

# Wälzlagerschäden

Schadenserkennung und Begutachtung gelaufener Wälzlager

---

## **Wälzlagerschäden**

Schadenserkennung und Begutachtung  
gelaufener Wälzlager

**Publ.-Nr. WL 82 102/2 DA**

Stand 2000

Wälzlager sind Maschinenelemente mit einem weiten Anwendungsbereich. Sie erweisen sich auch unter harten Bedingungen als zuverlässig. Vorzeitige Ausfälle treten sehr selten auf.

Wälzlagerschäden sind in erster Linie an einem ungewöhnlichen Betriebsverhalten der Lagerung zu erkennen. Bei der Untersuchung geschädigter Lager kann man die unterschiedlichsten Merkmale feststellen. Um die Schadensursache zu finden, reicht die Begutachtung des Lagers allein meistens nicht aus; vielmehr müssen die Umgebungsteile, die Schmierung und die Abdichtung sowie die Betriebs- und Umweltbedingungen zusätzlich berücksichtigt werden. Ein planmäßiges Vorgehen bei der Untersuchung erleichtert das Auffinden der Ursachen.

Die vorliegende Druckschrift ist vor allem als Handbuch für Werkstätten bestimmt. Sie gibt eine Übersicht über typische Wälzlagerschäden, ihre Ursachen und Abhilfemaßnahmen. Neben der Erläuterung von Schadensbildern werden eingangs auch Möglichkeiten dargestellt, Lagerschäden frühzeitig zu erkennen.

Im Rahmen der häufig durchgeführten vorbeugenden Instandhaltung fallen auch Lager an, die nicht als schadhaft einzustufen sind. Deshalb werden Beispiele von Lagern mit für die jeweilige Laufzeit üblichen Laufmerkmalen gezeigt.

**Zum Titelbild:** Was auf den ersten Blick aussieht wie eine aus großer Höhe fotografierte Dünenlandschaft, ist in Wirklichkeit das wellenförmige Verformungs-Verschleißprofil eines Axial-Zylinderrollenlagers. Die Unterschiede zwischen Berg und Tal betragen weniger als 1 µm. In den gleitbeanspruchten Kontaktflächen tritt bei geringer Drehzahl Mischreibung auf. Ursache für das "Rippling" sind Stick-slip-Effekte.

	Seite		Seite
<b>1</b>	<b>Ungewöhnliches Betriebsverhalten als Hinweis auf Schäden</b>		
1.1	Subjektive Schadenserkenennung	4	
1.2	Lagerüberwachung mit technischen Hilfsmitteln	4	
1.2.1	Großflächige Schäden	4	
1.2.2	Punktuelle Schäden	6	
1.3	Dringlichkeit des Lageraustausches – Restlebensdauer	7	
<b>2</b>	<b>Sicherung schadhafter Lager</b>	9	
2.1	Feststellen der Betriebsdaten	9	
2.2	Entnahme und Beurteilung von Schmierstoffproben	9	
2.3	Überprüfung der Lagerumgebung	10	
2.4	Begutachtung des Lagers im eingebauten Zustand	10	
2.5	Demontage des schadhaften Lagers	10	
2.6	Kontrolle der Sitze	10	
2.7	Begutachtung des kompletten Lagers	10	
2.8	Versand an FAG oder Begutachtung der Lager- einzelteile	10	
<b>3</b>	<b>Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager</b>	11	
3.1	Vorbereitende Maßnahmen	14	
3.1.1	Kennzeichnung der Einzelteile	14	
3.1.2	Messungen am kompletten Lager	14	
3.1.3	Zerlegen des Lagers in Einzelteile	14	
3.1.4	Begutachtung der Lagerteile	14	
3.2	Der Zustand der Sitzflächen	15	
3.2.1	Reibkorrosion – Passungsrost	15	
3.2.2	Freßspuren oder Gleitverschleiß	16	
3.2.3	Ungleichmäßige Unterstützung der Lagerringe	17	
3.2.4	Seitliche Anstreifspuren	18	
3.3	Das Erscheinungsbild der Wälzkontakte	19	
3.3.1	Entstehung und Bedeutung von Laufspuren	19	
3.3.1.1	Normale Laufspuren	19	
3.3.1.2	Ungewöhnliche Laufspuren	21	
3.3.2	Vertiefungen in Laufbahnen und Wälzkörper- oberflächen	27	
3.3.2.1	Ausbrüche	27	
3.3.2.2	Korrosionsschäden	34	
3.3.2.3	Stillstandsmarkierungen	36	
3.3.2.4	Wälzkörperindrücke	37	
3.3.2.5	Krater und Riffeln infolge Stromdurchgang	38	
3.3.2.6	Wälzkörper-Kantenlauf	39	
3.3.3	Ringbrüche	40	
3.3.3.1	Dauerbrüche infolge Laufbahnermüdung	40	
3.3.3.2	Axiale An- oder Durchrisse von Innenringen	40	
3.3.3.3	Außenringbrüche in Umfangsrichtung	41	
3.3.4	Aufreißungen und Anschmierungen an den Kontaktflächen	42	
3.3.4.1	Verschleißschäden bei mangelhafter Schmierung	42	
3.3.4.2	Riefen auf Wälzkörpermantelflächen	44	
3.3.4.3	Schlupfspuren	45	
3.3.4.4	Schürfmacken	46	
3.3.5	Heißlaufschaäden	47	
3.4	Beurteilung von Bordkontakten	48	
3.4.1	Schäden an Bord- und Rollenstirnflächen bei Rollenlagern	48	
3.4.1.1	Verschürfungen durch Fremdkörper	48	
3.4.1.2	Freßerscheinungen im Bordkontakt	49	
3.4.1.3	Verschleiß im Bordkontakt	50	
3.4.1.4	Bordbrüche	51	
3.4.2	Verschleiß von Käfigführungsflächen	52	
3.4.3	Schäden an Dichtungslauflächen	53	
3.4.3.1	Eingearbeitete Dichtlippenlaufspuren	53	
3.4.3.2	Verfärbung der Dichtungslaufspur	53	
3.5	Käfigschäden	54	
3.5.1	Verschleiß infolge Schmierstoffmangel und Verschmutzung	54	
3.5.2	Verschleiß infolge überhöhter Drehzahl	54	
3.5.3	Verschleiß infolge Rollenschränkung	55	
3.5.4	Verschleiß an Kugellagerkäfigen infolge Ver- kipfung	55	
3.5.5	Bruch von Käfigverbindungen	56	
3.5.6	Käfigbruch	56	
3.5.7	Schäden durch unsachgemäße Montage	57	
3.6	Dichtungsschäden	58	
3.6.1	Verschleiß der Dichtlippen	58	
3.6.2	Schäden durch unsachgemäße Montage	59	
<b>4</b>	<b>Weitergehende Untersuchungsmöglichkeiten bei FAG</b>	60	
4.1	Geometrische Vermessung von Lagern oder Lagerteilen	60	
4.2	Schmierstoffanalysen und Schmierstoff- prüfungen	63	
4.3	Kontrolle des Werkstoffzustands	65	
4.4	Röntgenfeinstrukturanalyse	66	
4.5	Rasterelektronenmikroskopische Unter- suchungen	67	
4.6	Bauteilversuche	69	
4.7	Rechnerische Überprüfung der Belastungs- bedingungen	71	

# Ungewöhnliches Betriebsverhalten als Hinweis auf Schäden

## Subjektive Schadenserkenkung · Lagerüberwachung mit technischen Hilfsmitteln

### 1 Ungewöhnliches Betriebsverhalten als Hinweis auf Schäden

Lagerschäden äußern sich in der Regel dadurch, daß sich das Betriebsverhalten allmählich verschlechtert. Selten sind spontane Schäden, z. B. verursacht durch Montagefehler oder fehlenden Schmierstoff, die zum sofortigen Maschinenstillstand führen. Je nach den Betriebsbedingungen vergehen vom Beginn der Schädigung bis zum tatsächlichen Ausfall einige Minuten, unter Umständen sogar Monate. Vom Einsatzfall und von den Auswirkungen eines Lagerschadens auf den Maschinenbetrieb hängt die Art der Überwachung von Lagern ab.

#### 1.1 Subjektive Schadenserkenkung

In der überwiegenden Zahl der Anwendungen von Wälzlagern genügt es zur Vermeidung größerer Schäden, wenn das Bedienpersonal auf unruhigen Lauf oder ungewöhnliche Geräusche der Lagerung achtet, Tafel Bild 1.

#### 1.2 Lagerüberwachung mit technischen Hilfsmitteln

Lagerungen, bei denen Schäden ein Sicherheitsrisiko darstellen oder zu größerem Produktionsausfall führen können, bedürfen demgegenüber einer genauen, kontinuierlichen Überwachung. Beispiele hierfür sind Flugzeugturbinen oder Papiermaschinen. Die Art der Überwachung muß sich dabei, damit sie zuverlässig ist, an der Art des zu erwartenden Schadens orientieren.

##### 1.2.1 Großflächige Schäden

Wesentliche Voraussetzung für einen störungsfreien Lauf ist die ausreichende Versorgung mit sauberem Schmierstoff. Ungünstige Veränderungen lassen sich feststellen durch:

#### 1: Schadenserkenkung durch das Bedienpersonal

Betriebsverhalten	Mögliche Ursachen	Beispiele
Unruhiger Lauf	Beschädigung an Ringen und Wälzkörpern	Kraftwagen: zunehmendes Flattern der Räder erhöhtes Kippspiel Erschütterungen der Lenkorgane
	Verschmutzung	Ventilatoren: stärker werdende Erschütterungen
	zu große Lagerluft	Sägegatter: stärker werdende Stöße und Schläge in den Stelzen
Verminderte Arbeitsgenauigkeit	Verschleiß infolge Verschmutzung oder ungenügender Schmierung	Drehbank: Allmähliches Auftreten von Rattermarken am Werkstück
	Beschädigung an Ringen und Wälzkörpern	Schleifmaschinen: welliges Schliffbild
	Veränderung der Anstellung (Luft oder Vorspannung)	Kaltwalzwerk: Auftreten von meist periodischen Oberflächenfehlern auf dem Walzgut, wie Schattierungen, Wellenbildung u. ä.
Außergewöhnliches Laufgeräusch: heulendes oder pfeifendes Geräusch	zu kleine Betriebsluft	Elektromotoren Getriebe
	zu große Betriebsluft Schäden an den Rollflächen Verschmutzung ungeeigneter Schmierstoff	(Bei Getrieben sind Wälzlagergeräusche schwer erkennbar, da das Zahnradgeräusch im allgemeinen überwiegt)
	allmähliche Veränderung des Laufgeräusches	Veränderung der Betriebsluft durch Temperatureinflüsse Beschädigung der Rollbahn (z. B. durch Verschmutzung oder Ermüdung)

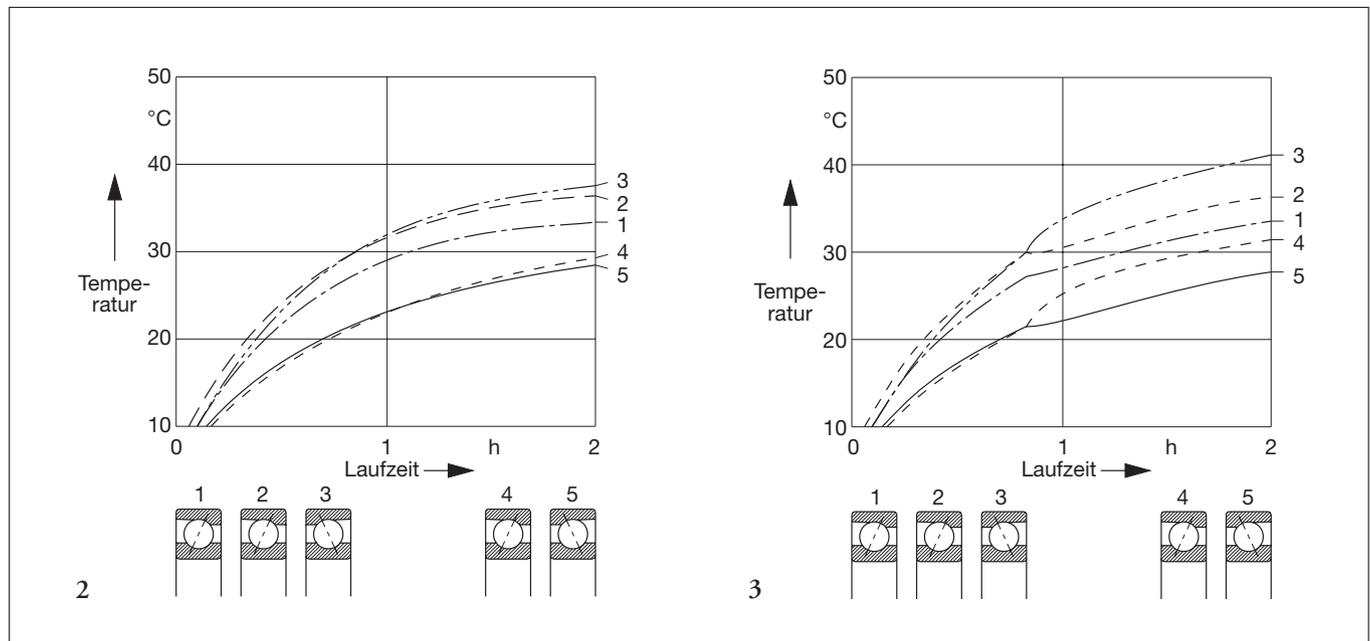
# Ungewöhnliches Betriebsverhalten als Hinweis auf Schäden

## Lagerüberwachung mit technischen Hilfsmitteln

2: Temperaturverlauf bei intakter Hauptspindellagerung einer Werkzeugmaschine.

Versuchsbedingung:  $n \cdot d_m = 750\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$ .

3: Temperaturverlauf bei gestörter Loslagerfunktion. Versuchsbedingung:  $n \cdot d_m = 750\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$ .



– Überwachung der Schmierstoffzufuhr

- Ölstandsschauglas
- Öldruckmessung
- Öldurchflußmessung

– Verschleißstoffmessung im Schmierstoff

- diskontinuierlich
  - Magnetstopfen
  - Spektralanalyse von Schmierstoffproben
  - Untersuchung von Ölproben im Labor
- kontinuierlich
  - magnetischer Signalgeber
  - Bestimmung der durchströmenden Partikelmenge mit Online-Partikelzähler

– Temperaturmessung

- in der Regel mit Thermoelementen

Sehr zuverlässig und relativ einfach anwendbar zum Erkennen schmierstoffbedingter Schäden ist besonders die Temperaturmessung.

Normales Temperaturverhalten: Erreichen einer Beharrungstemperatur im stationären Betrieb, Bild 2.

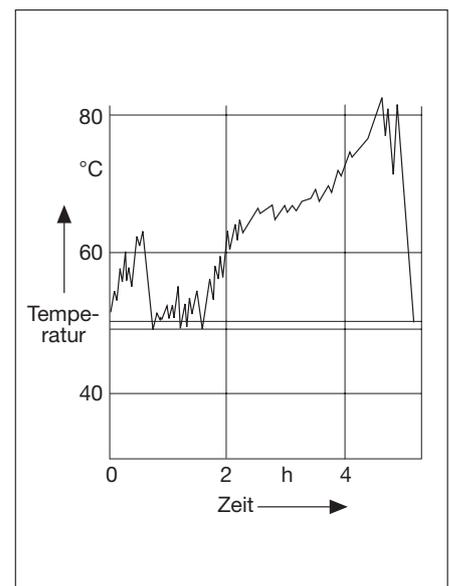
Gestörtes Verhalten:

- plötzlicher Temperaturanstieg, verursacht durch Schmierstoffmangel oder einsetzende radiale oder axiale Verspannung der Lagerung, Bild 3.
- unruhiger Temperaturverlauf mit in der Tendenz ansteigenden Maximalwerten durch allgemeine Verschlechterung des Schmierungszustandes, z. B. bei erreichter Fettgedauerdauer, Bild 4.

Temperaturmessungen sind jedoch nicht geeignet, lokale Schäden, z. B. Ermüdungen, frühzeitig zu registrieren.

4: Temperaturverlauf über der Zeit bei versagender Fettschmierung.

Versuchsbedingung:  
 $n \cdot d_m = 200\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$ .



# Ungewöhnliches Betriebsverhalten als Hinweis auf Schäden

## Lagerüberwachung mit technischen Hilfsmitteln

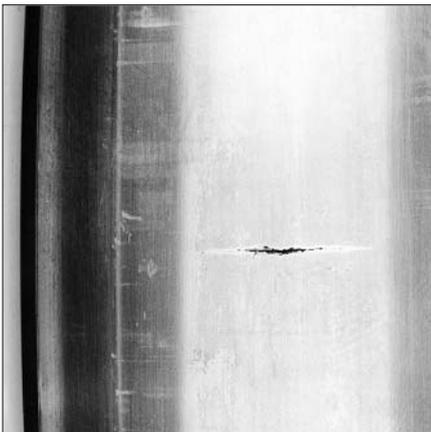
### 1.2.2 Punktuelle Schäden

Treten an einem Lager örtlich eng begrenzte Schäden auf, wie z. B. Wälzkörpereindrücke, Stillstandskorrosion oder Ausbrüche, so sind diese am frühesten durch Schwingungsmessungen feststellbar. Beim Überrollen der lokalen Vertiefungen entstehen Stoßwellen, die durch Weg-, Geschwindigkeits- oder Beschleunigungsaufnehmer aufgezeichnet werden können. In Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen und der erwarteten Aussagegenauigkeit können diese Signale mehr oder weniger aufwendig weiterverarbeitet werden. Am weitesten verbreitet sind

- Effektivwertmessung
- Stoßimpulsmessung
- Signalanalyse durch Hüllkurvendetektion (HKD)

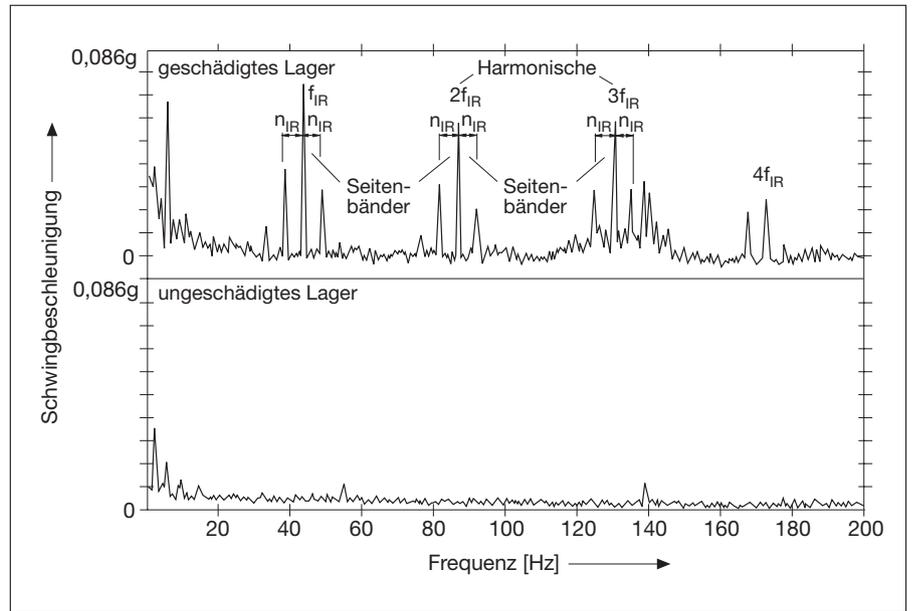
Gute Erfahrungen hinsichtlich Zuverlässigkeit und praktischem Einsatz liegen insbesondere mit dem letztgenannten Verfahren vor. Durch die spezielle Art der Signalaufbereitung ist es sogar möglich, auf die geschädigten Lagerkomponenten zu schließen, Bild 5 und 6. Näheres hierzu kann unserer Publikation WL 80 136 „Diagnose von Wälzlagern in Maschinen und Anlagen >FAG Rolling Bearing Analyser<“ entnommen werden.

### 6: Mittels HKD-Verfahren erkannter Innenringsschaden an einem Pendelrollenlager einer Papiermaschine

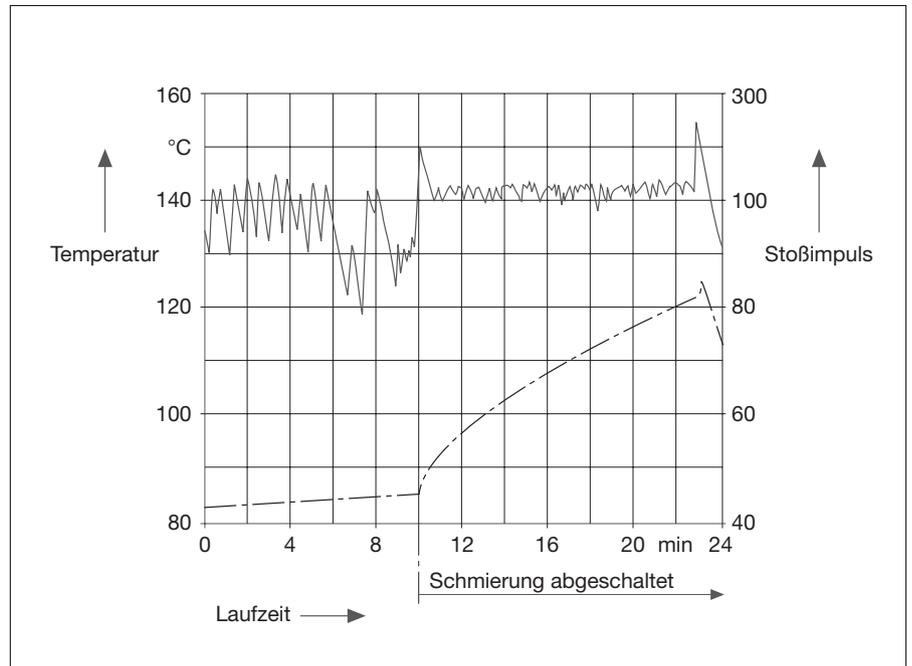


### 5: Frequenzspektrum des Hüllkurvensignals zwischen 0 und 200 Hz, unten: ungeschädigtes Lager; oben: geschädigtes Lager

$n_{IR}$  Innenringdrehzahl [ $\text{min}^{-1}$ ]  
 $f_{IR}$  Frequenz des Innenringsignals (Überrollfrequenz) [Hz]



### 7: Temperaturverlauf und Stoßimpuls (Shock Value) über der Zeit nach Abschaltung der Schmierung. Spindellager B7216E.TPA; P/C = 0,1; n = 9000 $\text{min}^{-1}$ ; Schmieröl ISO VG100.



# Ungewöhnliches Betriebsverhalten als Hinweis auf Schäden

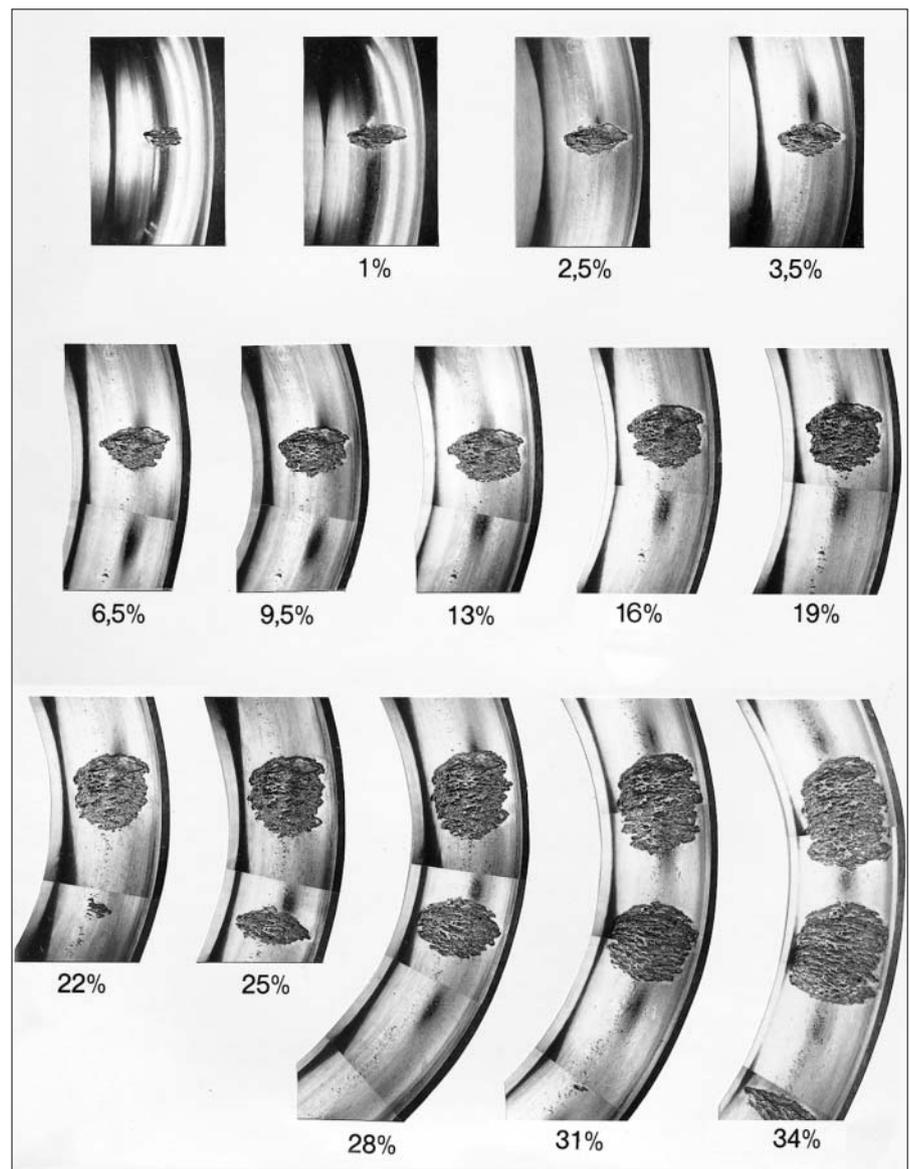
## Lagerüberwachung mit technischen Hilfsmitteln · Dringlichkeit des Lageraustausches

Die Schwingungsmeßverfahren sind sehr gut geeignet, um Ermüdungsschäden festzustellen. Am einfachsten ist dies bei Lagern mit Punktberührung (Kugellagern), aber mit höherentwickelten Auswerteverfahren, wie z. B. der Hüllkurvendetektion, werden ebenso sicher Schäden an Rollenlagern erkannt. Zur Beobachtung des Schmierzustandes sind sie jedoch weniger angebracht. Einen Ausfall der Schmierstoffversorgung erkennt man, wie oben beschrieben, zuverlässig an einer Temperaturmessung. Dies ist besonders gut in der Gegenüberstellung von Bild 7 zu erkennen. Die Stoßimpulsmessung reagiert hier wesentlich unempfindlicher als der Temperatursensor. So stellen insbesondere Temperatur- und Schwingungsmessung bei technisch aufwendigen Anlagen eine sinnvolle gegenseitige Ergänzung dar.

In sehr vielen Fällen wird aber auch mit einem Schaden ein weiterer Betrieb der Maschine ohne Qualitätseinbuße des Produktes zunächst noch möglich sein. Wie lange, hängt in diesem Fall von der Lagerbelastung, der Drehzahl, der

Schmierung und der Sauberkeit des Schmierstoffs ab. Über den Fortgang der Schädigung bei unterschiedlichen Lasten wurden an Kugellagern umfangreiche Untersuchungen angestellt. Die wichtigsten Erkenntnisse daraus sind:

8: Entwicklung eines Ermüdungsschadens in einer Schrägkugellager-Innenringlaufbahn. Der zeitliche Abstand der Inspektionen vom Schadensbeginn ist in % der nominellen Lebensdauer  $L_{10}$  angegeben.



