

DIN ISO 7146-1



ICS 21.100.10

**Gleitlager –
Erscheinungsbild und Charakterisierung von Schäden an ölgeschmierten
metallischen Gleitlagern –
Teil 1: Allgemeines (ISO 7146-1:2008)**

Plain bearings –

Appearance and characterization of damage to metallic hydrodynamic bearings –

Part 1: General (ISO 7146-1:2008)

Paliers lisses –

Aspect et caractérisation de l'endommagement des paliers métalliques à couche lubrifiante fluide –

Partie 1: Généralités (ISO 7146-1:2008)

Gesamtumfang 56 Seiten

DIN-Normenausschuss Wälz- und Gleitlager (NAWGL)

Inhalt

Seite

Nationales Vorwort.....	3
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich.....	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Beschreibungen, Ursachen und Merkmale von Schäden	7
4.1 Schaden	7
4.2 Schadensursachen.....	7
4.3 Schadensbilder	7
4.4 Schadenscharakterisierung.....	8
4.5 Beziehung zwischen Schadensbild und Schadenscharakterisierungen.....	8
5 Leitlinien für die Schadensanalyse	10
5.1 Allgemeines	11
5.2 Schritt 1	11
5.3 Schritt 2	11
5.4 Schritt 3	11
5.5 Schritt 4	11
5.6 Schritt 5	11
6 Schaden an der Lagersoberfläche — Schadensmerkmale, typische Schadensbilder und mögliche Schadensursachen	12
6.1 Allgemeines	12
6.2 Statische Überlast.....	12
6.3 Dynamische Überlast	13
6.4 Abrieb	20
6.5 Überhitzung.....	23
6.6 Unzureichende Schmierung (Schmierstoffmangel).....	25
6.7 Kontaminierung.....	29
6.8 Kavitationserosion.....	41
6.9 Elektroerosion.....	43
6.10 Wasserstoffdiffusion	45
6.11 Verbundbruch.....	46
7 Schaden am Lagerrücken.....	47
7.1 Allgemeines	47
7.2 Dynamische Überlast am Lagerrücken.....	47
7.3 Abrieb am Lagerrücken.....	49
7.4 Kontaminierung mit Partikeln am Lagerrücken	51
8 Besondere Positionen von Schadensbildern.....	52
Anhang A (informativ) Beispiel zur Verwendung von Tabelle 1.....	55

Nationales Vorwort

Dieses Dokument enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm ISO 7146-1:2008, die vom Unterkomitee SC 2 „Materials and lubricants, their properties, characteristics, test methods and testing conditions“ des Technischen Komitees ISO/TC 123 „Plain bearings“ (Sekretariat: JISC, Japan) ausgearbeitet wurde.

Das zuständige nationale Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 118-02-02 AA „Werkstoffe, Schmierung, Prüfung“ im DIN-Normenausschuss Wälz- und Gleitlager (NAWGL).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 4378-1 siehe DIN ISO 4378-1

ISO 4378-2 siehe DIN ISO 4378-2

ISO 4378-3 siehe DIN ISO 4378-3

ISO 4378-4 siehe DIN ISO 4378-4

ISO 7146-2 siehe DIN ISO 7146-2

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 4378-1, *Gleitlager — Begriffe, Definitionen, Einteilung und Symbole — Teil 1: Konstruktion, Lagerwerkstoffe und ihre Eigenschaften*

DIN ISO 4378-2, *Gleitlager — Begriffe, Definitionen, Einteilung und Symbole — Teil 2: Reibung und Verschleiß*

DIN ISO 4378-3, *Gleitlager — Begriffe, Definitionen, Einteilung und Symbole — Teil 3: Schmierung*

DIN ISO 4378-4, *Gleitlager — Begriffe, Definitionen, Einteilung und Symbole — Teil 4: Grundsymbole*

DIN ISO 7146-2, *Gleitlager — Erscheinungsbild und Charakterisierung von Schäden an ölgeschmierten metallischen Gleitlagern — Teil 2: Kavitationsschäden und Gegenmaßnahmen*

Gleitlager — Erscheinungsbild und Charakterisierung von Schäden an ölgeschmierten metallischen Gleitlagern — Teil 1: Allgemeines

Einleitung

In der Praxis sind Schäden an Lagern häufig das Ergebnis mehrerer gleichzeitig wirkender Mechanismen. Aufgrund der komplexen Kombination der Faktoren Design, Herstellung, Montage, Betrieb, Wartung und mögliche Wiederherstellung bereitet die Feststellung der primären Ursache des Schadens häufig Schwierigkeiten.

Bei einem umfassenden Schaden oder der Zerstörung des Lagers bleibt in der Regel kein Beweismaterial übrig, so dass es unmöglich ist festzustellen, wie der Schaden entstanden ist.

In allen Fällen ist die Kenntnis der tatsächlichen Betriebsbedingungen der Baugruppe und der Wartungshistorie von größter Bedeutung.

