



KOLBENSCHMIDT



WISSENSWERK

SCHÄDEN AN GLEITLAGERN

PASSION FOR **TECHNOLOGY.**



RHEINMETALL



MOTORSERVICE GRUPPE

QUALITÄT UND SERVICE AUS EINER HAND

Die Motorservice Gruppe ist die Vertriebsorganisation für die weltweiten Aftermarket-Aktivitäten von Rheinmetall. Sie ist ein führender Anbieter von Motorkomponenten für den freien Ersatzteilmarkt. Mit den Premiummarken Kolbenschmidt, Pierburg, TRW Engine Components sowie der Marke BF bietet Motorservice seinen Kunden aus Handel und Werkstatt ein breites und tiefes Sortiment in Spitzenqualität.

RHEINMETALL

TECHNOLOGIEN FÜR DIE MOBILITÄT DER ZUKUNFT

Als weltweiter Automobilzulieferer nimmt Rheinmetall mit seiner Kompetenz in den Bereichen Luftversorgung, Schadstoffreduzierung und Pumpen sowie bei der Entwicklung, Fertigung und Ersatzteillieferung von Kolben, Motorblöcken und Gleitlagern Spitzenpositionen auf den jeweiligen Märkten ein. Die Produktentwicklung erfolgt in enger Kooperation mit renommierten Automobilherstellern.



KOLBENSCHMIDT



PIERBURG



Redaktion:

Motorservice, Technical Market Support

Layout und Produktion:

Motorservice, Marketing

Nachdruck, Vervielfältigung und Übersetzung, auch auszugsweise, nur mit unserer vorherigen schriftlichen Zustimmung und mit Quellenangabe gestattet.

Änderungen und Bildabweichungen vorbehalten.
Haftung ausgeschlossen.

Herausgeber:

© MS Motorservice International GmbH

Haftung

Alle Angaben in dieser Broschüre wurden sorgfältig recherchiert und zusammengestellt. Trotzdem können Irrtümer auftreten, Angaben falsch übersetzt werden, Informationen fehlen oder sich die bereitgestellten Informationen inzwischen verändert haben. Für Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität oder Qualität der bereitgestellten Informationen können wir daher weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung übernehmen. Jegliche Haftung unsererseits für Schäden, insbesondere für direkte oder indirekte sowie materielle oder immaterielle, die aus dem Gebrauch oder Fehlgebrauch von Informationen oder unvollständigen bzw. fehlerhaften Informationen in dieser Broschüre entstehen, ist ausgeschlossen, soweit diese nicht auf Vorsatz oder grober Fahrlässigkeit unsererseits beruhen. Entsprechend haften wir nicht für Schäden, die dadurch entstehen, dass der Motoreninstandsetzer bzw. der Mechaniker nicht über das notwendige technische Fachwissen, die erforderlichen Reparaturkenntnisse oder Erfahrungen verfügt. Inwieweit die hier beschriebenen technischen Verfahren und Reparaturhinweise auf kommende Motorgenerationen anwendbar sind, lässt sich nicht vorhersagen und muss im Einzelfall vom Motoreninstandsetzer bzw. von der Werkstatt geprüft werden.

INHALT	SEITE
1. GRUNDLAGEN	5
1.1 Lagerstellen im Motor	5
1.2 Haupt- und Pleuellager im Kurbeltrieb	6
1.3 Funktionen von Gleitlagern	7
1.4 Aufbau von Gleitlagern	8
1.5 Ausbau von Gleitlagern im Schadensfall	10
2. VERSCHLEISS DURCH MISCHREIBUNG	12
2.1 Einführung	12
2.2 Anpassungs-Einlaufverschleiß	13
2.3 Anreiber	14
2.4 Fresser	16
2.5 Spezialfälle	18
2.5.1 Einseitiger Kantentrag	20
2.5.2 Einseitig-wechselseitiger Kantentrag	22
2.5.3 Beidseitiger Kantentrag	24
2.5.4 Breite Verschleißspur in Lagermitte	26
2.5.5 Streifenartiger Verschleiß in der Lagermitte	28
2.5.6 Verschleiß an gegenüberliegenden Bereichen der Trennflächen	30
2.5.7 Beidseitiger Verschleiß an den Bereichen der Trennflächen	32
2.5.8 Verengte Verschleißzonen im Scheitel der Lagerschale	34
2.5.9 Schmale verschleißfreie Streifen an Lagerrändern	36
3. SCHÄDEN DURCH PARTIKELEINWIRKUNG	38
3.1 Einführung	38
3.2 Riefenbildung	40
3.3 Einbettung	42
3.4 Schmutzwanderspur	44
3.5 Unterleger am Lagerrücken	46
4. EROSION UND KAVITATION	48
4.1 Erosion	48
4.2 Kavitation	49
5. ERMÜDUNGSSCHÄDEN	52
5.1 Einführung	52
5.2 Anrisse und Ausbrüche der Gleitschicht	54
5.3 Anrisse und Ausbrüche des Lagermetalls	55
6. ÜBERHITZUNGSSCHÄDEN	56
6.1 Einführung	56
6.2 Wärmerisse	57
6.3 Aufschmelzungen der Laufschrift	58
6.4 Verfärbungen der Laufschrift bzw. des Lagerrücken	59
7. KORROSION	60
7.1 Reibkorrosion / Passungsrost	61
7.2 Chemische Korrosion	62
8. SCHÄDEN AN ANLAUFSCHLEIFEN	64
9. GLOSSAR	66

ÜBER DIE BROSCHÜRE

Diese Broschüre gibt einen Überblick über die verschiedenen Schadensarten bei motorischen Halblagerschalen und Anlaufscheiben. Zudem unterstützt sie den Fachmann bei der Diagnose und der Ermittlung der Schadensursache.

Um die nicht immer eindeutigen Schadensursachen zu identifizieren, ist bei der Beurteilung von Motorschäden immer eine ganzheitliche Betrachtungsweise erforderlich. Nicht selten kommt es nach einer Motorreparatur erneut zu Ausfällen. Das liegt daran, dass beschädigte Bauteile zwar ersetzt, die Schadensursachen aber nicht beseitigt wurden.

Aufgrund der hohen Komplexität beim Zusammenspiel der einzelnen Komponenten einer innermotorischen Lagerung ist die Schadensursache meist nicht einfach zu erkennen. Diese liegt häufig nicht im Lager selbst, sondern im Umfeld der Lagerung.

Obwohl das Lager meist den größten Schaden erleidet, ist mit dem alleinigen Austausch der beschädigten Lager die Schadensursache oftmals nicht behoben.

Bei einer professionellen Motoreninstandsetzung muss also zuerst die tatsächliche Ursache für den Schaden festgestellt werden, um daraus dann die richtigen Reparaturmaßnahmen ergreifen zu können.

Es wird zu jedem vorliegenden Schadensfall das charakteristische Schadensbild anhand geeigneter Lagerschalen aufgezeigt. Zu beachten ist, dass unterschiedliche Schadensbilder bei verschiedenen Werkstoffen auftreten können. Aufgrund der unterschiedlichen Ausprägungen eines Schadensbilds können Abweichungen zu den in der Broschüre aufgezeigten Bildern entstehen.

01 Gehäusebohrung (Beispiel Pleuel):

- Steifigkeit (Elastizität und Festigkeit)
- thermischer Verzug
- Fertigungstoleranzen
- Oberflächengüte
- Schraubenanzugsmomente

02 Wellenzapfen:

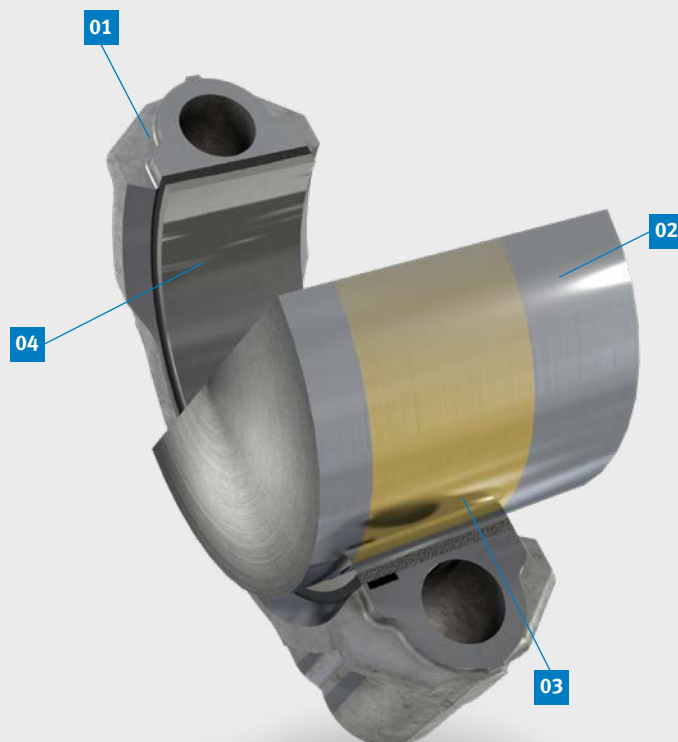
- Werkstoff (z. B. Guss- oder Stahlwelle)
- Steifigkeit (Elastizität und Festigkeit)
- thermischer Verzug
- Fertigungstoleranzen
- Oberflächengüte

03 Schmierung:

- Schmierstoff (Viskosität, Additive)
- Ölversorgung (Ölstand, Öldruck, Ölpumpe, Ölleitungen, Ölfilter)
- Verschmutzungsgrad

04 Lagerschale:

- Werkstoff (Belastbarkeit, Verschleißwiderstand, Notlaufverhalten, Einbettfähigkeit)
- Fertigungstoleranzen
- Oberflächengüte



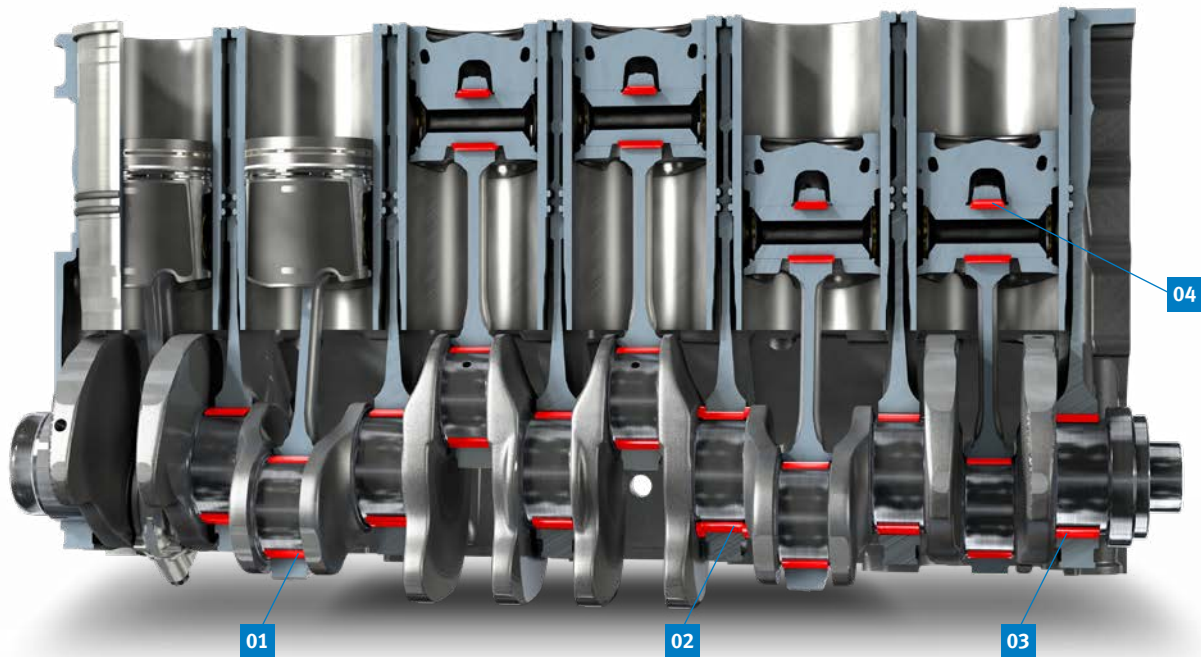
1. GRUNDLAGEN

1.1 LAGERSTELLEN IM MOTOR

Die Darstellung des Sechszylindermotors zeigt die Lagerstellen im Motor. Es sind sieben Hauptlager verbaut, wobei eines als Axiallager ausgelegt ist. Jeweils zwischen den Hauptlagern sind die Pleuellager zu finden – pro Zylinder ein Pleuellager.

Die anderen Lagerstellen, wie Nockenwellenlager, Pleuelbuchsen und Lager für Ausgleichswellen, werden in der Regel nicht mit Halblagerschalen, sondern durch Gleitlagerbuchsen realisiert.

Der Schwerpunkt dieser Broschüre liegt bei den Halblagerschalen, die im Kurbeltrieb zur Lagerung von Pleuelstange und Kurbelwelle genutzt werden.



01 Pleuellager



02 Anlaufscheiben / Hauptlager
oder Passlager



03 Hauptlager



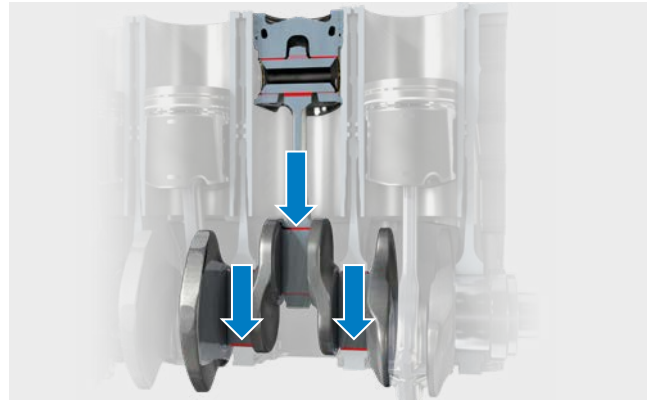
04 Pleuelbuchsen

1.2 HAUPT- UND PLEUELLAGER IM KURBELTRIEB

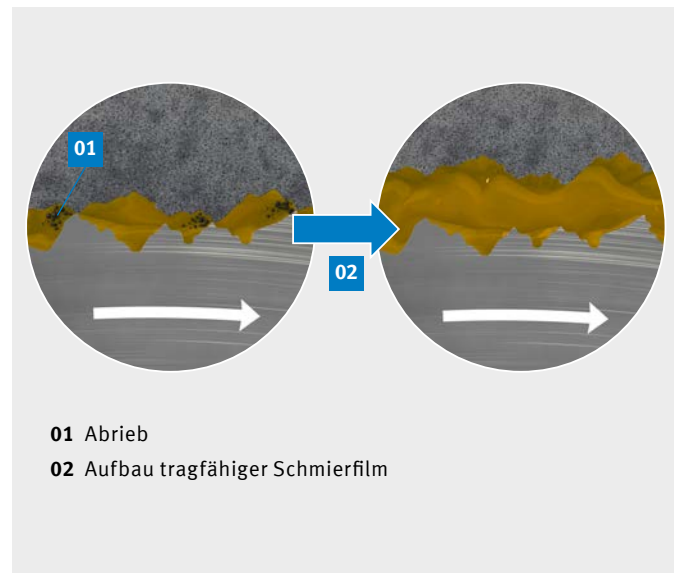
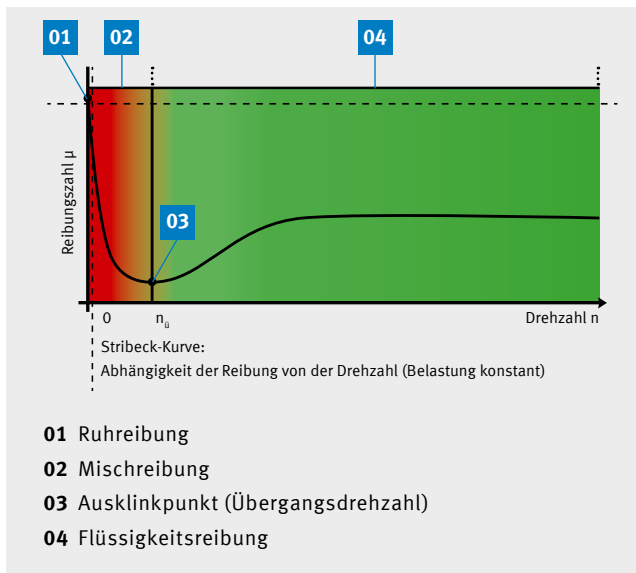
Pleuellager verbinden die Pleuelstange mit der Kurbelwelle. Die Lagerschalen können in stangenseitig und deckelseitig unterschieden werden, wobei die stangenseitigen Lagerschalen deutlich höher beansprucht werden als die deckelseitigen. Über sie wird die bei der Verbrennung entstehende Zündkraft in die Kurbelwelle geleitet. Bei Ottomotoren wird auch die deckelseitige Lagerschale hoch belastet, da aufgrund höherer Drehzahlen als beim Dieselmotor hohe Massenkräfte wirken. Pleuellager werden mit Hilfe von Bohrungen vom Hauptlager aus über die Kurbelwelle mit Öl versorgt.