### 1.3 Dringlichkeit des Lageraustausches - Restlebensdauer

Wurde einmal ein Lagerschaden erkannt, so stellt sich die Frage, ob ein sofortiger Wechsel notwendig ist oder ob das Lager bis zum nächsten planmäßigen Stillstand der Maschine im Einsatz bleiben kann. Die Beantwortung dieser Frage hängt von einer Reihe von Bedingungen ab. Ist beispielsweise die verminderte Arbeitsgenauigkeit einer Werkzeugmaschine Anlaß für die Vermutung eines Lagerschadens, so hängt die Dringlichkeit des Lagerwechsels in erster Linie davon ab, wie lange noch Teile mit brauchbarer Qualität gefertigt werden können. Bei Lagern, die infolge einer nicht erkannten Unterbrechung der Schmierstoffzufuhr bei hoher Drehzahl in kürzester Zeit durch Heißlauf blockiert sind, ist selbstverständlich ein sofortiger Wechsel notwendig.

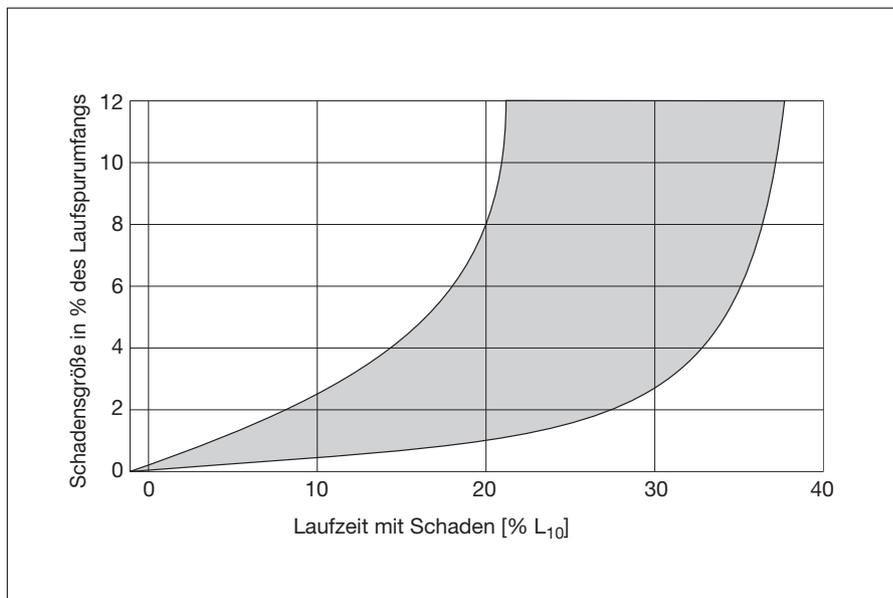
# Ungewöhnliches Betriebsverhalten als Hinweis auf Schäden

## Dringlichkeit des Lageraustausches

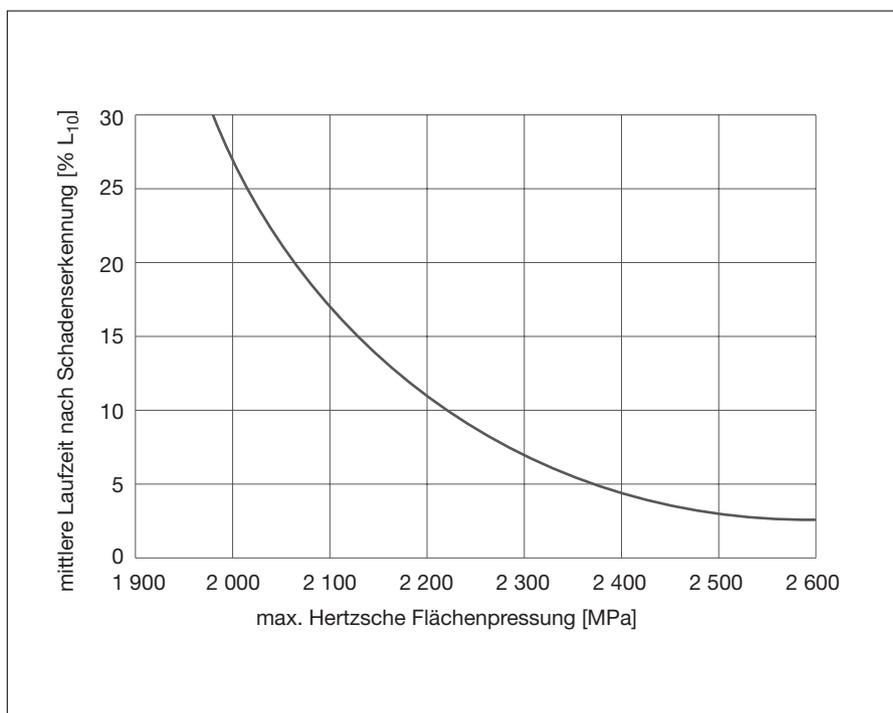
- Bei mäßiger Belastung schreitet ein Schaden nur sehr langsam fort, so daß meist mit dem Lagerwechsel bis zum nächsten planmäßigen Stillstand gewartet werden kann.
- Mit zunehmender Belastung breitet sich der Schaden deutlich schneller aus.
- Zu Beginn wächst der Schaden langsam. Mit zunehmender Schadensgröße steigt die Ausbreitungsgeschwindigkeit stark.

Diese Befunde sind in den Bildern 8 (Seite 7), 9 und 10 veranschaulicht.

9: Schadensgröße in Abhängigkeit von der Laufzeit seit Schadenserkennung (wenn ca. 0,1 % des Laufspurumfangs abgeschält ist)



10: Mittlere Restlaufzeit von Schrägkugellagern nach Erkennung eines Ermüdungsschadens, abhängig von der Beanspruchung, bis 1/10 des Laufspurumfangs geschädigt ist. Betriebsbedingung vor Eintritt des ersten Ermüdungsschadens: Höchste Sauberkeit im EHD-Schmierspalt.



### 2 Sicherung schadhafter Lager

Soll ein schadhaftes Lager aus einer Maschine ausgebaut werden, ist unbedingt zu klären, was den Schaden verursacht hat und wie ein erneuter Ausfall zukünftig zu vermeiden ist. Will man dabei möglichst zuverlässige Aussagen bekommen, dann ist ein systematisches Vorgehen bei der Sicherstellung und Untersuchung des Lagers zweckmäßig. Viele der im folgenden aufgelisteten Punkte sind sinngemäß im übrigen auch bei der Inspektion von Lagern, die im Rahmen einer vorbeugenden Instandhaltung ausgebaut werden, zu beachten.

Folgende Reihenfolge der Maßnahmen ist empfehlenswert:

- Feststellen der Betriebsdaten, Auswertung der Aufzeichnungen von Lagerüberwachungseinrichtungen
- Entnahme von Schmierstoffproben
- Überprüfung der Lagerumgebung auf Fremdeinflüsse und sonstige Schäden
- Begutachtung des Lagers im eingebauten Zustand
- Kennzeichnung der Einbaulage
- Ausbau der Lagerung
- Kennzeichnen der Lager
- Kontrolle der Lagersitze
- Begutachtung des kompletten Lagers
- Untersuchung der Lagereinzelteile oder Versand an FAG

Durch unzureichenden Ablauf der Schadensaufnahme können wichtige Aspekte der Ursachenfindung unwiederbringlich verlorengehen. Ebenso können Fehler bei der Sicherung des geschädigten Lagers das Schadensbild verfälschen oder zumindest die richtige Deutung der Schadensmerkmale erheblich erschweren.

#### 2.1 Feststellen der Betriebsdaten

Bei der Untersuchung eines Wälzlagerschadens prüft man nicht nur das Lager selbst, sondern klärt vorher bereits die Umgebungs- und Einsatzbedingungen (möglichst in Verbindung mit einer Einbauzeichnung).

- Anwendungsfall: Maschine (Gerät), Einbaustelle, erreichte Laufzeit, wieviele gleichartige Maschinen und wieviele Ausfälle an diesen Maschinen
- Lagerungsaufbau: Festlager, Loslager schwimmende Lagerung angestellte Lagerung (federnd, starr; mit Zwischenringen, über Paßscheiben)
- Drehzahl: gleichbleibend, wechselnd (Innenring und Außenring) Beschleunigung, Verzögerung
- Belastung: axial, radial, kombiniert, Kippmoment gleichbleibend, wechselnd (Kollektiv) schwingend (Beschleunigung, Schwingweg) Fliehkräfte Punktlast, Umfanglast (welcher Ring dreht?)
- Umgebungsteile: Wellensitz, Gehäusesitz (Passungen) Befestigungsteile (z. B. Art der Wellenmutter, Dehnschrauben etc.)
- Umweltbedingungen: Fremdwärme, Kühlung besondere Medien (z. B. Stickstoff, Vakuum, Strahlung) Schwingungen im Stillstand Staub, Schmutz, Feuchtigkeit, ätzende Medien Elektrische oder magnetische Felder
- Schmierung: Schmierstoff, Schmierstoffmenge Schmierstoffzufuhr Nachschmierfrist Zeitpunkt der letzten Nachschmierung/des letzten Ölwechsels
- Abdichtung: berührend, nicht berührend
- Geschichte des schadhaften Lagers: Ersteinbau oder Ersatzlager Änderungen an der Einbaustelle/Maschine in der Vergangenheit bisherige Ausfallhäufigkeit rechnerische  $L_{10}$ -Lebensdauer in der Regel erreichte Gebrauchsdauer

Besonderheiten während der zurückliegenden Betriebszeit Reparaturen an anderen Maschinenteilen (Baumaßnahmen, Schweißarbeiten) Betriebsstörungen, die auf andere Maschinenelemente zurückgeführt wurden (z. B. Dichtungsschäden, Ölverlust) Transportweg und Transportmittel der Maschine bzw. der Lager Verpackung

- Soweit vorhanden, Aufzeichnungen von Lagerüberwachungseinrichtungen auswerten

#### 2.2 Entnahme und Beurteilung von Schmierstoffproben

Über den Schmierstoff sind vielfältige Hinweise bezüglich der Schadensursachen in Wälzlager zu gewinnen. Voraussetzung ist jedoch eine geeignete Durchführung der Probenentnahme (nur bei offenen Lagern), siehe auch DIN 51750, ASTM Standard D270-65 bzw. 4057-81.

- Fettschmierung:
  - Dokumentation von Fettverteilung und -farbe in der Lagerumgebung
  - Entnahme von Proben an verschiedenen Stellen des Lagers und der Lagerumgebung mit entsprechender Kennzeichnung
- Ölschmierung:
  - Probe in der Nähe des Lagers aus dem Ölstrom entnehmen oder aus der Mitte des Vorratsbehälters
  - Proben während des Betriebs der Maschine oder unmittelbar danach entnehmen, um eine repräsentative Verteilung von Fremdstoffen zu erhalten
  - Proben nicht vom Boden oder direkt hinter Filtern ziehen (falsche Partikelkonzentration)

- Getrennt von den Ölproben sind auch Filtrerrückstände aufzubewahren und zu untersuchen (Hinweise auf die Vorgeschichte des Schadens)
- Allgemeines
  - Wie oft wurde zuvor nachgeschmiert bzw. ein Ölwechsel durchgeführt; wann geschah dies zuletzt?
  - Öl oder Fett nach eventuellen Bruchstücken aus dem Lager oder von anderen Bauteilen absuchen
  - Zur Aufbewahrung der Proben saubere Gefäße aus dafür geeigneten Materialien (z. B. Glas) verwenden
  - Bei Ölproben sollte in den Gefäßen genügend Raum für eine gute Resuspendierung der Probe im Labor freibleiben
  - Die Analyse der Proben kann beim Kunden, in einem unabhängigen Schmierstofflabor oder bei FAG stattfinden. Von Interesse sind in der Regel der Verschmutzungsgrad sowie die Art der Verschmutzung (Sand, Stahl, weiche Teilchen, Wasser, Kühlflüssigkeit) und eine Analyse der Schmierfähigkeit (z. B. Alterung, Verfestigung, Farbe, Verkokung, Additivanteil). Nach Möglichkeit sollte eine Probe des Frischfettes bzw. -öles mitgegeben und mituntersucht werden (bei unbekanntem Schmierstoffen, Chargeneinflüsse)

## 2.3 Überprüfung der Lagerumgebung

- Können an irgendeiner Stelle Umgebungsteile an Lagerteilen anstreifen?
- Sind in der Nähe des Lagers auch andere Bauteile beschädigt (Folgeschäden oder Primärschäden)?
- Sauberkeit innerhalb und außerhalb der Dichtungen (Sind Fremdkörper in den Lagerraum eingedrungen?)
- Lösekräfte der Lagerbefestigungsteile (Würden dem Lager Verformungen aufgezwungen?  
Sind die Befestigungen lose?)

## 2.4 Begutachtung des Lagers im eingebauten Zustand

- Sind Brüche oder abgeplatzte Stellen zu erkennen?
- Weisen die Dichtungen Schäden, insbesondere Verformungen oder Verhärtungen auf?
- Zeigt das Lager an den sichtbaren Flächen Verformungen?
- Sind Anschürfungen von Fremdteilen zu erkennen?
- Ist das Lager im eingebauten Zustand leicht- oder schwergängig? (Passungseinfluß)

## 2.5 Demontage des schadhafte Lagers

Bei der Demontage eines schadhafte Wälzlagers ist grundsätzlich darauf zu achten, daß das Schadensbild nicht verfälscht wird. Ist dies unvermeidbar, sollten Ausbaubeschädigungen gekennzeichnet und vermerkt werden. Folgende Vorgehensweisen sind möglichst einzuhalten:

- Ausbaukräfte nicht über die Wälzkörper leiten
- hohe Ausbaukräfte deuten evtl. auf eine gestörte Loslagerfunktion
- abgedichtete Lager nicht öffnen
- wärmeempfindliche Teile (Schmierstoff, Dichtung, Käfig) nicht durch starke Wärmeeinwirkung zerstören oder beschädigen
- Lager kennzeichnen (Einbauort, Einbauichtung)

## 2.6 Kontrolle der Sitze

- Maß von Welle und Gehäuse (Ver spannungen, zu lose Sitze)
- Formtoleranzen der Sitze (Ovalver spannung)
- Rauheit der Sitze (Übermaßverlust)
- Passungsrost (bei örtlich unterschiedlicher Verteilung Hinweis auf un gleichmäßige Abstützung, Lastrichtung)

## 2.7 Begutachtung des kompletten Lagers

Zur Begutachtung sind die Lager stets ungereinigt, also mit Schmierstoffresten vorzulegen.

Zu prüfen sind:

- Allgemeinzustand (Sauberkeit des Lagers und Zustand der Paßflächen, d. h. Montagespuren, Reibkorrosion, Ringbrüche, Maßhaltigkeit, Freißpuren, Verfärbungen)
- Zustand der Dicht- und Deckscheiben. Ort und Umfang eventuellen Fettaustritts fotografieren oder beschreiben.
- Zustand des Käfigs
- Handablaufprüfung (Hinweise auf Verschmutzung, Beschädigungen oder Verspannungen)
- Lagerluftmessung (Verschiebbarkeit der Ringe gegeneinander in radialer bzw. axialer Richtung), dabei Lager gleichmäßig belasten und drehen!

## 2.8 Versand an FAG oder Begutachtung der Lagereinzelteile

In vielen Fällen können die grundsätzlich möglichen Ausfallursachen eines Lagers bereits vom Kunden selbst oder durch einen FAG-Mitarbeiter vor Ort erkannt werden. Je nach der Ausgeprägtheit einzelner Schadensmerkmale ist dann zu entscheiden, ob weitere spezielle Untersuchungen notwendig sind. Die Vorgehensweise bei der Untersuchung der Lagereinzelteile wird im folgenden Abschnitt detailliert beschrieben.

Kommt jedoch von vornherein nur eine Untersuchung bei FAG in Frage, sollte für den Versand der Teile nach folgenden Schritten verfahren werden:

- Das Lager möglichst nicht demontieren und nicht reinigen. Auf keinen Fall mit Kaltreiniger oder Benzin auswaschen (Hinweise aus der Schmierung gehen verloren, Korrosionsanfälligkeit).

- Verschmutzung nach dem Ausbau vermeiden. Möglichst die Lager einzeln in saubere Folie einwickeln, denn Papier oder Lappen entölen evtl. das Fett.
- Hinreichend feste und dichte Verpackung wählen, damit keine Transportschäden auftreten.

## 3 Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

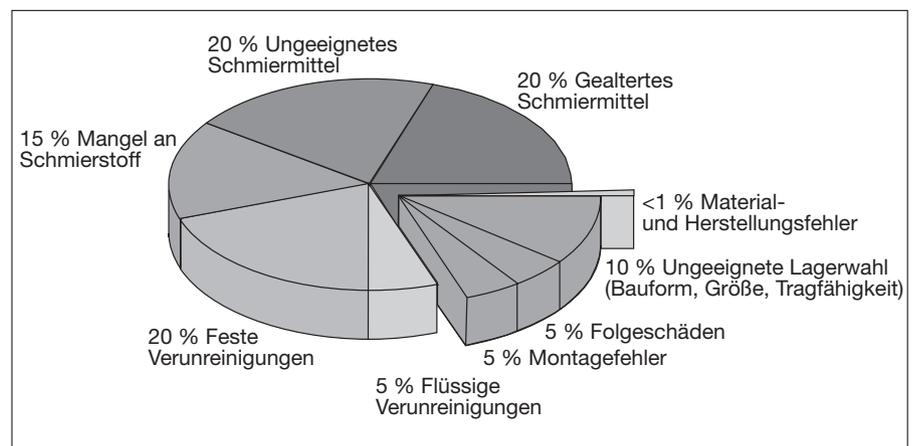
Als Lagerschaden soll nicht nur der Totalausfall eines Wälzlagers, sondern auch eine Minderung der Leistungsfähigkeit der Lagerung verstanden werden. In diesem Zusammenhang ist auch zu bedenken, daß die Ursachen für Störungen im Lagerablauf umso sicherer erkannt werden können, je früher das auffällige Lager ausgebaut wird.

Eine Lagerung kann nur dann einwandfrei laufen, wenn die Betriebs- und Umgebungsbedingungen und die Komponenten der Lagerung (Lager, Umgebungsteile, Schmierung, Abdichtung) richtig aufeinander abgestimmt sind. Die Ursache für einen Lagerschaden darf nicht allein beim Lager gesucht werden. Schäden, die auf Material- oder Fertigungsfehler des Lagers zurückzuführen sind, treten sehr selten auf. Vor der Untersuchung eines Lagerschadens anhand der Einzelteile sollte sich der Beurteilende anhand der nach Abschnitt 2 ermittelten Fakten einen Überblick über mögliche Schadensursachen verschaffen.

Häufig ergeben sich bereits aus den Betriebsbedingungen oder äußeren Merkmalen am Lager Hinweise auf bestimmte Tendenzen für die Schadensursache. In Tafel, Bild 12, sind die wichtigsten Schadensmerkmale den typischen Ursachen für Wälzlagerschäden zugeordnet.

Diese Zusammenfassung kann sicher nicht auf alle Schadensmöglichkeiten eingehen, sondern nur einen groben Überblick geben. Es ist außerdem zu beachten, daß eine Reihe von Schadensbildern ausschließlich oder zumindest bevorzugt bei bestimmten Lagertypen oder unter speziellen Einsatzbedingungen auftreten. In vielen Fällen werden auch mehrere Schadensmerkmale an einem Lager gleichzeitig zu beobachten sein. In einem solchen Fall ist es häufig schwierig, die primäre Ausfallursache zu ermitteln. Es hilft dann meist nur eine systematische Abklärung verschiedener Schadenshypothesen. Dazu ist das im folgenden beschriebene systematische Vorgehen zweckmäßig.

11: Ausfallursachen für Wälzlager (Quelle: antriebstechnik 18 (1979) Nr. 3, 71-74).  
Nur ca. 0,35 % aller Wälzlager fallen vor der erwarteten Laufzeit aus.



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## 12: Hinweise auf Wälzlagerschäden und ihre Ursachen

Merkmal	Geschädigte Bereiche des Lagers					Typische Ursachen für Wälzlagerschäden					
	Sitz- flächen	Wälz- flächen	Bord- und Roll- stirn- flächen	Käfig	Dich- tung	Einbau Falsche Montage- verfahren oder Werkzeuge	Un- sauber- keit	Zu feste Passung, zu hohe Vor- spannung	Zu lose Passung, zu geringe Vor- spannung	Schlechte Unter- stützung der Ringe	Fluchtungs- fehler oder Wellen- biegung
<b>a) Auffälligkeiten im Betriebsverhalten</b>											
Unruhiger Lauf						■	■		■		
Ungewöhnliches Geräusch						■	■	■	■	■	■
Gestörtes Temperaturverhalten								■			■
<b>b) Aussehen demontierter Lagerteile</b>											
1 Fremdkörpereindrücke		■					■				
2 Ermüdungsschäden		■				■	■	■		■	■
3 Stillstands- markierungen		■									
4 Schmelzkrater und Riffeln		■									
5 Schlupfschäden		■							■		
6 Wälzkörpereindrücke Schürfmacken		■	■			■					
7 Freißpuren		■	■	■							
8 Verschleißschäden		■	■	■	■		■				
9 Korrosionsschäden		■	■	■	■						
10 Heißlaufschäden	■	■	■	■	■			■			
11 Brüche	■	■	■	■		■		■		■	
12 Reibkorrosionsschäden (Passungsrost)	■								■	■	

Merkmal	Typische Ursachen für Wälzlerschäden									
	Betriebsbeanspruchungen			Umgebungseinflüsse				Schmierung		
	Über- oder Unterbelastung	Schwingungen	Hohe Drehzahlen	Staub, Schmutz	Aggressive Medien, Wasser	Fremdwärme	Stromdurchgang	Ungeeigneter Schmierstoff	Schmierstoffmangel	Überschmierung
<b>a) Auffälligkeiten im Betriebsverhalten</b>										
Unruhiger Lauf		■		■	■		■	■		
Ungewöhnliches Geräusch	■	■		■	■		■	■	■	
Gestörtes Temperaturverhalten	■		■			■		■	■	■
<b>b) Aussehen demontierter Lagerteile</b>										
1 Fremdkörpereindrücke				■						
2 Ermüdungsschäden	■			■		■		■	■	
3 Stillstandsmarkierungen		■								
4 Schmelzkrater und Riffeln							■			
5 Schlupfschäden	■								■	
6 Wälzkörpereindrücke Schürfmacken	■									
7 Freißpuren	■		■					■	■	
8 Verschleißschäden				■				■	■	
9 Korrosionsschäden					■			■		
10 Heißlaufschäden			■			■		■	■	■
11 Brüche										
12 Reibkorrosionsschäden (Passungsrost)		■								

# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Vorbereitende Maßnahmen

### 3.1 Vorbereitende Maßnahmen

#### 3.1.1 Kennzeichnung der Einzelteile

- Bei mehreren Lagern aus gleichartigen Einbauten alle Lagerteile numerieren und ihre Anordnung im Einbau festhalten.
- Seitliche Zuordnung der Lagerteile untereinander sowie in Bezug auf ihre Einbaulage kennzeichnen.
- Radiale Einbaurichtung der Ringe im Verhältnis zur äußeren Kraft markieren.

#### 3.1.2 Messungen am kompletten Lager

- Geräuschprüfung
- Kontrolle von Radial- bzw. Axialspiel
- Kontrolle von Radial- bzw. Axialschlägen
- Reibungsmomentprüfung

#### 3.1.3 Zerlegen des Lagers in Einzelteile

- Evtl. Fettmenge bestimmen, wenn bei abgedichteten Lagern Fettaustritt erkannt wurde.
- Bei abgedichteten Lagern Deckscheiben oder Dichtscheiben vorsichtig und ohne größere Verformungen entfernen.
- Fettverteilung im Lager beurteilen.
- Fettprobe entnehmen; bei ungleichmäßigem Erscheinungsbild des Schmierstoffs mehrere Proben.
- Wenn keine zerstörungsfreie Demontage möglich ist, sollten die Teile zerstört werden, von denen angenommen wird, daß sie keinen Einfluß auf die Schadensentstehung hatten (z. B. beim Kegelrollenlager den Haltebord am kleinen Innenringdurchmesser abdrehen).
- Falls das Demontageverfahren zwangsläufig Beschädigungen verursacht, sollten diese gekennzeichnet und vermerkt werden.

#### 3.1.4 Begutachtung der Lagerteile

Zunächst verschafft man sich visuell ohne Hilfsmittel einen ersten Überblick über die wesentlichen Lauf- und Einbaumerkmale. Bei der überwiegenden Anzahl von Lagern ist zusätzlich eine mikroskopische Beurteilung der Lagerteile sinnvoll bzw. notwendig.

Folgende Vorgehensweise bei der Betrachtung der Lagerteile ist in den meisten Fällen zweckmäßig:

Beurteilung der

- Sitzflächen (axiale Anlageflächen, Innenringbohrung, Außenringmantel)
- Laufbahnen
- Borde
- Dichtungssitzflächen bzw. Dichtungsanlaufflächen
- Wälzkörper (bei Rollen Mantel- und Stirnflächen)
- Käfige
- Dichtungen

Mitunter können für die Klärung der Schadensursache auch weitergehende Untersuchungen, wie z. B. Schmierstoffanalysen, Vermessungen, elektronenmikroskopische Untersuchungen usw., erforderlich sein. Für solche Fälle stehen Ihnen in den Labors von FAG im Bereich der Produktforschung und -entwicklung kompetente Ansprechpartner zur Verfügung (siehe hierzu Abschnitt 4).

Häufig ist zu entscheiden, ob ein gelaufenes Lager weiter einsatzfähig ist oder ausgetauscht werden muß. Wird ein deutlicher Schaden entdeckt, bestehen keine Zweifel über das weitere Vorgehen. Vielfach lassen sich jedoch keine derartigen Beschädigungen feststellen. Trotzdem gibt die Begutachtung der Lager oft Hinweise auf den Betriebszustand. Erkennt man ungewöhnliche Merkmale und ihre Ursachen, so kann man größere Schäden oft noch vermeiden.

Die folgenden Abschnitte enthalten Beschreibungen der Merkmale, Hinweise auf ihre Bedeutung bzw. Ursachen und, soweit sinnvoll, Maßnahmen zu ihrer Vermeidung.

### 3.2 Der Zustand der Sitzflächen

Aus dem Zustand der Sitzflächen können vielfältige Rückschlüsse auf die Güte der Abstützung der Lagerringe auf der Welle bzw. im Gehäuse gezogen werden. Bewegungen der Ringe gegenüber den Sitzflächen verursachen Geräusche, die häufig stören können. Sie führen aber auch zu Passungsrost und Verschleiß. Dadurch kommt es zu Schmierstoffverschmutzung durch Korrosions- bzw. Abriebpartikel. Außerdem wird die Unterstützung der Ringe fortlaufend schlechter, und der Passungsrost kann zu Demontageschwierigkeiten führen. Im folgenden einige Beispiele hierzu.

#### 3.2.1 Reibkorrosion - Passungsrost

Merkmale:

Braun-schwarze Flecken auf den Sitzflächen, z. T. auch brauner Abrieb in Lagernähe oder im Schmierstoff. Verschleiß an den Paßflächen (Bohrung, Manteldurchmesser), bei umlaufenden Teilen (meist Welle) Dauerbruch möglich, bei stillstehenden Teilen (meist Gehäuse) Störung der Loslagerfunktion möglich, Bild 13. Aus derartigem Passungsrost kann häufig auf Lage und Größe der Lastzone, Bild 14, bzw. auf ein Mitdrehen der Ringe geschlossen werden.