Die in diesem Teil von ISO 7146 vorgenommene Klassifizierung von Lagerschäden stützt sich hauptsächlich auf die an der Lauffläche und anderen Stellen sichtbaren Merkmale, und für eine verlässliche Bestimmung der Ursache des Lagerschadens ist die Berücksichtigung jedes einzelnen Aspekts erforderlich.

Da unterschiedliche Prozesse ähnliche Auswirkungen auf die Lauffläche haben können, ist die Beschränkung auf eine Beschreibung des Erscheinungsbildes zur Bestimmung der Schadensursache manchmal nicht ausreichend. Daher ist Abschnitt 4 in mehrere Unterabschnitte unterteilt, die Angaben zu Schadensbild und Schadensmerkmalen enthalten.

Für das Verfahren der Schadensanalyse kann Abschnitt 5 als hilfreicher Leitfaden dienen.

Die Abschnitte 6 und 7 enthalten Beispiele für alle Schadensmerkmale zusammen mit dem üblicherweise damit verbundenen Schadensbild.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 7146 definiert, beschreibt und klassifiziert die Merkmale von Betriebsschäden an hydrodynamisch geschmierten metallischen Gleitlagern und Zapfen. Er trägt zum Verständnis der verschiedenen charakteristischen Formen von Beschädigungen bei, die auftreten können.

Die Betrachtung ist beschränkt auf Schadensmerkmale mit einem genau definierten Erscheinungsbild, die mit großer Wahrscheinlichkeit auf bestimmte Schadensursachen zurückgeführt werden können. Die verschiedenen Erscheinungsbilder werden mit Fotos und Diagrammen veranschaulicht.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 4378-1, *Plain bearings — Terms, definitions, classification and symbols — Part 1: Design, bearing materials and their properties*

ISO 4378-2, *Plain bearings — Terms, definitions, classification and symbols — Part 2: Friction and wear*

ISO 4378-3, *Plain bearings — Terms, definitions, classification and symbols — Part 3: Lubrication*

ISO 4378-4, *Plain bearings — Terms, definitions, classification and symbols — Part 4: Basic symbols*

ISO 7146-2, *Plain bearings — Appearance and characterization of damage to metallic hydrodynamic bearings — Part 2: Cavitation erosion and its countermeasures*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 4378-1, ISO 4378-2, ISO 4378-3, ISO 4378-4 und die folgenden Begriffe.

3.1

Schaden an Gleitlagern

Lagerschaden

alle Veränderungen des Erscheinungsbildes an der Lageroberfläche und/oder am Lagerrücken während des Betriebs, die die Lagerleistung negativ beeinflussen

4 Beschreibungen, Ursachen und Merkmale von Schäden

4.1 Schaden

4.1.1 Allgemeines

Schäden an Gleitlagern sind ein Phänomen, das deren tribologische Funktion verändert und meist mit einer Veränderung des Erscheinungsbildes einhergeht. Ein Schaden ist auf eine Schadensursache zurückzuführen und entwickelt sich bis zum Ende der Betriebsdauer.

Solange keine anormalen Bedingungen auftreten, bezieht sich die Betriebsdauer des Gleitlagers auf die Betriebsdauer der Maschine.

4.1.2 Schadensindikatoren

Typische Indikatoren während des Maschinenbetriebs sind: kontinuierlich steigende Betriebstemperatur, Absinken des Schmierstoffdrucks, charakteristische Geräusche, Schwingungen und Geruchsbelästigung.

4.2 Schadensursachen

Unter der Ursache wird das konkrete Ereignis verstanden, das den Schaden eingeleitet und verursacht hat. Die Mehrzahl der Schadensursachen findet sich außerhalb des Lagers.

4.3 Schadensbilder

Ein Schadensbild ist ein definiertes, sichtbares Bild der Lageroberfläche und/oder des Lagerrückens. Schadensbilder unterscheiden sich deutlich voneinander.

Ein Versagen des Gleitlagers kann verschiedene Schadensbilder zeigen. Meist sind Schadensbilder direkt mit bestimmten Schadensmerkmalen verknüpft, aber nicht direkt mit der Schadensursache (Ausnahmen siehe 6.8 und 6.9).

Liste von Schadensbildern:

- a) Ablagerungen;
- b) Kriechverformung;
- c) Verformung aufgrund von Temperaturzyklen;
- d) Wärmerisse;
- e) Ermüdungsrisse;
- f) Werkstofffreilegung (Bindungsverlust);
- g) Reibkorrosion;
- h) Ausschmelzen, Fressen;
- i) Polieren, Riefenbildung;
- j) Spuren von Mischschmierung, Werkstoffabtragung;
- k) Blau-, Schwarzverfärbung;
- l) Korrosion, Flüssigkeitserosion;
- m) eingebettete Partikel, Spuren von Partikelmigration, Entstehung von Wollabrieb;
- n) Lichtbogenkrater;
- o) Erscheinungsbild von Kavitationserosion: Werkstoffabtragung.