Die Lagerung der Kurbelwelle wird über die Hauptlager realisiert. Auch hier wird das Lager in eine obere und eine untere Lagerschale unterteilt. Bei den Hauptlagern wird die untere Lagerschale durch die Aufnahme der Zündkräfte höher belastet. Die von einem Pleuel in die Kurbelwelle geleiteten Kräfte werden von mehreren Hauptlagern aufgenommen, sodass diese geringer belastet werden als die stangenseitigen Pleuellagerschalen. Die obere Hauptlagerschale enthält eine Schmiernut, die das Öl über Bohrungen in der Kurbelwelle zu den Pleuellagern fördert.

Um zusätzlich Axialkräfte aufnehmen zu können, die zum Beispiel beim Betätigen der Kupplung entstehen, werden als Axiallager Anlaufscheiben oder Verbundlager verbaut.



1.3 FUNKTIONEN VON GLEITLAGERN



Die Hauptfunktion von Gleitlagern besteht darin, Kräfte zwischen relativ zueinander bewegten Komponenten aufzunehmen und zu übertragen. Zusätzlich soll die Reibung minimiert und so eine nahezu verschleißfreie Drehbewegung ermöglicht werden. Bei jedem Lager entstehen im Betrieb Reibungskräfte, die der Drehbewegung entgegenwirken und dabei Wärme erzeugen. Um diese Kräfte zu verringern und die Reibungswärme abzuführen, wird ein Schmierfilm zwischen Lager und Wellenzapfen benötigt. Ohne diesen Schmierfilm kommt es durch direkten Kontakt zur Trockenreibung, die einen Verschleiß und Abrieb am Lager verursacht.

Hydrodynamische Gleitlager, bei denen sich allein durch Relativbewegung zwischen Lagerschale und Zapfen ein tragender Schmierfilm aufbaut, durchlaufen bis zu einer bestimmten Ausklinkdrehzahl einen Mischreibungsbereich.

Bei geringen Drehzahlen reicht der hydrodynamische Auftrieb nicht aus, um die Oberflächen vollständig voneinander zu trennen. Es kommt zur teilweisen Festkörperberührung der Gleitflächen, was die Gefahr eines Lagerschadens in sich birgt. Erst mit steigenden Drehzahlen sinken die Reibkräfte und ein permanenter Schmierstofffilm wird ausgebildet. Es kommt zur Flüssigkeitsreibung / Fluidreibung, wobei die beiden Gleitflächen vollständig voneinander getrennt werden. Damit eine sichere Funktion der Lager gewährleistet werden kann, muss der entstehende Schmierstoffdruck im Lagerspalt groß genug sein, um die auf das Lager wirkenden Kräfte ohne Kontakt der Gleitflächen aufzunehmen. Hier liegt der ideale Betriebspunkt für Gleitlager. Aber auch diese Form der Reibung erzeugt Wärme, sodass eine ausreichende Schmierung zur Wärmeabfuhr nötig ist.

1.4 AUFBAU VON GLEITLAGERN

Nach der Norm DIN 50282 („Das tribologische Verhalten von metallischen Gleitwerkstoffen – Kennzeichnende Begriffe“) kann das tribologische Verhalten eines Gleitwerkstoffs durch Begriffe wie Einlaufverhalten, Einbettfähigkeit, Notlaufverhalten, Verschleißwiderstand und Anpassungsfähigkeit charakterisiert werden. Die Anforderungen an das Gleitlager sind daher entscheidend für die Werkstoffauswahl.

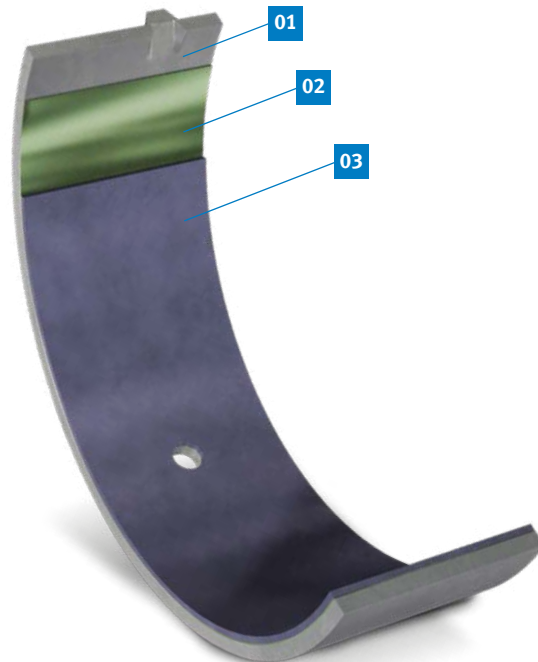
Es wird in zwei unterschiedliche Gleitwerkstofffamilien unterteilt.

ZWEISTOFFLAGER

- Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoffe

Die Zweistofflager bestehen aus dem Stahlrücken, einer Zwischenschicht aus Reinaluminium und dem aufplattierten Lagermaterial. In den meisten Fällen wird eine Aluminiumlegierung mit Zusätzen von Zinn, Kupfer und Silizium als Werkstoff gewählt.

Darstellung Lageraufbau



- 01 Stahlrücken
- 02 Zwischenschicht (bei Bedarf)
- 03 Lagermaterial



Stahl-Alu

Lagermaterial: Aluminium

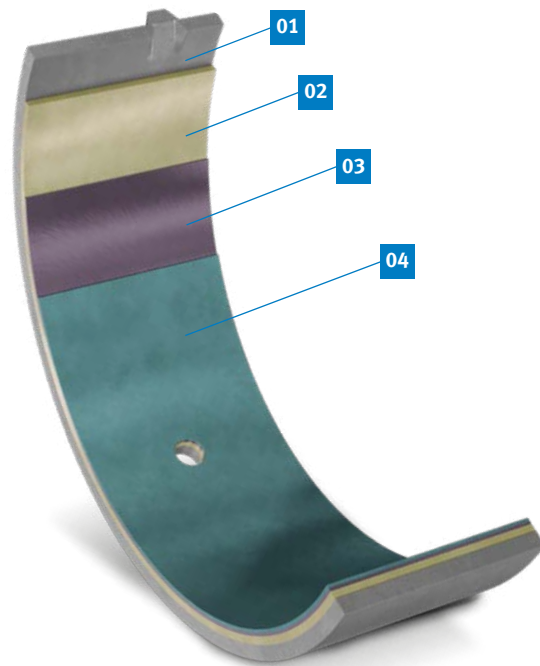
DREISTOFFLAGER

- gesinterte / gegossene Stahl-Bronze- oder Stahl-Messing-Verbundwerkstoffe mit einem Overlay
- Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoffe mit einem Overlay

Das Overlay der Dreistofflager wird je nach Einsatzgebiet und dessen spezifischer Anforderung als eine zusätzliche Gleitschicht in Form einer Sputter-, Galvanik- oder Gleitlackschicht aufgebracht. Das Lagermetall (Aluminium-, Bronze- oder Messinglegierung) wird auf den Stahlrücken aufplattiert, aufgegossen oder aufgesintert. Als Diffusionssperre wird bei Bedarf eine Zwischenschicht aus Nickel oder einer Nickellegierung zwischen Lagermaterial und Laufschrift (Overlay) eingebracht.

Für Gleitlager können also, je nach Anforderung, verschiedene Werkstoffe eingesetzt werden. Häufig wird für die höher belastete Lagerschale ein anderer Werkstoff als für die gegenläufige Lagerschale gewählt. Bei einem V-Motor werden die Pleuellagerschalen beispielsweise stangenseitig durch eine Halblagerschale mit Sputter-Beschichtung und deckelseitig durch eine Halblagerschale aus einem Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff ohne eine Beschichtung realisiert.

Darstellung Lageraufbau



- 01 Stahlrücken
- 02 Lagermaterial
- 03 Zwischenschicht (bei Bedarf)
- 04 Laufschrift (Overlay)



Galvanik

Lagermaterial: Bronze
Zwischenschicht
Laufschrift: Galvanik



Gleitlack

Lagermaterial: Aluminium oder Bronze
Laufschrift: Gleitlack



Sputter

Lagermaterial: Messing oder Bronze
Zwischenschicht (bei Bronze)
Laufschrift: Sputter

1.5 AUSBAU VON GLEITLAGERN IM SCHADENSFALL

Was beim Ausbau von Lagerschalen in einem Schadensfall beachtet werden muss:

- Die Lagerschalen müssen nach Sitz und Position in der Hauptlagerschale beschriftet werden, damit der Schadenshergang besser nachvollzogen werden kann. Häufig gibt der Sitz zusätzlich zum Erscheinungsbild des Lagers Aufschlüsse über den Schadenshergang. Bei Biegung der Kurbelwelle weisen z. B. vor allem das erste und letzte Hauptlager entlang der Gasse einseitige Verschleißspuren auf.
- Laufbedingungen (Dauer, Belastungsart) und sonstige Einflüsse, wie z. B. das verwendete Öl, müssen dokumentiert werden, sodass eine bessere Einschätzung des Schadens möglich ist.
- Auffälligkeiten an anderen Motorkomponenten, wie z. B. der Kurbelwelle, müssen dokumentiert werden. In den meisten Fällen sind Schäden am Gegenlaufpartner des Gleitlagers zu erkennen. Oftmals sind Schäden am Lager auch Folge von Schäden an anderen Motorkomponenten.
- Um spätere Analysen zu ermöglichen, sollte eine Probe des gelaufenen Öls entnommen und der Ölfilter aufbewahrt werden. Partikelrückstände können nachgewiesen und analysiert werden, was Aufschluss über mögliche Schadensursachen geben kann.
- Die zum Lösen der Motorschrauben benötigten Drehmomente müssen dokumentiert werden. Sind die Schrauben nicht mit dem richtigen Drehmoment verschraubt, kann es zu Relativbewegungen zwischen Lagerschale und Gehäusebohrung kommen.



Anzug der Schrauben gemäß Herstellervorgaben



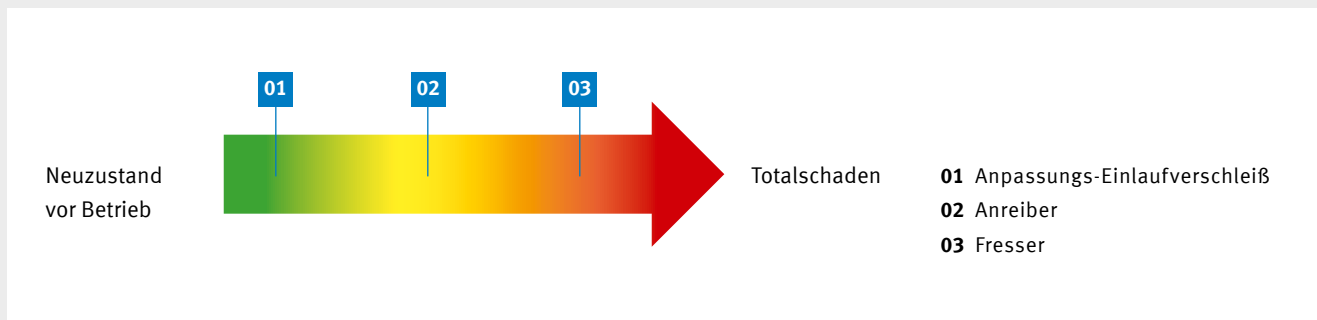
Sitz und Position der Lager dokumentieren



Vergleich des alten und neuen Gleitlagers

2. VERSCHLEISS DURCH MISCHREIBUNG

2.1 EINFÜHRUNG



„Verschleiß ist der fortschreitende Materialverlust aus der Oberfläche eines festen Körpers, hervorgerufen durch mechanische Ursachen, d.h. Kontakt und Relativbewegung eines festen, flüssigen oder gasförmigen Gegenkörpers“ (DIN 50320).

Bei Lagerschalen wird Verschleiß durch metallischen Kontakt infolge von Mischreibung zwischen Lager und Wellenzapfen verursacht.

Dies ist zum Beispiel bei jedem Start und Stopp eines Motors der Fall. Die eingesetzten Lager durchlaufen zwischen Stillstand und der Ausklinkdrehzahl der Welle den Mischreibungsbereich. In diesem Bereich reicht die Tragfähigkeit des Schmierstofffilms nicht immer aus, um die Gleitpartner vollständig voneinander zu trennen (siehe Kapitel: „1.3 Funktionen von Gleitlagern“). Gerade bei Fahrzeugen mit Start-Stopp-Automatik spielen daher verschleißfeste Werkstoffe eine wichtige Rolle. Bei niedrigen Drehzahlen und hoher Belastung kann es ebenfalls dazu kommen, dass eine Flüssigkeitsreibung nicht erreicht wird und das Lager verschleißt. Auch Geometrieabweichungen infolge von Montagefehlern oder Verformungen von Zapfen und Lagergasse können zu Verschleiß führen.

In den ersten Betriebsstunden eines Lagers findet ein Anpassen der Gleitpartner statt. Dabei werden Rauheitsspitzen geglättet und das Rauheitsprofil eingeebnet. Dieser Anpassungs-Einlaufverschleiß ist durchaus als gewünscht zu bezeichnen und stellt keine Funktionsbeeinträchtigung des Lagers dar. Bei Intensivierung der Mischreibungseinwirkung entwickelt sich der übliche Anpassungs-Einlaufverschleiß über einen Anreiber zum Fresser weiter – und damit zu einem Totalschaden.

2.2 ANPASSUNGS-EINLAUFVERSCHLEISS

BESCHREIBUNG

- glänzende, glatte Tragspuren im Hauptlastbereich
- sanfte An- und Ausläufe
- Bearbeitungsstruktur des Lagers noch erkennbar



Untere Hauptlagerschale Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff (ohne Beschichtung)

In der Lagermitte ist ein glänzender Verschleißstreifen zu erkennen, während im Bereich der Freilegung und der Lagerkanten keine Betriebsspuren sichtbar sind. Hier ist noch die Bearbeitungsstruktur des Lagers zu erkennen.

BEURTEILUNG

In den ersten Betriebsstunden eines Lagers findet eine Glättung von Rauheitsspitzen und ein Einebnen des Rauheitsprofils durch Kontakt von Lager und Wellenzapfen im Mischreibungsgebiet statt. Der Verschleiß tritt hauptsächlich im Hauptlastbereich des Lagers oder an Stellen makroskopischer Formabweichungen auf (siehe Kapitel: „2.5 Spezialfälle“).

Der Anpassungs-Einlaufverschleiß ist wünschenswert und stellt daher keine Schädigung des Lagers dar.



HINWEIS

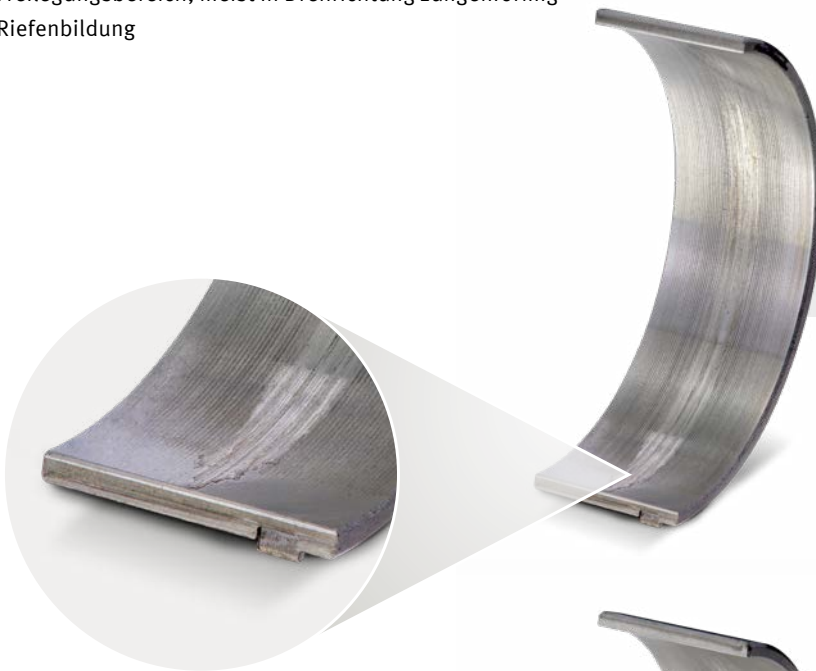
Die Funktion des Lagers ist nicht beeinträchtigt.

Kommt es jedoch zu einer Intensivierung des Anpassungs-Einlaufverschleißes durch z. B. einen anhaltenden Flucht- und Formfehler, kann es zu Anreibern, Fressern oder Ermüdungsschäden führen.