Ursachen:

- Mikrobewegungen zwischen den gepaßten Teilen bei im Verhältnis zu den wirkenden Kräften zu losen Passungen, aber kein Mitdrehen der Ringe
- Formstörungen der Paßflächen
- Wellendurchbiegung, Gehäuseverformung
- Loslagerfunktion am Ring mit Umfangslast

Abhilfe:

- Loslagerfunktion am Ring mit Punktlast vorsehen
- Möglichst feste Lagersitze verwenden
- Welle (Gehäuse) biegesteifer machen
- Lagersitze beschichten

- Bei hohen Einsatztemperaturen maßstabilierte Ringe verwenden (verhindert Lösen der Passung durch Aufgehen der Ringe infolge Gefügeänderungen im Stahl)
- Rundheit der Sitzflächen verbessern
- Oberflächenqualität der Sitzflächen überprüfen und ggf. verbessern

13: Passungsrost in der Bohrung eines Zylinderrollenlager-Innenrings mit zu losem Sitz



14: Passungsrost macht die Größe der Lastzone am stillstehenden Außenring sichtbar.



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Zustand der Sitzflächen

### 3.2.2 Freßspuren oder Gleitverschleiß

Merkmale:

Kaltverschweißungen an den Paßflächen (Innenringbohrung, Außenringmantelfläche) und axialen Anlageflächen oder bei guter Oberflächenrauheit auch spiegelblanke Kontaktflächen, Bild 15, 16.

Verschleiß der Paß- und Stirnflächen, Bild 17, evtl. Abbau der Vorspannung bzw. Spielvergrößerung.

Ursachen:

- Drehbewegungen zwischen Ring und Welle/Gehäuse bei losen Passungen unter umlaufender Last; auch bei statischer Belastung unter Unwuchten
- Axiale Festlegung der Ringe unzureichend
- Loslager schiebt schwergängig

Abhilfe:

- Möglichst feste Lagersitze verwenden
- Axiale Anlageflächen vergrößern
- Axiale Festlegung sichern
- Paßflächen trocken halten
- Loslagerfunktion verbessern

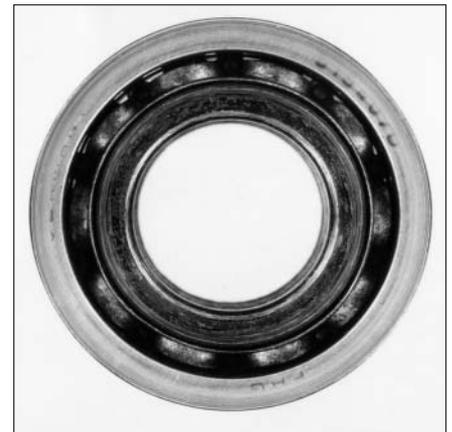
16: Freßspuren in der Innenringbohrung als Folge von Mitdrehen des Innenrings auf der Welle



15: Freßspuren auf der Mantelfläche als Folge von Mitdrehen des Außenrings im Gehäuse



17: Umlaufende Riefen und Kaltverschweißungen an der Innenring-Seitenfläche als Folge von Mitdrehen des Innenrings auf der Welle



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Zustand der Sitzflächen

### 3.2.3 Ungleichmäßige Unterstützung der Lagerringe

#### Merkmale:

Sitzspuren nicht im Bereich der erwarteten Lastzone.

Bearbeitungsstruktur der Paßflächen bereichsweise verschlissen und in anderen Bereichen noch völlig erhalten, Bild 18, 19. In der Folge durch ungleiche Lastverteilung und Biegung der Ringe Ermüdungsschäden und Brüche. Bei zu geringer axialer Abstützung von Kegelrollenlagerinnenringen auch Bordbrüche, Bild 20, oder bei zu kleinen Berührflächen auch plastische Setzerscheinungen.

#### Ursachen:

- Ungeeignete Konstruktion
- Ungenaue Bearbeitung

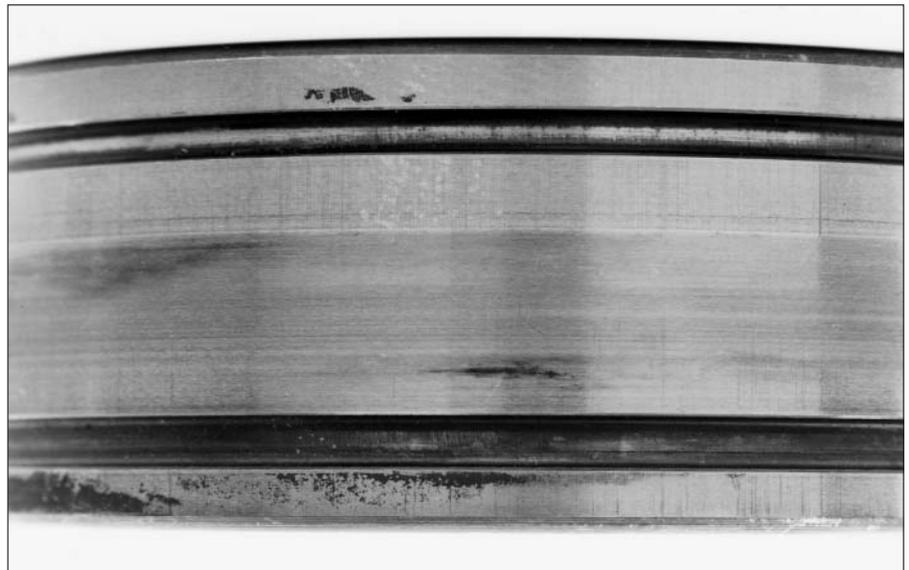
#### Abhilfe:

- Umbauteile konstruktiv ändern und dabei auf gleichmäßige Gehäusesteifigkeit achten;
- evtl. auch andere Lager verwenden
- Fertigung der Umbauteile überprüfen

18: Außenringmantelfläche, Passungsrost an „harten Punkten“ (z. B. Rippen) im Gehäuse



19: Außenringmantelfläche, nur auf der halben Breite unterstützt



20: Bordbruch bei einem Kegelrollenlager-Innenring infolge unzureichender axialer Abstützung der Stirnfläche



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Zustand der Sitzflächen

### 3.2.4 Seitliche Anstreichspuren

#### Merkmale:

An den Stirnflächen der Lagerringe oder Dichtungen umlaufende Kratzspuren bzw. Verschleiß, Bild 21, 22.

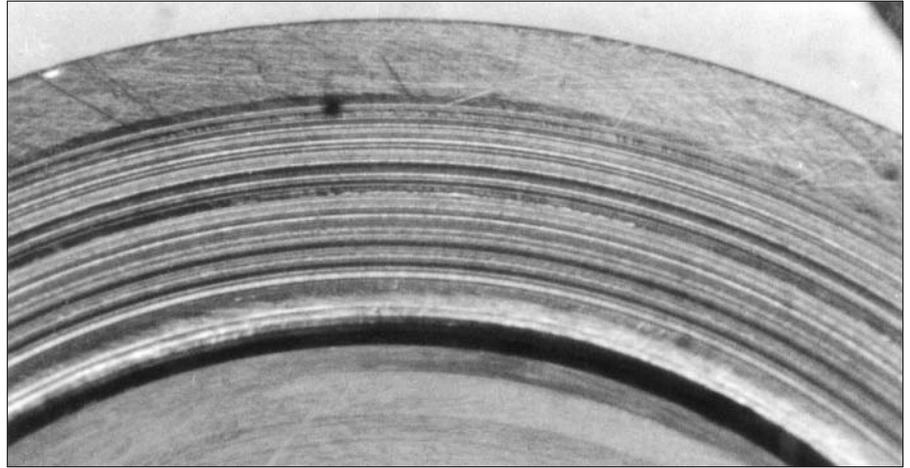
#### Ursachen:

- Unzureichende Festlegung der Lager im Gehäuse oder auf der Welle
- Starker Verschmutzungsanfall von außen bei engem Spalt zwischen Lager und Umbauteil
- Lose Umbauteile
- Zu großes Axialspiel

#### Abhilfe:

- Teile ordnungsgemäß fixieren
- Schmierstoffsauberkeit gewährleisten
- Axialspiel überprüfen und evtl. einengen

21: Umlaufende Riefen und Kaltverschweißungen an der Seitenfläche durch Anstreifen eines Umbauteiles



22: Beschädigung der Dichtung durch seitliches Anstreifen



### 3.3 Das Erscheinungsbild der Wälzkontakte

#### 3.3.1 Entstehung und Bedeutung von Laufspuren

Unabhängig vom Auftreten von Schäden sind an jedem gelaufenen Lager Veränderungen der Kontaktflächen zwischen Ringen und Wälzkörpern zu erkennen, die als Laufspuren bezeichnet werden. Laufspuren entstehen durch Aufrauung oder Glättung der ursprünglich gefertigten Oberflächenstruktur. Sie sind häufig auch durch Eindrücke von überrollten, oft mikroskopisch kleinen Fremdkörpern oder durch Verfärbungen gekennzeichnet. Aus den Laufspuren kann somit auf die Güte der Schmierung, auf die Sauberkeit des Schmierstoffs und auf die Richtung der Belastung sowie die Lastverteilung im Lager geschlossen werden.

##### 3.3.1.1 Normale Laufspuren

Unter der Drehbewegung und Belastung hinterlassen die Wälzkörper auf den Laufbahnen Spuren, die bei gut trennendem Schmierfilm meist ein helles Aussehen haben. Das individuelle Erscheinungsbild der Laufspuren ist jedoch stark von der Beleuchtung der Oberfläche abhängig. Insbesondere bei der Betrachtung mit der Lupe und dem Mikroskop sollte jedoch die Bearbeitungsstruktur noch weitgehend erkennbar sein (Vergleich mit ungelaufenen Bereichen am Laufbahnrand!). Als unvermeidlich sind auch einzelne Eindrücke kleiner Fremdkörper anzusehen. Bei besonders guter Schmierung sind sie die einzigen Hinweise auf die Lage der Lastzonen im Lager, Bild 23.

In vielen Fällen treten bei Temperaturen oberhalb von ca. 80 °C auch Verfärbungen der Laufbahnen bzw. Wälzkörper auf. Sie entstehen durch chemische Reaktionen des Stahls mit dem Schmierstoff oder dessen Additiven und haben keinen negativen Einfluß

auf die Gebrauchsdauer der Lager. Im Gegenteil: Häufig deuten diese Oberflächenschichten auf einen wirksamen Verschleißschutz der Additive hin.

Meist entstehen braune oder blaue Farbtöne. Die jeweilige Farbe erlaubt jedoch keinen eindeutigen Rückschluß auf die Betriebstemperatur, die zu ihrer Entstehung geführt hat. Bei den einzelnen Wälzkörpern eines Lagers werden manchmal deutlich unterschiedliche Farbtöne beobachtet, obwohl die Betriebsbedingungen sehr ähnlich sind.

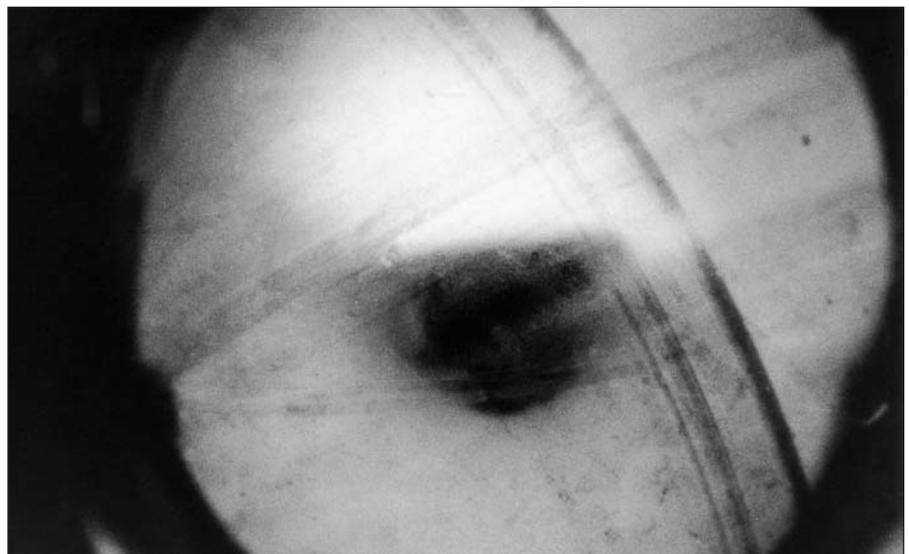
Diese Ölverfärbungen dürfen auf keinen Fall mit den in seltenen Fällen an ausgefallenen Lagern festzustellenden Anlaßfarben verwechselt werden, die bei sehr viel höheren Temperaturen auftreten können, siehe Abschnitt 3.3.5.

Auch auf Kugeln sind mitunter Laufspuren in Form von äquatorial umlaufenden Bändern sichtbar. Sie treten in Schrägkugellagern auf, wenn die Kugeln immer die gleiche Drehachse beibehalten. Eine grundsätzliche Lebensdauer-minderung ist aus ihnen nicht abzuleiten, Bild 24.

23: Normale Laufspur, Oberflächenstruktur noch sichtbar, nur einzelne kleine Eindrücke durch Fremdkörper



24: Kugel mit äquatorial umlaufendem Band

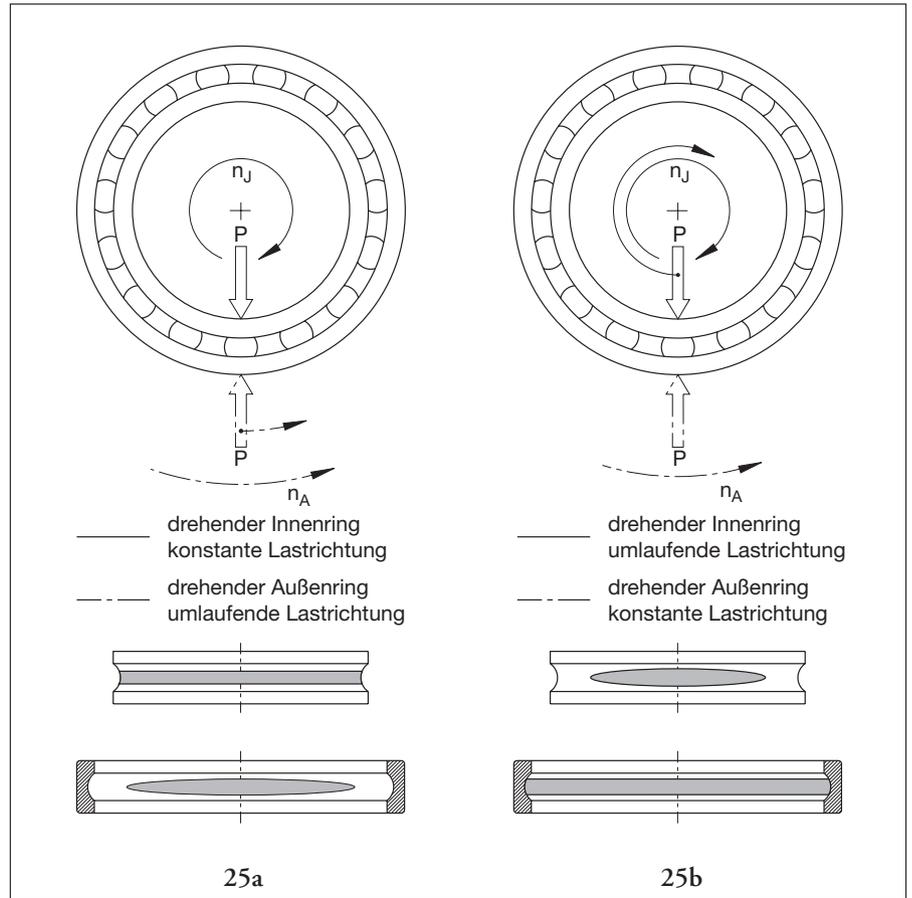


# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

25: Radiale Belastung eines Radiallagers, z. B. eines Rillenkugellagers. Bei Punktlast und hinreichend steifem Gehäuse ist die Laufspur am stehenden Ring kürzer als der halbe Laufbahnumfang, sofern keine radiale Vorspannung erfolgte. Bei Umfangslast erstreckt sich die Laufspur über den gesamten Laufbahnumfang.

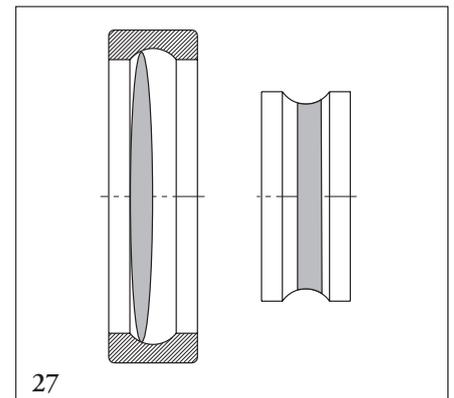
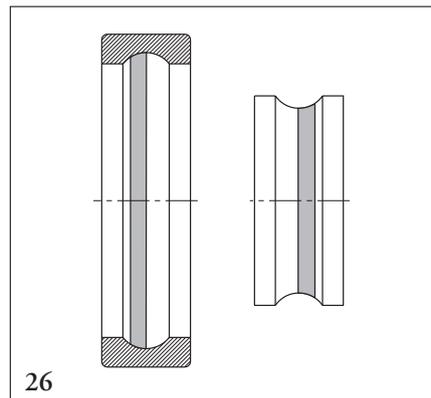
- a: Punktlast für den Außenring, Umfangslast für den Innenring
- b: Punktlast für den Innenring, Umfangslast für den Außenring



26: Axiale Belastung eines Radiallagers, z. B. eines Rillenkugellagers. Die Laufspuren erstrecken sich bei Innen- und Außenring außermittig über den gesamten Laufbahnumfang.

27: Kombinierte Radial-Axialbelastung eines Rillenkugellagers. Beim Innenring (Umfangslast) verläuft eine gleichbleibend breite Laufspur über den gesamten Laufbahnumfang. Beim Außenring (Punktlast) ist die Laufspur in der radial belasteten Zone breiter als am übrigen Umfang.

Die Anordnung der Laufspuren ergibt sich aus der Richtung der äußeren Belastung und den Umlaufverhältnissen (Punktlast oder Umfangslast, Axiallast, kombinierte Belastung), Bilder 25 bis 27. Ein „Soll-Ist“-Vergleich liefert auch hier wichtige Hinweise auf unerwartete Lastzustände, z. B. auf eine gestörte Loslagerfunktion. Die Entstehung der Laufspuren in Umfangsrichtung auf dem stehenden Ring hängt bei rein radialer Belastung wesentlich von der Höhe der Last, der Größe des Lagerspiels und von der Steifigkeit der Umbauteile ab. Je höher die Last, je kleiner das Lagerspiel und je weicher das Gehäuse ist, desto länger wird die Lastzone und somit auch die Laufspur.



### 3.3.1.2 Ungewöhnliche Laufspuren

Welche Laufspuren normal und welche ungewöhnlich sind, hängt ganz wesentlich vom Einbaufall ab. So könnten z. B. Lager ganz normale Laufspuren haben, die auf überwiegend radiale Belastung schließen lassen; dies wäre jedoch für eine Lagerung, die unter axialer Vorspannung laufen sollte, ein Hinweis auf eine fehlerhafte Montage der Lager. Dies macht deutlich, daß für die Beurteilung der Laufspuren die Einsatzbedingungen der Lager bekannt sein sollten. Einige grundsätzliche Merkmale lassen sich jedoch immer anhand der Laufspuren beurteilen.

#### • Laufspuren bei unzureichender Schmierung

##### Merkmale:

Das optische Erscheinungsbild der Laufspuren bzw. die Oberflächenfeinestalt, sprich Rauheit, ermöglichen wesentliche Rückschlüsse auf die Güte der Schmierung. Bei nichttrennendem Schmierfilm unter mäßiger Belastung entstehen matte aufgeraute Laufspuren.

Die Beeinflussung der Oberfläche ist um so intensiver, je dünner der Schmierfilm ist; man spricht hier von schlechter Oberflächentrennung, Bild 28.

Bei hoher spezifischer Belastung der Kontaktflächen kommt es zu hellen, druckpolierten, oft spiegelblanken Laufspuren, die sehr deutlich zur nicht benutzten Laufbahn abgegrenzt sind, Bild 29.

##### Ursachen:

- Unzureichende Schmierstoffmenge im Lager verfügbar
- Der Schmierstoff hat bei Betriebstemperatur und -drehzahl unzureichende Viskosität (siehe Katalog „FAG Wälzlager“, erweiterte Lebensdauerberechnung)

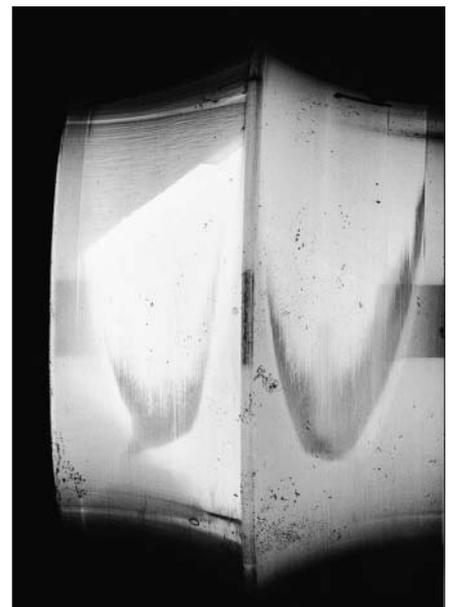
##### Abhilfe:

- Schmierstoffzufuhr verbessern
- Schmierstoffviskosität den Betriebsbedingungen anpassen
- Schmierstoff mit erprobten Additiven einsetzen
- Lagerteile mit Oberflächenbeschichtung verwenden

28: Laufspur mit Oberflächenverschleiß



29: Druckpolierte Laufspur



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

### • Laufspuren bei Verschmutzung im Lager bzw. im Schmierstoff

In erster Linie ist zu unterscheiden zwischen festen und flüssigen Verunreinigungen.

Merkmale bei festen Verunreinigungen:

Werden Feststoffe in den Laufbahnen überrollt, so hinterlassen sie Eindrücke. Bei Begutachtung der Laufspuren unter dem Mikroskop kann man anhand der Eindrücke zwischen Partikeln aus weichen Materialien, gehärtetem Stahl und harten Mineralien unterscheiden, Bild 30, 31, 32. Für die Lebensdauer sind besonders große, harte Fremdkörper kritisch. Darauf wird bei der Beschreibung von Ermüdungsschäden näher eingegangen, siehe auch „Ermüdung infolge Fremdkörperüberrollung“ im Abschnitt 3.3.2.1. Eine Vielzahl von kleinen harten Fremdkörpern führt zu Aufrauungen wie in Bild 28 und beschleunigt den Abrasivverschleiß.

Merkmale bei flüssigen Verunreinigungen:

Unter den flüssigen Schmierstoffverunreinigungen tritt besonders häufig Wasser auf. In gewissen kleinen Mengen kann es vom Schmierstoff aufgenommen werden. Es verschlechtert aber dessen Schmierwirkung und führt häufig zu ähnlichen Laufspuren wie in Bild 29. Bei größeren Feuchtigkeitsmengen im Lager entstehen matte Laufspuren und in Folge Korrosion oder bei hoher Last auch druckpolierte Laufspuren mit Ermüdungsschäden, siehe auch „Ermüdung infolge schlechter Schmierung“ im Abschnitt 3.3.2.1.

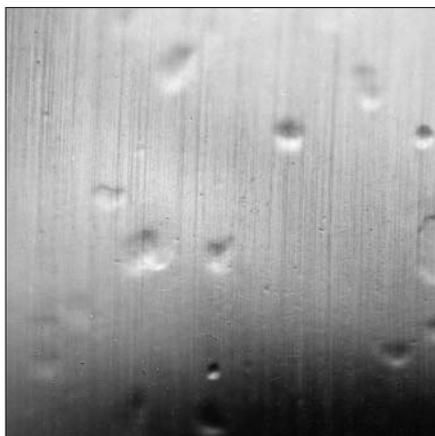
Ursachen:

- Unzureichende Abdichtung
- Unsaubere Montagebedingungen
- Fertigungsrückstände, z. B. Formsand
- Temperaturunterschiede (Kondenswasserbildung)
- Unsauberes Öl

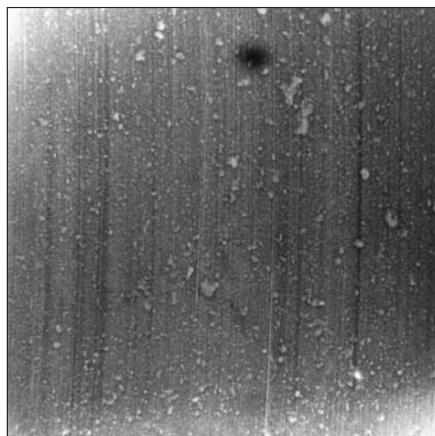
Abhilfe:

- Abdichtung konstruktiv verbessern
- Saubere Montage und gut gewaschene Bauteile, evtl. lackieren
- Gesamtes Ölsystem vor Inbetriebnahme (vor der ersten Lagerumdrehung!) durchspülen

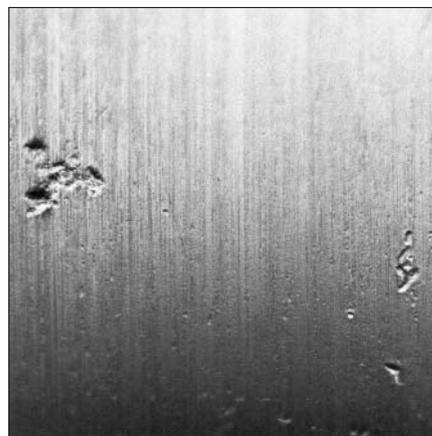
30: Eindrücke weicher Fremdkörper



31: Eindrücke von Fremdkörpern aus gehärtetem Stahl



32: Eindrücke harter mineralischer Fremdkörper



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

### • Laufspuren bei Radialverspannung

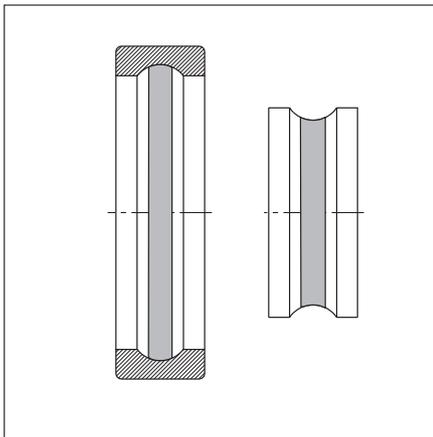
#### Merkmale:

Bei Radialverspannung entstehen auf beiden Ringen umlaufende Laufspuren, Bild 33. Im Extremfall kann in der Folge ein Heißlaufschaden entstehen, Abschnitt 3.3.5.

#### Ursachen:

- Zu hohe Passungsüberdeckung an Welle/Gehäuse
- Zu große Temperaturdifferenzen zwischen Innen- und Außenring
- Zu geringe Lagerluft

33: Radial verspanntes Rillenkugellager. Die Laufspuren erstrecken sich über den gesamten Ringumfang, auch an dem Ring, der von den äußeren Kräften her Punktlast erhält.



### • Laufspuren bei Ovalverspannung

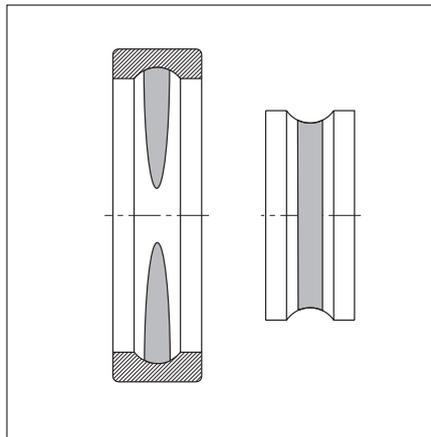
#### Merkmale:

Am stillstehenden Ring bilden sich mehrere getrennte Laufspurbereiche auf dem Umfang, Bild 34.