4.4 Schadenscharakterisierung

4.4.1 Allgemeines. Unter einer Schadenscharakterisierung wird eine Beschreibung der vorgefallenen Ereignisse verstanden, die anhand der festgestellten, typischen Kombination von Schadensbildern vorgenommen wird. Festgelegte Merkmale bilden die Grundlage für die Feststellung der Schadensursache.

Schadenscharakterisierungen werden durch ihre Definition deutlich voneinander unterschieden (siehe 4.4.2 bis 4.4.11).

4.4.2 Statische Überlast: Werkstoff wird entsprechend der tatsächlichen Betriebstemperatur über die Druckstreckgrenze hinaus belastet.

4.4.3 Dynamische Überlast: Werkstoff wird entsprechend der tatsächlichen Betriebstemperatur über die Ermüdungsfestigkeit hinaus belastet. Intensive dynamische Belastung begünstigt durch Schwächung der Passung ebenfalls die Entstehung von Schäden.

4.4.4 Abrieb: Abrieb ist beschränkt auf Veränderungen in der Mikrogeometrie und den Werkstoffverlust infolge einer Interaktion zwischen Achszapfen und Lager. Bewegungen zwischen Rücken und Gehäuse begünstigen ebenfalls die Entstehung von Abrieb.

4.4.5 Überhitzung: Die in der Konstruktionsphase erforderliche Wärmebilanz im Schmierstoff, im Lager, in der Umgebung und im Kühlsystem wird nicht erreicht, was eine höhere Temperatur als angenommen zur Folge hat. Die Viskosität und damit die Belastungskapazität verringern sich mit steigender Temperatur. Dies führt wiederum zu einem Temperaturanstieg. Das Lager kann daher nicht stabil betrieben werden, wenn die Kühlung einen weiteren Temperaturanstieg nicht unterbinden kann.

4.4.6 Unzureichende Schmierung (Schmierstoffmangel): Beeinflussung des tribologischen Systems.

4.4.7 Kontaminierung des Schmierstoffs mit Fremdpartikeln oder Reaktionsprodukten kann zu Schäden im Lager führen. Fremdpartikel zwischen Lagerrücken und -gehäuse können ebenfalls die Entstehung von Schäden begünstigen.

4.4.8 Kavitationserosion: Eine Druckverringerung in Flüssigkeiten führt zur Verdampfung von Flüssigkeiten und zur Entstehung von Dampfblasen, die, bei Anstieg des Flüssigkeitsdrucks, implodieren, wodurch örtlich ein sehr hoher Druck erzeugt wird und es zu einer Erosion an den Gleitflächen kommt.

4.4.9 Elektroerosion: Eine Potentialdifferenz zwischen Achszapfen und Lager kann zu einem Lichtbogen mit örtlich hohem Stromfluss führen, durch den Achszapfen und Lageroberfläche beschädigt werden.

4.4.10 Wasserstoffdiffusion: Wasserstoff kann im Stahlrücken oder in einer galvanisierten Schicht des Lagers eingeschlossen werden. Falls die Wasserstoffdiffusion durch eine Schicht blockiert wird, tritt Blasenbildung auf.

4.4.11 Verbundbruch: Ablösung zwischen Auskleidung und Rücken oder zwischen Schichten. Eine metallografische Untersuchung ist erforderlich, um eine Unterscheidung von anderen Schadenscharakterisierungen vorzunehmen.

4.5 Beziehung zwischen Schadensbild und Schadenscharakterisierungen

Schadenscharakterisierung und Schadensbild verändern sich mit Fortschreiten des Schadens von einem primären zu einem sekundären Merkmal (siehe Bild 1).

Unterschiedliche Schadenscharakterisierungen können mit demselben Schadensbild einhergehen.

Eine bestimmte Schadenscharakterisierung kann mit unterschiedlichen Schadensbildern einhergehen.

Mehrere Schadensmerkmale können innerhalb desselben Fehlerereignisses auftreten.

Die Schadensmerkmale stellen die Grundlage für die Ursachenanalyse dar (siehe Bild 2).

Typische Beziehungen sind in Tabelle 1 für Schäden an der Gleitfläche und am Lagerrücken dargestellt. In den meisten Fällen stellt Tabelle 1 die Leitlinie für die Diagnose der endgültigen Schadensursache anhand der Schadensbilder über die Schadensmerkmale dar.