2.3 ANREIBER

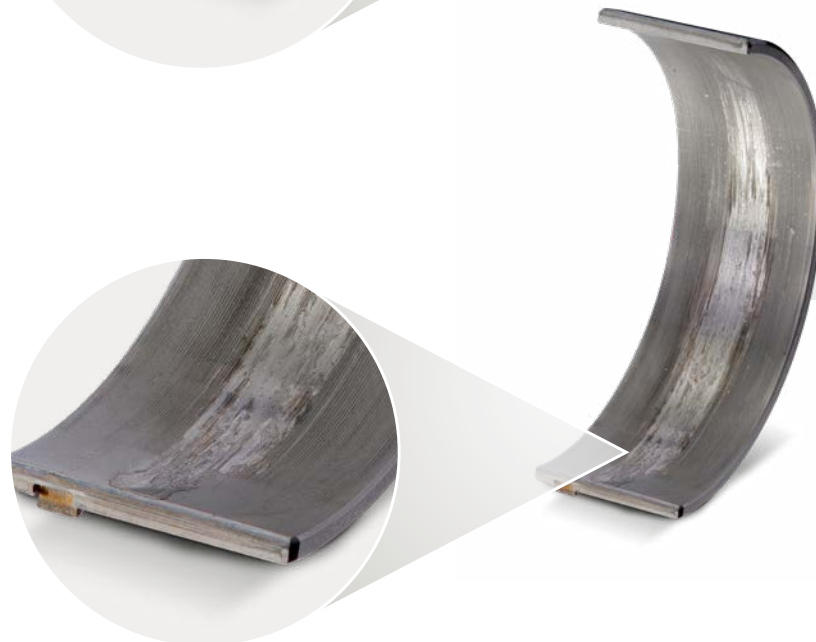
BESCHREIBUNG

- glänzende, glatte Mischreibungsspuren vor allem im Hauptlastbereich
- Laufschrift- oder Gleitschriftverschiebungen bis in den Freilegungsbereich, meist in Drehrichtung zungenförmig
- Riefenbildung



**Deckelseitige Pleuellagerschale
Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff**

In der Lagermitte ist eine deutlich glänzende Mischreibungsspur mit einhergehender Riefenbildung erkennbar. Es findet eine Verschiebung des Tragbildes bis in den Freilegungsbereich statt.



**Stangenseitige Pleuellagerschale
Stahl-Messing-Verbundwerkstoff
mit Sputter-Beschichtung**

Eine glänzende Mischreibungsspur, mit einer teilweise einhergehenden Riefenbildung, ist erkennbar. Die Sputterschicht ist bis in den Freilegungsbereich verschoben. Der Bereich mit bereits gefressener Sputterschicht ist aufgeschmolzen.

BEURTEILUNG

Anreiber können aus Anlaufspuren hervorgehen, wenn sich die Mischreibungseinwirkung intensiviert. Handelt es sich hierbei um einen vorübergehenden Zustand, können sie wieder eingeebnet werden, die Funktionstüchtigkeit des Lagers ist nicht weiter eingeschränkt. Dies zu beurteilen, ist allerdings sehr schwer.

Ist der Zustand der Mischreibung von Dauer, verfestigt sich der Anreiber und es kann zur Riefenbildung am Zapfen kommen. Die Folge sind Fresser an den betroffenen Lagerschalen, wobei die Lagerschale durch thermische Belastung mit dem Zapfen verschleißt.

MÖGLICHE URSACHEN

- Ölbohrungen nicht freiliegend: Grund kann falscher Einbau der Lagerschalen oder Verstopfung der Ölbohrungen sein – letzteres ist häufig beim Verwenden von biologischen Kraftstoffen der Fall
 - Schmierstoffspalt zu gering: dadurch kann kein tragfähiger Schmierstofffilm ausgebildet werden – Ursache: Form- und Geometrieabweichungen von Welle oder Zapfen, oder Biegung der Kurbelwelle
 - Schmierstoffspalt zu groß: hydrodynamischer Druck zum Aufbau des tragfähigen Schmierfilms wird nicht erreicht
 - Ölstand oder Öldruck zu niedrig
 - verstopfter Ölfilter
 - defekte Ölpumpe
 - Leckage in Ölleitungen
 - Überbelastung der Lager: Beanspruchung höher als ausgelegt – Ursachen: z. B. Chip-Tuning oder Kolbenfresser
 - Partikeleinwirkung: Partikel geraten in den Lagerspalt und rufen Anreiber an Zapfen und Lager hervor. Bei Einbettung oder Riefenbildung werden Ränder aufgeworfen – Folge: stark erhöhte Mischreibung
-

ABHILFE

Anreiber können sich zu Lagerfressern weiterentwickeln. Daher ist es wichtig, die Lager zu tauschen und die Ursache zu beheben:

- überprüfen, ob alle Ölbohrungen frei liegen und keine Verstopfung vorliegt
- tatsächliches Lagerspiel überprüfen: liegt es nicht im Toleranzbereich, sind häufig Form- und Geometriefehler die Ursache (siehe Kapitel: „2.5 Spezialfälle“)
- Funktionsfähigkeit des Ölfilters überprüfen und Wechsel von Ölfilter und Öl stets nach Herstellervorgaben durchführen
- Ölstand und Öldruck überprüfen und eventuell nachregulieren
- Funktionsfähigkeit der Ölpumpe überprüfen
- Ölleitungen auf eventuelle Leckagen überprüfen
- Belastung auf einzelne Lager überprüfen
- gesamten Lagersatz auf Partikeleinbettungen oder Riefen untersuchen: falls vorhanden, hat die Partikeleinwirkung möglicherweise zur Bildung von Anreibern geführt (siehe Kapitel: „3. Schäden durch Partikeleinwirkung“)

2.4 FRESSER

BESCHREIBUNG

- herausgerissene Werkstoffbereiche
- starke Riefenbildung und Deformation
- Freilegung sowie Aufrauhung und Zerklüftung
- Spreizmaßeinfall im Vergleich zu ungefressenen Nachbarlagerschalen mit bloßem Auge sichtbar
- Überhitzungserscheinungen: z. B. Aufschmelzungen des Lagerwerkstoffs und Verfärbungen, treten häufig im Zusammenhang mit Fressern auf



Untere Hauptlagerschale Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff

Eine Aufschmelzung und Verschiebung des Lagermaterials über die Lagerkante hinaus sowie eine zerklüftete Oberfläche mit herausgerissenen Werkstoffbereichen, liegt vor.

BEURTEILUNG

Hohe Temperaturen in Bereichen starker Mischreibung führen zu lokalen Verschweißungen zwischen Zapfen und Lager. Diese Verschweißungen brechen wieder auf, wodurch das im Vergleich zur Kurbelwelle weichere Lagermaterial herausgerissen wird. Hierfür ist ein akuter Schmierstoffmangel die Ursache. Die dadurch verursachte Temperaturentwicklung führt zu

Überhitzungsschäden – eine häufige Begleiterscheinung von Lagerfressern. An benachbarten Lagern können durch den in den Schmierstoffkreislauf eingeschleusten Abrieb Schäden durch Partikeleinwirkung oder Anreiber entstehen. Vorstufen eines Lagerfressers sind Anreiber.

MÖGLICHE URSACHEN

- Ölbohrungen nicht freiliegend: Grund kann falscher Einbau der Lagerschalen oder Verstopfung der Ölbohrungen sein – letzteres ist häufig beim Verwenden von biologischen Kraftstoffen der Fall
 - Schmierstoffspalt zu gering: dadurch kann kein tragfähiger Schmierstofffilm ausgebildet werden – Ursache: Form- und Geometrieabweichungen von Welle oder Zapfen, oder Biegung der Kurbelwelle
 - Schmierstoffspalt zu groß: hydrodynamischer Druck zum Aufbau des tragfähigen Schmierfilms wird nicht erreicht
 - Ölstand oder Öldruck zu niedrig
 - verstopfter Ölfilter
 - defekte Ölpumpe
 - Leckage in Ölleitungen
 - Überbelastung der Lager: Beanspruchung höher als ausgelegt – Ursachen: z. B. Chip-Tuning oder Kolbenfresser
 - Partikeleinwirkung: Partikel geraten in den Lagerspalt und rufen Anreiber an Zapfen und Lager hervor. Bei Einbettung oder Riefenbildung werden Ränder aufgeworfen – Folge: stark erhöhte Mischreibung
-

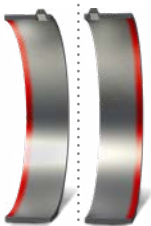
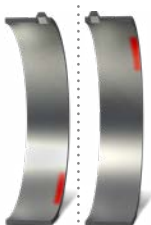
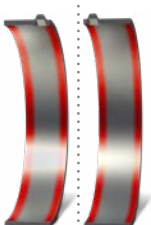
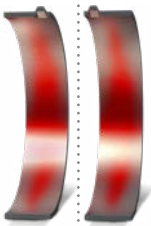
ABHILFE

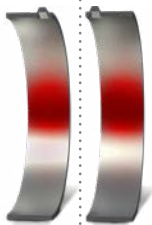
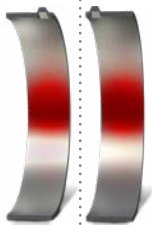
Fresser gehören zu den schwerwiegendsten Lagerschäden. Das Lager ist zerstört und muss ausgetauscht werden. Wird das Lager weiter betrieben, können weitere Motorkomponenten beschädigt werden.

- überprüfen, ob alle Ölbohrungen frei liegen und keine Verstopfung vorliegt
- tatsächliches Lagerspiel überprüfen: liegt es nicht im Toleranzbereich, sind häufig Form- und Geometriefehler die Ursache (siehe Kapitel: „2.5 Spezialfälle“)
- Funktionsfähigkeit des Ölfilters überprüfen und Wechsel von Ölfilter und Öl stets nach Herstellervorgaben durchführen
- Ölstand und Öldruck überprüfen und eventuell nachregulieren
- Funktionsfähigkeit der Ölpumpe überprüfen
- Ölleitungen auf eventuelle Leckagen überprüfen
- Belastung auf einzelne Lager überprüfen
- gesamten Lagersatz auf Partikeleinbettungen oder Riefen untersuchen: falls vorhanden, hat die Partikeleinwirkung möglicherweise zu Bildung von Anreibern geführt (siehe Kapitel: „3. Schäden durch Partikeleinwirkung“)

2.5 SPEZIALFÄLLE

Es gibt einige Fälle, bei denen Lagerschalen ein spezielles Tragbild aufweisen. Mithilfe nachfolgender Schadenspiktogramme kann ein mögliches Schadensbild einer Schadensart zugeordnet werden.

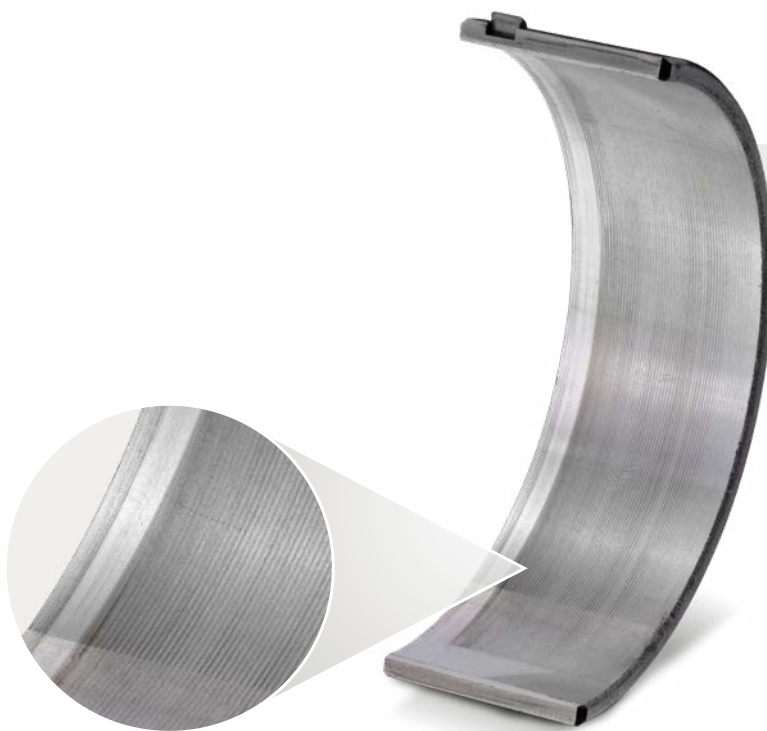
Untere Lagerschale	Obere Lagerschale	Kapitel
		2.5.1 Einseitiger Kantentrag • an Ober- und Unterschale jeweils auf der gleichen Seite
		2.5.2 Einseitig-wechselseitiger Kantentrag • an Ober- und Unterschale diagonal versetzt • verschiedene Bereiche können unterschiedlich stark ausgeprägt sein
		2.5.3 Beidseitiger Kantentrag • an Ober- und Unterschale jeweils beidseitig
		2.5.4 Breite Verschleißspur in Lagermitte • an Ober- und Unterschale meist gleich stark ausgeprägt • bei Hauptlagerschalen in der oberen Lagerschalen durch Ölnut kein ausgeprägtes Verschleißbild
		2.5.5 Streifenartiger Verschleiß in Lagermitte • an Ober- und Unterschale meist gleich stark ausgeprägt • bei oberen Hauptlagerschalen mit Ölnut kein ausgeprägtes Verschleißbild

Untere Lagerschale	Obere Lagerschale	Kapitel
		2.5.6 Verschleiß an gegenüberliegenden Bereichen der Trennflächen
		2.5.7 Beidseitiger Verschleiß an den Bereichen der Trennflächen
		2.5.8 Verengte Verschleißzonen im Scheitel der Lagerschale
		2.5.9 Schmale verschleißfreie Streifen an Lagerrändern • können einseitig oder beidseitig auftreten

2.5.1 EINSEITIGER KANTENTRAG

BESCHREIBUNG

- glänzender, heller Verschleißstreifen einseitig an Lagerkante
- im Bereich des Kantentragens: in schwerwiegenden Fällen sind Ermüdungserscheinungen des Werkstoffs oder Anreiber erkennbar
- Überhitzungserscheinungen wie Verfärbungen durch thermische Belastung oder Ölkohleablagerung im Bereich des Kantentragens auf dem Lagerrücken



Untere Hauptlagerschale Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff

Einseitig verschlissene Lagerkante ist sichtbar. Der Verschleiß tritt in Form des Anpassungs-Einlaufverschleißes auf. Die Funktion des Lagers ist nicht beeinträchtigt.

BEURTEILUNG

Der Schmierstoffspalt an der Lagerkante ist zu gering, sodass der Schmierfilm nicht voll tragfähig ist und es örtlich zu Mischreibung kommt. Hält der Schmierstoffmangel an, steigt die Temperatur durch die entstehende Reibungswärme. Folgen können Überhitzungsschäden wie dunkle Verfärbungen des Lagerrückens sein. Durch das steigende Temperaturniveau intensiviert sich der Schmierstoffmangel weiterhin und der Vorgang verläuft

selbstverstärkend, bis es zu ersten Anreibern und durch erhöhte Flächenpressung zu Ermüdungsschäden kommt.

Je nach Intensität des Verschleißes an den Lagerkanten, ist dies durchaus als üblich zu betrachten. Im Betrieb unterliegt die Kurbelwelle einer Biegung, die sich vor allem auf die äußeren Hauptlager auswirkt. Dementsprechend weisen die äußeren Lager einen stärkeren Kantentrag auf.

MÖGLICHE URSACHEN

- konisch geschliffener Zapfen (Abb. 1)
- konische Lagerbohrung (Abb. 2)
- Ausrundungsradius einseitig zu groß (Abb. 3)
- Biegung der Kurbelwelle: Kurbelwelle wurde bei Einbau nicht ausgewuchtet oder wird durch mechanische Beanspruchung im Betrieb verformt
- nicht fluchtende Lagerbohrung aufgrund falscher Anzugsmomente der Schrauben bei Zusammenbau des Motors oder übermäßigen Verzugs der Hauptlagergasse durch Temperaturentwicklung während des Betriebs
- axialer Schalenversatz



Abb. 1: Konisch geschliffener Zapfen



Abb. 2: Konische Lagerbohrung



Abb. 3: Ausrundungsradius einseitig zu groß

ABHILFE

Lager, die Kantentrag aufweisen, können je nach Verschleißfortschritt weiter verwendet werden.

Intensiviert sich dieses Schadensbild schon nach wenigen Betriebsstunden, sollten Maßnahmen zur Ursachenfeststellung ergriffen werden:

- korrekte Geometrie der Kurbelwelle kontrollieren: Maß, Rundheit, Zylindrizität, Welligkeit, Oberflächenrauigkeit
- korrekte Grundbohrung der Lagergasse kontrollieren: Maß, Rundheit, Zylindrizität, Oberfläche
- Kurbelwelle bei Einbau auswuchten und Beanspruchung der Welle überprüfen
- Fluchtung der Hauptlagerbohrung kontrollieren: bei Zusammenbau eines Motors stets die vorgegebenen Anzugsmomente sowie die Anziehreihenfolge der Schrauben beachten – während dem Betrieb muss der Motor ausreichend gekühlt sein, da auch durch zu hohe Temperaturen Verzüge entstehen können
- Pleuelstangen vor dem Einbau auf Winkligkeit überprüfen

2.5.2 EINSEITIG-WECHSELSEITIGER KANTENTRAG

BESCHREIBUNG

- glänzender, heller Verschleißstreifen – einseitig an Ober- und Unterschale entgegengesetzt
- im Bereich des Kantentragens: erkennbare Ermüdungserscheinungen des Werkstoffs oder Anreiber möglich
- Überhitzungserscheinungen wie Verfärbungen durch thermische Belastung oder Ölkohleablagerung im Bereich des Kantentragens auf dem Lagerrücken möglich



**Stangenseitige Pleuellagerschale
Stahl-Messing-Verbundwerkstoff
mit Sputter-Beschichtung**



**Deckelseitige Pleuellagerschale
Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff**

Das diagonal versetzte Tragbild ist zu erkennen. Die Intensität des Verschleißes ist an der Lagerkante in verschiedenen Bereichen unterschiedlich stark ausgeprägt. Die Funktion des Lagers ist nicht beeinträchtigt.