#### Ursachen:

- Unrunde Gehäuse oder Wellen, z. B. auch durch unterschiedliche Steifigkeiten über den Umfang bei der Bearbeitung oder durch Gewindelöcher in Nähe der Lagersitze
- Unterschiedliche Gehäusesteifigkeit in Umfangsrichtung bei gleichzeitig hoher Überdeckung mit dem Außenring
- Stehende Aufbewahrung von dünnwandigen Lagern

34: Ovalverspannung bei einem Rillenkugellager. Bei dem ovalverspannten Außenring (Punktlast) haben sich zwei gegenüberliegende Zonen radialer Belastung gebildet.



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

### • Laufspuren bei Axialverspannung

#### Merkmale:

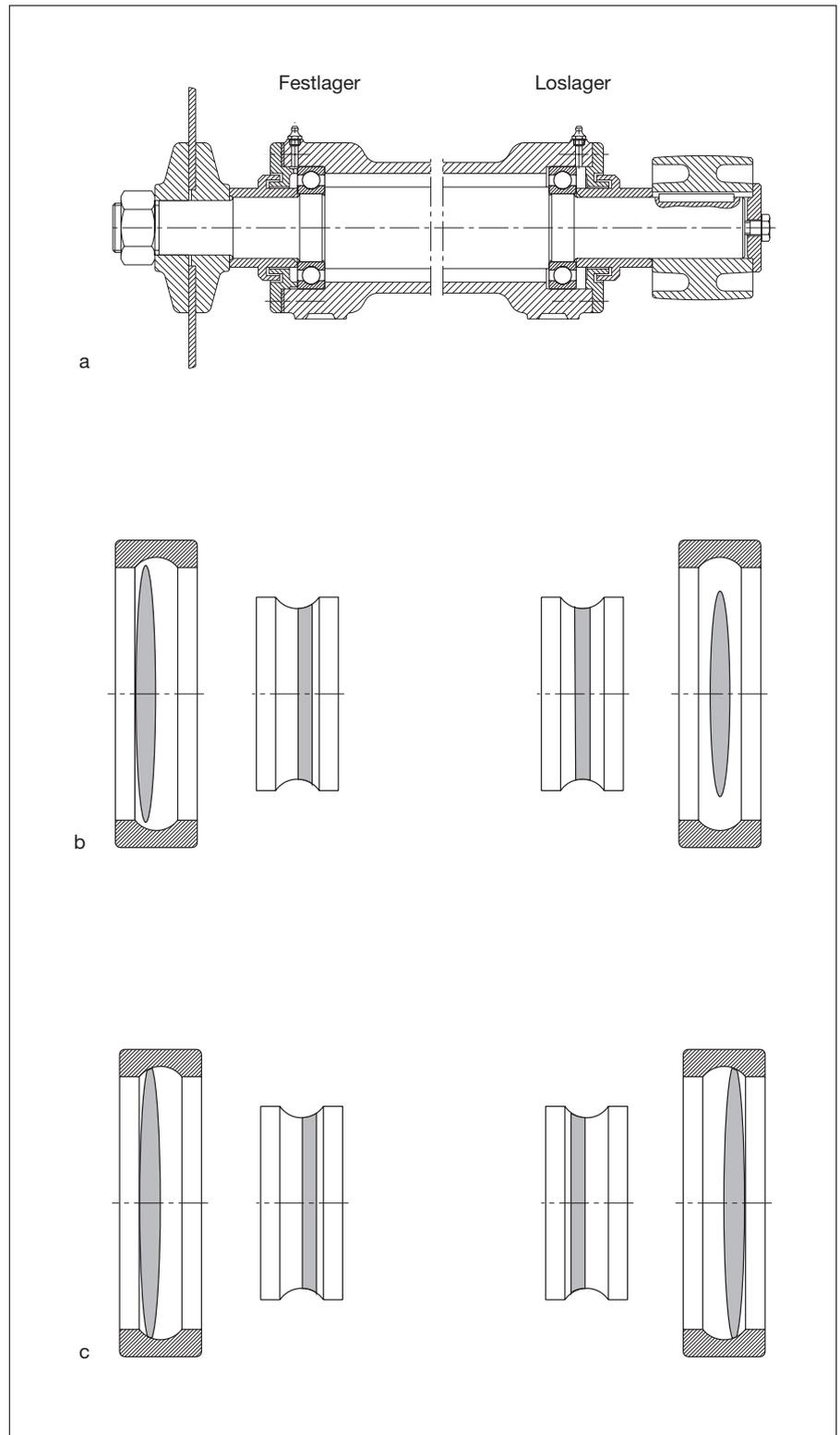
Bei einer Fest-Los-Lagerung darf nur das Festlager, wie in Bild 35b dargestellt, ausgeprägte Laufspuren zeigen, wie sie bei Axiallast (Bild 26) entstehen. Am Loslager soll höchstens ein geringer (besser kein) Axiallastanteil erkennbar sein.

#### Ursachen:

- Gestörte Loslagerfunktion (falsche Passung, radialwirkende Wärmedehnung, Verkantung, Passungsrost)
- Unerwartet hohe axialwirkende Wärmedehnung

#### Abhilfe:

- Passung und Formgenauigkeit der Umbauteile überprüfen
- Einbau- und Betriebsbedingungen ändern
- Lager mit axialer Verschiebbarkeit verwenden: Zylinderrollenlager N, NU, NJ



### 35: Fest-Loslagerung mit zwei Rillenkugellagern.

a: Das Rillenkugellager auf der Arbeitsseite ist als Festlager, das Lager auf der Antriebsseite als Loslager ausgebildet.

b: Laufspuren bei funktionsgerechter Lagerung. Das Festlager hat die Merkmale eines kombiniert belasteten, das Loslager die Merkmale eines überwiegend oder rein radial belasteten Lagers.

c: Laufspuren bei axial verspannter Lagerung (festsitzender Außenring des Loslagers). Jedes Lager weist die Merkmale einer kombinierten Belastung auf. Die axiale Verspannung wird aus der Lage der Laufspuren der beiden Lager zueinander deutlich.

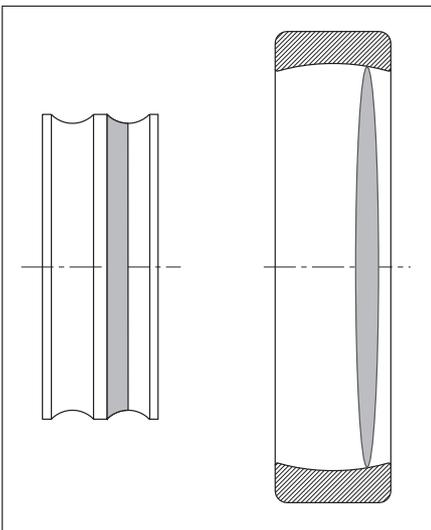
# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

Erscheinungsbild der Wälzkontakte

36: Durch axiale Verspannung hervorgerufene Abblätterung in der einen Laufspur eines Pendelkugellager-Außenrings



37: Ausbildung der Laufspuren bei einem axial verspannten, radial belasteten Pendelkugellager mit umlaufendem Innenring



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

### • Laufspuren bei Schrägverspannung

Merkmale:

Beim Kugellager verläuft die Laufspur des stehenden Ringes nicht senkrecht, sondern schräg zur Axialrichtung, Bilder 38 und 39. Bei Rollenlagern ist unter Verkippung die Laufspur am einen Laufbahnrand ausgeprägter als am anderen, Bild 40.

Ursachen:

- Wellenbiegung
- Nicht fluchtende Gehäusehälften oder Stehlagergehäuse
- Axiale Anlagefläche nicht im rechten Winkel zur Lagerachse stehend
- Während der Montage befand sich Schmutz zwischen den Anlageflächen und den Lagerringen

- Zuviel Lagerspiel in Kombination mit Momentenbelastung

Abhilfe:

- Einbauvorschriften zur zulässigen Verkippung beachten, siehe FAG-Katalog
- Auf Sauberkeit bei der Montage achten
- Geeignetes Lagerspiel festlegen

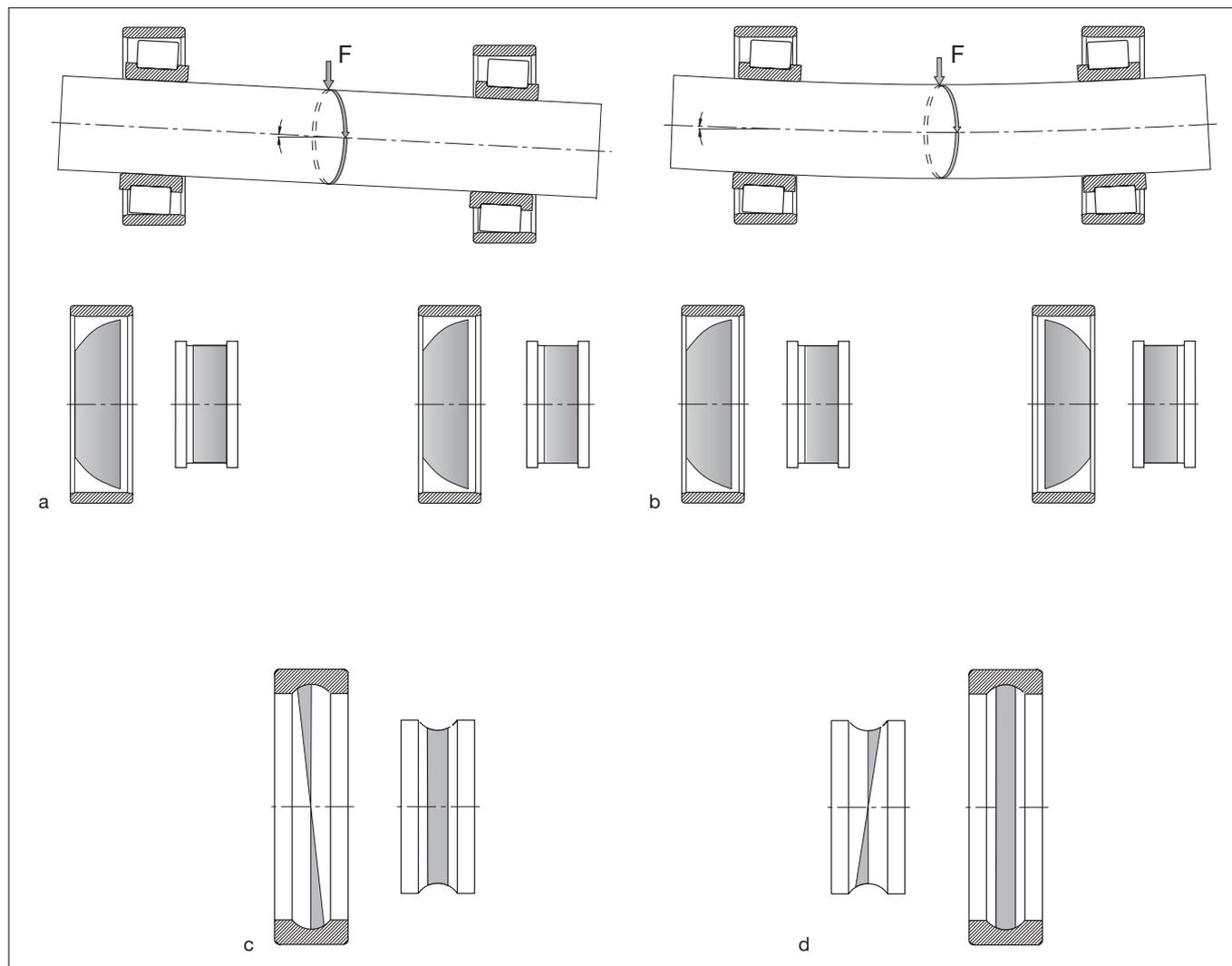
### 38: Schrägverspannte Lager

a: Verkippung der Innenringe gegenüber den Außenringen bei nicht fluchtenden Gehäusesitzen

b: Verkippung der Laufringe zueinander bei Wellenbiegung

c: Laufspuren bei einem schrägverspannten Rillenkugellager mit umlaufendem Innenring

d: Laufspuren bei einem schrägverspannten Rillenkugellager mit umlaufendem Außenring





39: Schräg im Innenring liegende Laufspur am Rillenkugellager



40: Verkippte Laufspur auf einem Kegelrollenlager

### 3.3.2 Vertiefungen in Laufbahnen und Wälzkörperoberflächen

Häufig findet man an schadhafte Lagerteilen einzelne Vertiefungen in den Kontaktflächen, die die unterschiedlichsten Ursachen haben können. Da sie im allgemeinen flächig gleichmäßig verteilt in sehr großer Anzahl auftreten, wurden die durch Überrollung von Fremdkörpern entstandenen Vertiefungen schon in Verbindung mit der Beurteilung der Laufspuren (Abschnitt 3.3.1) betrachtet. Hier sollen vorwiegend solche Erscheinungen besprochen werden, die lokal begrenzt auf dem Ring auftreten.

#### 3.3.2.1 Ausbrüche

Der Werkstoff von Laufbahnen und Wälzkörpern ist bei der Überrollung einer fortlaufenden Schwellbeanspruchung ausgesetzt. Diese führt zu ähnlichen Ausfallerscheinungen, wie sie von der Ermüdung biegebeanspruchter Bauteile bekannt sind: Es entstehen Dauerbrüche. Im Wälzlager verlaufen diese Bruchflächen weitgehend parallel zur Oberfläche und führen dabei zu flächigen Materialabschälungen, die mit Begriffen wie „Ermüdungsschäden, Schälungen, Pittings, Spalling, Graufleckigkeit, Mikropittings oder Grübchenbildung“ bezeichnet werden.

# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

### • Klassische Ermüdung

Auch bei sehr günstigen Betriebsbedingungen, d. h. hydrodynamisch trennendem Schmierfilm, höchster Schmierstoffsauberkeit und mäßigen Temperaturen, können an Wälzlagerteilen abhängig von der Belastung Ermüdungsschäden auftreten. Bei einer Belastungskennzahl

$$f_{s^*} = C_0/P_{0^*} \geq 8$$

( $C_0$  = statische Tragzahl,  $P_{0^*}$  = äquivalente Belastung) ist unter den genannten Bedingungen von Dauerfestigkeit auszugehen. Bei größeren Lasten, also kleineren  $f_{s^*}$ -Werten, ist nach mehr oder weniger länger Betriebsdauer mit einem Ermüdungsschaden zu rechnen.

Derartige klassische Ermüdungsschäden, bei denen zunächst unterhalb der Oberfläche Risse entstehen, treten in der Praxis relativ selten auf. Sehr viel häufiger beginnen Ermüdungsschäden infolge ungünstiger Schmierung oder mangelhafter Sauberkeit im Wälzkontakt an der Oberfläche. Bei fortgeschrittenen Schäden kann man die jeweilige Ursache in der Regel nicht mehr erkennen.

Merkmale:

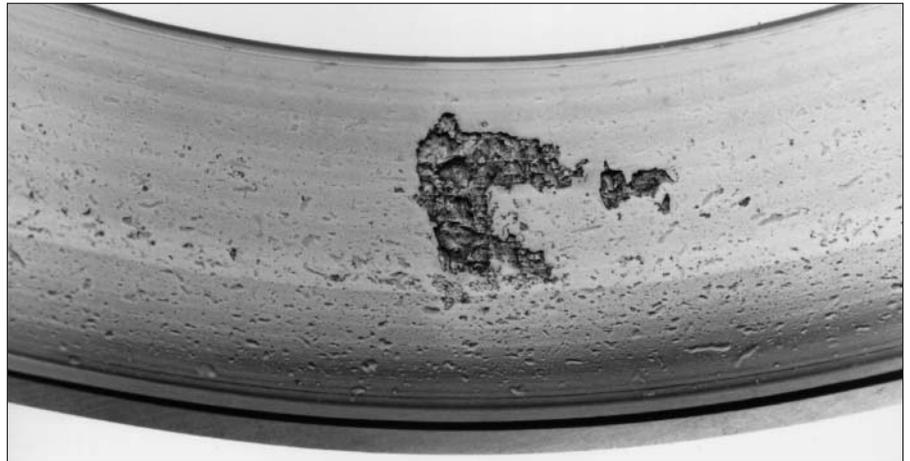
Rißbildung unter der Oberfläche bei Laufbahnen und Wälzkörpern, Abblätterungen von Material (relativ tiefes Pitting), nicht geschädigte Laufbahnbereiche haben in einem frühen Stadium die Merkmale einer guten Schmierung (vgl. Bild 23), wobei jedoch auch je nach Schadensfortschritt mehr oder weniger viele Eindrücke von überrollten Ausbruchstücken (vgl. Bild 31) zu erkennen sind, Bild 41 bis 43.



41: Klassische Ermüdung zeigt sich an dem Grübchen (Pitting) in der Laufbahn eines Rillenkugellager-Innenrings. Im fortgeschrittenen Stadium blättert auf der gesamten Laufbahn Material ab.



42: Fortgeschrittener Ermüdungsschaden am Rillenkugellager



43: Ermüdungsschaden in der Außenringlaufbahn eines Kegelrollenlagers

# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

### • Ermüdung infolge Fremdkörperüberrollung

Bei Anwesenheit von grober Verschmutzung im Lager ergibt sich eine wesentliche Reduzierung der Ermüdungslebensdauer, Bild 44. Die Schädlichkeit von Fremdkörpern im konkreten Anwendungsfall hängt von deren Härte, Größe und Menge sowie von der Lagergröße ab. Kugellager reagieren hinsichtlich Ermüdung empfindlicher auf Verschmutzung als Rollenlager, Lager mit kleinen Wälzkörpern empfindlicher als solche mit großen. Kritisch an Fremdkörperindrücken sind die dabei entstehenden Randaufwerfungen. Sie werden bei nachfolgenden Überrollungen bevorzugt beansprucht, und an ihnen bilden sich die ersten Anrisse, REM-Bild in Abschnitt 4.

### Merkmale:

Abblätterung von Material; hinter dem Fremdkörperereindruck in Überrollrichtung V-förmige Ausbreitung (V-Pitting), Bild 45.

### Ursache:

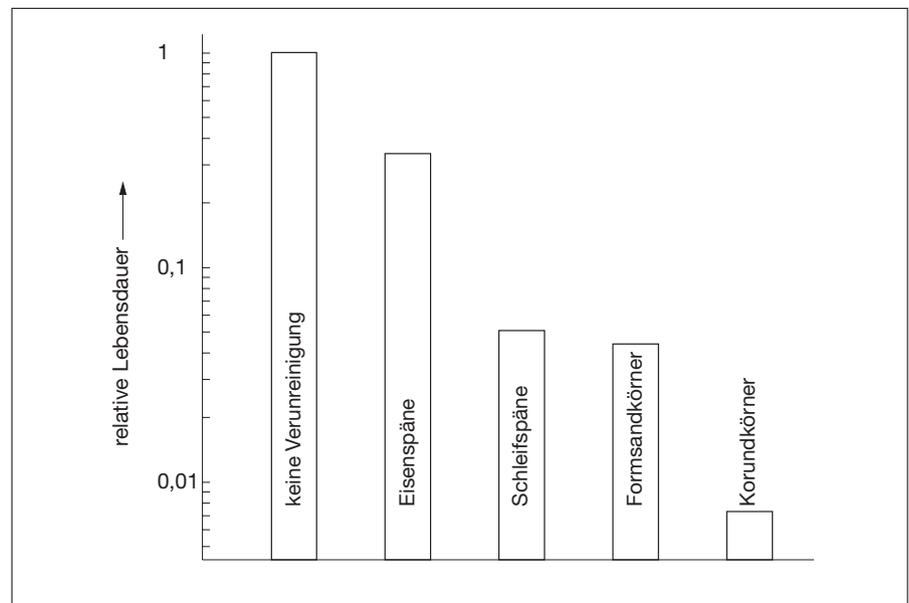
Verletzung der Laufbahn, besonders gefährlich sind Eindrücke von harten Teilchen (Formsand, Schleifmittel).

### Abhilfe:

- Gehäuseteile gründlich auswaschen, evtl. lackieren
- Sauberkeit und Sorgfalt bei der Montage
- Verbesserung der Abdichtung

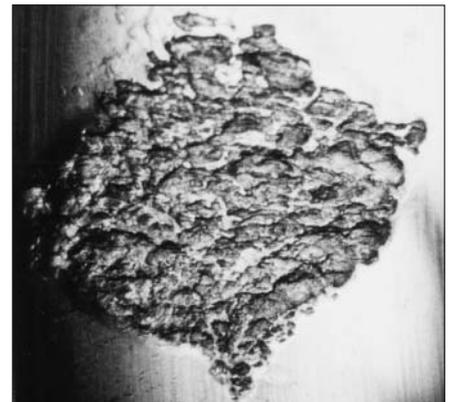
- Schmutzgeschützte Lagerausführung einsetzen
- Sauberkeit des Schmierstoffes
- Spülvorgänge mit Filterung vor Inbetriebnahme des Aggregates

44: Lebensdauerminde rung durch unterschiedliche Verunreinigungen



45: Durch Fremdkörperereindrücke verursachte Ermüdungsschäden breiten sich in Überrollrichtung V-förmig aus.

- a: Schaden zur Zeit der Erkennung;
- b: Schaden nach ca. 1 000 Betriebsstunden;
- c: Schaden nach ca. 1 200 Betriebsstunden



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

- Ermüdung infolge **statischer Überbelastung**

Ähnlich wie bei Fremdkörpereindrücken entstehen durch hohe statische Überbelastung eines Lagers Wälzkörpereindrücke, deren Randaufwerfungen bevorzugt zum Ausfall führen.

**Merkmale:**

Im Frühstadium gleichmäßig berandete Eindrücke im Wälzkörperabstand, davon ausgehend Ausbrüche, oft nur auf einen Teil des Umfangs begrenzt.

Manchmal nur auf einem Ring. Bevorzugt unsymmetrisch zur Laufbahnmitte.

**Ursachen:**

- Statische Überbelastung, Stöße
- Montagekräfte über Wälzkörper geleitet

**Abhilfe:**

- Vorschriftsmäßige Montage
- Keine hohen Stoßkräfte aufbringen, nicht überbelasten

- Ermüdung infolge **fehlerhafter Montage**

**Merkmale:**

Bei Schrägkugellagern Ermüdung nahe am kleinen Bord, außerhalb des Druckwinkelbereiches, Bild 46.

**Ursachen:**

- Unzureichende Anstellung

- Setzerscheinungen der axialen Anlageflächen oder im Gewinde der Verspannschrauben
- Radiale Verspannung

**Abhilfe:**

- Steife Umbaukonstruktion
- Fachgerechte Montage

**46: Ermüdungsschaden im Rillengrund eines Schrägkugellager-Innenrings infolge ungenügender Anstellkraft**



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

- Ermüdung infolge Schrägverspannung/Verkippung

Merkmale:

- Unsymmetrisch zur Lagermitte liegende Laufspur, Bild 40
- Ermüdung an den Laufbahn- bzw. Wälzkörperkanten, Bild 47
- Ganz oder teilweise umlaufende Einkerbungen auf den Kugeloberflächen durch plastische Verformung entstanden und daher mit sanften Übergängen. Im Extremfall auch mit Rissen im Kerbgrund, Bild 48.

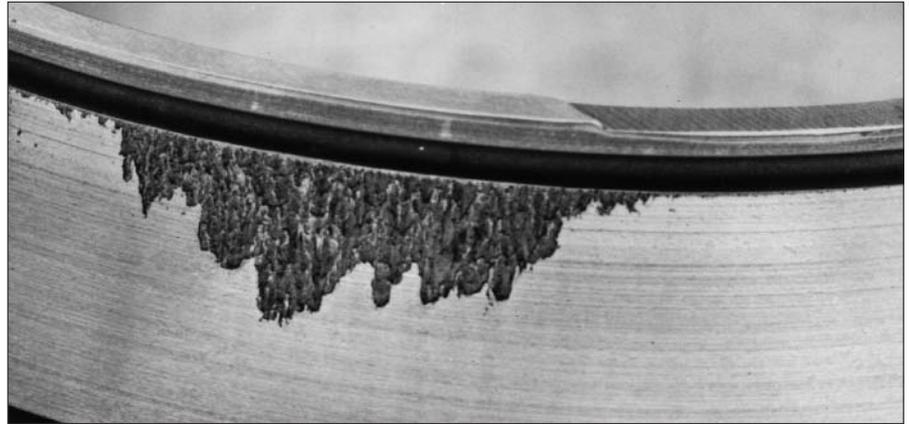
Ursache:

Bedingt durch Gehäuseversatz oder Wellenbiegung kommt es zu Verkippung des Innenrings gegenüber dem Außenring und dadurch zu hoher Momentenbelastung. In Kugellagern führt dies zu Zwängen in den Käfigtaschen (Abschnitt 3.5.4) und zu vermehrter Gleitung in den Laufbahnen sowie Ablauf der Kugeln auf den Bordkanten. Bei Rollenlagern wird die Laufbahn unsymmetrisch belastet; bei starker Verkippung tragen auch die Kanten der Laufbahnen bzw. der Wälzkörper, was an diesen Stellen zu starken Spannungsüberhöhungen führt, siehe auch „Laufspuren bei Schrägverspannung“ im Abschnitt 3.3.1.2.

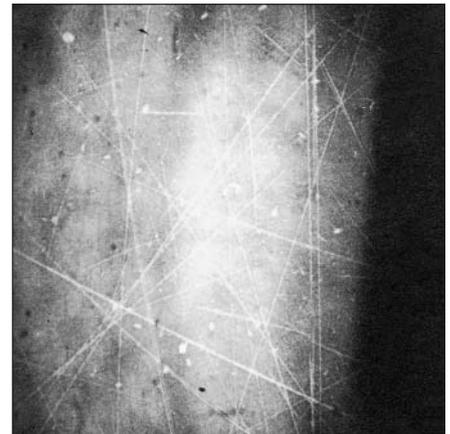
Abhilfe:

- Verwendung winkeleinstellbarer Lager
- Korrektur der Fluchtungsfehler
- Verstärkung der Welle

- 47: Am Laufbahnrand schrägverspannter Kegelrollenlager kann durch örtliche Überlastung Ermüdung auftreten.



- 48: Ermüdung an der Laufbahnkante entsteht bei Kugellagern z. B. bei hoher Momentenbelastung (Kantenlauf); links Laufbahnkante, rechts Kugel.



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

- Ermüdung infolge schlechter Schmierung

### Merkmale:

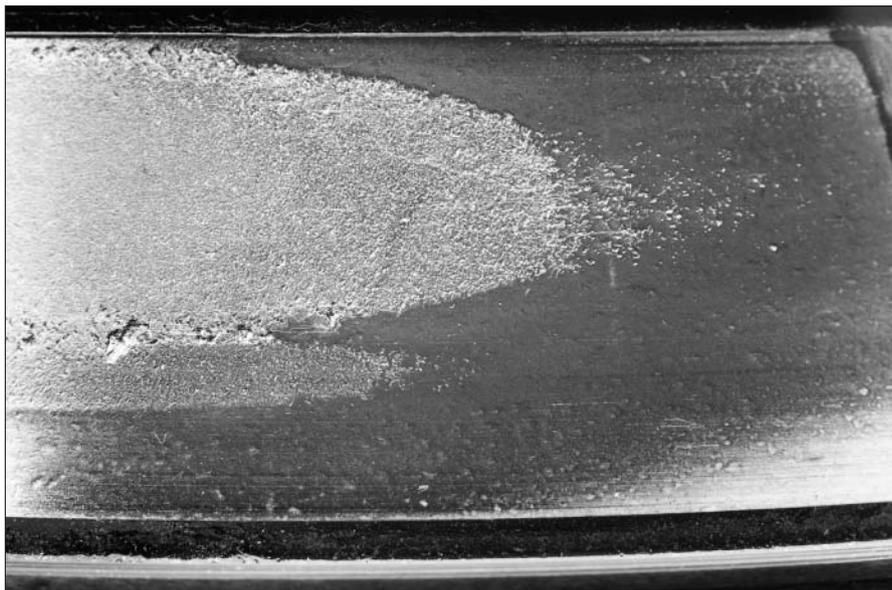
Je nach Belastungssituation können sich bei schlechter Schmierung unterschiedliche Schadensbilder ergeben. Bei relativ niedriger Last und gleichzeitigem Vorhandensein von Gleitungen entstehen winzige, sehr flache Ausbrüche. Da sie in großer Zahl auftreten, erscheinen sie als Flecken auf der Laufbahn, Bild 49. Man spricht von Graufleckigkeit, Mikropittings, Grübchenbildung oder Flechten. Bei sehr hoher Belastung unter einem z. B. durch Wassereintritt verdünnten Schmierstoff entstehen bei gleichzeitig druckpolierten Laufbahnen (Bild 29) flache Pittings in Muschelform, Bild 50. Bei sehr hohen Beanspruchungen und gleichzeitig schlechtem Schmierungszustand kann es zu ausgeprägten Erwärmungszonen in der Laufbahn kommen, in denen bei weiterer Überrollung Anrisse entstehen.