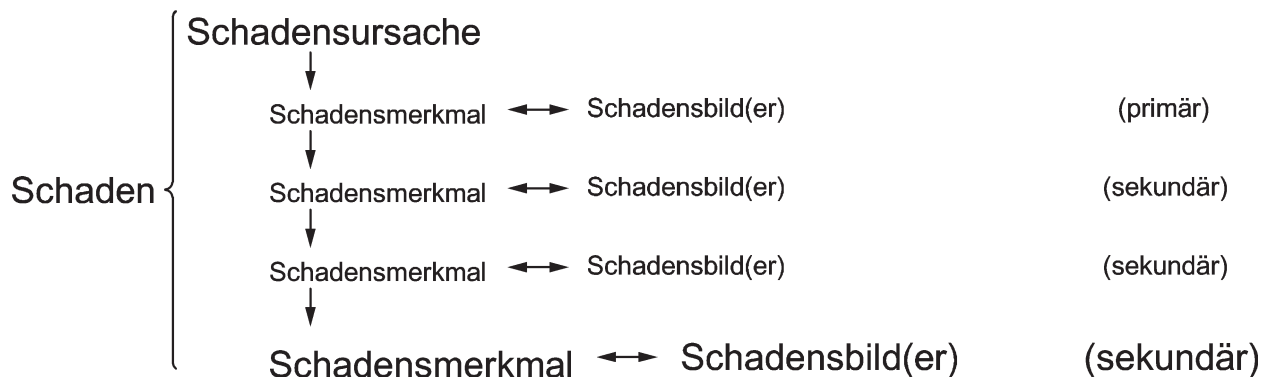
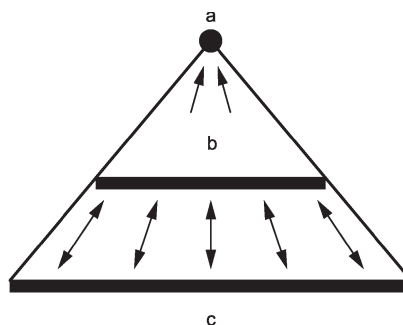


Bild 1 — Schadensbilder verändern sich mit Fortschreiten von primären zu sekundären Merkmalen



- a Schadensursache.
- b Schadensmerkmale.
- c Schadensbilder.

Bild 2 — Schadensmerkmale stellen die Grundlage für die Ursachenanalyse dar

5 Leitlinien für die Schadensanalyse

Tabelle 1 — Interaktion von Schadensbildern und Schadenscharakterisierungen

Schadensbild															Schadens- charakterisierungen	Unter- abschnitt	
Ablagerungen	Kriechverformung	Verformung aufgrund von Temperaturzyklen	Wärmerisse	Ermüdungsrisse	Werkstofffreilegung (Bindungsverlust)	Reibkorrosion	Ausschmelzen, Fressen	Polieren, Riefenbildung	Spuren von Mischschmierung, Werkstoffabtragung	Blau-, Schwarzverfärbung	Korrosion	Flüssigkeitserosion	Eingebettete Partikel, Spuren von Partikelmigration, Entstehung von Wollabrieb	Lichtbogenkrater	Erscheinungsbild von Kavitationserosion: Werkstoffabtragung		
×	×		×						×							Statische Überlast	6.2
				×	×											Dynamische Überlast ^a	6.3
				×		×										Dynamische Überlast ^b	7.2
								×	×							Abrieb ^a	6.4
								×								Abrieb ^b	7.3
×	×	×	×						×							Überhitzung	6.5
							×		×	×						Unzureichende Schmierung (Schmierstoffmangel)	6.6
×								×	×		×	×	×			Kontaminierung (Partikel, Chemikalien) ^a	6.7
×								×	×		×		×			Kontaminierung (Partikel, Chemikalien) ^b	7.4
															×	Kavitationserosion	6.8 und ISO 7146-2
														×		Elektroerosion	6.9
					×											Wasserstoffdiffusion	6.10
					×											Verbundbruch	6.11

^a

Schaden an der Gleitfläche.

^b

Schaden am Lagerrücken.

5.1 Allgemeines

Die Analyse sollte ausschließlich von Experten mit Erfahrung in den Bereichen Lagermetallurgie, Lagertechnologie und Lagerschäden durchgeführt werden. Schadensanalysen, die sich ausschließlich auf Fotos stützen, sind meist nicht Erfolg versprechend.

Die folgenden Schritte dienen als Leitlinie für die Schadensanalyse.

5.2 Schritt 1

Zunächst muss die Betriebsdauer festgestellt werden. Es besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen einem Schaden nach kurzer und einem Schaden nach langer Betriebsdauer. In beiden Fällen können ähnliche Schadensbilder auftreten, deren Ursache sich aber meist unterscheidet.

Typische Schadensursachen nach kurzer Betriebsdauer: Fehler in Geometrie oder Montage, Verschmutzung, Auswirkungen früherer Schäden, veränderte Betriebsbedingungen seit dem letzten Start.

Typische Schadensursachen nach langer Betriebsdauer: veränderte Betriebsbedingungen.

Typische Schadensursachen nach sehr langer Betriebsdauer: herabgesetzte dynamische Leistungsfähigkeit des Werkstoffs infolge Ermüdung.

5.3 Schritt 2

Die strikte Unterscheidung zwischen Schadenscharakterisierung und Schadensbild ist wichtig. Für eine ausführliche Analyse müssen alle sichtbaren Schadensbilder bewertet und auf Grundlage von Tabelle 1 zu einer oder mehreren Schadenscharakterisierung(en) kombiniert werden.

5.4 Schritt 3

Das Gesamtsystem ist in Betracht zu ziehen: Lager — Welle — Schmierstoff — Gehäuse.