BEURTEILUNG

Der Schmierstoffspalt an der Lagerkante ist zu gering, sodass der Schmierfilm nicht voll tragfähig ist und es örtlich zu Mischreibung kommt. Hält der Schmierstoffmangel an, steigt die Temperatur durch die entstehende Reibungswärme. Folge können Überhitzungsschäden wie dunkle Verfärbungen des Lagerrückens sein.

Durch das steigende Temperaturniveau intensiviert sich der Schmierstoffmangel weiterhin und der Vorgang verläuft selbstverstärkend, bis es zu ersten Anreibern und durch erhöhte Flächenpressung zu Ermüdungsschäden kommt.

MÖGLICHE URSACHEN

- Fluchtungsfehler von Zapfen oder Gehäuse (Abb. 1)
- fehlerhafte Ausrundungsradien der Welle
- „Taumeln“ der Pleuelstange (krumm oder verwunden) (Abb. 2)
- Verformung des Kurbelgehäuses

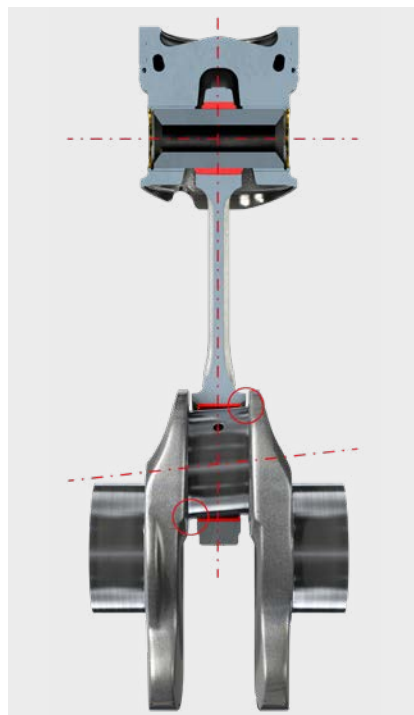


Abb. 1: Fluchtungsfehler



Abb. 2: „Taumeln“ der Pleuelstange

ABHILFE

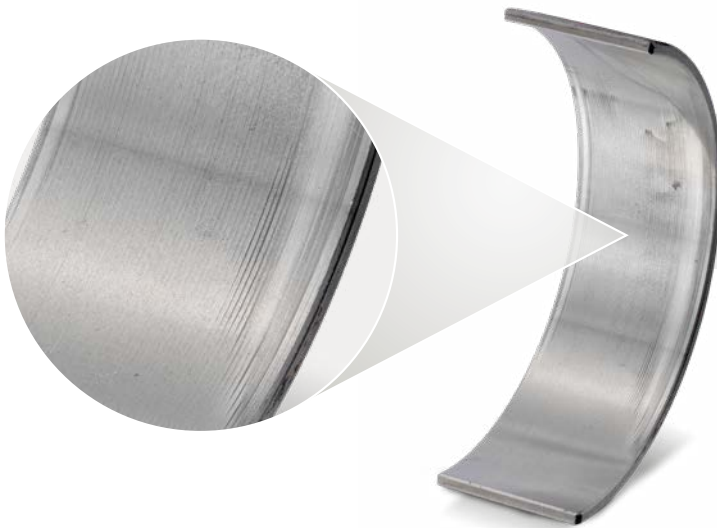
Lager, die Kantentrag aufweisen, können je nach Verschleißfortschritt weiter verwendet werden. Intensiviert sich dieses Schadensbild schon nach wenigen Betriebsstunden, sollten Maßnahmen zur Ursachenfeststellung ergriffen werden:

- korrekte Geometrie der Pleuelstange kontrollieren: Maß, Rundheit, Zylindrizität, Welligkeit, Oberflächenrauigkeit
- korrekte Grundbohrung der Lagerbohrung kontrollieren: Maß, Rundheit, Zylindrizität, Oberfläche
- Pleuellager bei Einbau auswuchten und Beanspruchung der Welle überprüfen
- Fluchtung der Pleuellagerbohrung kontrollieren: bei Zusammenbau eines Motors immer die vorgegebenen Anzugsmomente sowie die Anziehreihenfolge der Schrauben beachten – während dem Betrieb muss der Motor ausreichend gekühlt sein, da auch durch zu hohe Temperaturen Verzüge entstehen können
- Pleuelstangen vor dem Einbau auf Winkligkeit überprüfen

2.5.3 BEIDSEITIGER KANTENTRAG

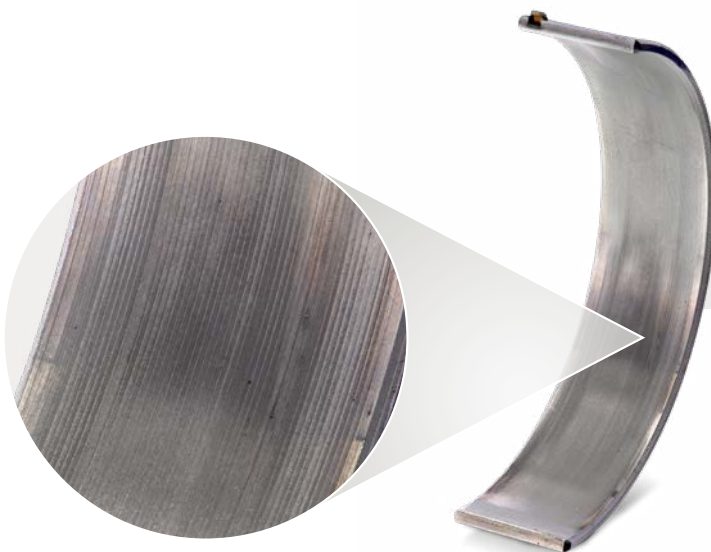
BESCHREIBUNG

- glänzender, heller Verschleißstreifen – beidseitig an den Lagerkanten
- im Bereich des Kantentragens: erkennbare Ermüdungserscheinungen des Werkstoffs oder Anreiber möglich
- Überhitzungserscheinungen wie Verfärbungen durch thermische Belastung oder Ölkohleablagerung im Bereich des Kantentragens auf dem Lagerrücken möglich



**Deckelseitige Pleuellagerschale
Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff**

Beidseitiger Kantentrag im Anfangsstadium – Verschleiß in Form des Anpassungs-Einlaufverschleißes.



**Stangenseitige Pleuellagerschale
Stahl-Messing-Verbundwerkstoff
mit Sputter-Beschichtung**

Beidseitiger Kantentrag im Anfangsstadium – Verschleiß in Form des Anpassungs-Einlaufverschleißes.

BEURTEILUNG

Der Schmierstoffspalt an der Lagerkante ist zu gering, sodass der Schmierfilm nicht voll tragfähig ist und es örtlich zu Mischreibung kommt. Hält der Schmierstoffmangel an, steigt die Temperatur durch die entstehende Reibungswärme. Folge können Überhitzungsschäden wie dunkle Verfärbungen des Lagerrückens sein. Durch das steigende Temperaturniveau intensiviert sich der Schmierstoffmangel weiterhin und der Vorgang verläuft selbstver-

stärkend, bis es zu ersten Anreibern und durch erhöhte Flächenpressung zu Ermüdungsschäden in diesem Bereich kommt. Beidseitiges Kantentragen tritt sehr oft im Hauptlastbereich eines Lagers auf. Dies ist, je nach Intensität des Verschleißes, als üblich zu betrachten und stellt keine Funktionsbeeinträchtigung dar.

MÖGLICHE URSACHEN

- konkave Zapfenform (Abb. 1)
- konkave Lagerbohrung (Abb. 2)
- zu großer Ausrundungsradius zwischen Lagerzapfen und Kurbelwange (Abb. 3)
- zu großes axiales Spiel, „Taumeln“ der Pleuelstange
- schräg geschliffener Zapfen (Abb. 4)



Abb. 1: Konkave Zapfenform



Abb. 2: Konkave Lagerbohrung



Abb. 3: Zu großer Ausrundungsradius

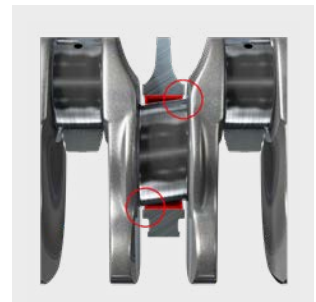


Abb. 4: Schräg geschliffener Zapfen

ABHILFE

Lager, die Kantentrag aufweisen, können je nach Verschleißfortschritt weiter verwendet werden. Intensiviert sich dieses Schadensbild schon nach wenigen Betriebsstunden, sollten Maßnahmen zur Ursachenfeststellung ergriffen werden:

- korrekte Geometrie der Pleuelstange kontrollieren: Maß, Rundheit, Zylindrizität, Welligkeit, Oberflächenrauigkeit
- korrekte Grundbohrung der Lagerbohrung kontrollieren: Maß, Rundheit, Zylindrizität, Oberfläche
- Pleuelstange bei Einbau auswuchten und Beanspruchung der Pleuelstange überprüfen
- Fluchtung der Pleuelbohrung kontrollieren: bei Zusammenbau eines Motors stets die vorgegebenen Anzugsmomente sowie die Anziehreihenfolge der Pleuelstangen beachten – während dem Betrieb muss der Motor ausreichend gekühlt sein, da auch durch zu hohe Temperaturen Verzüge entstehen können

2.5.4 BREITE VERSCHLEISSPUR IN LAGERMITTE IN UMFANGSRICHTUNG

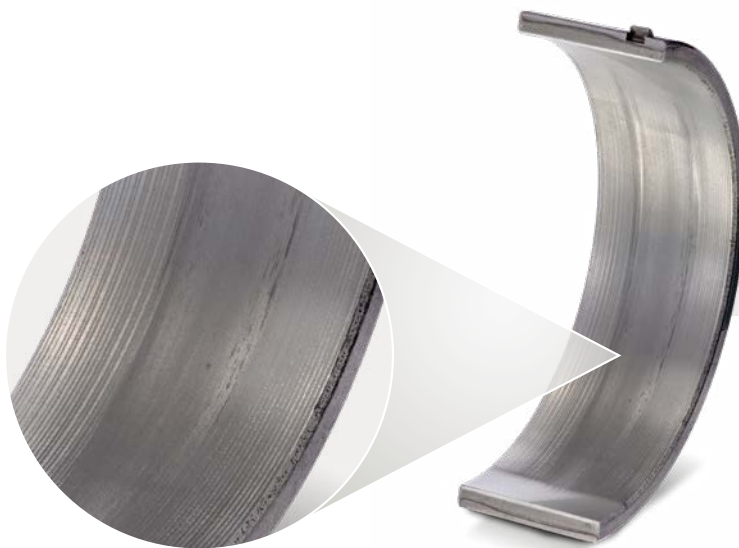
BESCHREIBUNG

- intensive Verschleißspur in der Lagermitte in Umfangsrichtung
- weniger verschlissene Lagerränder
- örtliche Werkstoffverschiebungen in Umfangsrichtung
- in schwerwiegenden Fällen: Ermüdungserscheinungen des Werkstoffs und Anreiber sichtbar



Untere Hauptlagerschal Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff

Es sind deutliche Verschleißspuren in der Lagermitte mit Auslauf zur Freilegung hin zu erkennen. Sie sind bereits als Anreiber in der Laufschiene ausgeprägt.



Untere Hauptlagerschale Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff

Hier ist ein verstärktes Tragbild in der Lagermitte mit Auslauf zur Freilegung hin zu erkennen. In der Form entspricht das Tragbild noch einem Anpassungs-Einlaufverschleiß.

BEURTEILUNG

Der Schmierstoffspalt ist in der Lagermitte zu gering, sodass der Schmierfilm nicht voll tragfähig ist und es örtlich zu Mischreibung kommt. Hält der Schmierstoffmangel an, steigt die Temperatur durch die entstehende Reibungswärme.

Durch das steigende Temperaturniveau intensiviert sich der Schmierstoffmangel. Dieser Vorgang verläuft selbstverstärkend, bis es zu ersten Anreibern und durch erhöhte Flächenpressung zu Ermüdungsschäden in diesem Bereich kommt.

MÖGLICHE URSACHEN

- zu stark konvexe Zapfenform (Abb. 1)
- konvexe Lagerbohrung (Abb. 2)
- Schmierstoffmangel

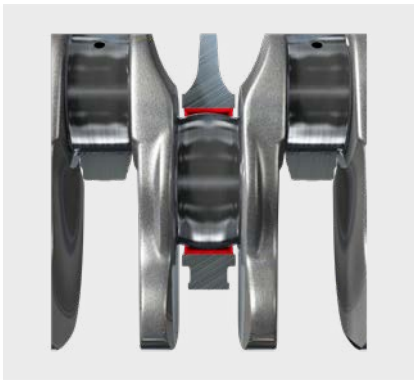


Abb. 1: Zu stark konvexe Zapfenform

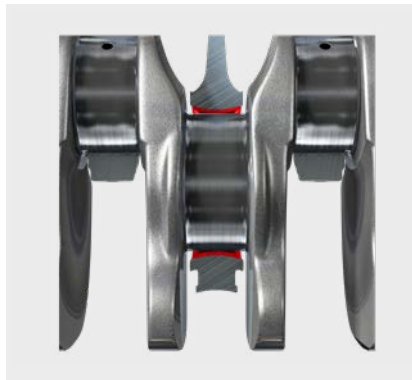


Abb. 2: Konvexe Lagerbohrung

ABHILFE

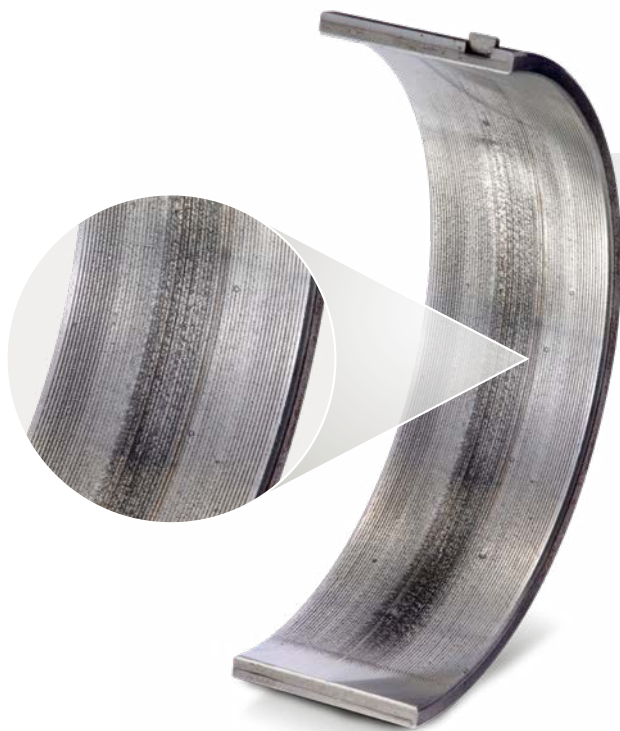
Die Lager können je nach Verschleißfortschritt weiter verwendet werden. Sobald sich Anreiber ausbilden oder Anzeichen von Werkstoffermüdungen sichtbar werden, sollten sie ausgetauscht und Maßnahmen zur Ursachenfeststellung ergriffen werden:

- korrekte Geometrie der Pleuellagerzapfenform kontrollieren: Maß, Rundheit, Zylindrizität, Welligkeit, Oberflächenrauigkeit
- korrekte Grundbohrung der Pleuellagerbohrung kontrollieren: Maß, Rundheit, Zylindrizität, Oberfläche
- Pleuellager beim Einbau auswuchten und Beanspruchung der Welle überprüfen
- Fluchtung der Pleuellagerbohrung kontrollieren: beim Zusammenbau eines Motors stets die vorgegebenen Anzugsmomente sowie die Anziehreihenfolge der Schrauben beachten – während dem Betrieb muss der Motor ausreichend gekühlt sein, da auch durch zu hohe Temperaturen Verzüge entstehen können
- Pleuellager vor dem Einbau auf Winkligkeit überprüfen
- Schmierstoffsystem überprüfen (siehe Kapitel: „2.3 Anreiber“)

2.5.5 STREIFENARTIGER VERSCHLEISS IN LAGERMITTE

BESCHREIBUNG

- streifenartiger Verschleiß in der Lagermitte in Fortsetzung der Ölnut – beim Pleuellager in beiden Lagerschalen im Bereich der Ölbohrung am Zapfen
- teilweise mit umlaufenden Kratzern
- weniger verschlissene Lagerränder
- eng begrenzte Verschleißzone
- in schwerwiegenden Fällen: Ermüdungserscheinungen des Werkstoffs und Anreiber sichtbar



Untere Hauptlagerschale Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff

Es sind scharf begrenzte Streifen in der Lagermitte zu erkennen. Dies entspricht der Form, der in der oberen Hauptlagerschale liegenden Ölnut. Die Verschleißspuren treten in Form des Anpassungs-Einlaufverschleißes auf.