### Ursachen:

- Schlechter Schmierungszustand infolge
  - unzureichender Schmierstoffzufuhr
  - zu hoher Betriebstemperatur
  - Wassereintritt
- dadurch erhöhte Reibung und Materialbeanspruchung an der Laufbahnoberfläche
- Zum Teil auch Gleitungen

### Abhilfe:

- Schmierstoffmenge erhöhen
- Verwendung eines Schmierstoffs mit höherer Viskosität, möglichst mit erprobten EP-Zusätzen
- Kühlung des Schmierstoffs bzw. der Lagerstelle
- evtl. weiches Fett verwenden
- Wassereintritt verhindern



49: Mikropittings



50: Muschelförmige Ermüdung

# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

### • Ermüdung infolge Verschleiß

#### Merkmale:

Örtliche Abblätterung, z. B. an Wälzkörpern von Kegelrollenlagern, Bild 51 und 52. Laufspur streifig, Bild 68.

#### Ursache:

Veränderung der Geometrie der Wälzpartner durch Verschleiß bei verunreinigtem Schmierstoff, z. B. durch Eindringen von Fremdkörpern bei schadhafte Dichtungen. Dadurch örtliche Überlastung, z. T. auch in Verbindung mit ungenügender Anstellung von Kegelrollenlagern.

#### Abhilfe:

- Rechtzeitiger Schmierstoffwechsel
- Filterung des Schmieröles
- Verbesserung der Abdichtung
- Rechtzeitiger Wechsel verschlissener Dichtungen
- Spezielle Wärmebehandlung für Ringe und Rollen

### • Ermüdung durch Bruch der Einsatzschicht

#### Merkmale:

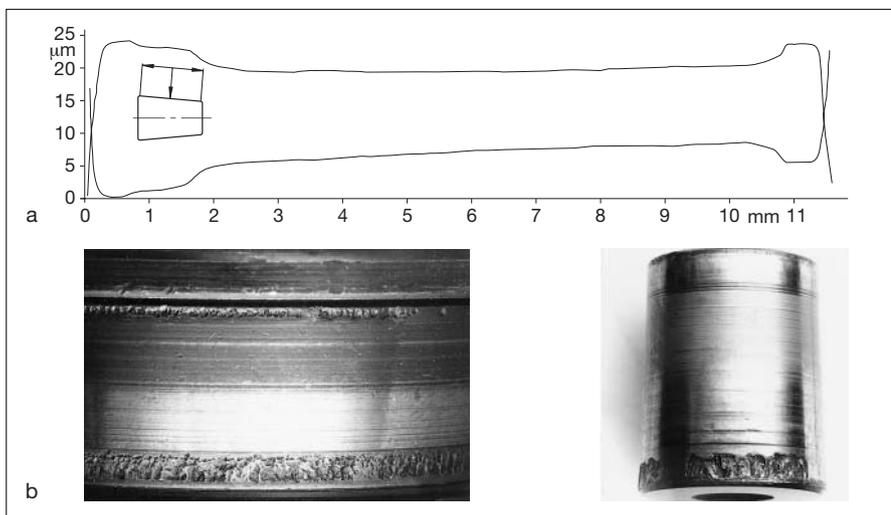
Bei einsatzgehärteten Lagerteilen Abschälung der Laufbahn in dicken Platten

#### Ursachen:

- Bruch oder Ablösen der Einsatzschicht
- Belastung zu hoch bzw. Einsatzschichtdicke bei gegebener Belastung zu gering, z. B. durch falsche Lastannahmen

#### Abhilfe:

- Dicke der Einsatzschicht den Lastbedingungen anpassen
- Überlasten vermeiden



51: Bereichsweiser Verschleiß kann die Geometrie der Wälzpartner derart verändern, daß es infolge örtlicher Überbelastung zur Ermüdung kommt.

a: Querformschrieb einer Rolle;

b: Innenringlaufbahn und Rolle mit Ermüdungsschäden.

52: Ausfallmechanismus wie Bild 51, hier jedoch Verschleiß an den Laufbahnrändern, Querformschrieb der Rolle siehe Bild 69.

# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

### 3.3.2.2 Korrosionsschäden

- Korrosion durch Feuchtigkeit (Rost)

#### Merkmale:

Braune Verfärbung auf den Lauf- und Außenflächen, meist ungleichmäßig in Form von einzelnen Narben verteilt, Bild 53.

In vielen Fällen treten auch einzelne Rostflecken mit Narben im Wälzkörperabstand (Stillstandskorrosion) auf. Durch Kapillarwirkung zieht sich bei

längerem Stillstand die Feuchtigkeit bevorzugt in die Kontaktstellen, Bild 54. Später kommt es zu Verschleiß und zu vorzeitiger Ermüdung, ausgehend von den Rostnarben.

#### Ursachen:

- Unsachgemäße Aufbewahrung im Magazin (relative Luftfeuchtigkeit > 60 %)
- Starke Temperaturschwankungen (Kondenswasserbildung)
- Versagen der Dichtungen (verstärkt durch Schmirgelwirkung von

Schmutz, Bild 87)

- Ungeeigneter Schmierstoff

#### Abhilfe:

- Geeignete Aufbewahrung entsprechend den Vorschriften des Wälzlagerherstellers
- Verbesserung der Abdichtung (evtl. zusätzliche Abdeckscheiben)
- Verwendung von Schmierstoff mit Korrosionsschutzzusätzen
- Bei Fettschmierung häufiger nachschmieren, insbesondere vor Stillstandszeiten



53: Rostbildung am Außenring eines Rillenkugellagers, dessen Korrosionsschutz durch Feuchtigkeit zerstört wurde

54: Korrosionsnarben in der Laufbahn im Wälzkörperabstand



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

- Korrosion durch aggressive Medien

### Merkmale:

Meist schwarz verfärbte Ätznarben,  
Bild 55.

### Ursachen:

- Unsachgemäße Aufbewahrung im Magazin (Lagerung aggressiver Chemikalien im gleichen Raum)
- Versagen der Dichtung
- Ungeeigneter Schmierstoff

### Abhilfe:

- Aufbewahrung entsprechend den Vorschriften des Wälzlagerherstellers
- Verbesserung der Dichtung
- Verwendung eines Schmierstoffs mit Korrosionsschutzzusätzen

55: Oberflächenschäden durch Einwirkung aggressiver Medien. Die Ätznarben sind meist schwarz verfärbt.



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

### 3.3.2.3 Stillstandsmarkierungen

Merkmale:

Markierungen an den Laufbahnoberflächen im Wälzkörperabstand, Bild 56 und 57. Im Unterschied zu Markierungen durch falsche Montage (siehe Abschnitt 3.3.2.4 „Wälzkörpereindrücke“) keine Randüberhöhungen. Oberflächen in den Vertiefungen häufig braun verfärbt (Korrosion) und insbesondere bei Kugellagern stark aufgeraut (Bearbeitungsstruktur fehlt). Bei Kugellagern sind auch z. T. Riefen in Axialrichtung erkennbar. Wenn sich das Lager zwischendurch etwas dreht, treten oft auch mehrere benachbarte Sätze von Stillstandsmarkierungen auf.

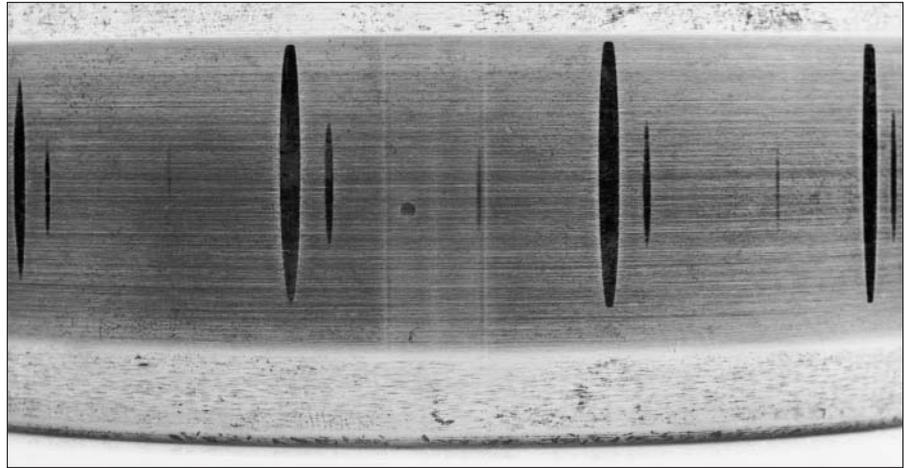
Ursache:

Schwingungen in stillstehenden Maschinen, die in den Kontaktstellen der Wälzpartner zu Mikrobewegungen führen

Abhilfe:

- Schwingungen beseitigen/dämpfen
- Gefährdete Maschinen nicht stillstehen, sondern laufen lassen; Transportsicherungen verwenden, die die Lager entweder entlasten oder vorspannen.
- Geeigneten Schmierstoff verwenden (Additivierung).
- Bei umlaufenden Lasten größeres Radialspiel wählen.

56: An einem Zylinderrollenlager-Innenring haben sich auf der Laufbahn im Wälzkörperabstand Stillstandsmarkierungen gebildet.



57: Stillstandsmarkierungen am Kugellager



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

### 3.3.2.4 Wälzkörpereindrücke

#### Merkmale:

Eindrücke im Wälzkörperabstand in den Laufbahnen nicht zerlegbarer Lager, Bild 58. Manchmal davon ausgehend Ermüdung, siehe auch „Ermüdung infolge statischer Überbelastung“ im Abschnitt 3.3.2.1.

Die Eindrücke können auch bei der Demontage entstanden sein: Auf Überrollmerkmale achten (glänzende Ränder), Einbaurichtung feststellen.

#### Ursachen:

- Statische Überbelastung/Stöße
- Montage- oder Demontagekräfte sind über die Wälzkörper geleitet worden (falsche Montagefolge, ungeeignete Hilfsmittel)

#### Abhilfe:

Zuerst den festgepaßten Ring montieren. Bei Festsitz beider Ringe diese gemeinsam mit einer Scheibe einpressen.

**58:** Kugeleindrücke in den Schultern eines Rillenkugellagers. Das Montagewerkzeug wurde am lose gepaßten Ring angesetzt, und damit sind die Kräfte über die Kugeln geleitet worden.



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

### 3.3.2.5 Krater und Riffeln infolge Stromdurchgang

- Krater

**Merkmale:**

Schmelzkrater an den Kontaktstellen der Wälzpartner in den Laufbahnen, manchmal mehrere Krater hintereinander oder ganze Perlenketten auf dem Umfang. Die Oberfläche in den Kratern ist z. T. wie Schweißraupen ausgebildet, Bild 59.

**Ursache:**

Stromübergänge, z. B. beim Schweißen oder durch Versagen von Erdungskontakten

**Abhilfe:**

Bei Elektroschweißungen Strom nicht durchs Lager führen (Erdung).

- Riffeln

**Merkmale:**

Achsparallele braunverfärbte Markierungen auf großen Teilen der Laufbahn bis hin zum gesamten Laufbahnumfang, Bild 60

**Ursache:**

Stetig fließender Wechsel- oder Gleichstrom, Markierungen bereits bei geringer Strombelastung möglich

**Abhilfe:**

- Ströme nicht durch das Lager fließen lassen (Erdung, Isolation).
- Stromisolierte Lager verwenden.

**60:** Die Riffelbildung in der Außenringlaufbahn eines Rillenkugellagers wurde durch stetigen Stromdurchgang erzeugt.

**59:** Stromüberschläge haben bei einem Zylinderrollenlager zur Kraterbildung in der Laufbahn geführt.



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

### 3.3.2.6 Wälzkörper-Kantenlauf

#### Merkmale:

Bei Kugeln bogenförmige Einkerbungen auf der Oberfläche bis hin zu ganzen „Wollknäueln“ von Einkerbungen, Kanten gerundet, da plastisch verformt, Bild 61, 62. Bei Rollen umlaufende Kerben nahe den Stirnflächen. Nicht zu verwechseln mit Riefen durch Fremdkörper, siehe Abschnitt 3.3.4.2 „Riefen auf Wälzkörpermantelflächen“.

#### Ursachen:

- Übermäßige (Axial-) Last
- Zu hohe Momentenbelastung
- Betriebsspiel zu groß
- Verkippung

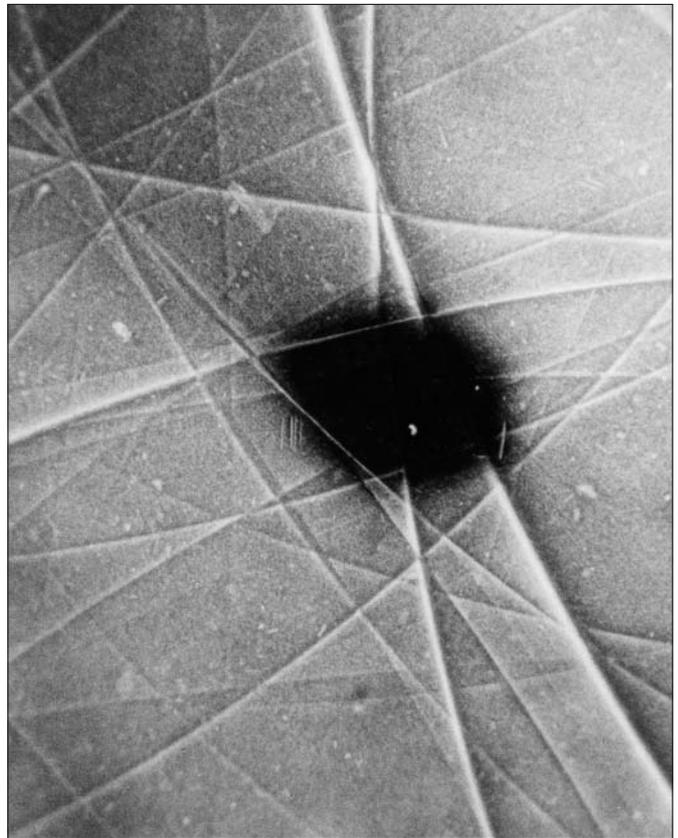
#### Abhilfe:

- Überlasten vermeiden
- Tragfähigeres Lager verwenden
- Betriebsspiel einengen
- Verkippung vermeiden

61: Kugel mit extremen Kantenlaufspuren, entstanden durch langfristig konstante Last



62: Kugel mit „Wollknäueln“ von Einkerbungen, entstanden durch langfristig veränderliche Last



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

### 3.3.3 Ringbrüche

#### 3.3.3.1 Dauerbrüche infolge Laufbahnermüdung

Merkmale:

Meist großflächige Ermüdungsschäden in der Laufbahn; häufig Stufen (Rastlinien) in der Bruchfläche, Bild 63

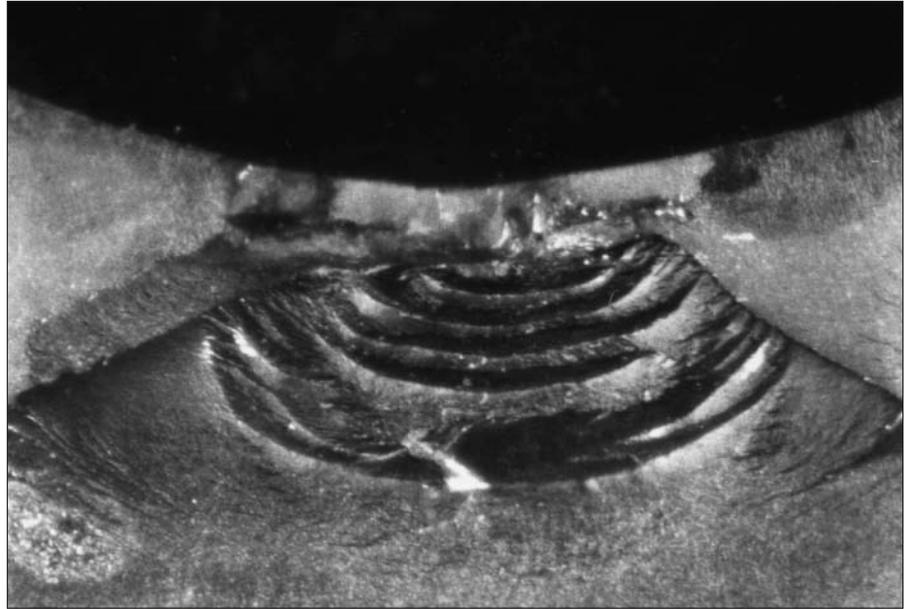
Ursache:

Weit fortgeschrittener Ermüdungsschaden

Abhilfe:

Siehe Abschnitt 3.3.2.1 „Ausbrüche“

63: Bruch des Außenrings eines Rillenkugellagers in Axialrichtung infolge von Ermüdung



#### 3.3.3.2 Axiale An- oder Durchrisse von Innenringen

Merkmale:

Ring in Axialrichtung ganz oder teilweise gerissen. Bruchkanten leicht abgerundet: Zeichen, daß der Bruch im Betrieb entstanden ist und überrollt wurde. Bei scharfkantigen Rißflanken ist der Bruch beim Ausbau entstanden. Bei längerer Betriebszeit mit einem Riß können dessen Kanten auch z. T. abgebrochen sein, Bild 64.

Ursachen:

- Schlupf des Lagers
- Ausbrüche in der Laufbahn
- Drehen des Innenrings auf der Welle
- Ungeeignete Schmierung
- Zu feste Passung auf der Welle
- Wellennut
- Unrundheiten
- Anstreifen von Umgebungsteilen

Abhilfe:

- Schmierung verbessern (Additivierung, Ölmenge erhöhen)
- Abhilfe für Laufbahnschäden finden
- Geeignete Passung wählen
- Anstreifen von Umgebungsteilen vermeiden
- Bessere Sitzverhältnisse schaffen
- Spezielle Wärmebehandlung der Ringe

64: Axialer Durchriß eines Pendelrollenlager-Innenrings



### 3.3.3.3 Außenringbrüche in Umfangsrichtung

#### Merkmale:

Meist verläuft der Riß weitgehend gleichmäßig in Umfangsrichtung. Häufig entstehen mehrere Bruchstücke. Diese Brüche treten bei Axialbelastung in der Regel etwas außerhalb der Laufbahnmitte auf. Oft sind Ermüdungsschäden

die Auslöser. Die Außenringmantelfläche zeigt in der Regel ein ungleichmäßiges Tragbild, Bild 65.

#### Ursache:

Schlechte Unterstützung des Ringes im Gehäuse

#### Abhilfe:

Einbau konstruktiv verbessern.

65: Riß eines Außenrings in Umfangsrichtung



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

### 3.3.4 Aufreißungen und Anschmierungen an den Kontaktflächen

Neben lokalen Ausbrüchen, Rissen oder sonstigen Vertiefungen in den Laufbahnen oder Wälzkörperoberflächen kommt es häufig auch zu großflächigen Oberflächenschäden infolge von Gleiterscheinungen im Lager, die zu Verschleiß führen. Das Ausmaß dieser Schäden wird außer von den Abrollverhältnissen ganz wesentlich von der Intensität und der Sauberkeit der Schmierung beeinflusst.

#### 3.3.4.1 Verschleißschäden bei mangelhafter Schmierung

Merkmale:

Die Kontaktflächen sind matt und aufgeraut, Bild 28 und 66. Der Schmierstoff verfärbt sich durch den Abrieb dunkel, bei Messingkäfigen auch gelb. Das Fett wird durch den Abrieb häufig auch verfestigt. In vielen Fällen führt aber auch Feuchtigkeit zu einer wässrigen Konsistenz des Schmierstoffs. Die Vorspannung wird abgebaut oder es kommt zu vergrößerter Lagerluft. Wenn Fremdkörper ursächlich für den Verschleiß sind, werden insbesondere die Wälzkörperoberflächen stark riefig, Bild 67. Unter ungünstigen Bedingungen können Rollenlagerlaufbahnen über ihre Breite ungleichmäßig verschleifen; die Laufbahnen haben dann in Umfangsrichtung ein streifiges Aussehen, Bilder 68 und 69. In der Folge kommt es bei dieser Verschleißform zu Ermüdungsschäden, siehe „Ermüdung infolge Verschleiß“ im Abschnitt 3.3.2.1.

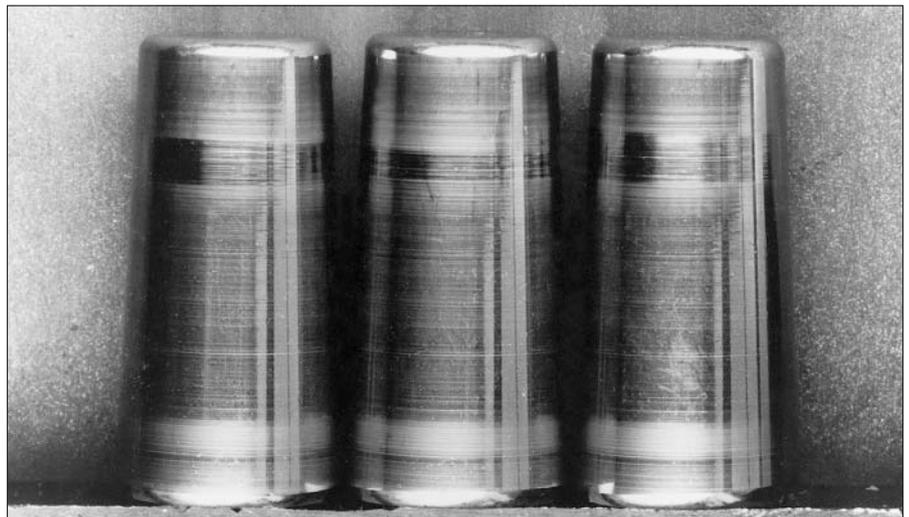
Ursachen:

- Nichttragender Schmierfilm
- Verunreinigungen im Schmierstoff (feine, harte Partikel, z. B. Staub, oder auch Wasser)
- Bei ungleichmäßigem Verschleiß an Kegelrollenlagern auch unzureichende Anstellung der Lagerung

66: Verschlossene, aufgeraute Laufbahn



67: Verschleißspuren sind zuerst meist an den Oberflächen der Wälzkörper zu erkennen.



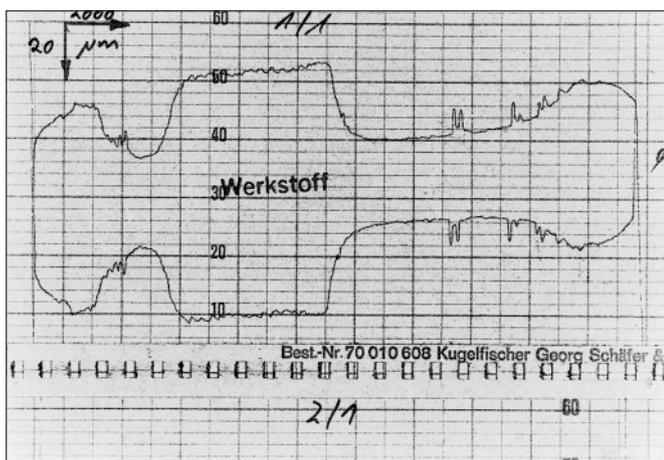
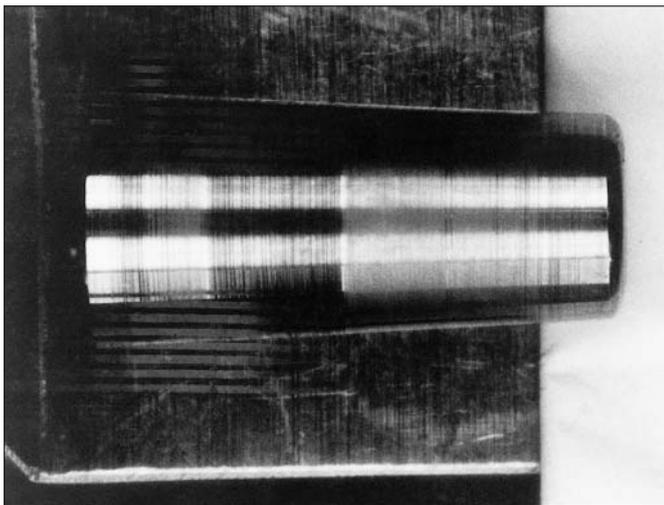
# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

Abhilfe:

- Tragfähigeren Schmierstoff, z. B. mit höherer Viskosität oder EP-Zusätzen verwenden
- Verkürzung der Schmierstoffwechsel-  
fristen
- Abdichtung verbessern
- Schmierstoff filtern
- Auf richtige Anstellung der Lagerung  
achten

68: Streifenbildung infolge bereichsweisen Verschleißes.  
a: Rolle



b: Laufbahn



69: Tastschrieb zu Bild 68a

# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

### 3.3.4.2 Riefen auf Wälzkörpermantelflächen

#### Merkmale:

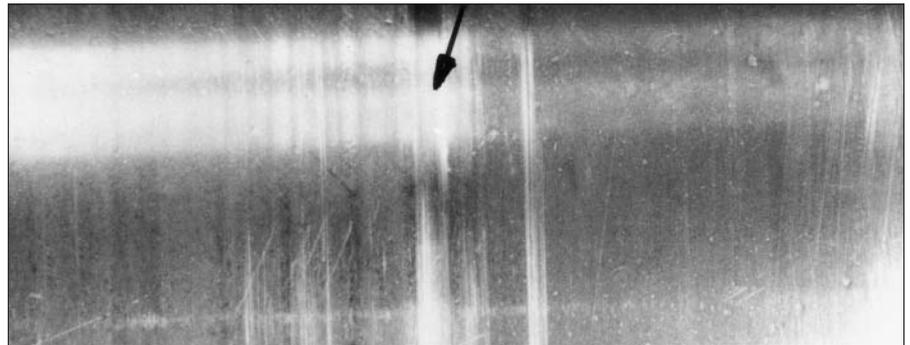
Umlaufende Kerben in den Kontaktflächen von Wälzkörpern. Bei Rollen als parallele Ringe, Bild 70 und 71, bei Kugeln meist wollknäuelartig, Bild 72. Nicht zu verwechseln mit Kantenlaufspuren (siehe Abschnitt 3.3.2.6). Kantenlauf erzeugt Spuren mit sanften Rändern durch plastische Verformung; Riefen sind scharfkantig. Häufig sind in den Käfigtaschen harte Partikel, die die Riefen verursachen, eingedrückt, Bild 73.