Es ist hilfreich, eine chemische Analyse einer Probe aus der Lagerschicht durchzuführen und deren Mikrostruktur zu überprüfen. Falls erforderlich, sollten Schmierstoff und Filterinhalt analysiert werden.

5.5 Schritt 4

Alle Informationen in Verbindung mit dem Zeitraum, der dem vorgefundenen Schaden vorausgegangen ist, und dem Zeitraum, in dem der Schaden aufgetreten ist, sollten zusammengetragen werden.

5.6 Schritt 5

Durch eine Prüfung der ersten Liste mit Schadensmerkmalen vor dem Hintergrund der Informationen aus den Schritten 3 und 4 lässt sich meist die Anzahl der zu betrachtenden Schadensmerkmale reduzieren. Dies ermöglicht den Schluss auf eine mögliche Schadensursache.

Ein Beispiel zur Verwendung von Tabelle 1 findet sich in Anhang A.

6 Schaden an der Lagersoberfläche — Schadensmerkmale, typische Schadensbilder und mögliche Schadensursachen

6.1 Allgemeines

Es folgt eine Besprechung von Schäden an der Lagersoberfläche. Für jede in 4.4 angegebene Schadenscharakterisierung werden typische Schadensbilder, mögliche Schadensursachen und typische Beispiele angegeben.

6.2 Statische Überlast

6.2.1 Typische Schadensbilder

Kriechverformung: Flache Vertiefungen des Lagerwerkstoffs im Bereich der maximalen Last und Temperatur, glatt beginnend und endend mit rissfreien, halbkreisförmigen Aufwölbungen in Drehrichtung, manchmal wie Wellenkämme aussehend (siehe Bild 3).

Spuren von Mischschmierung (siehe Bild 4), Ablagerungen, Wärmerisse.

6.2.2 Mögliche Ursachen des Schadens

Die Belastung des Lagers war größer als konstruktionsbedingt zulässig und/oder die Lagertemperatur war über einen längeren Zeitraum höher als eingeschätzt.

6.2.3 Typische Beispiele (siehe Bild 3 und 4)

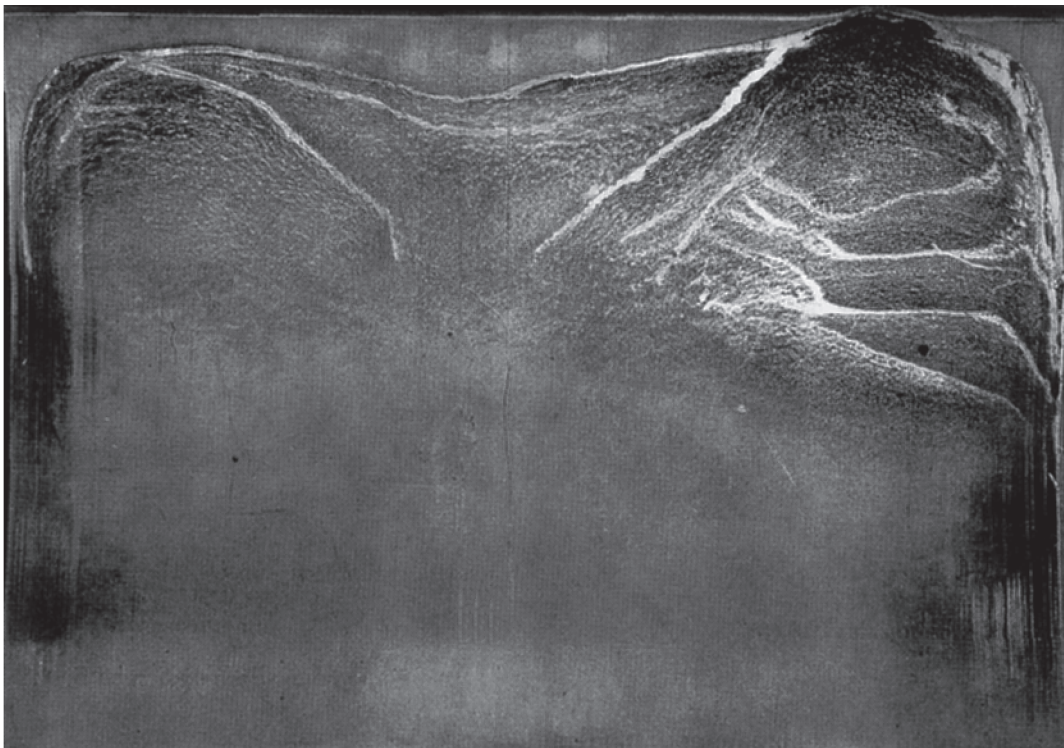


Bild 3 — Kriechverformung, die sich durch rissfreie, halbkreisförmige Aufwölbungen in Drehrichtung zeigt (Werkstoff: Stahl/zinnbasiertes Lagermetall)