BEURTEILUNG

Diese Verschleißform kann auf eine fehlende oder nicht ausreichend verrundete Ölbohrung (Abb. 1) zurückgehen. Dabei ist der Verschleiß in der unteren Lagerschale bei Hauptlagern oder in beiden Lagerschalen bei Pleuellagern im Bereich der Ölbohrung am Zapfen stark ausgeprägt.

Eine zweite Entstehungsweise, die zu demselben Schadensbild führen kann, ist der sogenannte Kammverschleiß (Abb. 2). Dieser ist Folge des geringeren Zapfenverschleißes im Bereich der Ölnut.

Da durch die Ölnut kein metallischer Kontakt zwischen Zapfen und Lager vorhanden ist, findet hier kein Materialabtrag statt und es bildet sich eine Erhöhung auf dem Zapfen. Diese Erhöhung führt zu einem streifenartigen Verschleiß in der Lagerschale ohne Ölnut.

Beide Vorgänge können zu Anreibern und Ermüdungsschäden führen.

MÖGLICHE URSACHEN

- fehlende oder nicht ausreichende Verrundung der Ölbohrung (Abb. 1)
- ungünstige Materialpaarung von Lager und Zapfen führt zu geringerem Verschleiß des Zapfens im Bereich der Ölnut (Abb. 2)

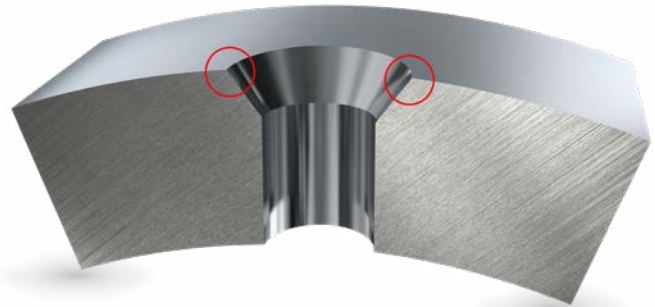
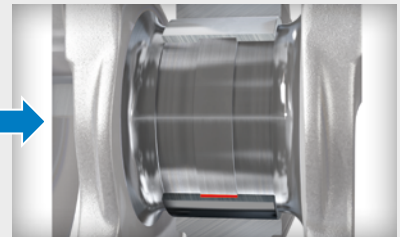
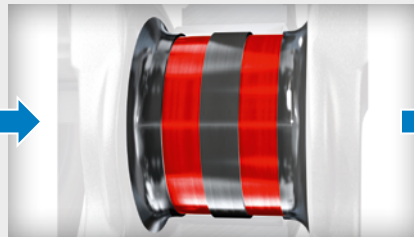
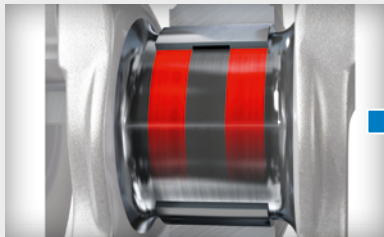


Abb. 1: Fehlende oder nicht ausreichende Verrundung der Ölbohrung



(1) Im Bereich der Ölnut in der oberen Hauptlagerschale kommt es zu keinem metallischen Kontakt. Der Verschleiß des Zapfens ist geringer als in den Bereichen, die in Kontakt mit der Lagerfläche stehen.

(2) Durch den verringerten Verschleiß des Zapfens im Bereich der Ölnut kann sich eine minimale Erhöhung bilden (hier zum verbesserten Verständnis übertrieben dargestellt).

(3) Im unteren Hauptlager, das keine Ölbohrung besitzt, verursacht diese Erhöhung einen erhöhten Verschleiß in der Lagermitte. Dies führt zu dem typischen streifenartigen Verschleißbild des Kammverschleißes.

Abb. 2: Ungünstige Materialpaarungen von Lager und Zapfen

ABHILFE

Die Lager können je nach Verschleißfortschritt weiter verwendet werden. Sobald sich Anreißer ausbilden oder Anzeichen von Werkstoffermüdung sichtbar werden, sollten sie ausgetauscht und Maßnahmen zur Ursachenfeststellung ergriffen werden:

- Kontrolle und Nacharbeit des Ölbohrungsaustritts
- Wellenzapfen auf Erhöhung im Bereich der Ölbohrung überprüfen
- Werkstoffpaarung von Zapfen und Lager überprüfen (Härte Welle / Lager)
- Rauheit des Zapfens überprüfen

2.5.6 VERSCHLEISS AN GEGENÜBERLIEGENDEN BEREICHEN DER TRENNFLÄCHEN

BESCHREIBUNG

- starke Verschleißspuren im Bereich der diagonal gegenüberliegenden Freilegungen
- Scheitel der Lagerschale deutlich weniger verschlissen
- in schwerwiegenden Fällen: Ermüdungserscheinungen des Werkstoffs und Anreiber sichtbar



Untere Hauptlagerschale Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff

Es ist ein ausgeprägter Verschleiß in der Freilegung sichtbar, während der Lagerscheitel deutlich weniger verschlissen ist.

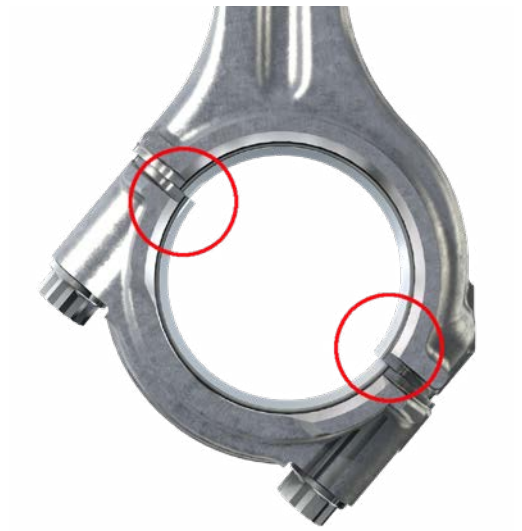
BEURTEILUNG

Wenn Lagerschalen in diesem Bereich tragen, liegt ein schwerwiegender Fehler vor. Ursächlich für den auftretenden Verschleiß kann ein Versatz der Lagerschalen zueinander, bedingt durch einen Montagefehler, sein. Das Lagerspiel ist durch den Deckelversatz örtlich zu gering, sodass der Schmierfilm nicht voll tragfähig ist und es stellenweise zu Mischreibung kommt. Hält der Schmierstoffmangel an, steigt die Temperatur durch die entstehende Reibungswärme.

Durch das steigende Temperaturniveau intensiviert sich der Schmierstoffmangel weiterhin und der Vorgang verläuft selbstverstärkend, bis es zu ersten Anreibern und durch erhöhte Flächenpressung zu Ermüdungsschäden kommt.

MÖGLICHE URSACHEN

- falscher Lagerdeckel verbaut
- Lagerdeckel um 180 Grad verdreht eingebaut
- unpassendes Werkzeug oder falsche Passschrauben benutzt
- falsche Anziehrefolgenfolge oder falsches Anzugsmoment der Schrauben



ABHILFE

Das Lager muss getauscht und die Ursache behoben werden, da das Lager nicht dafür ausgelegt ist, in diesem Bereich zu tragen:

- auf Zuordnung von Lagerschalen zu Zylinder achten
- passende Schrauben nur mit geeignetem Werkzeug montieren
- Schraubenanzug bezüglich Anzugsmomenten und Anziehrefolgenfolge nach Herstellerangaben durchführen
- Grundbohrung überprüfen: Maß, Rundheit, Zylindrizität, Oberfläche müssen innerhalb bestimmter vorgegebener Toleranzen liegen

2.5.7 BEIDSEITIGER VERSCHLEISS AN DEN BEREICHEN DER TRENNFLÄCHEN

BESCHREIBUNG

- starke Verschleißspuren im Bereich der beiden Freilegungen an Ober- und Unterschale
- Scheitel der Lagerschalen deutlich weniger verschlissen
- in schwerwiegenden Fällen: Ermüdungserscheinungen des Werkstoffs und Anreiber sichtbar



Untere Hauptlagerschale Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff

Stark ausgeprägte Verschleißspuren sind beidseitig im Bereich der Trennflächen zu erkennen. Der Scheitel / Hauptlastbereich der Lagerschale ist dabei deutlich weniger verschlissen.

BEURTEILUNG

Wenn Lagerschalen in diesem Bereich tragen, liegt ein schwerwiegender Fehler vor. Das Erscheinungsbild kann durch eine hochovale Grundbohrung verursacht werden. Das Lagerspiel wird hierdurch im Bereich der Teilfläche verringert, sodass der Schmierfilm nicht voll tragfähig ist und es in den Freilegungen zu Mischreibung kommt. Hält der Schmierstoffmangel an, steigt die Temperatur durch die entstehende Reibungswärme.

Durch das steigende Temperaturniveau intensiviert sich der Schmierstoffmangel weiterhin und der Vorgang verläuft selbstverstärkend, bis es zu ersten Anreibern und durch erhöhte Flächenpressung zu Ermüdungsschäden in diesem Bereich kommt.

MÖGLICHE URSACHEN

- ovale Verformung der Lagerbohrung durch thermische oder mechanische Belastung
- Pleuelstange mit ovalem Pleuelauge: bereits gebrauchte Pleuelstange wurde ohne notwendige Nacharbeiten wieder eingebaut
- falscher Schraubenanzug beim Bohren der Grundbohrung



ABHILFE

- Belastung auf Lagerbohrung überprüfen
- Grundbohrung überprüfen: Maß, Rundheit, Zylindrizität, Oberfläche müssen innerhalb bestimmter Toleranzen liegen – gebrauchte Teile vor erneutem Einbau gegebenenfalls nacharbeiten
- Schraubenanzug bezüglich Anzugsmomenten und Anziehreihenfolge nach Herstellerangaben durchführen

2.5.8 VERENGTE VERSCHLEISSZONEN IM SCHEITEL DER LAGERSCHALE

BESCHREIBUNG

- verengte Verschleißspuren im Scheitel der Schale
- stärker ausgeprägt in der hauptbelasteten Schale
- in schwerwiegenden Fällen: Ermüdungserscheinungen des Werkstoffs und Anreiber sichtbar



Obere Hauptlagerschale Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff

Verschleißspuren im Bereich des Scheitels in der Form des Anpassungs-Einlaufverschleißes erkennbar. In übrigen Teil der Lagerlauffläche sind keine Betriebsspuren sichtbar.

BEURTEILUNG

Das Erscheinungsbild wird durch eine querovale Grundbohrung verursacht. Das Lagerspiel wird hierdurch im Scheitel verringert, sodass der Schmierfilm nicht voll tragfähig ist und es stellenweise zu Mischreibung kommt. Hält der Schmierstoffmangel an, steigt die Temperatur durch die entstehende Reibungswärme.

Durch das steigende Temperaturniveau intensiviert sich der Schmierstoffmangel weiterhin und der Vorgang verläuft selbstverstärkend, bis es zu ersten Anreibern und durch erhöhte Flächenpressung zu Ermüdungsschäden in diesem Bereich kommt.

MÖGLICHE URSACHEN

- Setzen des Pleuels bzw. der Gehäusestoßflächen
- falscher Schraubenanzug beim Bohren der Grundbohrung
- extreme Druckbelastung des Pleuels



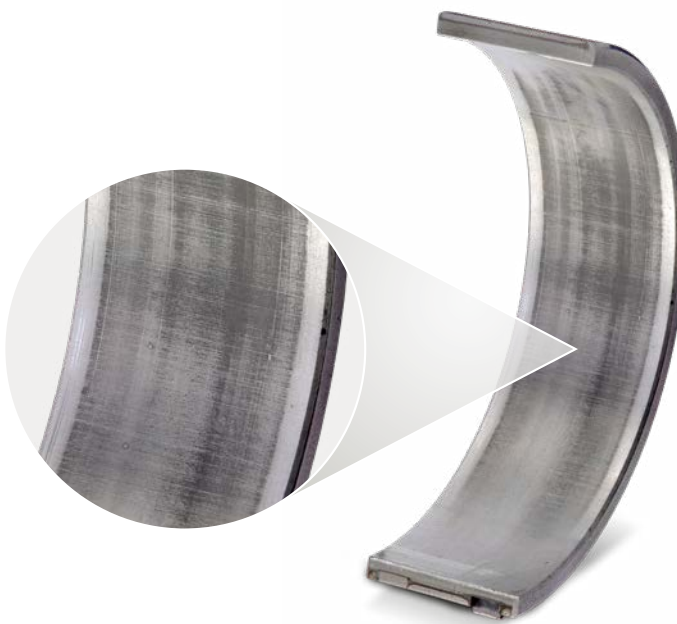
ABHILFE

- korrekte Grundbohrung der Lagergasse kontrollieren: Maß, Rundheit, Zylindrizität, Oberfläche
- Schraubenanzug bezüglich Anzugsmomenten und Anziehreihenfolge nach Herstellerangaben durchführen
- Belastung auf Pleuel überprüfen

2.5.9 SCHMALE VERSCHLEISSFREIE STREIFEN AN LAGERRÄNDERN

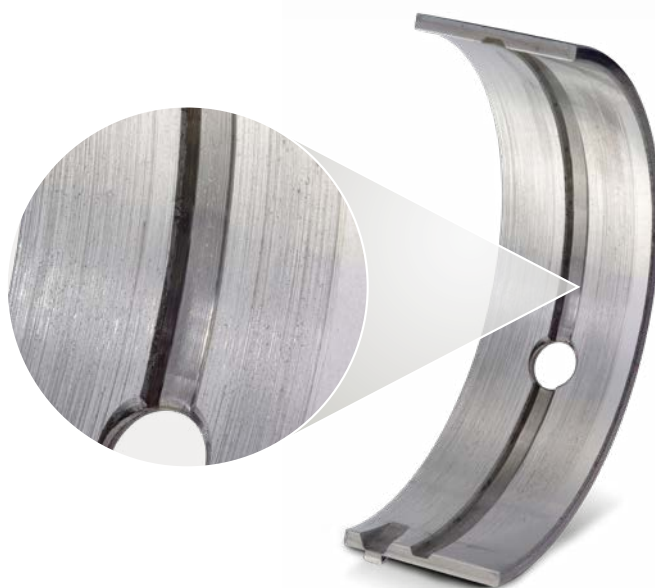
BESCHREIBUNG

- schmale verschleißfreie Streifen an Lagerkanten
- keine Anlaufspuren in diesem Bereich sichtbar
- Bearbeitungsstruktur aus der Fertigung in diesem Bereich noch erkennbar
- deutliche Abgrenzung zwischen verschleißfreiem Streifen und verschlissenen Bereich erkennbar



Untere Hauptlagerschale Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff

Zwei verschleißfreie Streifen sind an den Lagerkanten ohne sichtbare Tragspuren erkennbar. Der übrige Teil des Lagers weist eine leicht schwärzliche Verfärbung auf, eine mögliche Folge von Korrosion oder Verschleiß.



Obere Hauptlagerschale Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff

Ein verschleißfreier Streifen ist an der Lagerkante ohne sichtbare Tragspuren erkennbar. Der übrige Teil des Lagers weist ausgeprägte Riefenbildung auf.

BEURTEILUNG

Durch einseitigen (Abb. 1) oder beidseitigen (Abb. 2) axialen Überstand der Lagerschale entstehen schmale verschleißfreie Streifen an Lagerkanten, die auch keinen typischen Anpassungs-Einlaufverschleiß aufweisen. In diesen Bereichen kommt es unabhängig von der Drehzahl des Zapfens nie zum metallischen Kontakt.

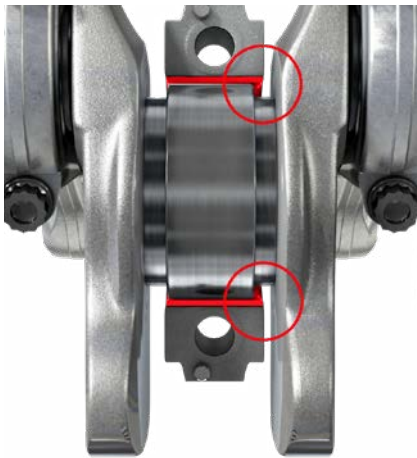


Abb. 1: Einseitiger axialer Überstand

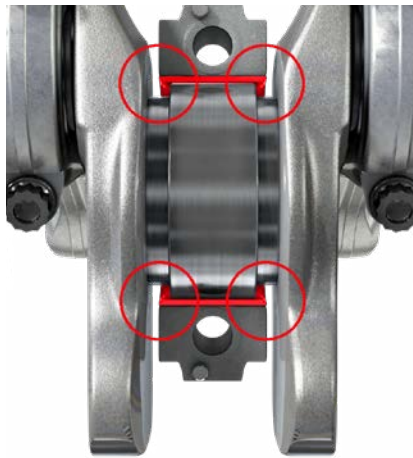


Abb. 2: Beidseitiger axialer Überstand

MÖGLICHE URSACHEN

- Geometrieabweichung des Zapfens
- falsche Lagerbreite gewählt
- Einbauspiel (Versatz Welle / Zapfen)

ABHILFE

Die Lager können je nach Verschleißfortschritt weiter verwendet werden. Sobald sich Anreißer ausbilden oder Anzeichen von Werkstoffermüdung sichtbar werden, sollten sie ausgetauscht werden und Maßnahmen zur Ursachenfeststellung ergriffen werden:

- korrekte Geometrie der Kurbelwelle vor Einbau kontrollieren:
Maß, Rundheit
- Kurbelwelle tauschen oder neue Lager, passend zur Kurbelwellengeometrie, einbauen



Um Aufschluss über die Partikelherkunft zu erlangen, können eine Analyse des Lagers und eine Probenentnahme des Öls sinnvoll sein.