#### Ursache:

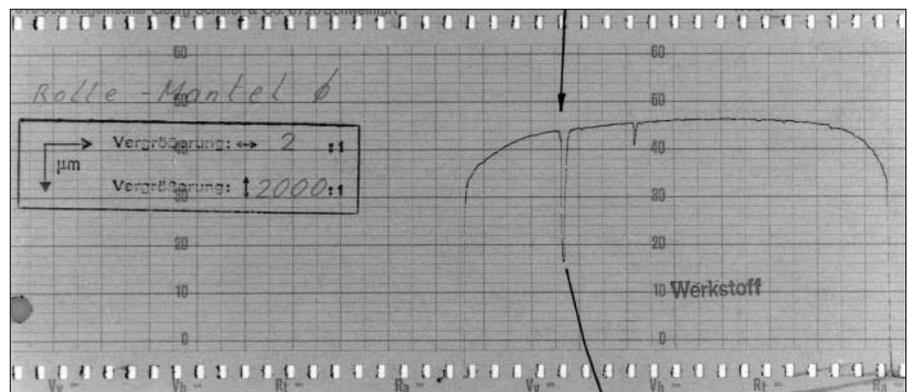
Verschmutzter Schmierstoff; harte Partikel setzen sich in den Käfigtaschen fest und wirken dort wie die Körner in einer Schleifscheibe.

#### Abhilfe:

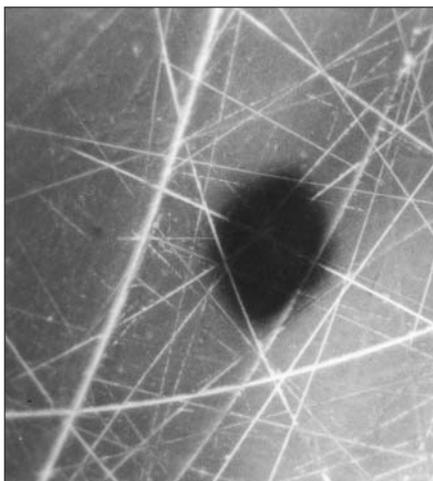
- Auf saubere Montage achten
- Abdichtung verbessern
- Schmierstoff filtern



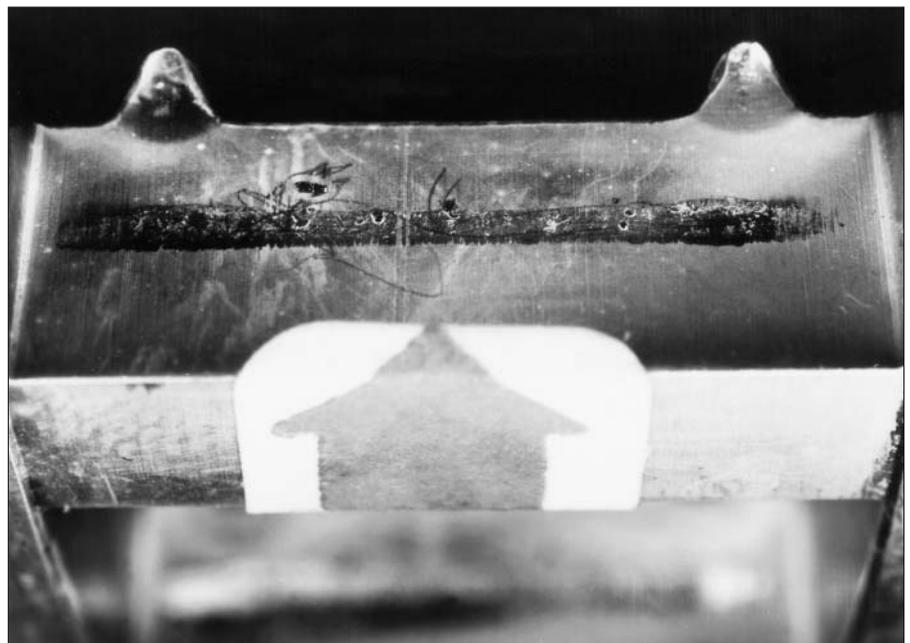
70: Einzelne tiefe Riefen auf Rollen infolge von Fremdkörpern im Käfig



71: Tastschrieb zu Bild 70



72: Riefen auf Kugeloberfläche in Wollknäuelform



73: Fremdmaterialeinbettungen im Käfigsteg eines Zylinderrollenlagers

# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

### 3.3.4.3 Schlupfspuren

#### Merkmale:

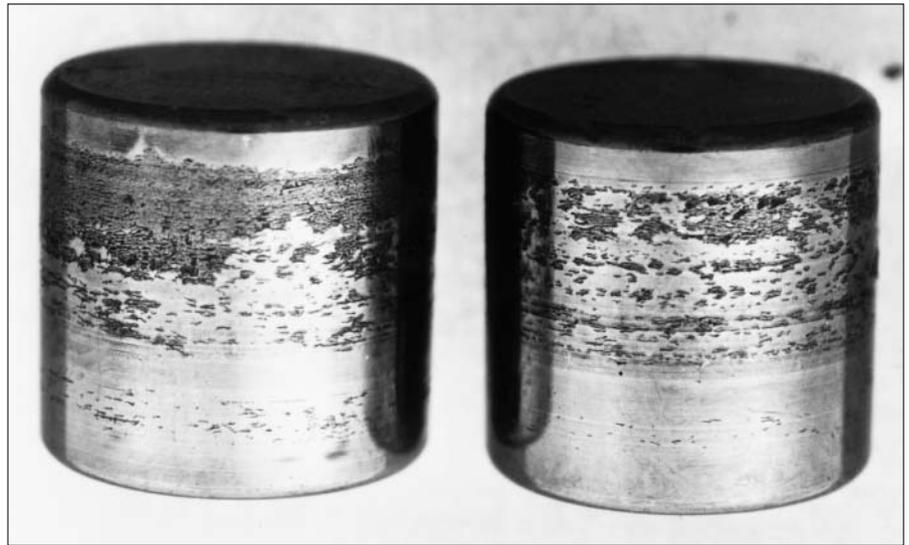
Gleiten der Wälzkörper, insbesondere bei großen, schweren Rollen, z. B. in vollrolligen Lagern. Aufrauhungen der Laufbahnen oder Wälzkörper. Häufig auch Materialaufreißungen und An-schmierungen. Meist nicht gleichmäßig auf der Oberfläche, sondern fleckig, Bild 74 und 75. Häufig auch in Verbindung mit Mikropittings, siehe „Ermüdung in-folge schlechter Schmierung“ im Ab-schnitt 3.3.2.1.

#### Ursachen:

- Bei zu geringer Belastung und Man-gelschmierung Gleiten der Wälzkör-per auf den Laufbahnen. Manchmal auch zu kurze Lastzonen, dadurch Ab-bremsen der Wälzkörper in der unbe-lasteten Zone in den Käfigtaschen und anschließendes Wiederbeschleu-nigen beim Einlauf in die Lastzone.
- Schnelle Drehzahländerungen

#### Abhilfe:

- Lager mit geringerer Tragfähigkeit verwenden
- Lager vorspannen, z. B. mit Federn
- Lagerspiel verringern
- Für ausreichende Belastung auch im Probebetrieb sorgen
- Verbesserung der Schmierung



74: Schlupfspuren auf Zylinderrollen



75: Schlupfschäden auf dem Innenring eines Zylinderrollenlagers

# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

### 3.3.4.4 Schürfmacken

#### Merkmale:

Achsparallele Materialverschiebungen im Wälzkörperabstand auf Laufbahnen und Wälzkörpern zerlegbarer Zylinder- oder Kegelrollenlager. Manchmal auch mehrere Sätze solcher Marken, um einige Grad auf dem Umfang zueinander versetzt. Häufig nicht auf dem ganzen Umfang, sondern nur auf ca. 1/3 des Umfangs, Bild 76.

#### Ursache:

Bei der Montage liegen der einzelne Ring und der Ring mit dem Wälzkörpersatz nicht konzentrisch zueinander

bzw. sind zueinander verkippt und werden unter Zwang zusammengeschoben. Besonders kritisch ist dies bei großen bewegten Massen (schwere Welle wird mit Lagerinnenring und Wälzkörpern in den schon ins Gehäuse eingepreßten Außenring eingeschoben).

#### Abhilfe:

- Geeignete Montagehilfsmittel verwenden
- Fluchtungsfehler vermeiden
- Teile möglichst bei gleichzeitig leichter Drehbewegung zusammenführen

76: Schürfmacken in der Laufbahn eines Zylinderrollenlagerinnenrings entstehen beim verkanteten Einführen in den Wälzkörpersatz.



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Erscheinungsbild der Wälzkontakte

### 3.3.5 Heißlaufschäden

Merkmale:

Starke Verfärbung der Lagerteile. \*) Große plastische Verformungen der Laufbahnen bzw. der Wälzkörper. Plötzlicher Temperaturanstieg. Häufig Blockieren der Lagerung, Bild 77. Härte weit unter 58 HRC.

Ursachen:

Aus dem Schadensbild infolge Eigen- erwärmung heißgelaufener Lager sind die Ursachen meist nicht mehr zu erkennen. Möglich wären:

- Lagerluft im Betriebszustand zu gering, insbesondere bei schnellaufenden Lagern

- Mangelschmierung
- Radialverspannung durch Fremderwärmung
- Überschmierung
- Laufhemmung durch Käfigbruch

Abhilfe:

- Lagerluft vergrößern
- Bei Fremderwärmung auf hinreichend langsames Aufheizen bzw. Abkühlen achten bzw. gleichmäßige Erwärmung des ganzen Lagers
- Schmierstoffstau vermeiden
- Schmierung verbessern

\*) Hinweis zur Verfärbung:

In Verbindung mit Heißlaufschäden entstehen Anlaßfarben. Je nach Höhe der Temperatur und deren Einwirkzeit beobachtet man unterschiedliche Braun- und Blautöne. Diese sind sehr ähnlich zu den wesentlich häufiger auftretenden Ölverfärbungen (siehe Abschnitt 3.3.1.1), so daß aus der Verfärbung allein auf keinen Fall auf eine überhöhte Betriebstemperatur geschlossen werden kann. Evtl. dient die Ausbreitung der Verfärbung zur Unterscheidung zwischen Anlaßfarben und Ölverfärbung: Während die Ölverfärbungen häufig nur an den Wälzkörpern und im unmittelbaren Laufspurbereich auftreten, bedecken Anlaßfarben meist einen Großteil der freien Lageroberflächen. Einen eindeutigen Nachweis, daß extrem hohe Betriebstemperaturen vorgelegen haben, liefert jedoch nur eine Härteprüfung.

77: Beim Blockieren eines heißgelaufenen Zylinderrollenlagers haben sich die Rollen tief in die Laufbahn eingedrückt.



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager Bordkontakte

## 3.4 Beurteilung von Bordkontakten

Bild 78 zeigt eine gut eingelaufene Bordfläche.

### 3.4.1 Schäden an Bord- und Rollenstirnflächen bei Rollenlagern

#### 3.4.1.1 Verschürfungen durch Fremdkörper

Merkmale:

Bogenförmige Kratzer in der Bordfläche bzw. Rollenstirn (besonders häufig bei Kegelrollenlagern), Bilder 79 und 80. Sie reichen unterschiedlich tief in die Bordfläche hinein, je nachdem, auf wel-

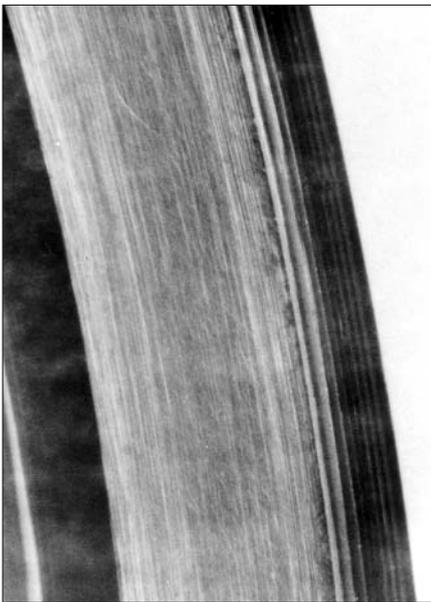
chem Wälzkörperradius der Fremdkörper eingeklemmt wurde.

Ursache:

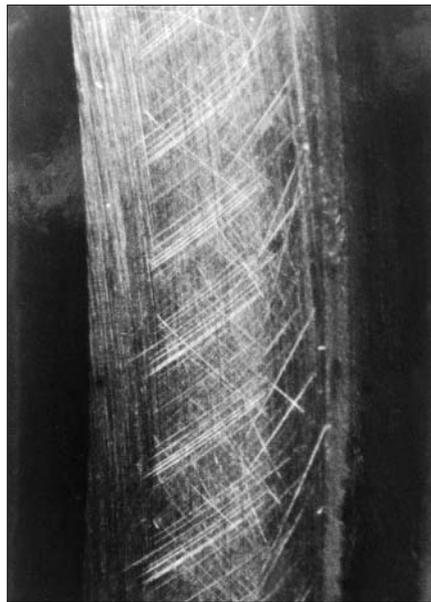
Harte Fremdkörper im Schmierstoff, die in den Kontakt Rollenstirn/Bord eingezogen werden.

Abhilfe:

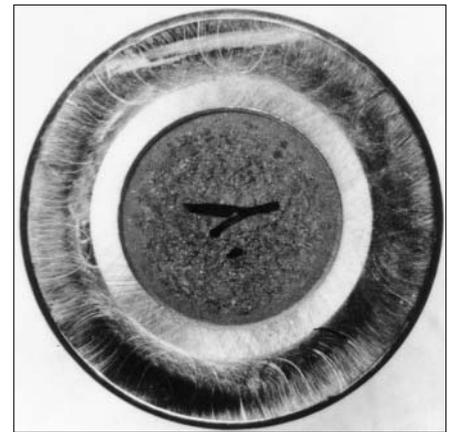
Schmierstoffsauberkeit verbessern.



78: Normal eingelaufene Bordberührung bei einem Kegelrollenlager



79: Bordflächenverschürfungen durch Fremdkörper



80: Verschürfungen an der Stirnfläche einer Kegelrolle

# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Bordkontakte

### 3.4.1.2 Freßerscheinungen im Bordkontakt

#### Merkmale:

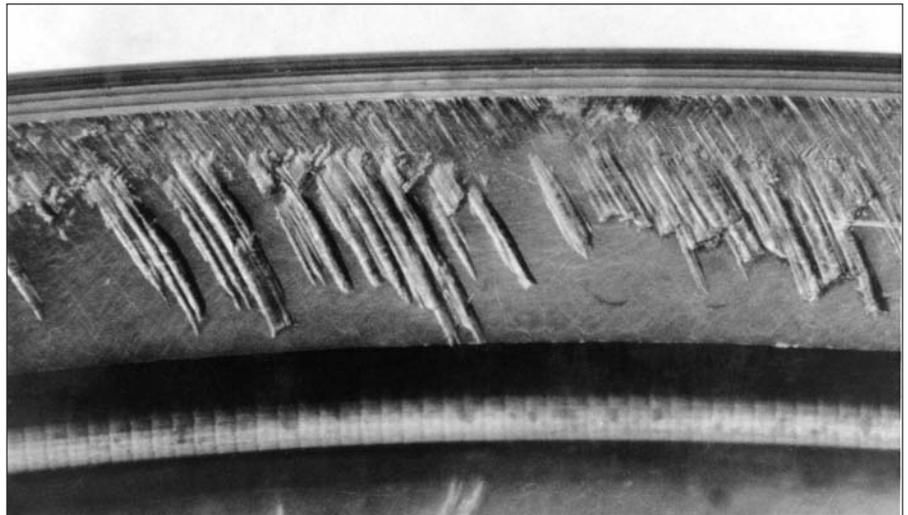
Bereichsweise oder großflächige Verschweißungen und Aufreißungen in den Bord- bzw. Rollenstirnflächen, Bilder 81 und 82. Mitunter auch Schmierstoffverkokungen in diesem Bereich. Häufig in Verbindung mit sehr hoher Belastung.

#### Ursachen:

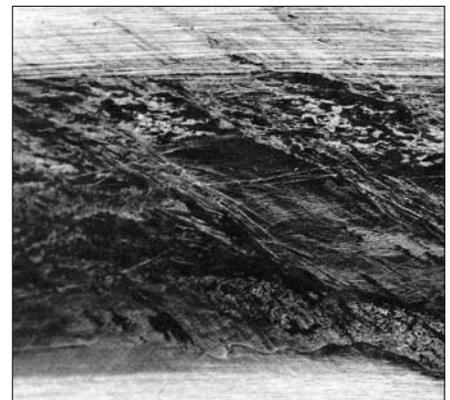
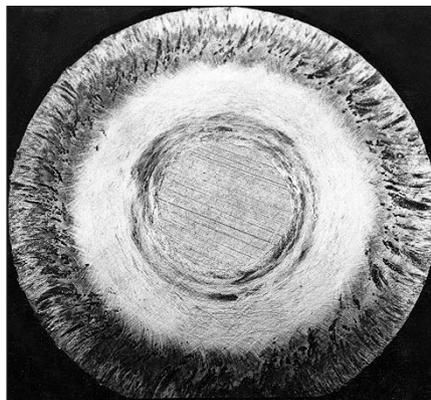
- Mangelschmierung bei hohen Belastungen und hohen Drehzahlen (Menge oder Betriebsviskosität des Schmierstoffs zu gering)
- Mangelschmierung bei hohen Belastungen und niedrigen Drehzahlen, wenn kein hydrodynamischer Schmierfilm zwischen Rollenstirn und Bord entsteht
- Zu starke Anstellung einer Kegelrollenlagerung
- Verspannung durch Wärmedehnung
- Schränken der Rollen, z. B. bei Verschleiß der Laufbahnen, Verkippung der Ringe oder unzureichender Anstellung, Bild 81
- Zu hohe Axiallast auf Zylinderrollenlager
- Zu starke axiale Verspannung der Innenringe gegen nicht plane Umbauteile

#### Abhilfe:

- Schmierung verbessern (Viskosität anheben, EP-Zusätze, Schmierstoffmenge erhöhen)
- Für richtige Anstellung der Lagerung sorgen



81: Schränkende Rollen haben beim Eingriff in die Bordkanten Freßverschleiß am Bord erzeugt.



82: An Rollenstirn und Bord kann bei mangelnder Schmierstoffversorgung und hohen Belastungen Freßverschleiß auftreten.

# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Bordkontakte

### 3.4.1.3 Verschleiß im Bordkontakt

Merkmale:

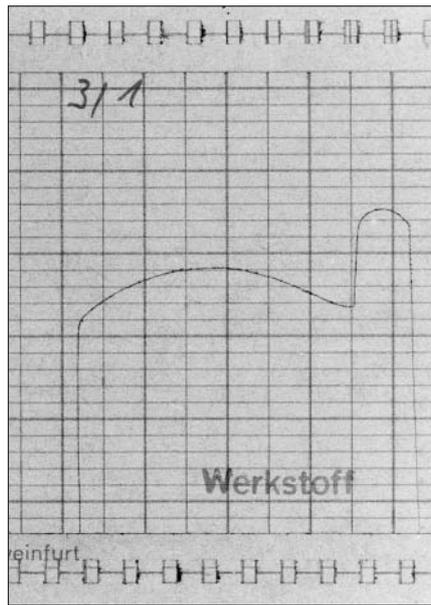
Schlechte Schmierungsbedingungen zeigen sich bei Rollenlagern zuerst im Gleitkontakt Rollenstirn/Bord. In schweren Fällen kommt es zu den oben beschriebenen Freßerscheinungen. In jedem Fall erhält man jedoch einen Verschleiß der Kontaktflächen. Dies zeigt sich besonders deutlich in Querformschrieben der Bord- oder Rollenstirnflächen, Bild 83. Häufig bilden sich auch Zapfen an den Rollenstirnflächen, Bild 84. Es kommt bei Kegelrollenlagern zu Vorspannungsabbau bzw. erweiterter Axialluft. Dies führt z. B. in Getrieben bei Lastrichtungsumkehr zu erhöhtem Laufgeräusch. Der Verschleißbetrag im Bordkontakt geht bei Kegelrollenlagern aufgrund der geometrischen Bedingungen jedoch nur zu ca. 1/3 in das Axialspiel ein. Bordverschleiß ist auch ein Indiz für Laufbahn- oder Rollenmantelverschleiß.

Ursachen:

- Unzureichende Schmierung (Sorte, Menge)
- Schmierstoff verunreinigt

Abhilfe:

- Für gute Sauberkeit sorgen
- Geeigneten Schmierstoff auswählen (Viskosität, EP-Zusätze) und ausreichende Versorgung gewährleisten



83: Querformschrieb einer verschlissenen Kegelrollenstirn



84: Zapfenbildung an Kegelrollen

### 3.4.1.4 Bordbrüche

#### Merkmale:

Stützborde sind ganz oder teilweise ausgebrochen oder angerissen, Bild 85.

#### Ursachen:

- Axiale Belastung unzulässig hoch
- Bord nicht ausreichend unterstützt, Bild 20
- Axiale Stoßbelastung

- Folgeschaden von Käfig- oder Wälkörperbruch
- Montageschaden

#### Abhilfe:

- Konstruktiv für gute Bordanlage sorgen
- Lasten in den bei der Auslegung vorgesehenen Grenzen halten
- Montagevorschriften beachten

85: Ausgebrochener Bord eines Tonnenlagers. Der Innenring wurde mit einem Hammer auf die Welle getrieben.



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager Bordkontakte

## 3.4.2 Verschleiß von Käfigführungsflächen

### Merkmale:

Wenn Käfige, insbesondere solche aus Messing, an den Borden der Lagerringe geführt werden, kann es dort zu Verschleiß kommen. Meist wird die Oberfläche stark aufgeraut, mitunter kommt es auch zu Freßerscheinungen (Käfigmaterial haftet am Bord an). Da der Käfig in der Regel nicht auf der vollen Bordbreite berührt, bildet sich bei stärkerem Verschleiß ein Absatz am Bord, Bild 86. Ähnliche Verschleißmerkmale finden sich auch an den Seitenrändern des zugehörigen Käfigs, siehe Abschnitt 3.5.1. Besonders gefährdet sind Innenringbordkontakte von schnelllaufenden Lagern.

### Ursachen:

- Unzureichende Schmierstoffversorgung der Kontaktflächen, oft auch nicht ausreichende Abführung des Schmierstoffs
- Schmierstoff verunreinigt
- Drehzahl für die verwendete Lagerausführung zu hoch
- Zu starke Verkippung im Einbau
- Unerwartet hohe Betriebstemperatur bei außenringgeführten Messingkäfigen (unterschiedliche Wärmedehnung Stahl/Messing)

### Abhilfe:

- Schmierung verbessern (größerer Durchfluß, bessere Sauberkeit)
- Konstruktiv an die Betriebsbedingungen angepaßtes Lager verwenden
- Käfig beschichten

86: Starke Anlaufmerkmale an der Käfigführungsfläche eines Außenringbordes mit Materialaufschmierung



### 3.4.3 Schäden an Dichtungslauflächen

#### 3.4.3.1 Eingearbeitete Dichtlippenlaufspuren

##### Merkmale:

An der Stelle des Dichtlippenanlaufs bildet sich eine umlaufende, meist glänzende Rille im Bord. In Verbindung damit häufig auch verschlissene Dichtlippen und am Lager Schäden in Folge eindringender Verschmutzung. In vielen Fällen auch in Verbindung mit Korrosion im Dichtungsbereich, Bild 87.

##### Ursachen:

- Extremer Schmutzanfall von außen, insbesondere bei feuchter Umgebung.
- Lippe läuft trocken.

##### Abhilfe:

- Vordichtungen verwenden, z. B. Schleuderscheiben.
- Dichtlippe schmieren.

#### 3.4.3.2 Verfärbung der Dichtungslaufspur

##### Merkmale:

Braun- oder Blaufärbung im Bereich des Anlaufs der Dichtlippen, insbesondere bei Wellendichtringen. Durch übermäßige Erwärmung kommt es zur Verhärtung und verstärktem Verschleiß der Dichtung, siehe Abschnitt 3.6.1.

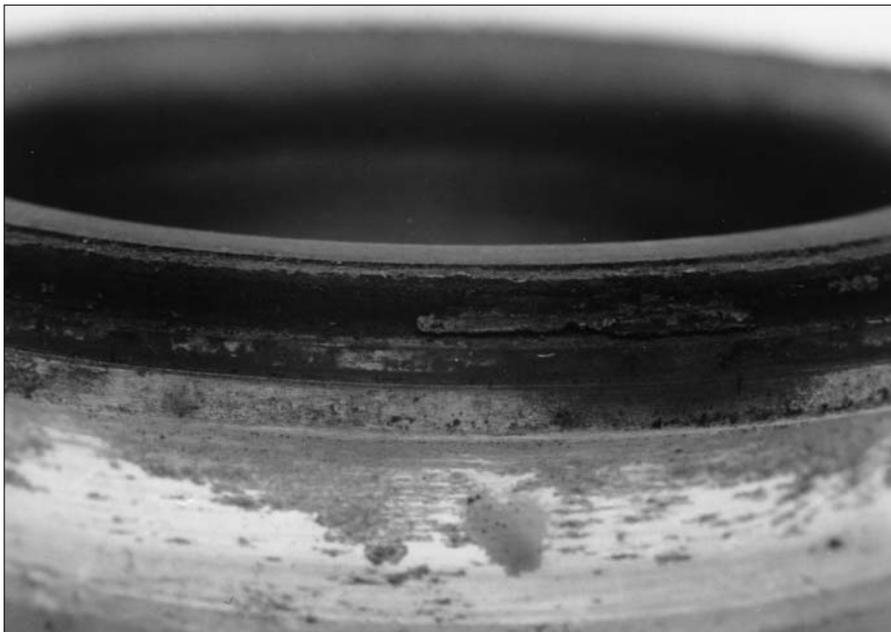
##### Ursachen:

- Starke Erwärmung der Bord- oder Wellenfläche in Folge hoher Überdeckung bzw. hoher Anpreßkraft der Dichtung
- Dichtlippenanlauf nicht ausreichend geschmiert

##### Abhilfe:

- Dichtlippe schmieren
- Anpreßkraft zurücknehmen, soweit für die Dichtwirkung zulässig

87: Korrosion im Bereich der Dichtungslaufspur am Bord eines Schrägkugellagers



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Käfigschäden

### 3.5 Käfigschäden

#### 3.5.1 Verschleiß infolge Schmierstoffmangel und Verschmutzung

Merkmale:

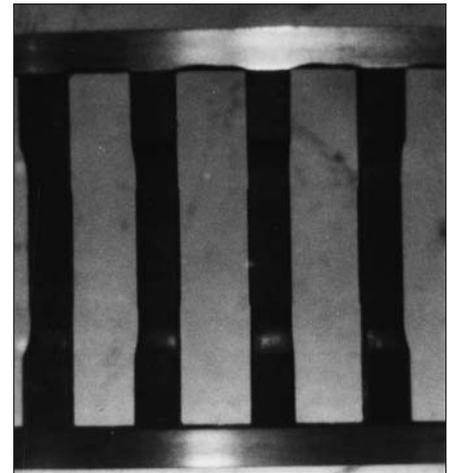
Bei bordgeführten Käfigen Verschleiß der Seitenränder, bei wälzkörpergeführten Käfigen Verschleiß in den Taschen. Als Folgeschaden können wälzkörpergeführte Käfige bei fortgeschrittenem Verschleiß auch in Bordführung übergehen und dort ebenfalls Abrieb zeigen bzw. umgekehrt. Der Verschleiß erfolgt in der Regel in Axialrichtung weitgehend symmetrisch in den Taschen bzw. bei Zylinderrollenlagern an beiden Seitenrändern, Bild 88.