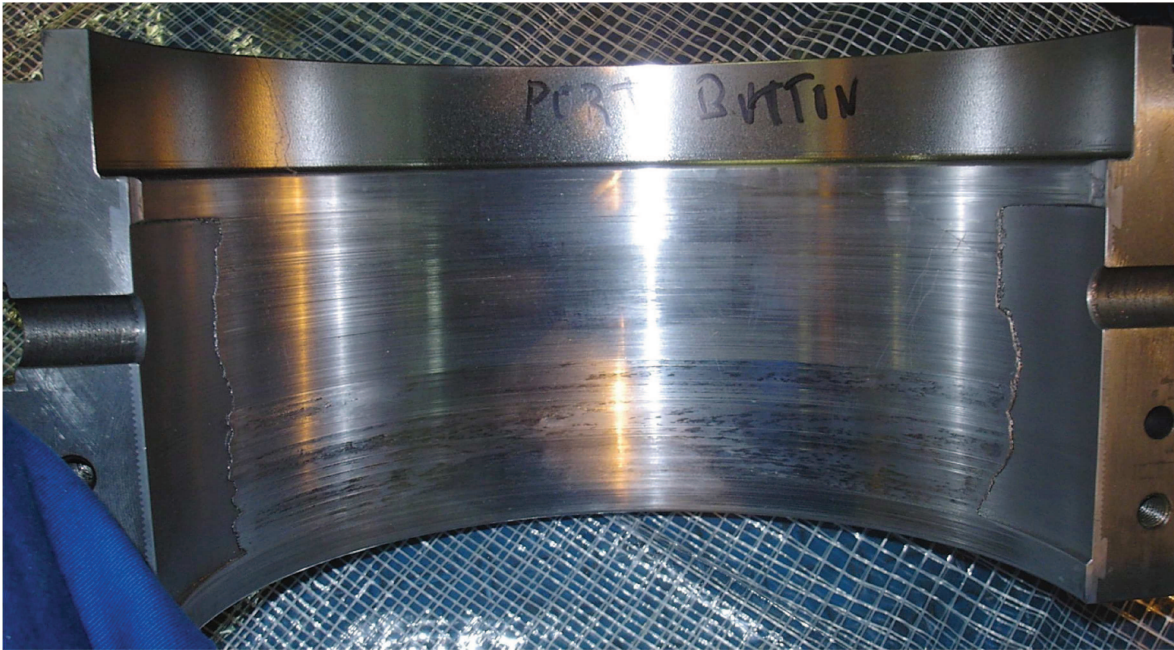


Bild 4 — Propellerwellenlager, das Auswirkungen einer zu geringen Drehzahl im Verhältnis zur Belastungskapazität zeigt (Werkstoff: Stahl/zinnbasiertes Lagermetall)

6.3 Dynamische Überlast

6.3.1 Typische Schadensbilder

Ermüdungsrisse: Risse, die sich von der Gleitfläche in der belasteten Zone netzförmig ausbreiten. Die Risse verändern über dem Bindungsbereich ihre Richtung.

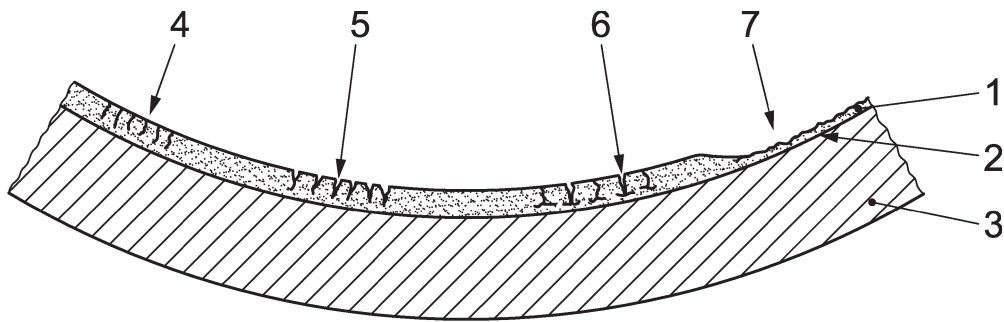
Als Endresultat bei der Entwicklung von Ermüdungsrisse tritt der Auskleidungswerkstoff vom Rücken hervor (siehe Bild 5).

Siehe auch mögliche Schadensbilder wie Reibkorrosion am Lagerrücken (7.1).

6.3.2 Mögliche Ursachen des Schadens

Die Rissbildung beginnt, wenn die Ermüdungsgrenze des Lagerwerkstoffs aufgrund hoher dynamischer Belastung bei Betriebstemperatur überschritten wird. Dem Schaden liegen keine Bindungsfehler zugrunde.