MÖGLICHE URSACHEN

- unsaubere Montage: durch Unachtsamkeit oder ungenügende Reinigung der Motorkomponenten bei der Montage kann Schmutz in den Motorblock gelangen
- Rückstände, wie Metallspäne oder zurückgebliebenes Strahlgut aus der Fertigung oder Überholung, können im Motorblock Ablagerungen bilden, diese lösen sich im Betrieb – oftmals sind es auch Ablagerungen aus Anbauteilen, wie z. B. dem Ölkühler, die bei der Motoreninstandsetzung nicht ausreichend gereinigt wurden
- Schäden an Dichtungen im Motorbereich: wird eine Dichtung übermäßig belastet oder beim Einbau beschädigt, erfüllt sie nicht mehr ihre Funktion und Partikel können eindringen
- mangelnde Wartung des Schmierstoffsystems: überzogene Inspektionsintervalle oder verstopfte ÖlfILTER können zu Schmutzanreicherung im Öl führen
- Kavitation: Partikel werden aus dem Lagermaterial gebrochen und durch das Öl weiter getragen – diese können, je nach Größe, im Lager oder im Nachbarlager zu Riefenbildung oder feinen Einbettungen führen
- Fresser: gefressene Motorkomponenten (Kolben, Lagerschalen) schleusen eine Vielzahl an Partikeln in den Schmierstoffkreislauf ein, die wiederum zu Schäden an anderen Komponenten führen können
- Ermüdungsschäden: liegen Materialausbrüche an Motorkomponenten vor, kann ausgebrochenes Material durch das Öl weiter in die Lager getragen werden und hier Schäden verursachen

ABHILFE

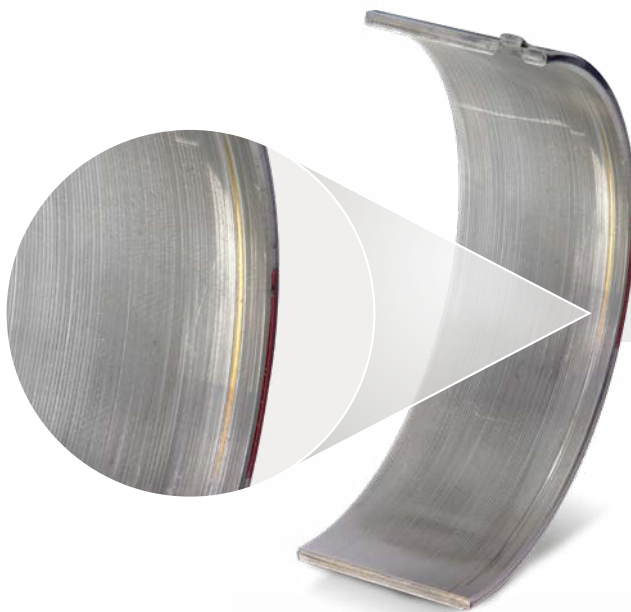
Generell können Lager trotz Riefenbildung oder eingebetteter Partikel weiter verwendet werden. Dies hängt allerdings vom Ausmaß der Schädigung ab. Sind beispielsweise zahlreiche große Partikeleindrücke mit bereits einsetzenden Mischreibungsspuren durch Materialaufwürfe vorhanden, ist es ratsam, das Lager zu wechseln. Feine Partikeleindrücke schränken die Funktion des Lagers nicht ein. In beiden Fällen sollte dennoch die Ursache geklärt werden:

- Reinigung aller Komponenten vor Montage: wichtig ist, dass alle Ölbohrungen in Welle und Gehäuse vor Inbetriebnahme ausgespült werden und Lagersitzflächen gereinigt werden, damit kleine Späne und Partikel aus der Fertigung bzw. Instandsetzung entfernt werden – auch Ölkanäle von Anbauteilen, wie z. B. Ölkühler und Turbolader, müssen gründlich gereinigt werden
- Dichtungen auf Funktionalität überprüfen
- Wechsel von ÖLFILTER und Öl stets nach Herstellerangaben durchführen: darauf achten, dass Inspektionsintervalle eingehalten werden und nur qualitativ ausreichendes Öl und ÖLFILTER verwendet werden
- Filtrierung der Ansaugluft: Filter regelmäßig warten, gegebenenfalls austauschen
- andere Motorkomponenten auf Schäden wie Kavitation, Ermüdung oder Fressern überprüfen – Gleitlagerschäden durch Partikeleinwirkung sind häufig Folgeschäden
- ist kein Partikeleinfluss feststellbar, kann eine Analyse geschädigter Lagerschalen und eine Ölprobe Aufschluss geben: sind noch Partikel in das Lager eingebettet oder im Öl vorhanden, kann deren chemische Zusammensetzung ermittelt werden – handelt es sich z. B. um Material aus der Kurbelwelle, kann hier genauer auf Schäden geprüft werden

3.2 RIEFENBILDUNG

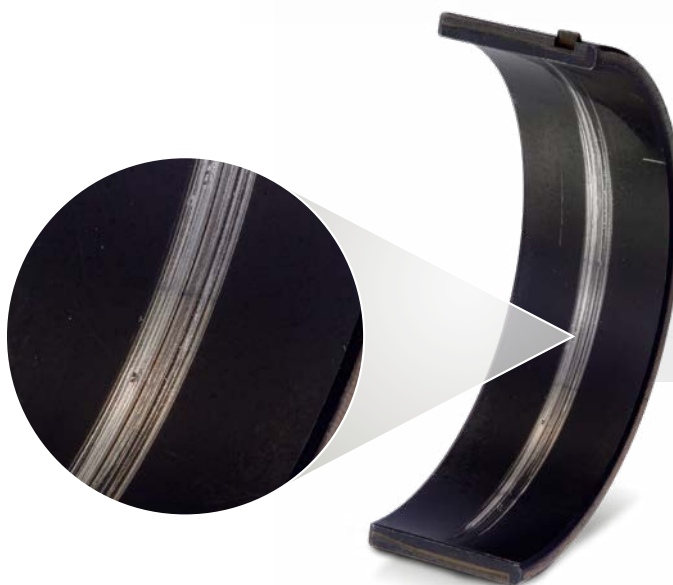
BESCHREIBUNG

- strichartige Vertiefungen in Gleitrichtung mit Materialaufwürfen an Rändern
- Aufwürfe teilweise wieder durch Verschleiß eingeebnet, hell glänzend
- meist im Einklang mit Riefenbildung oder eingebetteten Partikeln in der Kurbelwelle oder Nachbarlagern



**Stangenseitige Pleuellagerschale
Stahl-Messing-Verbundwerkstoff
mit Sputter-Beschichtung**

Die Riefe reicht bis zur Messingschicht.
Es sind helle Verschleißspuren neben den
Riefen durch geglättete Aufwürfe
entstanden.



**Untere Hauptlagerschale Stahl-
Aluminium-Verbundwerkstoff
mit Polymer-Beschichtung**

Die Riefen sind bis zur Aluminium-
Legierungsschicht abgetragen.

BEURTEILUNG

Partikel, die in den Schmierstoffspalt geraten und nicht in das Lagermaterial eingebettet werden, werden mehrfach durch den Spalt gezwängt und verursachen dabei Riefen. Je nach Stärke der dabei aufgeworfenen Ränder können diese im weiteren Betrieb nicht geplättet werden und es erfolgt durch erhöhte Mischreibung ein Temperaturanstieg bei Wellenkontakt.

Dies führt häufig zu Anreibern und Fressern.

Die Riefenbildung kann auch eine Folge von Mischreibungseinwirkungen sein. Hierbei treten die Riefen jedoch fein und flächenförmig und an beiden Gleitpartnern auf.

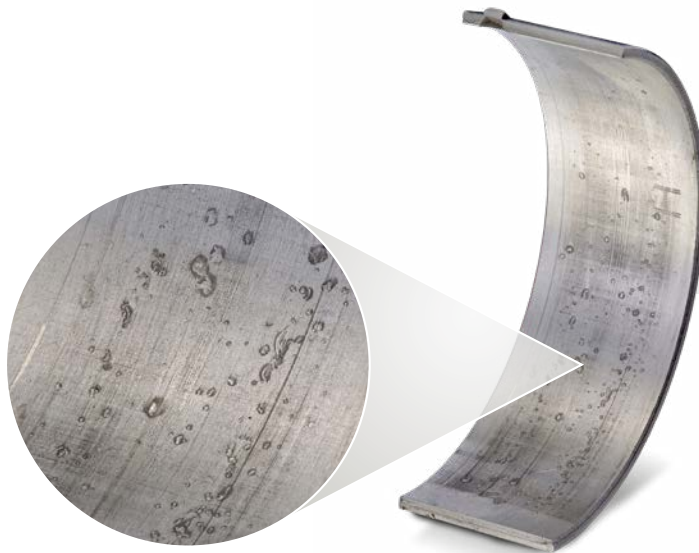
ABHILFE

Wenn Riefen mit starken Aufwürfen an den Rändern vorhanden sind, muss das Lager ausgetauscht werden. Sind jedoch Riefen vorhanden, deren Aufwürfe eingeebnet sind und es ist kein weiterer Partikeleinfluss mehr zu erwarten, können die Lager weiter verwendet werden.

3.3 EINBETTUNG

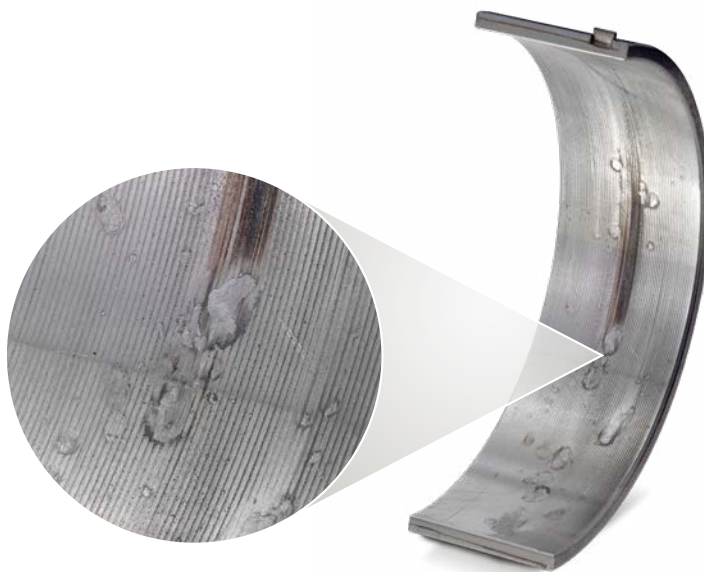
BESCHREIBUNG

- vernarbte Oberfläche
- Partikeleindrücke (teilweise Partikel noch enthalten) umgeben von einem Aufwurf, der durch Verschleiß als hellglänzender Punkt sichtbar ist
- häufig einhergehend mit Riefenbildung im Zapfen und Lager
- in schwerwiegenden Fällen sind von Einbettungen ausgehend Anreißer sichtbar



**Deckelseitige Pleuellagerschale
Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff**

Feine Partikeleindrücke und vereinzelte Riefenbildungen sind sichtbar.



**Untere Hauptlagerschale Stahl-
Aluminium-Verbundwerkstoff**

Große Partikeleindrücke ohne eingebettete Partikel sind sichtbar. Die Partikel haben zu Materialaufwürfen geführt, die einen Anreißer in der Lagermitte hervorgerufen haben.

BEURTEILUNG

Partikel, die in den Schmierstoffspalt geraten, können in das Lagermaterial eingebettet werden. In Abhängigkeit von Dicke der Gleit- / Laufschrift kann man in Tief- und Flacheinbettung unterscheiden. Bei der Tiefeneinbettung werden die Partikel vollständig in die Gleit- bzw. Laufschrift integriert. Dies ist nur möglich, wenn die Partikelgröße kleiner als die Dicke der Schicht ist. Das bei der Einbettung aufgeworfene Lagermaterial wird bei den folgenden Berührungen mit der Welle durch Verschleiß geplättet.

Flacheinbettung findet statt, wenn die Größe des Partikels die Dicke der Schicht übersteigt. Die Partikel werden unvollständig eingebettet und ragen aus der Lagersoberfläche hervor. Sie erzeugen Verschleiß und Riefenbildung auf der Zapfenoberfläche.

Durch Randaufwerfungen oder Überstände von nicht vollständig eingebetteten Partikeln wird der Aufbau des Schmierstofffilms gestört, es kann zu Mischreibungszuständen kommen. Auch der sogenannte Wollabrieb ist eine mögliche Folge. Dabei schneiden die eingebetteten Partikel in die Oberfläche der Welle und entfernen Material (Spanwolke). Die ausgelösten Partikel, die abermals eingebettet werden, treiben den Lagerschaden voran und oftmals ist ein Totalschaden von Zapfen und Lager nicht zu vermeiden.

Eine Folge von Partikeleinbettungen können also Anreißer und Fresser sein.

ABHILFE

Wenn große Partikeleinbettungen in Zusammenhang mit beginnendem Verschleiß von Zapfen und Lager vorhanden sind, muss das Lager getauscht werden. Sind feine Partikeleinbettungen vorhanden, deren Aufwürfe geplättet wurden, und es ist kein weiterer Partikeleinfluss mehr zu erwarten, ist die Funktion des Lagers nicht beeinträchtigt.

3.4 SCHMUTZWANDERSPUR

BESCHREIBUNG

- einzelne, hintereinander liegende Eindrücke sind zu Spuren angeordnet, an deren Ende können noch Partikel eingebettet sein
- in der Regel schräg zur Lagerkante verlaufend
- ausgehend von Ölnuten oder Schmierlöchern
- häufig einhergehend mit Riefenbildung im Zapfen und Riefenbildung / Partikeleinbettung im Lager



Untere Hauptlagerschale Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff

Eine Schmutzwanderspur, ausgehend von der Teilfläche, ist aufgetreten. Mehrere große Partikeleindrücke hintereinander – schräg verlaufend – sind sichtbar. Teilweise sind noch eingebettete Partikel vorhanden.

BEURTEILUNG

Sehr große und harte Partikel, die in den Schmierstoffspalt geraten, können nicht in das Lagermaterial eingebettet werden. Sie werden dann durch den Schmierstoffspalt gezwängt, bleiben dabei allerdings immer wieder hängen. Häufig geht das Erscheinungsbild von Ölnuten oder Ölbohrungen aus, da hier die Partikel eingeschleust wurden. Starke Aufwürfe entlang der Wanderspur führen zu Anreibern und Fressern.

ABHILFE

Wenn starke Aufwürfe entlang der Wanderspur oder Anzeichen eines Anreibers vorhanden sind, muss das Lager ausgetauscht werden. Die Lager können jedoch weiter verwendet werden, wenn die Aufwürfe eingeebnet sind und es keinen weiteren Partikeleinfluss mehr zu befürchten gibt.

3.5 UNTERLEGER AM LAGERRÜCKEN

BESCHREIBUNG

- lokal begrenzte Abweichung des Tragbilds
- heller Verschleißpunkt in der Lauffläche
- oft Partikelrückstände / Eindrücke auf dem Stahlrücken des Lagers
- bei schwerwiegenden Fällen starke Mischreibungsspuren in Form von Anreibern und Ermüdungserscheinungen in Lagerlauffläche erkennbar



Untere Hauptlagerschale Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff

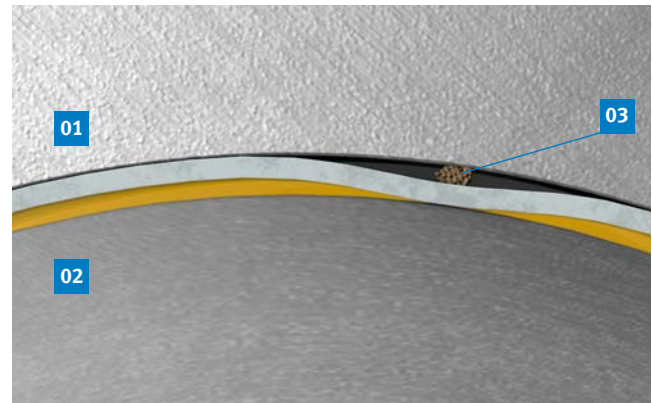
Es sind eine deutliche Abweichung des Tragbilds sowie punktförmiger Verschleiß in der Lauffläche zu erkennen. Die Druckstelle ist durch Partikel am Lagerrücken entstanden.