Ursachen:

- Schmierstoff mit harten Fremdkörpern verunreinigt
- Zu wenig oder ungeeigneter Schmierstoff

Abhilfe:

- Auf saubere Montage achten
- Schmierstoff filtern
- Schmierstoffdurchfluß erhöhen und/oder andere Viskosität verwenden



88: Käfigseitenrandverschleiß

#### 3.5.2 Verschleiß infolge überhöhter Drehzahl

Merkmale:

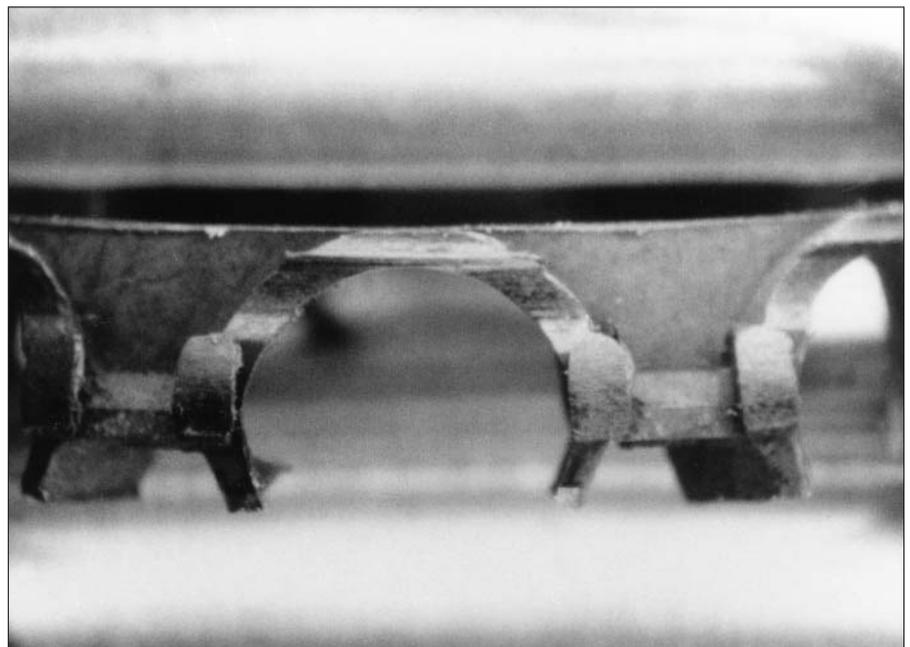
Verschleiß an der Käfigmantelfläche durch Anlauf am Lageraußenring, Bild 89.

Ursachen:

- Überhöhte Drehzahl
- Ungeeignete Käfigkonstruktion gewählt

Abhilfe:

- Andere Käfigbauart verwenden



89: Verschleiß an der Käfigmantelfläche durch Anlauf am Lageraußenring

### 3.5.3 Verschleiß infolge Rollenschränkung

#### Merkmale:

Bei leicht belasteten Rollenlagern, starker Verkippung oder unzureichender Anstellung von Kegelrollenlagern kommt es zum Rollenschränken. Wenn diese Schränkkräfte nicht von den Borden aufgenommen werden können, kommt es durch die unzulässig hohe Belastung in den Käfigtaschen zu sich diagonal gegenüberliegenden Verschleißstellen. In fortgeschrittenem Stadium kann dies zu Brüchen zwischen Steg und Seitenrand führen, Bild 90.

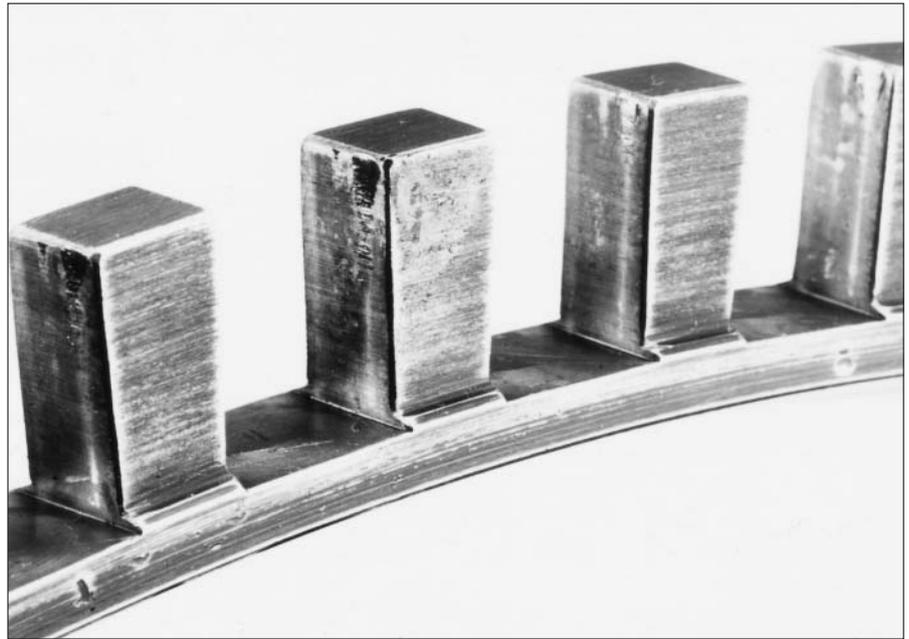
#### Ursachen:

- Unzulässige Verkippung in der Lagerung, z. T. durch Fluchtungsfehler
- Fehlerhafte Spieleinstellung in der Lagerung

#### Abhilfe:

- Lagerung ordnungsgemäß anstellen
- Winkeleinstellbare Lager verwenden, Fluchtungsfehler vermeiden

90: Diagonalverschleiß in Käfigtaschen von Rollenlagern



### 3.5.4 Verschleiß an Kugellagerkäfigen infolge Verkippung

#### Merkmale:

Starker Verschleiß an den Stegen zwischen den Käfigtaschen, evtl. Verformung oder Bruch, Bild 91 (Laufspuren vergleiche Bild 38)

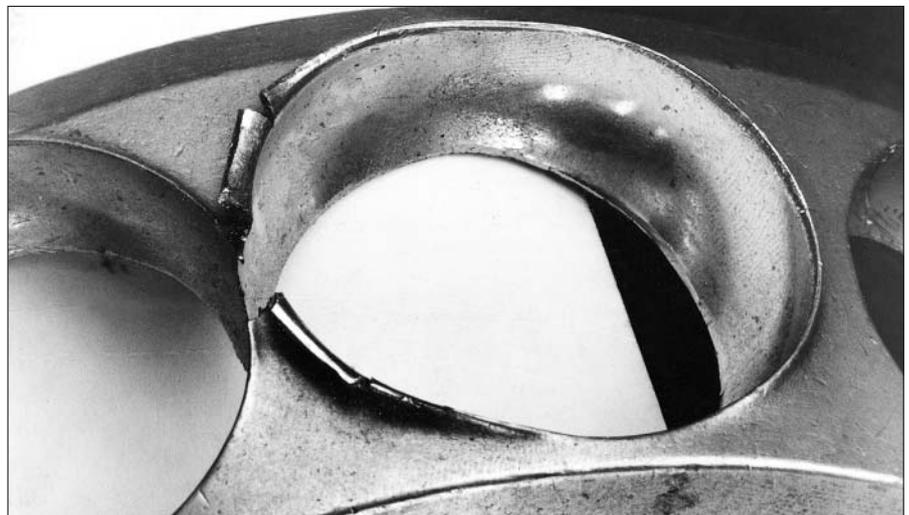
#### Ursachen:

- Zu starke Verkippung der Laufringe zueinander, z. B. bei kombiniert belasteten Kugellagern; dadurch unterschiedliche Umfangsgeschwindigkeiten der Kugeln.
- Hohe Käfigbeanspruchungen in Umfangsrichtung, besonders bei schlechter Schmierung

#### Abhilfe:

- Verkippungen möglichst vermeiden.
- Evtl. winkeleinstellbare Lager oder Lager mit Käfigen aus Polyamid verwenden.
- Sonderkonstruktion mit Langlochtaschen

91: Durch eine Verkippung der Laufringe zueinander entstanden hohe Zwangskräfte zwischen Kugeln und Käfig, die zum Bruch des Stegs führten.



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Käfigschäden

### 3.5.5 Bruch von Käfigverbindungen

Merkmale:

- Lockerung der Vernietung, Nietbruch (Bild 92)
- Abbrechen von Käfiglappen

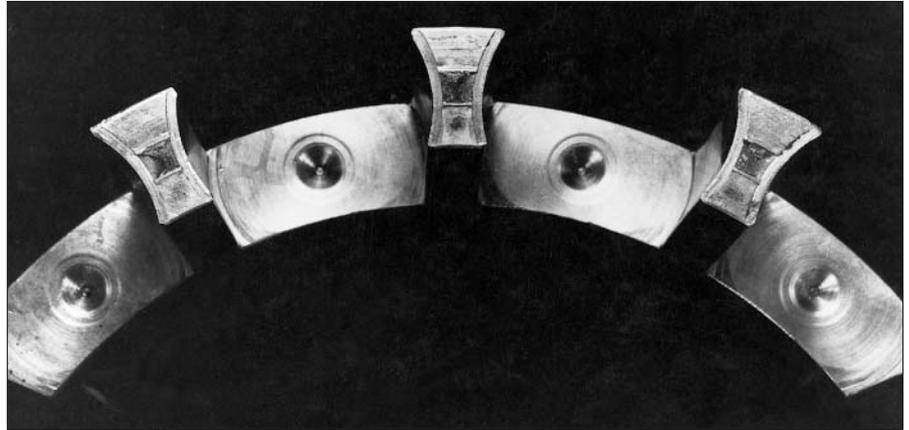
Ursachen:

- Schwingungen oder Stöße, die den normalen Käfigbeanspruchungen überlagert sind, z. B. bei Vibrationsaggregaten oder Fahrzeugen
- Verkipfung bei Rillenkugellagern

Abhilfe:

- Verwendung von Massivkäfigen anstelle von Blechkäfigen
- Verwendung von Fensterkäfigen bei besonders hohen Beanspruchungen

92: Bei Schwingungsbeanspruchung kann es zum Bruch der Käfig-Nietverbindungen kommen.



### 3.5.6 Käfigbruch

Merkmale:

Bruch der Käfigseitenränder (Bild 93), seltener Stegbrüche

Ursachen:

- Montagebeschädigungen
- Kinematisch zulässige Drehzahl überschritten
- Als Folge von Verschleiß und durch Mangelschmierung (siehe Abschnitt 3.5.1)
- Zu hohe Momentenbelastung bzw. Verkipfung an Kugellagern (siehe Abschnitt 3.5.4)
- Bei Kegelrollenlagerpaaren, die mit großem Spiel verbaut sind, auch bei rasch wechselnden Axiallasten

Abhilfe:

- Sorgfältig montieren.
- Schmierstoff filtern.
- Schmierstoffdurchfluß erhöhen und/oder andere Viskosität verwenden.
- Verkipfung möglichst vermeiden.
- Lagerpaar möglichst vorgespannt betreiben.

93: Gewaltbruch am Seitenrand eines Pendelrollenlagerkäfigs



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Käfigschäden

### 3.5.7 Schäden durch unsachgemäße Montage

Merkmale:

Bei Kunststoffkäfigen Anschmelzungen, bei Metallkäfigen Kerben oder Verbiegungen, Bilder 94 und 95.

Ursachen:

- Unsachgemäße Lagererwärmung für die Montage
- Ungeeignete Montagehilfsmittel

Abhilfe:

Montage nach Herstellervorschriften durchführen (siehe z. B. FAG-Publikation WL 80 100 „Montage von Wälzlager“).

94: Angeschmolzener Kunststoffkäfig bei unsachgemäßer Erwärmung des Lagers auf einer Heizplatte



95: Metallkäfig mit Hiebmarken



# Beurteilung von Lauf- und Schadensmerkmalen am ausgebauten Lager

## Dichtungsschäden

### 3.6 Dichtungsschäden

#### 3.6.1 Verschleiß der Dichtlippen

Merkmale:

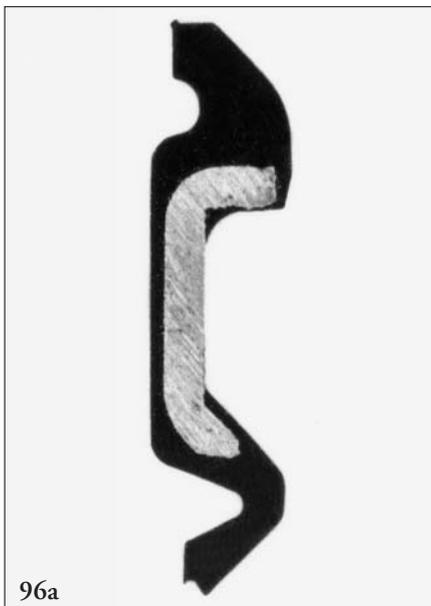
Dichtlippen nicht mehr als Schneide ausgebildet, sondern breit geworden. Risse im Dichtungswerkstoff, Dichtlippe zum Teil ausgebrochen, Bilder 96, 97.

Ursachen:

- Zu hohe Betriebstemperaturen für den Dichtungswerkstoff
- Extremer Schmutzanfall an der Dichtlippe
- Zu hohe Dichtungsüberdeckung
- Dichtlippe ungeschmiert

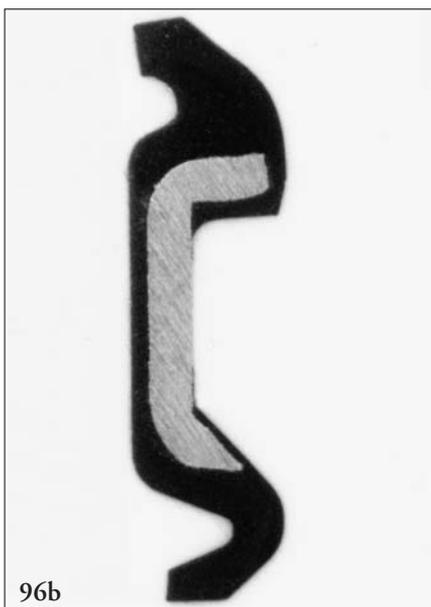
Abhilfe:

- Dichtungswerkstoff den Betriebstemperaturen anpassen.
- Berührungslose Vordichtung verwenden.
- Dichtlippe fetten.



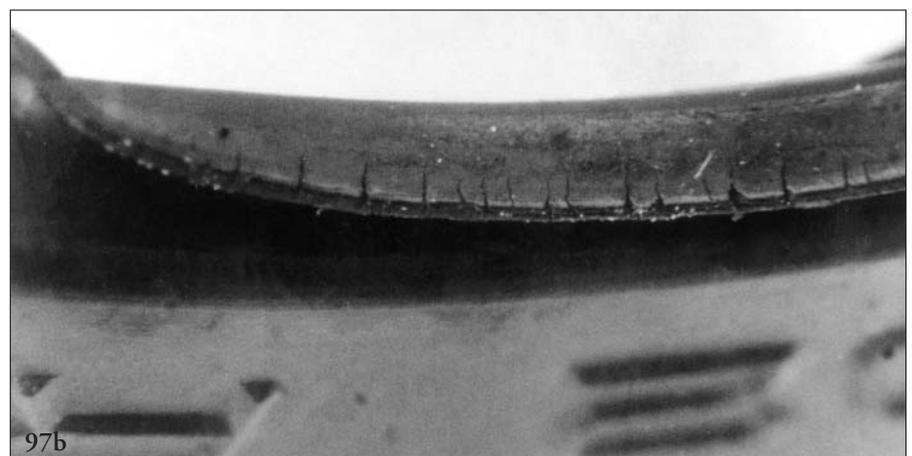
96: Schnittbild einer Dichtscheibe.

a: neue Dichtlippe; b: verschlissene Dichtlippe



97a: Verhärtete Dichtung mit Verschleiß und Ausbrüchen

b: Detail einer verschlissenen Dichtlippe



### 3.6.2 Schäden durch unsachgemäße Montage

#### Merkmale:

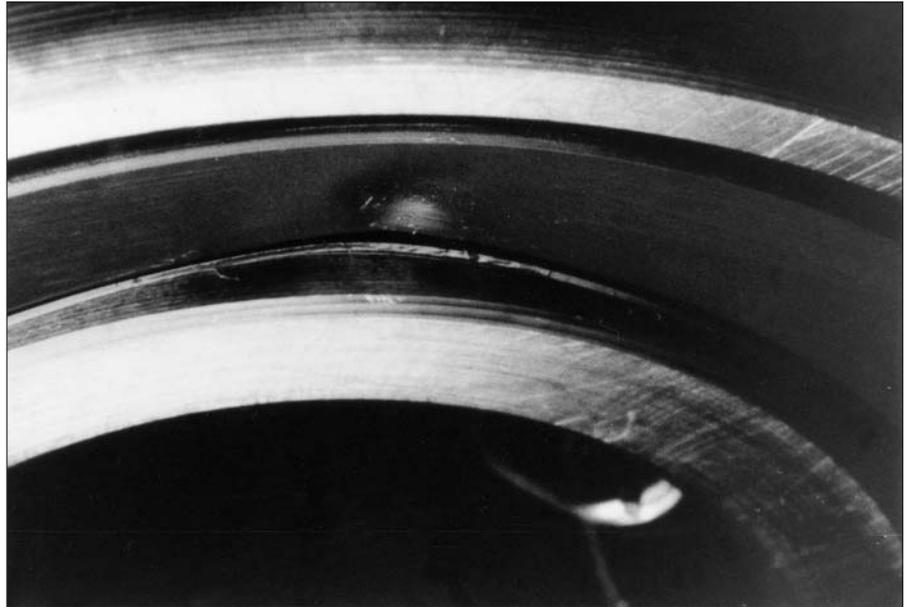
Dichtung sitzt tief, ist verbeult, verfärbt, zerkratzt. Dichtlippen sind umgestülpt, Bilder 98 und 99.

#### Ursachen:

- Falsche Montagehilfsmittel
- Zu starke Erwärmung des Lagers
- Dichtungen wurden zeitweilig entfernt
- Lager wurde mit Preßluft abgeblasen

#### Abhilfe:

- Auf sorgfältige Montage mit geeigneten Hilfsmitteln achten.
- Abgedichtete Lager nie öffnen, wenn sie anschließend noch verwendet werden sollen.



98: Verbeulte Dichtung mit Verschürfungen

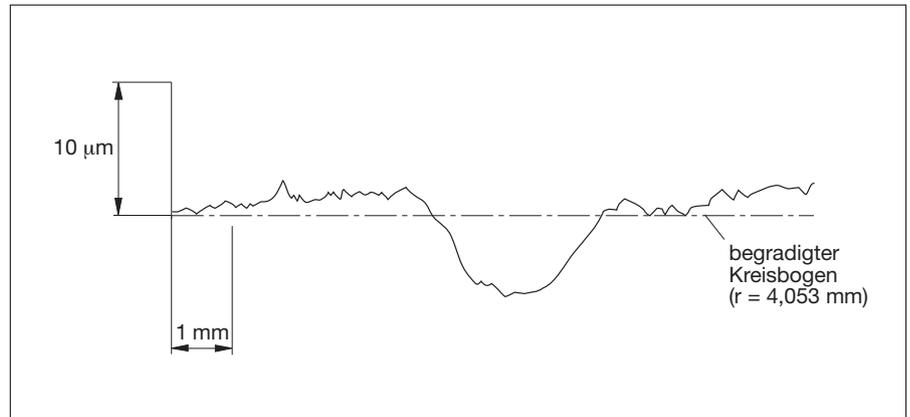
99: Umgestülpte Dichtlippen



### 4 Weitergehende Untersuchungsmöglichkeiten bei FAG

Bei der überwiegenden Zahl der Lagerschäden in der Praxis wird aus einer Betrachtung der Schadensmerkmale in Verbindung mit der Kenntnis der Betriebsbedingungen die Ursache für Lagerschäden zu klären sein. Von den verbleibenden, zunächst unklaren Fällen wird sich für einen weiteren großen Anteil unter Zuhilfenahme eines Stereomikroskops die Schadensursache ermitteln lassen. Nur ein sehr kleiner Teil der Lagerschäden verlangt eine tiefgehende Untersuchung der Schadensmerkmale bzw. eine intensive Analyse der Einsatzbedingungen. Bei FAG bestehen hierfür vielfältige, technisch hochentwickelte, teils sehr spezielle Untersuchungsmöglichkeiten, die im Rahmen der Forschung und Entwicklung eingesetzt werden. Weil diese Untersuchungen auch kostenintensiv sein können, sind vor ihrem Einsatz Kosten und Nutzen gegeneinander abzuwägen.

In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Untersuchungsbereiche mit einigen Beispielen vorgestellt.



100: Profilform einer Rillenkugellagerlaufbahn mit Verschleißrille (Laufbahnkrümmung vom Meßgerät kompensiert)

#### 101: Form Talysurf

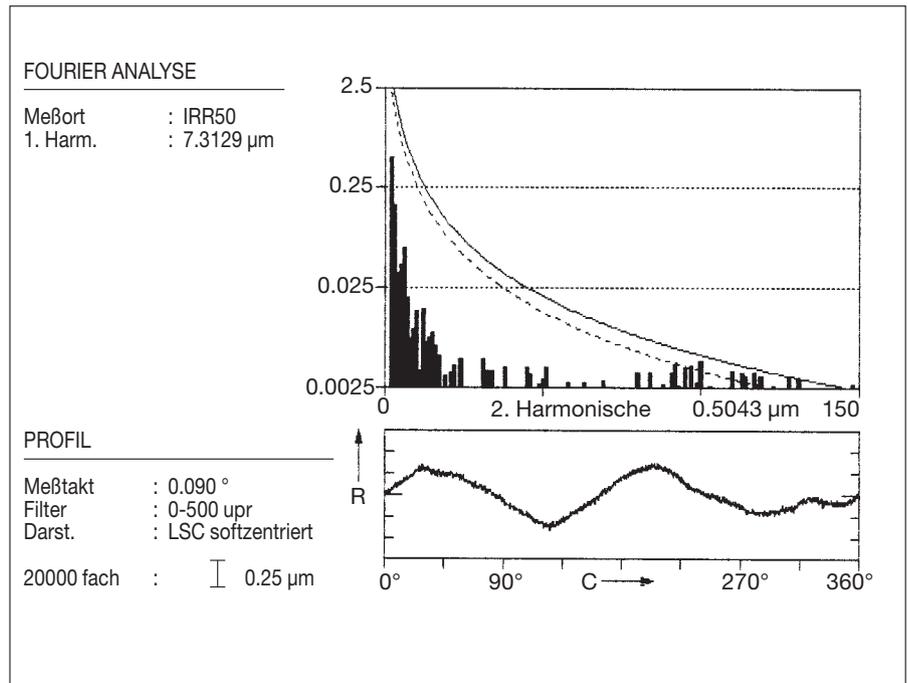


#### 4.1 Geometrische Vermessung von Lagern oder Lagerteilen

FAG ist ständig bestrebt, die Fertigungsqualität von Wälzlagern zu steigern. Dazu haben wir in der Qualitätssicherung vor Ort und in einem eigenen Labor eine hervorragende Ausrüstung mit den verschiedensten Meßgeräten zur Maß- und Formkontrolle:

- Längen- und Durchmessermessung auf Mikrometer genau
- Überprüfung von Form- und Radienkonturen mit bis zu 100 000facher Vergrößerung, Bilder 69, 100 und 101

- Kontrolle der Rundheitsabweichung mit bis zu 100 000facher Vergrößerung incl. Frequenzanalysen der Welligkeit, Bilder 102 und 103



102: Formaufzeichnung mit Frequenzanalyse der Welligkeit, Innenring 6207

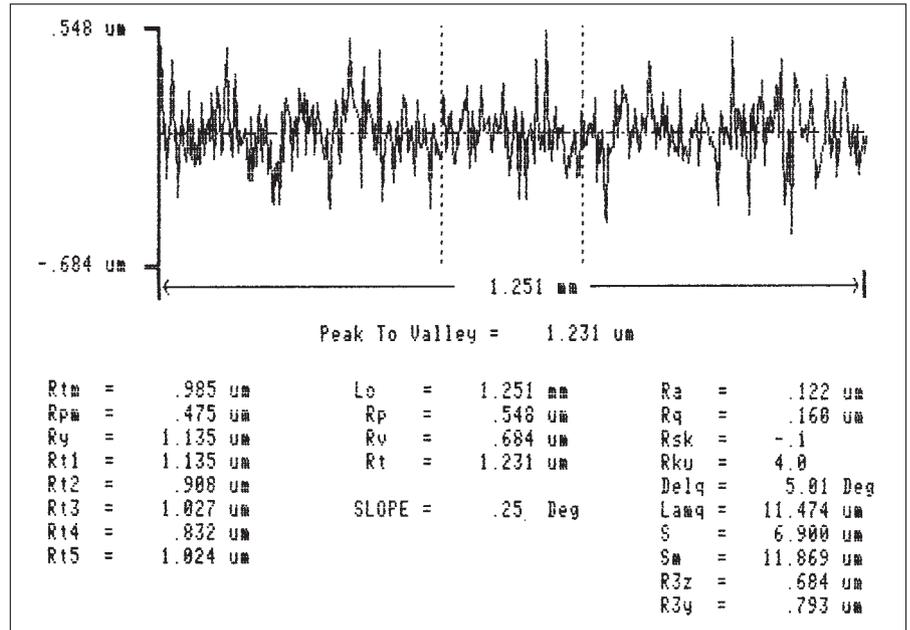


103: Formmeßsystem

# Weitergehende Untersuchungsmöglichkeiten bei FAG

## Geometrische Vermessung

- Rauheitsmessungen im Bereich bis zu hundertstel Mikrometern, Bild 104
- Kontrolle von Form- und Lagetoleranzen auf Formmeßsystemen (FMS) und Koordinatenmeßmaschinen auch an sehr unregelmäßig geformten Bauteilen, wie z. B. Gußgehäusen, Bild 105
- Überprüfung von Lagerspielwerten und Rundlaufgenauigkeiten an Einzelteilen



104: Rauheitsmeßschrieb mit Kennwerten



105: Koordinatenmeßmaschine

# Weitergehende Untersuchungsmöglichkeiten bei FAG Schmierstoffanalysen und Schmierstoffprüfungen

## 4.2 Schmierstoffanalysen und Schmierstoffprüfungen

Zur Untersuchung der Qualität und der Eignung von Schmierstoffen für den Einsatz in Wälzlagern unterhält FAG Labors und ein Prüffeld. Laboranalysen von Schmierstoffen aus ausgefallenen Lagern liefern oft die entscheidenden Aussagen zur Klärung der Ausfallursache. Wichtige Untersuchungsmöglichkeiten sind:

- Menge und Art der Verunreinigungen
  - fest, Bild 106a
  - flüssig (Feuchtigkeit)
- Antioxidans-Verbrauch
- Alterung, Bild 106b
- Viskositätsänderung
- Additivgehalt (Verringerung/Abbau)
- Öl-Seifenverhältnis bei Fetten
- Bestimmung von Art und Sorte des Schmierstoffs, z. B. zum Nachweis von Schmierstoffmischungen beim Nachschmieren, Bild 106b

Für zuverlässige Aussagen aufgrund der Schmierstoffuntersuchung ist jedoch eine geeignete Probenentnahme die wesentliche Voraussetzung (siehe Abschnitt 2.2). Aus den Ergebnissen der Analysen von Verunreinigungen kann fast immer auf deren Herkunft geschlossen werden. So erhält man z. B. direkte Hinweise auf mögliche Abstellmaßnahmen gegen Verschleiß. Ebenso lassen sich aus der Kenntnis des allgemeinen Zustands eines Öles oder Fettes nach einer bestimmten Laufzeit Rückschlüsse auf sinnvolle Ölwechselfristen oder Neubeftung ziehen.

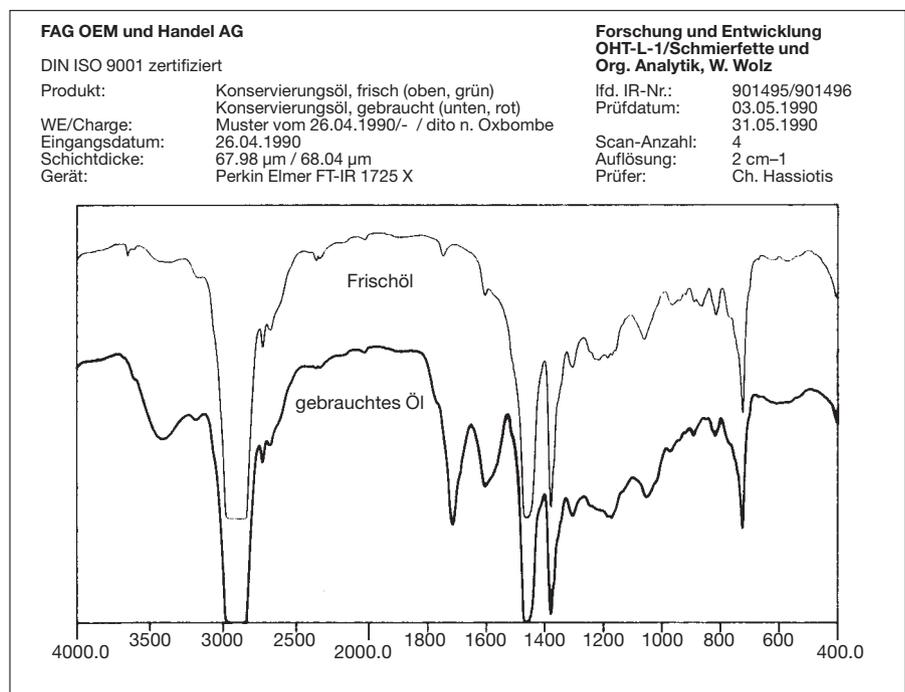
### 106a: Untersuchungen von Verunreinigungen, ICP-AES-Analyse

Element	Wellenlänge	Faktor	Offset	Tiefprobe		Hochprobe	
				min	max	min	max
Kobalt	228,616	1,673	268	962	415	179515	107157
Mangan	257,610	1,318	-76	-121	-34	67816	51496
Chrom	267,716	1,476	381	669	195	76696	51688
Kupfer	324,754	0,834	-471	80	660	2297	3316
Molybdän	281,615	1,073	-17	89	99	47781	44543
Nickel	231,604	1,778	4	114	62	38487	21640
Vanadium	311,071	0,937	-37	5	45	64228	68560
Wolfram	400,875	0,742	-16	4	26	14129	19053
Silicium	251,611	2,173	310	509	92	2385	955

Probe: Verunreinigungen in Schmierstoffen					Methode: Stahl 1 M(3)				
	Co	Mn	Cr	Cu	Mo	Ni	V	W	Si
x	.0107	0.636	1.412	0.185	0.797	0.271	.327	.002	0.359 %
s	.0004	.0002	.011	.0002	.0032	.0063	.0007	.0099	.0006
sr	4.11	0.67	0.03	1.18	0.40	2.31	0.22	57.44	0.06

### 106 b: FT-IR-Analyse von Schmierstoff



---

# Weitergehende Untersuchungsmöglichkeiten bei FAG

## Schmierstoffanalysen und Schmierstoffprüfungen

Mitunter kommen in speziellen Einsatzfällen auch neue Schmierstoffe zum Einsatz, über deren Eignung zur Schmierung von Wälzlagern noch keine Kenntnisse vorliegen. Um die Eigenschaften solcher Fette und Öle zu überprüfen, wurden von FAG Prüfstände entwickelt, die inzwischen genormt sind und auch in der Schmierstoffindustrie zur Überprüfung neuer Produkte herangezogen werden, Bild 107.

107: Prüfstand zur Ermittlung der Qualität von Schmierstoffen



### 4.3 Kontrolle des Werkstoffzustands

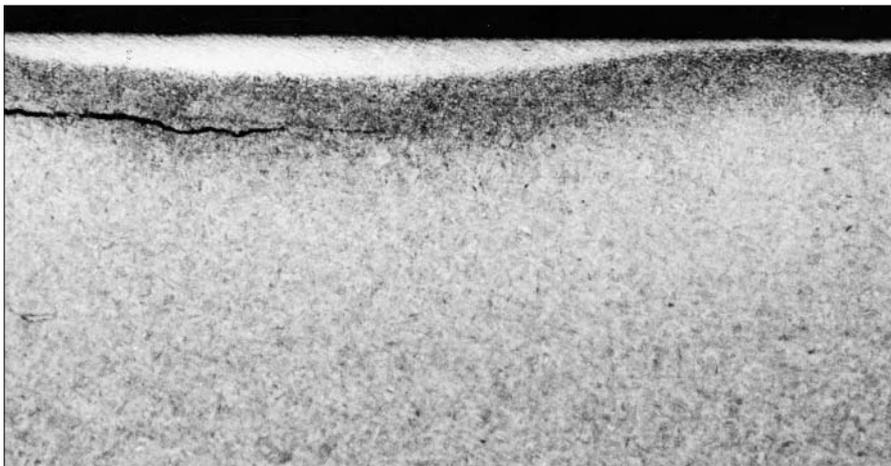
Der Werkstoffzustand aller Lagerteile ist von entscheidender Bedeutung, wenn Lager ihre volle Leistungsfähigkeit erreichen sollen. Zwar sind Lagerschäden aufgrund von Werkstoff- oder Fertigungsfehlern sehr selten, Bild 11, in Zweifelsfällen kann jedoch eine Materialüberprüfung hierüber Aufschluß geben. In einer Reihe von Fällen kommt es auch zu Änderungen des Werkstoffzustands aufgrund unvorhergesehener Einsatzbedingungen der Lager.

Wichtige Untersuchungsmöglichkeiten in diesem Bereich sind:

- Prüfung der Härte, seltener auch der Zugfestigkeit oder Kerbschlagbiegefestigkeit
- metallographische Beurteilung des Gefüges
- Sichtbarmachen von Zonen unzulässiger Erwärmung durch Ätzen der Kontaktflächen
- Rißprüfung mittels Ultraschall oder Wirbelstrom
- Röntgenographische Messung des Restaustenitgehaltes
- Überprüfung des Werkstoffreinheitsgrades
- Materialanalysen

Neben der Feststellung von Materialfehlern können mit diesen Untersuchungen z. B. Hinweise auf unzulässige Schlupfzustände (Gleiterwärmungszonen, Bild 108) oder unerwartet hohe Betriebstemperaturen (Änderung der Gefügeanteile während des Betriebs und daraus folgend Maßänderungen) gefunden werden.

108: Wärmeeinflußzone im Schnitt



# Weitergehende Untersuchungsmöglichkeiten bei FAG

## Röntgenfeinstrukturanalyse

### 4.4 Röntgenfeinstrukturanalyse

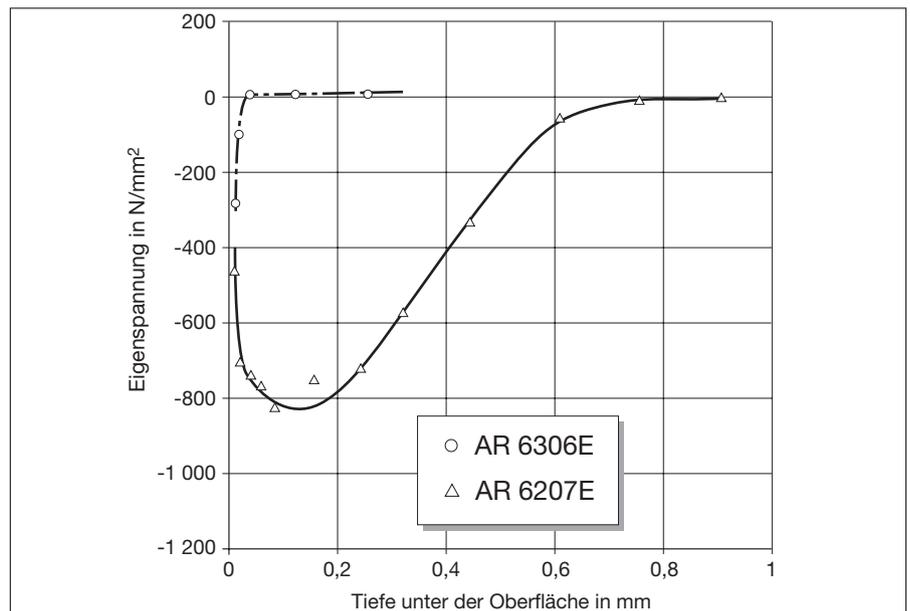
Die röntgenographische Bestimmung der Gitterstruktur (vgl. Messung des Restaustenitgehalts im Abschnitt 4.3) erlaubt auch sehr wichtige Schlüsse auf die im Material „eingefrorenen“ Eigenspannungen und auf die ihnen zugrundeliegenden Beanspruchungen. Damit kann in besonders kritischen Schadensfällen, wenn die tatsächliche Lastsituation rechnerisch nicht erfassbar ist, an gelagerten Lagern die tatsächliche Belastung mit guter Näherung ermittelt werden. Voraussetzung ist jedoch, daß die spezifischen Laufbahnbeanspruchungen über längere Zeit ein Niveau von etwa  $2\,500\text{ N/mm}^2$  erreichen, denn erst oberhalb dieser Lasthöhe kommt es zu plastischen Verformungen des Werkstoffgitters, die sich mittels Röntgenbeugung nachweisen bzw. quantifizieren lassen, Bild 109. Eine ausführliche Darstellung der Funktionsweise dieser Eigenspannungsbestimmung und der Beanspruchungsermittlung findet man z. B. im Aufsatz „Schadensuntersuchung durch Röntgenfeinstrukturanalyse“ in „Schadenskunde im Maschinenbau“, Expert Verlag 1990. Hier nur eine kurze Zusammenfassung.

Aus den mittels Röntgenbeugung gemessenen Gitterdehnungen kann auf die punktuell (Größenordnung einige Quadratmillimeter Oberfläche, 1/100 Millimeter Tiefe) vorhandenen Eigenspannungen zurückgerechnet werden. Durch elektrochemisches Abtragen der Oberfläche wird die Messung schichtweise für verschiedene Tiefen unter der Laufbahn eines Lagers durchgeführt. Man erhält einen Verlauf in der Art von Bild 110. Aus der Gesamtverformungstiefe und aus der Tiefe, in der das Spannungsmaximum auftritt, kann einerseits auf die Höhe der maximalen äußeren Belastung geschlossen werden sowie andererseits auf den Anteil einer möglichen Gleitbeanspruchung in der Laufbahn. Dies sind mitunter wichtige Hinweise auf Schadensursachen, insbesondere wenn die gemessenen Werte deutlich von den rechnerisch erwarteten abweichen.

109: Einrichtung zur Röntgenfeinstrukturanalyse



110: Mit Hilfe der Röntgenfeinstrukturanalyse ermittelter Eigenspannungsverlauf; zusätzlich hoher Tangentialkraftanteil im Außenring 6207E, keine erhöhte Beanspruchung im Vergleichslager 6303E



# Weitergehende Untersuchungsmöglichkeiten bei FAG

## Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen

### 4.5 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen (REM)

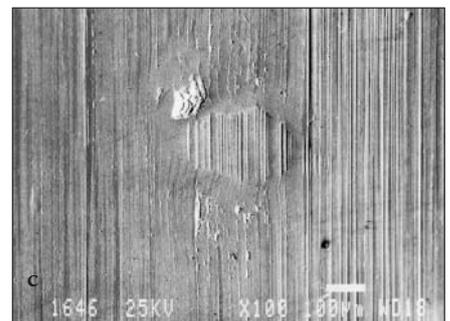
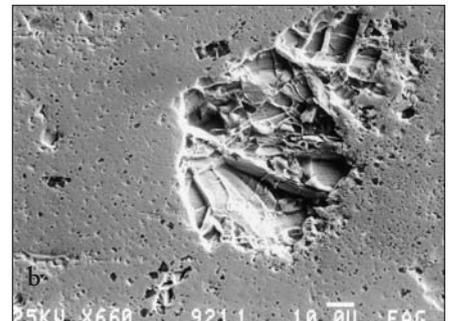
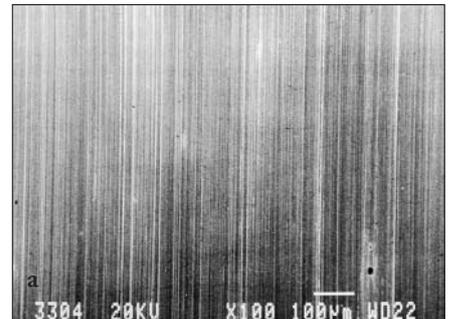
Bei der Untersuchung von Schäden verwendet man in der Regel zunächst neben dem bloßen Auge ein Stereomikroskop, um die einzelnen Ausfallmerkmale erkennen zu können. In einigen Fällen sind die schadensrelevanten Details jedoch sehr klein. Aufgrund der relativ großen Wellenlänge des sichtbaren Lichts ist die Tiefenschärfe lichtoptischer

Darstellungen begrenzt. Bei der üblichen Oberflächenunebenheit von geschädigten Wälzgerlaufbahnen erhält man scharfe Bilder deshalb nur bis zu etwa 50facher Vergrößerung. Diese Hürde bei der lichtoptischen Beobachtung von Oberflächen umgeht man bei der Bilderzeugung mittels des sehr kurzwelligen Elektronenstrahls im Rasterelektronenmikroskop (REM). Die Detailerkennbarkeit ist dadurch um das Vieltausendfache gesteigert, Bild 111.

So ist das Rasterelektronenmikroskop oft ein wichtiges Hilfsmittel bei der genauen visuellen Untersuchung von verschlissenen oder durch Stromdurchgang geschädigten Laufbahnen, Bruchflächen, Fremdkörpereindrücken oder Materialeinschlüssen, Bilder 112a, b und c.

**112: REM-Aufnahmen von Oberflächenstruktur in verschiedenen Vergrößerungen.**  
a: intakte Laufbahn;  
b: harte Fremdkörpereindrücke;  
c: beginnende Ermüdungsschäden

111: Rasterelektronenmikroskop

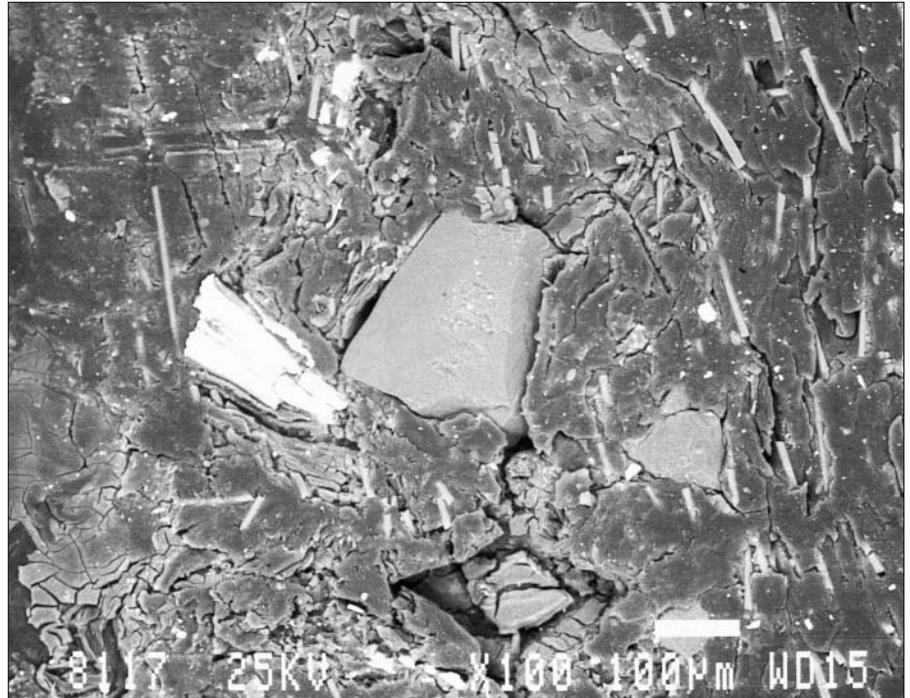


# Weitergehende Untersuchungsmöglichkeiten bei FAG

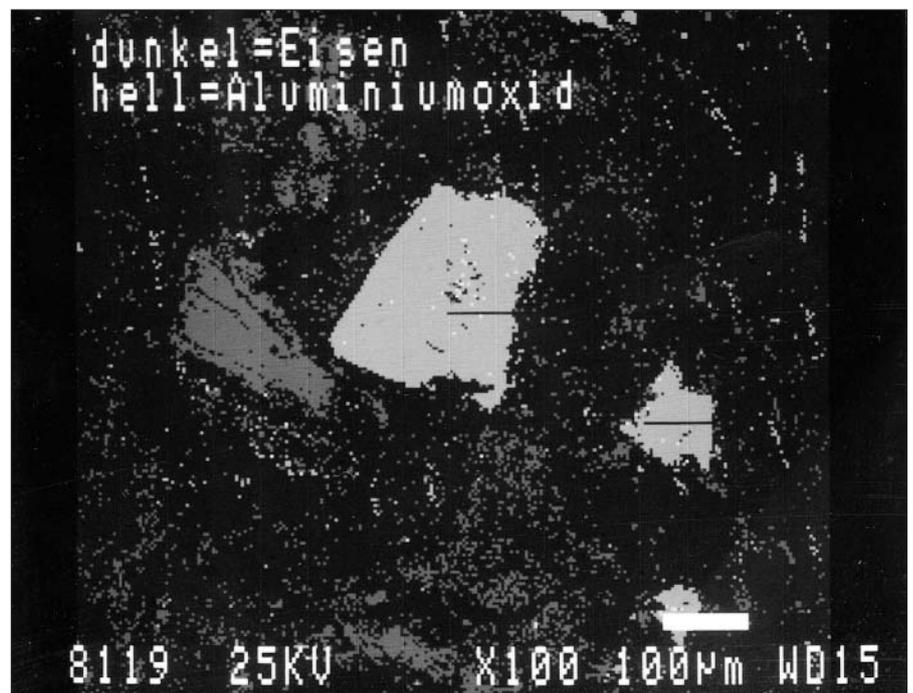
## Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung

Darüber hinaus besteht bei zusätzlicher Anwendung von Spektrometern in Verbindung mit dem REM die Möglichkeit der sog. Elektronenstrahl-Mikroanalyse. Mit ihr kann die Materialzusammensetzung im Volumenbereich von ca.  $1 \mu\text{m}^3$  untersucht werden. Dies ist z. B. hilfreich, wenn noch Reste von Fremdkörpern in den Käfigtaschen eines Lagers stecken und deren Herkunft geklärt werden soll, Bild 113a und b. Weitere Anwendungsmöglichkeiten sind die Überprüfung von Beschichtungen oder von Reaktionsschichten auf den Kontaktflächen bzw. die Kontrolle der Werkstoffzusammensetzung im Mikrobereich.

113: Mikroanalyse von Fremdkörpern.  
a: Fremdkörper im Käfigsteg



113b: Materialzusammensetzung der Fremdkörper



### 4.6 Bauteilversuche

Im Entwicklungsbereich von FAG werden eine Vielzahl von Prüfständen zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit neu ausgelegter Produkte eingesetzt. In einigen Fällen können derartige Versuche auch zur Klärung der Ursache von Lagerschäden genutzt werden. Zu nennen sind hier auf der einen Seite direkte Versuche an Kundenaggregaten, z. B. Verformungs- oder Schwingungsmessungen an Maschinen, auf der anderen Seite aber auch Dichtheitsprüfungen, Messungen des Reibungsmoments oder Lebensdauertests auf Prüfständen, Bilder 114 und 115. Die Prüfungen werden unter definierten Bedingungen durchgeführt, bei denen die zu erwartenden Ergebnisse mit sehr hoher Zuverlässigkeit vorhersehbar sind. Erfüllen die Lager im Experiment die Anforderungen, so muß sich die weitere Untersuchung des Schadensfalls auf die Überprüfung der tatsächlichen Betriebsbedingungen konzentrieren (unerwartete Zusatzbelastungen, Zwänge vom Einbau usw.). Falls die Lager nach unerwartet kurzen Laufzeiten ausfallen, so bieten die Prüfstände durch ihre technischen Überwachungseinrichtungen die Möglichkeit, Schäden im Entstehungsstadium zu erkennen, was in der Praxis häufig ein Problem darstellt, aber für die Ursachenfindung oft entscheidend ist.

114: Prüfstand zur Erprobung der Wirksamkeit von Wälzlagerdichtungen

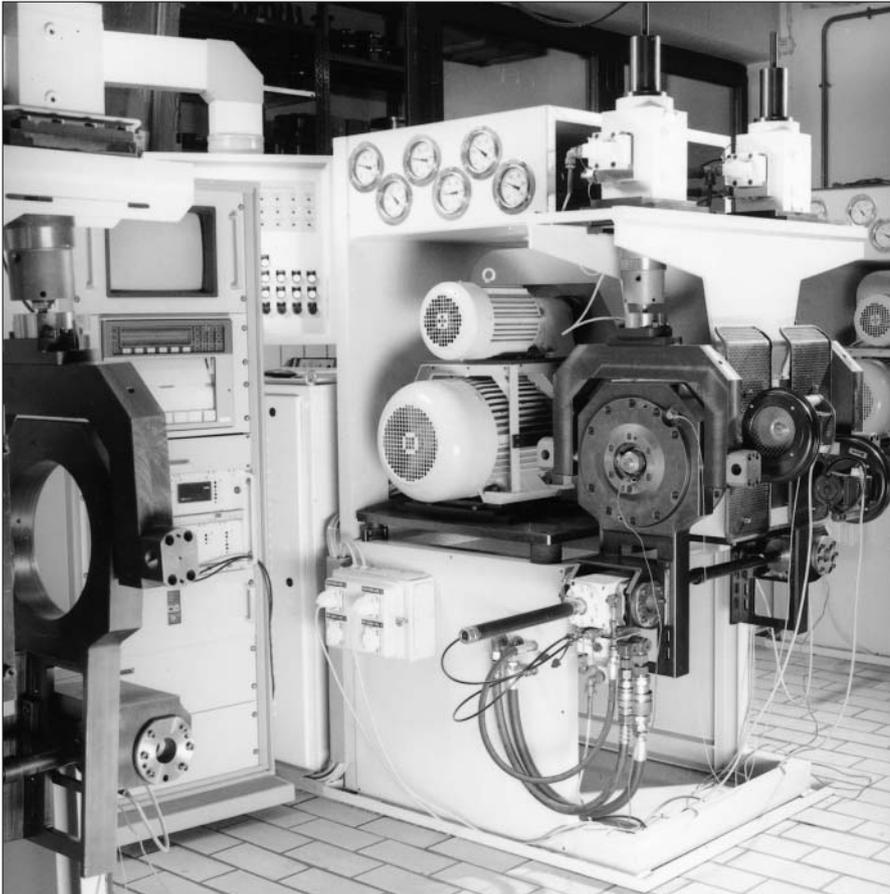


---

# Weitergehende Untersuchungsmöglichkeiten bei FAG

## Bauteilversuche

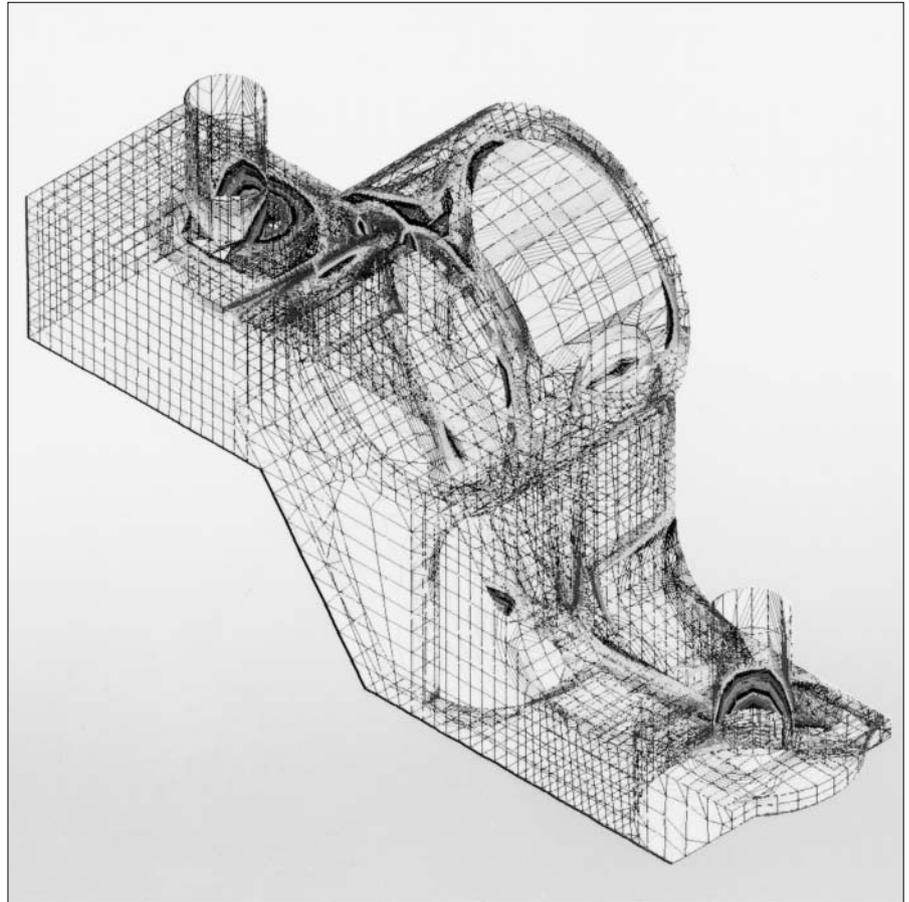
115: Prüfstand zur Simulation der Betriebsbeanspruchungen von Pkw-Radlagern



### 4.7 Rechnerische Überprüfung der Belastungsbedingungen

In vielen Fällen werden bei Neukonstruktionen aufgrund von Erfahrungen mit älteren, ähnlichen Aggregaten Lager vorgesehen, deren Belastungssituation nicht im Detail bekannt ist. Treten später Lagerschäden auf, so ist häufig eine genauere rechnerische Überprüfung der Einbaubedingungen hilfreich für die Ursachenfindung. Insbesondere ein Vergleich der rechnerisch erwarteten Lebensdauer mit der tatsächlich erreichten ist hier wichtig sowie die rechnerische Kontrolle der Schmierungsbedingungen. Bei FAG steht dazu eine umfangreiche Sammlung von Berechnungsprogrammen zur Verfügung. Mit ihnen können auch bei anspruchsvollen Lagerungsfällen Werte für die äußere Lagerbelastung, die Verkipfung zwischen den Ringen im Einbau, innere Beanspruchungen, kinematische Vorgänge im Inneren eines Lagers, Verformungen der Umbauteile, Temperaturverläufe und dergleichen mehr ermittelt werden. Die Komplexität der Programme reicht vom einfachen Auswerten analytischer Formeln über die Durchführung vielfältiger numerischer Iterationen bei nichtlinearen Näherungslösungen bis hin zu umfangreichen dreidimensionalen Festigkeitsberechnungen für Umbauteile mittels der Methode der Finiten Elemente, Bild 116.

116: Spannungsermittlung an einem Radsatzlagergehäuse mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente (FEM)



---

## Notizen

**Schaeffler KG**

Postfach 1260  
D-97419 Schweinfurt

Georg-Schäfer-Straße 30  
D-97421 Schweinfurt

Telefon +49 9721 91-3684  
Telefax +49 9721 91-2303  
Internet [www.fag.de](http://www.fag.de)

Alle Angaben wurden sorgfältig erstellt und überprüft. Für eventuelle Fehler oder Unvollständigkeiten können wir jedoch keine Haftung übernehmen. Änderungen, die dem Fortschritt dienen, behalten wir uns vor.

© Schaeffler KG · 2006, Oktober  
Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit unserer Genehmigung.

WL 82 102/2 DA