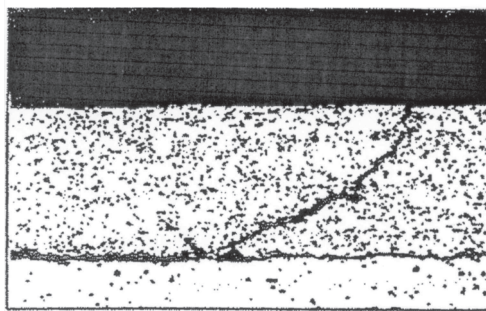
6.3.3 Typische Beispiele (siehe Bild 5 bis 12)



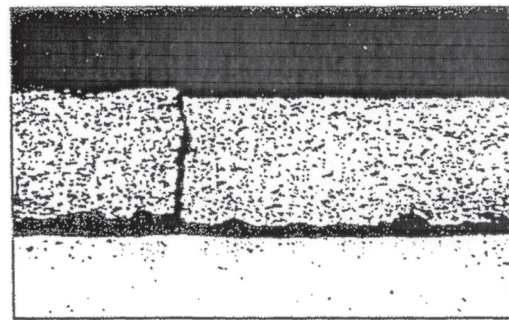
Legende

- | | |
|-------------------------|--|
| 1 Auskleidungswerkstoff | 5 erodierte Risse |
| 2 Bindungsbereich | 6 Risse mit senkrechter Ausbreitungsrichtung |
| 3 Werkstoff des Rückens | 7 Werkstofffreilegung |
| 4 Risse | |

Bild 5 — Schematische Darstellung zur Ausbreitung von Ermüdungsrissen



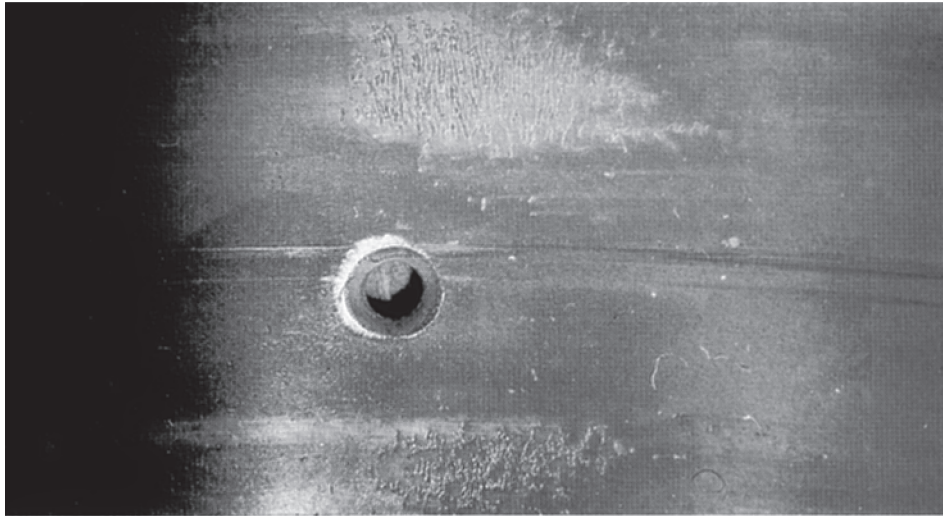
a) unter Trägheitslast



b) unter Gaslast

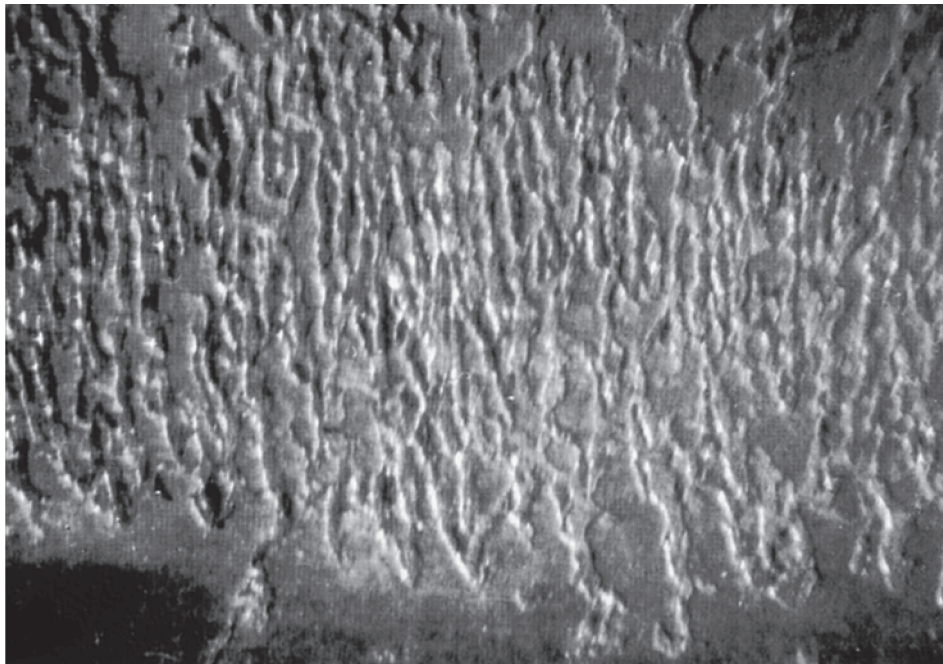
Bild 6 — Typische Ermüdungsrisse im Lager eines Verbrennungsmotors (Werkstoff: Stahl/Aluminiumlegierung)