Lagerrücken

BEURTEILUNG

Durch Schmutz oder Ölrückstände (Ölkohle) am Lagerrücken entstehen örtliche Druckstellen, die auf der Lagerlauffläche erkennbar werden. An der Innenstelle des Lagers erfolgt durch den Druck ein erhöhter Verschleiß gegenüber dem restlichen Bereich des Lagers. Dieser ist als auffällige, meist hell glänzende Abweichung von der Tragspur zu erkennen. Folgen können je nach Ausmaß der Druckstellen Anreißer und Fresser sowie Ermüdungsschäden sein.



- 01 Gehäuse
- 02 Welle
- 03 Partikel

ABHILFE

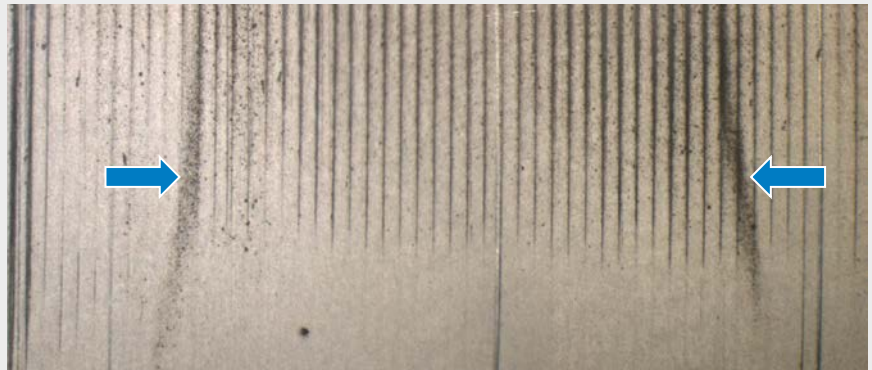
Ob das Lager weiter verwendet werden kann, hängt vom Verschleißfortschritt der Laufschrift ab. Sobald Anreißer oder Ermüdungserscheinungen wie Risse oder Ausbrüche im Bereich der Druckstelle auftreten, sollte das Lager ausgetauscht werden, da sonst ein Totalschaden befürchtet werden muss. Ausgebrochenes Material kann zu einem Folgeschaden in demselben oder einem benachbarten Lager führen.

4. EROSION UND KAVITATION

4.1 EROSION

BESCHREIBUNG

- feine Riefenbildung in Richtung des Ölstromflusses
- Aufrauung und Zerklüftung der Laufschrift / Gleitschicht



BEURTEILUNG

Erosion ist eine Form des abrasiven Materialabtrags, verursacht durch die Strömungskräfte des Öls. Unterstützt wird diese Wirkung von Kleinstpartikeln im Öl wie, z. B. Verbrennungsrückstände oder Abrieb. Erosion ist häufig auch Folge von Kavitation, da hier Partikel aus dem Material gelöst und in das Schmierstoffsystem eingeschleust werden. Erosion greift die Werkstoffoberfläche an und aktiviert sie

chemisch, was eine einsetzende Korrosion begünstigt. Ebenso wird die Dauerfestigkeit des Werkstoffs negativ beeinflusst, da die Zerklüftung der Oberfläche zu Anrissen führen kann. Es kommt zu Ermüdungsschäden.

Die Erosion kommt durch den Einsatz von dünnflüssigen Ölen immer häufiger vor.

MÖGLICHE URSACHEN

- hohe Drehzahlen und geringe Lagerspiele
- Verwendung von falschen Motorölen mit z. B. fehlenden oder falschen Additiven
- Kleinstpartikel im Ölstrom: Partikel können aus unterschiedlichen Bereichen des Motors stammen und z. B. durch eine unvollständige Verbrennung oder Kavitation entstanden sein

ABHILFE

- durch ausreichende Kühlung die Temperatur des Öls niedrig halten
- Wechsel von Ölfilter und Öl stets nach Herstellerangaben durchführen: darauf achten, dass Inspektionsintervalle eingehalten und nur qualitativ ausreichendes Öl und Ölfilter verwendet werden

4.2 KAVITATION

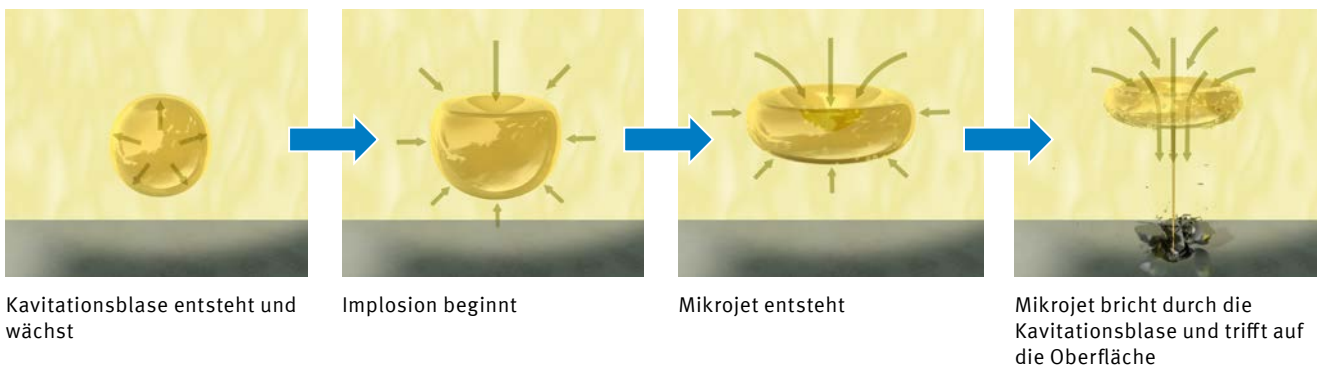
Kavitation wird durch die Strömung des Schmierstoffes durch den Lagerspalt verursacht. Der Dampfdruck des verwendeten Öls spielt dabei eine entscheidende Rolle.

Korrekt betrachtet, ist die Kavitation nur der physikalische Vorgang der Dampfblasenbildung einer Flüssigkeit, der an sich noch keine Schädigung des Lagers hervorruft. Erst die Kavitationserosion beschreibt das zugehörige Schadensbild durch den hierfür typischen Materialabtrag, entstanden aus der Implosion der Dampfblasen in Gebieten unterhalb des Dampfdrucks (Kavitation $\leftrightarrow$ Kavitationserosion).

Bei einigen Schadensbildern kann es trotz unterschiedlicher Entstehungsweisen schwer sein, zwischen Kavitation, Erosion und Korrosion zu unterscheiden. Häufig treten auch komplexe Übergangsformen wie Kavitationserosion oder Erosionskorrosion auf. Zu erklären ist dies dadurch, dass sowohl Kavitation als auch Erosion korrosionshemmende Schichten angreifen, diese chemisch aktivieren und als Folge Korrosion auftreten kann.

BESCHREIBUNG

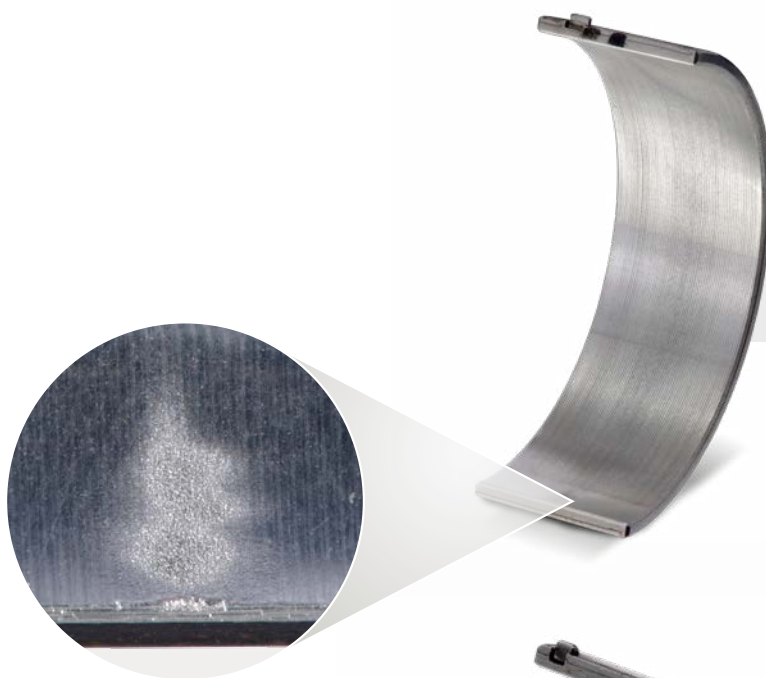
Wird der Dampfdruck des verwendeten Öls unterschritten, bilden sich Gas- und Dampfbläschen, die von der Strömung weiter getragen werden. Dies wird als Kavitation bezeichnet. Wenn der statische Druck wieder ansteigt, zerfallen die Bläschen implosionsartig und es kommt zu starken Druckstößen – den sogenannten Mikrojets – sowie hohen Temperaturen. Die Druckstöße führen zu Materialausbrüchen und Materialabtrag, der Kavitationserosion.



BESCHREIBUNG

- Kavitation in der Freilegung: punktförmiger oder pilzförmiger Ausbruch in der Freilegung zur Teilfläche hin, deutlich aufgeraute und matte Stelle
- Kavitation im Auslauf der Ölnut: pilzförmiger Ausbruch im Auslauf der Ölnut, aufgeraute und matte Stelle

Kavitation kann auch in anderen Bereichen des Lagers wie z. B. im Scheitel auftreten. Diese Formen sind allerdings deutlich schwieriger von der Erosion und Korrosion abzugrenzen. Es sind meist keine Materialausbrüche wie bei den oben genannten Formen zu finden, sondern matte, leicht aufgeraute Stellen, die ebenso eine Folge von Erosion oder Korrosion sein können.



**Deckelseitige Pleuellagerschale
Stahl-Aluminium-Verbund-
werkstoff**

Kavitation in der Freilegung: Es ist deutlicher Materialabtrag zu erkennen – der Bereich erscheint matt im Vergleich zum umgebenden Material.

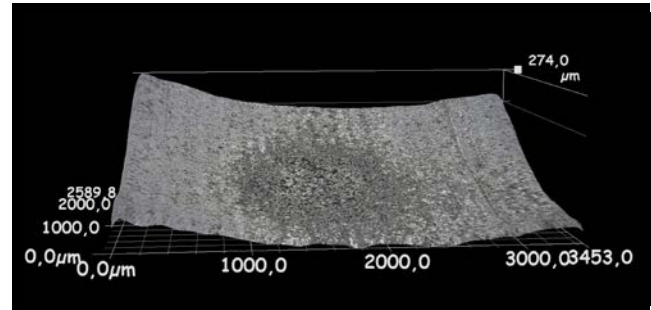


**Obere Hauptlagerschalen Stahl-
Aluminium-Verbundwerkstoff**

Kavitation im Auslauf der Ölnut: Ein pilzförmiger Ausbruch des Lagermaterials ist sichtbar. Der Bereich ist deutlich matter und aufgeraut im Vergleich zum umgebenden Material.

BEURTEILUNG

Druckstöße, die durch den Zerfall von Gas- und Dampfbläschen nahe der Lagersoberfläche entstehen, führen zu Materialausbrüchen (siehe Kapitel: „4. Erosion und Kavitation“). Kavitation geht häufig einher mit Erosion und Korrosion und kann zur feinen Riefenbildung im gleichen oder benachbarten Lagern führen.



3D-Messung – Kavitation

MÖGLICHE URSACHEN

Hohe Temperaturen und niedrigsiedende Beimengungen können Kavitation fördern.

- Beimengungen im Öl: Wasser, Kraftstoff oder Abrieb und Schmutz
- zu geringer Öldruck: unvorhergesehene Druckverluste (z. B. durch schadhafte Ölpumpe) sind vorhanden oder der Öldruck ist zu niedrig eingestellt
- zu niedriger Dampfdruck des verwendeten Öls
- Temperaturanstieg im Lager (z. B. durch Ölmangel)
- niedrig viskose Öle erhöhen Gefahr von Kavitation
- Hohllagen / Unterleger (z. B. Ölkohleablagerungen) am Lagerrücken können Schwingungen / Vibrationen der Lagerschale herbeiführen und damit Kavitation verursachen

Schwingungs- oder Saugkavitation:

- Schmierstoffspalt ist zu groß, dadurch sinkt der hydrodynamische Druck im Lagerspalt
- Schwingungen der Kurbelwelle: Zapfenbewegung bewirkt einseitig durch entstehende Saugwirkung eine Druckabsenkung
- Schwingungen der Lagerbohrung (meist bei Pleuelaugen) aufgrund Verformung oder Biegung – es kommt zur Druckabsenkung im Ölfilm

Strömungskavitation:

- Unterbrechungen in Oberflächen (Ölbohrungen, Ölnoten) und Umlenkungen des Ölflusses können zu Druckabsenkung führen

ABHILFE

Lager, die Kavitation aufweisen, müssen nicht ausgetauscht werden. Je nach Ausmaß der Kavitation kann durch Beeinflussung der Dynamik des Lagers die Lebensdauer gesenkt werden. Ein Totalschaden muss allerdings nicht befürchtet werden.

- Qualitätsöle verwenden und nach Herstellerangaben regelmäßige Öl- und Filterwechsel durchführen
- Öldruck überprüfen und eventuell nachregulieren
- Öl mit höherem Dampfdruck einsetzen: Öl muss aber mit allen Motorkomponenten kompatibel sein, gegebenenfalls Hersteller zu Rate ziehen

- Schmierstoffspalt überprüfen und eventuell Lagerspiel nachregulieren
- Belastung des Motors auf Schwingbeanspruchungen (Vibrationen) prüfen
- Öl auf Kraftstoffverdünnung prüfen

5. ERMÜDUNGSSCHÄDEN

5.1 EINFÜHRUNG

Wenn die Dauerfestigkeit des Werkstoffs örtlich überschritten wird, kommt es zur Ermüdung. Es bilden sich erste Anrisse (Abb. 1), die infolge Kerbwirkung weiter wachsen und sich zu einem Rissnetzwerk ausbilden (Abb. 2). Im weiteren Verlauf kommt es zu Ausbrüchen (Abb. 3) im Lagermetall. Das Rissnetzwerk und die Ausbrüche senken die Festigkeit des Lagers, sodass es bei Belastung zu einem Dauerbruch führen kann. Das Gleitlager hat dann seine Funktionsfähigkeit verloren und es liegt ein Totalschaden vor.

Durch die Materialausbrüche werden Partikel in das Schmierstoffsystem eingeschleust. Es kann zur Riefenbildung oder Partikeleinbettung in demselben oder in benachbarten Lagerschalen kommen. Auch Anreißer und Fresser in demselben oder in Nachbarlagern können verursacht werden.

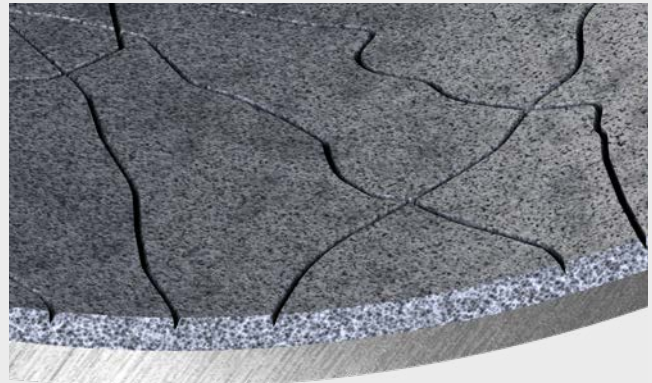


Abb. 1: Erste Anrisse



Abb. 2: Rissnetzwerk

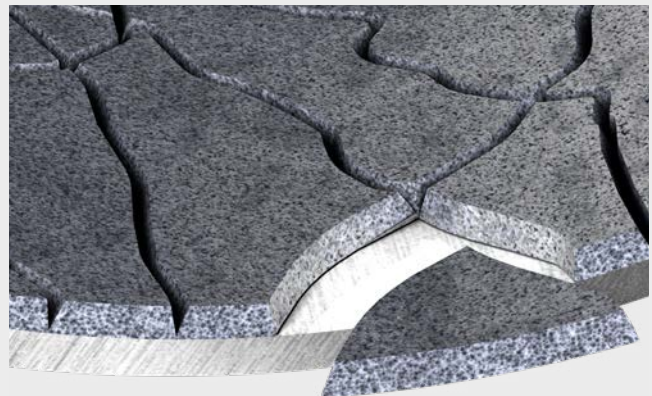


Abb. 3: Ausbrüche

MÖGLICHE URSACHEN

Ermüdungserscheinungen wie Risse und Ausbrüche vom Lagermetall werden durch dynamische Überbeanspruchung verursacht. Dies kann unterschiedliche Ursachen haben:

- **Überbelastung:** wirken auf das Lager größere Kräfte als die Auslegung erlaubt, kommt es zur Werkstoffermüdung – Verbrennungsstörungen wie z. B. Klopfen erhöhen den Druck auf den Kolben und damit auf das Pleuellager
- **Schmierstoffspalt zu gering bemessen** – es kann sich kein tragfähiger Schmierstofffilm ausbilden: Der Schmierfilmdruck steigt an diesen Stellen an und es kommt zu hohen Flächenpressungen – dies kann durch Flucht- und Formfehler, Geometriefehler oder Montagefehler (siehe Kapitel: „2.5 Spezialfälle“) verursacht werden, die Betrachtung der Nachbarlager kann Aufschluss geben
- **mangelhafte Ölqualität oder Alterung des Öls:** wird ungeeignetes Öl verwendet oder das Öl hat durch Alterung keine ausreichende Qualität, kann es zu Beeinträchtigungen in der Bildung des Schmierstofffilms kommen
- **Schwingungen:** wird das Lager zusätzlich durch wechselnde Spannungen aufgrund von Schwingungen belastet, steigt die Gefahr der Werkstoffermüdung
- **hohe Temperaturen:** Materialermüdung wird durch hohe Temperaturen begünstigt, da sie die Festigkeit des Lagerwerkstoffs senken

ABHILFE

- Belastung der Lager überprüfen – gegebenenfalls muss ein ermüdungsfesteres Lager eingesetzt werden
- korrekte Geometrie der Pleuellagerbohrung kontrollieren: Maß, Rundheit, Zylindrizität, Welligkeit, Oberflächenrauigkeit
- korrekte Grundbohrung der Lagerbohrung kontrollieren: Maß, Rundheit, Zylindrizität, Oberfläche
- Fluchtung der Pleuellagerbohrung kontrollieren (vorgegebene Anzugsmomente der Schrauben beachten, Motor ausreichend kühlen)
- Pleuellagerbohrung vor dem Einbau auf Winkligkeit überprüfen
- Pleuellagerbohrung bei Einbau auswuchten
- nur vom Hersteller empfohlenes Öl verwenden und Ölwechselintervalle beachten
- ausreichende Kühlung des Motors sicherstellen

5.2 ANRISSE UND AUSBRÜCHE DER GLEITSCHICHT

Diese Schadensart tritt nur bei Gleitlagern mit einer aufgetragenen Gleitschicht aus Polymer / Gleitlack-, Galvanik- oder Sputter-Beschichtung auf.

BESCHREIBUNG

- feine Risse in der Gleitschicht erkennbar: vor allem quer zur Laufrichtung – wird oft als „Borkenkäfer“ bezeichnet, da das Schadensbild an das Fraßbild eines Borkenkäfers erinnert
- oft einhergehend mit Kantentrag und Verfärbungen der Lagersoberfläche



**Stangenseitige Pleuellagerschale
Stahl-Messing-Verbundwerkstoff
mit Sputter-Beschichtung**

Das Gleitlager zeigt zur Freilegung hin Ermüdungserscheinungen in Form von Anrissen und ersten Ausbrüchen bis zur Messingschicht.



**Hauptlagerschale Stahl-
Bronze-Verbundwerkstoff mit
Galvanik-Beschichtung**

Einseitiger Kantentrag an beiden Lagerschalen hat zur Ermüdung der Galvanikschicht geführt und das typische Borkenkäfer-Schadensbild erzeugt.

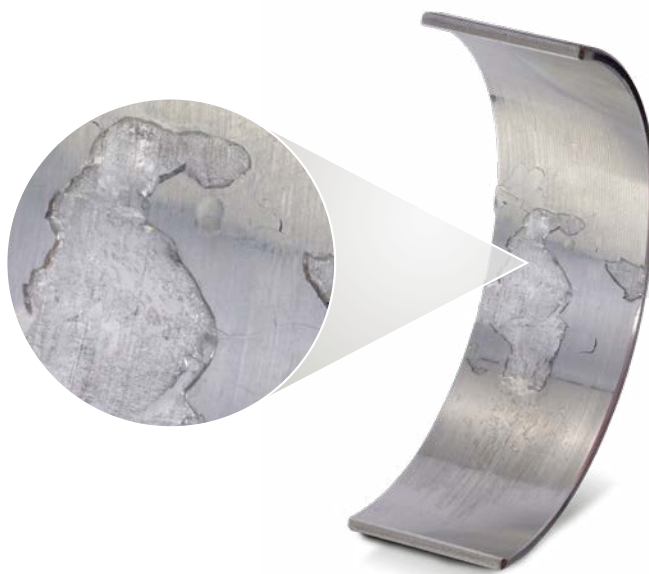


**Mögliche Ursachen und Abhilfe
siehe Kapitel „5.1 Einführung“**

5.3 ANRISSE UND AUSBRÜCHE DES LAGERMETALLS

BESCHREIBUNG

- Risse sowie pflastersteinartige Ausbrüche bis in das Lagermaterial
- Kanten des Ausbruchs je nach weiterer Laufzeit abgerundet durch Verschleiß



**Stangenseitige Pleuellagerschale
Stahl-Aluminium-Verbund-
werkstoff**

Großflächige Ausbrüche und Risse sind erkennbar.



**Mögliche Ursachen und Abhilfe
siehe Kapitel „5.1 Einführung“**

6. ÜBERHITZUNGSSCHÄDEN

6.1 EINFÜHRUNG

Überhitzungsschäden sind das Resultat drastischer Temperaturentwicklungen in der Gleitlagerschale, die mit starker Mischreibung einhergehen. Daher zeigen sich bei Anreibern oder Fressern immer auch Wärmerisse, Verfärbungen und Aufschmelzungen. Die Wärmeabfuhr durch den Schmierstoff spielt hierbei die zentrale Rolle.

Ist keine Wärmeabfuhr mehr gegeben, führt dies zu einem Totalschaden. Bereits bei den ersten Überhitzungserscheinungen kommt es örtlich zu Veränderungen des Gefüges und die Dauerfestigkeit des Werkstoffs wird gesenkt. An den betroffenen Stellen bilden sich Wärmerisse.

MÖGLICHE URSACHEN

- Folgeschädigung durch steigende Temperaturentwicklung aufgrund Anreiber, Fresser oder Kantentragens
- unzureichende Wärmeabfuhr durch Schmierstoff (siehe Kapitel: „2.3 Anreiber“)

ABHILFE

Treten Überhitzungsschäden auf, muss das Lager ausgetauscht und nach den Ursachen geforscht werden. Bei einem Folgeschaden ist die Ursache des Primärschadens zu beheben.

Wenn keine weitere Schädigung des Lagers sichtbar ist, muss der Schmierstoffkreislauf (siehe Kapitel: „2.3 Anreiber“) und die Belastung auf das Lager überprüft werden.

6.2 WÄRMERISSE

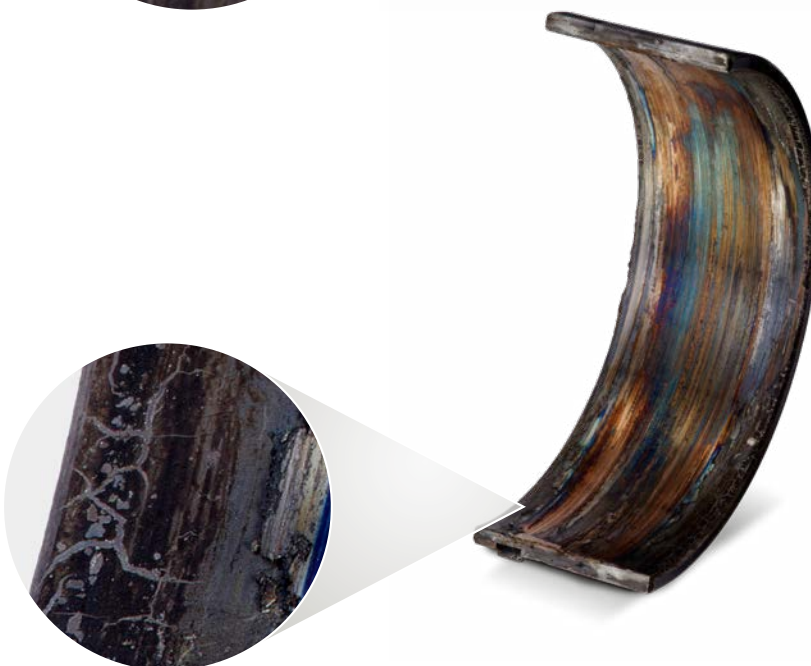
BESCHREIBUNG

- vernetzte Risse sichtbar
- Aufschmelzungen und Verfärbungen der Lagerschale



Deckel- und stangenseitige Pleuellagerschale Stahl-Bronze-Verbundwerkstoff mit Galvanik-Beschichtung

An der Laufschiene der gefressenen Lagerschalen sind deutliche Verfärbungen und Aufschmelzungen sichtbar. Die Rissbildung ist vor allem im Kantenbereich erkennbar.



**Mögliche Ursachen und Abhilfe
siehe Kapitel „6.1 Einführung“**

6.3 AUFSCHMELZUNGEN DER LAUFSCHICHT

BESCHREIBUNG

- Werkstoffverschiebungen und Verschmierungen in der Lauffläche sichtbar
- einhergehend mit Wärmerissen und Verfärbungen der Lagerschale



**Deckelseitige Pleuellagerschale
Stahl-Bronze-Verbundwerkstoff
mit Galvanik-Beschichtung**

In der Galvanikschicht sind weiße
Aufschmelzungen sichtbar.



**Mögliche Ursachen und Abhilfe
siehe Kapitel „6.1 Einführung“**

6.4 VERFÄRBUNGEN DER LAUSCHICHT BZW. DES LAGERRÜCKEN

BESCHREIBUNG

- bläuliche bis schwarze Verfärbungen in der Laufschiene oder auf dem Lagerhinterwand
- einhergehend mit Ausschmelzungen und Werkstoffablosungen / -verschiebungen



**Stangenseitige Pleuellagerschale
Stahl-Bronze-Verbundwerkstoff
mit Galvanik-Beschichtung**

Der Lagerhinterwand ist nach einem Fresser des Lagers schwarz verfärbt.



**Deckelseitige Pleuellagerschale
Stahl-Bronze-Verbundwerkstoff
mit Galvanik-Beschichtung**

Die Anlaufnarbe ist in der Laufschiene zu erkennen.



**Mögliche Ursachen und Abhilfe
siehe Kapitel „6.1 Einführung“**

7. KORROSION

7.1 REIBKORROSION / PASSUNGSROST

BESCHREIBUNG

- vernarbte Oberfläche des Lagerrückens oder im Bereich der Teilfläche
- aufgeraute, matte Stellen

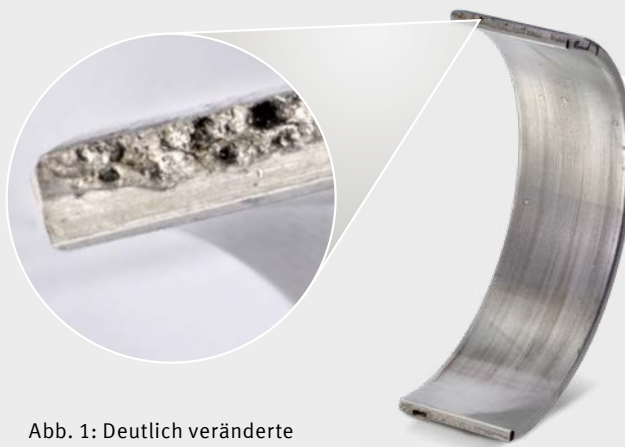


Abb. 1: Deutlich veränderte Werkstoffoberfläche

Untere Hauptlagerschale Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff

Auch im Bereich der Teilfläche können Anzeichen von Bewegungen der Lagerschale in Form der Reibkorrosion sichtbar sein. Die Werkstoffoberfläche ist deutlich verändert (Abb. 1).



Obere Hauptlagerschalen Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff

Deutliche Spuren von Reibkorrosion sind erkennbar – teilweise mit herausgerissenen Werkstoffbereichen (Abb. 2).

Hier sind deutliche Merkmale einer flächenförmigen Reibkorrosion erkennbar: mit herausgerissenen Werkstoffbereichen und Vernarbungen der Oberfläche (Abb. 3).



Abb. 2: Teilweise herausgerissene Werkstoffbereiche



Abb. 3: Herausgerissenen Werkstoffbereiche und Vernarbungen

BEURTEILUNG

Wenn die Lagerschale nicht richtig im Lagerstuhl sitzt, kommt es aufgrund der entstehenden Relativbewegungen (Mikrogleitbewegungen) zur Reibkorrosion. Die durch die Lagerbewegung entstehende Reibungswärme kann nicht wie im Lagerinneren durch den Schmierstoff abgeführt werden, sondern verursacht örtliche Überhitzungen des Stahlrückens. Diese Überhitzungen führen zu Aufschmelzungen und der dafür typisch vernarbten Oberfläche. Es kommt zu Werkstoffübertragungen zwischen Lagerrücken und Bohrung.

Das Umgebungsmedium kann in die bereits aufgerauten und chemisch aktivierten Oberflächen eindringen und die Korrosion beschleunigen.

Reibkorrosion setzt die Dauerfestigkeit des Werkstoffs herab, da die Bildung von Mikrorissen begünstigt wird. Es kann zu Ermüdungsschäden mit Folgen wie Anrissen oder Dauerbrüchen kommen.

MÖGLICHE URSACHEN

- ungenügende Vorspannung durch zu große Grundbohrung oder zu kleine Lagerschale
- zu geringer Lagerschalenüberstand: der Überstand der Lagerschale garantiert den Festsitz durch eine ausreichende Presspassung
- Gehäuseverformung: bei Motorgehäusen aus Aluminium können sich bei extremer Temperatureinwirkung Gehäuse und Lagerschale unterschiedlich verformen, wobei der Festsitz des Lagers gegebenenfalls nicht mehr ausreicht
- Biegung der Kurbelwelle: Biegung der Kurbelwelle hinterlässt auf der Lauffläche des Lagers ein spezielles Tragbild (siehe Kapitel: „2.5 Spezialfälle“)
- zu geringer Schraubenanzug
- Schwingungen oder Vibrationen des Gehäuses oder der Kurbelwelle, die zu Mikrobewegungen führen (Schwingungen und Vibrationen können auch durch Unterleger bzw. Hohllagen gefördert werden)

ABHILFE

Wenn Anzeichen von Passungsrost erkennbar sind, muss das Lager ausgetauscht werden, da die Dauerfestigkeit bereits verringert sein kann.

- Aufnahmebohrung und Lagerschalenaußendurchmesser müssen im Toleranzbereich liegen, sodass das vorgegebene Lagerspiel eingehalten wird
- Überstand: um die gewünschte Presspassung zum Festsitz zu erzeugen, muss die Lagerschale einen ausreichenden Überstand haben
- Aufnahmebohrung und Gehäuse auf mögliche Verformungen überprüfen
- Kurbelwelle bei Einbau auswuchten und Beanspruchung der Welle überprüfen
- Schraubenanzug bezüglich Anzugsmomenten und Anziehreihenfolge nach Herstellerangaben durchführen
- Motor auf Vibrationen und Schwingungen im Betrieb überprüfen

7.2 CHEMISCHE KORROSION

BESCHREIBUNG

- Verfärbungen der Werkstoffoberfläche, meist im Hauptlastbereich
- Lauffläche rau und porös



Unter Hauptlagerschale Stahl-Aluminium-Verbundwerkstoff

Ablagerung von Korrosionsprodukten sind in der Lagerlauffläche, besonders ausgeprägt in der Lagermitte, sichtbar. Die Ablagerung tritt durch Fleckenbildung in Erscheinung. Ein Aufrauen der Lagerlauf-
fläche ist unter mikroskopischer Betrachtung im korrodierten Bereich zu erkennen.

BEURTEILUNG

Chemische Korrosionen werden durch Reaktionen zwischen Lagerschale und Motorenöl hervorgerufen. Auslöser für die chemische Reaktion sind aggressive Zusätze im Öl oder Kontaminationen des Öls während des Betriebs.

Die Dauerfestigkeit des Werkstoffs wird durch den chemischen Angriff herabgesetzt, sodass Ermüdungsschäden bereits bei geringer Belastung beschleunigt werden.

MÖGLICHE URSACHEN

- Verschleiß, Kavitation und Erosion können Korrosion begünstigen, da sie die Werkstoffoberfläche angreifen und chemisch aktivieren
- Bildung von Säuren und Metallsalzen in Folge von Ölalterung
- unzulässige, aggressive Ölzusätze
- aggressive Produkte aus der Verbrennung (Schwefel, Schwefelwasserstoff)
- Kontamination des Öls mit Wasser oder Frostschutzmitteln
- hohe Betriebstemperaturen beschleunigen chemische Prozesse wie die Ölalterung

ABHILFE

Korrodierte Lager müssen getauscht werden.

- Ölwechsel stets nach Herstellervorgaben durchführen
- nur Qualitätsöle frei von aggressiven Zusätzen verwenden
- Motor ausreichend kühlen

8. SCHÄDEN AN ANLAUFSCHEIBEN

Anlaufscheiben ermöglichen es axiale Kräfte, die beispielsweise beim Betätigen der Kupplung entstehen, aufzunehmen. Im Hauptlagersatz wird folglich immer eine Lagerstelle axial

abgestützt. Realisiert wird dies durch eingesetzte Anlaufscheiben oder durch vormontierte, verbaufertige Bundlager bzw. Passlagerschalen.

Rissbildung von Außenkante zu Außenkante



Großflächiger Ausbruch des Materials an der Außenkante der Anlaufscheibe



MÖGLICHE URSACHEN

- