge von Passungsrost

**Bild 8:**  
Querverlaufender Riss durch den Innenring eines Pendelrollenlagers, verursacht durch Passungs- rost. Durch die Volumenzunahme in der Passfuge wurde der Ring aufgeweitet und riss, als die Zug- spannung zu groß wurde.

**Bild 9:**  
Riss in Umfangsrichtung durch den Außenring eines Rillenkugellagers bei Passungsrost. Durch die Volumenzunahme wurde Druckspannung im Ring hervorgerufen.



### Risse infolge von Passungsrost

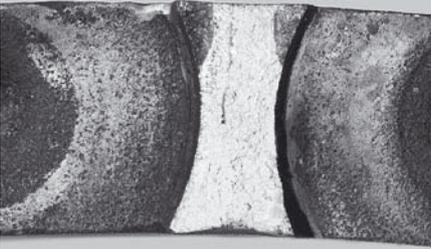
#### Erscheinungsbild

Risse, in Verbindung mit Passungsrost, die bei Innenringen quer zur Umfangsrichtung und bei Außenringen im allgemeinen in Umlauf- richtung verlaufen.

#### Ursache

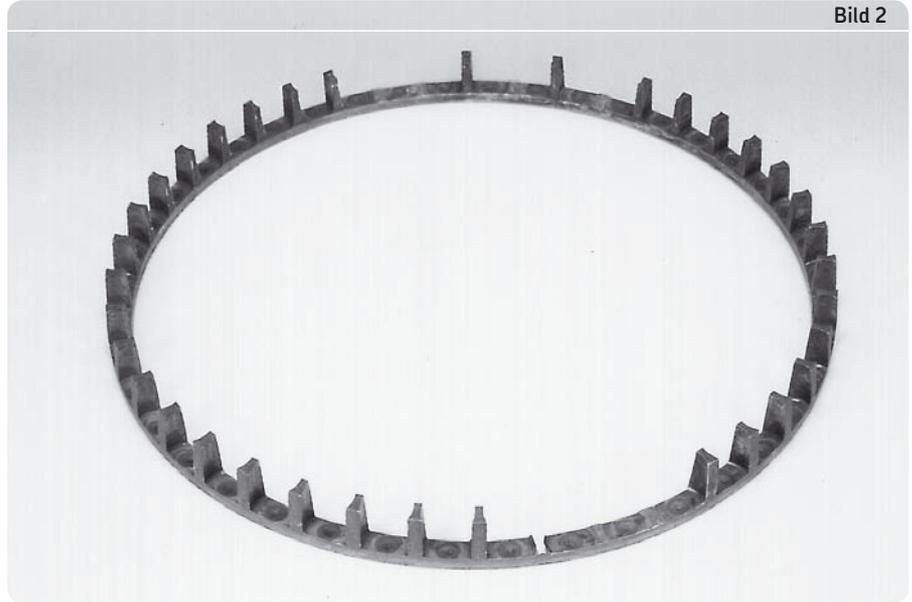
Reibkorrosion (→ Seite 21).

Bild 1



Bruchfläche des Käfigs aus Bild 2. Die Ermüdungsrisse sind deutlich zu erkennen.

Bild 2



Käfig eines Pendelrollenlagers. An den Stegen haben sich Ermüdungsrisse gebildet.

## Käfigschäden

Wird bei der Untersuchung eines ausgefallenen Lagers ein Käfigschaden festgestellt, ist es häufig schwierig, die Ausfallursache eindeutig festzulegen. Meist sind auch weitere Lagerteile beschädigt, wodurch es eher schwieriger wird, die Schadensursache herauszufinden. In vielen Fällen liegen die Hauptursachen für Käfigschäden in Schwingungen, überhöhten Drehzahlen, Verschleiß und Blockieren.

### Käfigschäden infolge von Schwingungen

Wird ein Lager Schwingungen ausgesetzt, können die Trägheitskräfte so groß werden, dass sich nach einer Zeit Ermüdungsrisse im Käfigwerkstoff bilden. Früher oder später führen diese Risse zum Käfigbruch.

### Käfigschäden infolge überhöhter Drehzahl

Läuft ein Lager bei höheren Drehzahlen, als für den Käfig zulässig sind, treten hohe Massenkräfte auf, die zum Bruch führen können. Für sehr hohe Drehzahlen stehen häufig Lager mit speziellem Käfig zur Verfügung.

### Käfigschäden infolge von Verschleiß

Ursachen für Käfigverschleiß können unzureichende Schmierung oder schmirgelnde Teilchen sein. Der Grundgedanke für die Verwendung von Wälzlagern ist, Gleitreibung zu vermeiden. Gleitvorgänge zwischen dem Käfig und den anderen Lagerkomponenten können jedoch nicht vermieden werden. Aus diesem Grund ist der Käfig als erste Lagerkomponente bei nicht ausreichender Schmierung betroffen. Der Käfig besteht immer aus einem weicheren Werkstoff als die anderen Lagerkomponenten und verschleißt infolgedessen auch schneller. Sobald sich durch Abrieb die Käfigtaschen vergrößern, werden die Wälzkörper durch den Käfig und – bei Wälzkörperführung – der Käfig durch die Wälzkörper nicht mehr richtig geführt. Die in diesem Fall auftretenden Kräfte können schon nach kurzer Zeit den Käfig zerstören.

### Käfigschäden bei Blockieren des Lagers

Ausgebrochene Werkstoffteilchen oder Verunreinigungen können sich zwischen Käfig und Wälzkörper einklemmen und das Abrollen der Wälzkörper behindern. Dieses Blockieren führt zum Ausfall des Käfigs.

### Weitere Ursachen für Käfigschäden

Bei Schiefstellung der Lagerringe zueinander wird die Laufspur oval. Ist der Käfig wälzkörpergeführt, wird er bei jeder Umdrehung verformt. Dadurch bilden sich Ermüdungsrisse im Werkstoff, die früher oder später zum Bruch führen.

Ähnliches kann bei Kombination eines Axial-Rillenkugellagers mit einem Radial-Gleitlager geschehen. Wird das Spiel in der Gleitlagerung zu groß, verschieben sich die Scheiben des Axiallagers zueinander. Infolgedessen laufen die Kugeln nicht mehr in ihrer Laufspur, und im Käfig entstehen hohe Spannungen.

Auf Käfige in Lagern, die bei Drehzahländerungen hohe Beschleunigungen und Verzögerungen ausgesetzt sind, wirken hohe Trägheitskräfte. Diese erhöhen die Flächenpressung an den Berührungstellen und verursachen starken Verschleiß.

# SKF – Kompetenz für Bewegungstechnik

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

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

Werkzeugmaschinen sowie bei Instandhaltungsdienstleistungen.

Die SKF Gruppe ist weltweit nach ISO 14001 und OHSAS 18001 zertifiziert, den internationalen Standards für Umwelt- bzw. Arbeitsmanagementsysteme. Das Qualitätsmanagement der einzelnen Geschäftsbereiche ist zertifiziert und entspricht der Norm DIN EN ISO 9001 bzw. ISO/TS 16949.

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

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

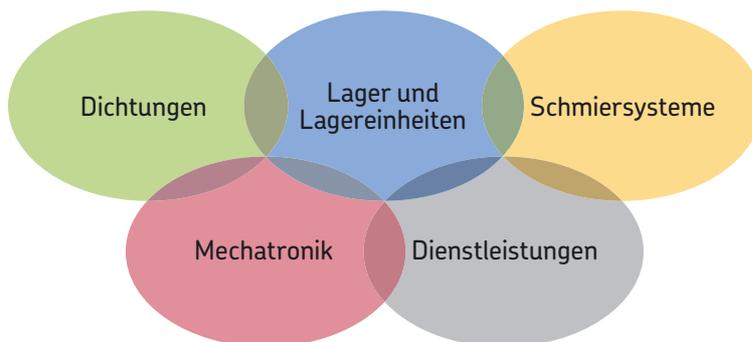


© Airbus – photo: e\*im company, H. Goussé

## By-wire-Technik forcieren

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

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





### **Die Kraft des Windes nutzen**

Windkraftanlagen liefern saubere, umweltfreundliche elektrische Energie. SKF arbeitet eng mit weltweit führenden Herstellern an der Entwicklung leistungsfähiger und vor allem störungsresistenter Anlagen zusammen. Ein breites Sortiment auf den Einsatzfall abgestimmter Lager und Zustandsüberwachungssysteme hilft, die Verfügbarkeit der Anlagen zu verbessern und ihre Instandhaltung zu optimieren – auch in einem extremen und oft unzugänglichen Umfeld.



### **Extremen Temperaturen trotzen**

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



### **Alltägliches verbessern**

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



### **Mit 350 km/h forschen**

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



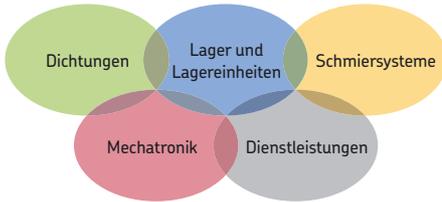
### **Die Anlageneffizienz optimieren**

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



### **Für Nachhaltigkeit sorgen**

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



## The Power of Knowledge Engineering

In der einhundertjährigen Firmengeschichte hat sich SKF auf fünf technische Kompetenzbereiche und anwendungsspezifisches Wissen spezialisiert. Auf dieser Basis liefern wir weltweit innovative Lösungen an Erstausrüster und Produktionsstätten in praktisch jeder Industriebranche.

Unsere fünf technischen Kompetenz-bereiche sind: Lager und Lagereinheiten, Dichtungen, Schmiersysteme, Mechatronik-Bauteile und Dienstleistungen, von 3D-Simulationen über Zustandsüberwachung bis zur Zuverlässigkeitssteigerung.

SKF ist weltweit vertreten und kann einen einheitlichen Qualitätsstandard und eine universelle Produktverfügbarkeit garantieren.

© SKF ist ein eingetragenes Warenzeichen der SKF Gruppe.

© SKF Gruppe 2008

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

Druckschrift **Dd 8239 DE** - August 2008

Gedruckt in Deutschland auf umweltfreundlichem Papier.