Richtung der Wellendrehung →



a)

Richtung der Wellendrehung →

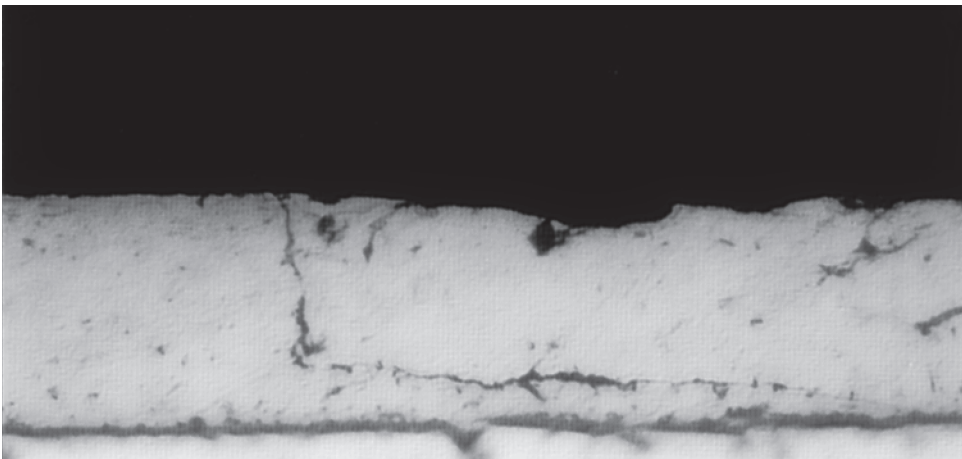


b) Ausschnitt aus Bild 7 a), der die untere Hälfte bei stärkerer Vergrößerung zeigt

Bild 7 — Risse in der galvanisierten Auflage (Werkstoff: Stahl/Bleibronze/galvanisierte Auflage)

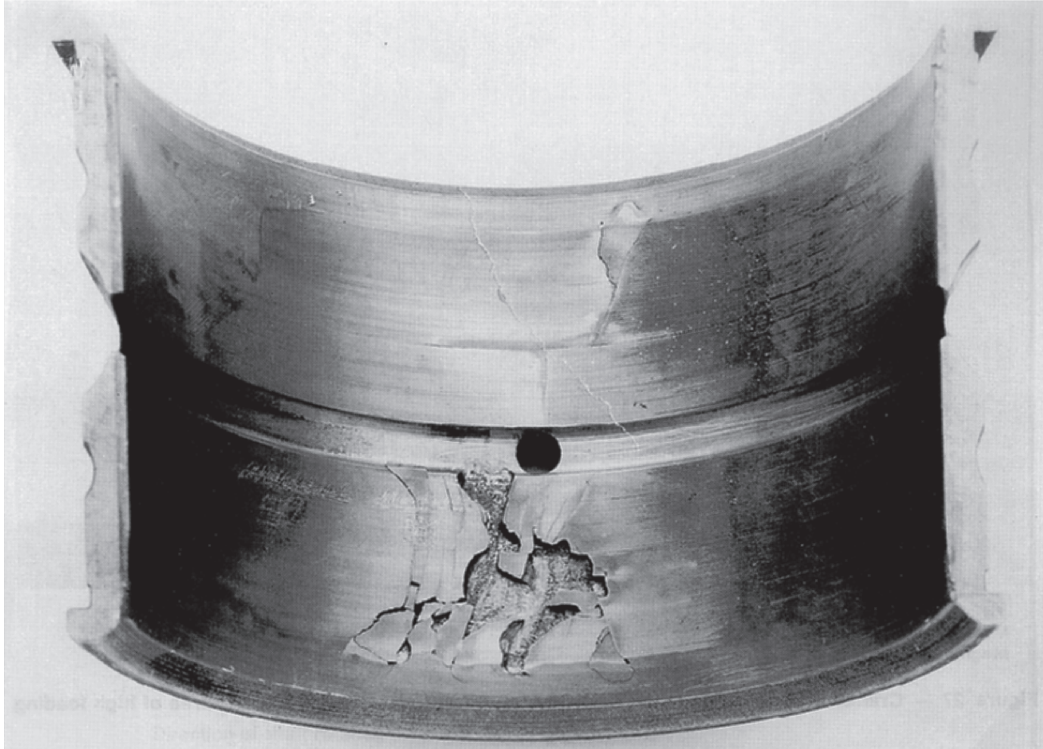


Bild 8— Risse in der Auflage eines mehrschichtigen Lagers in einem schmalen Bereich mit hoher Belastung (Werkstoff: Stahl/Bleibronze/galvanisierte Auflage)



ANMERKUNG Der Riss verläuft in geringer Entfernung vom Bindungsbereich.

Bild 9— Ausschnitt der abgeplatzten Schicht (Werkstoff: Stahl/zinnbasiertes Lagermetall)



a)



b)

Bild 10— Ermüdungsrisse und Werkstofffreilegung durch dynamische Überlast (Werkstoff: Stahl/zinnbasiertes Lagermetall)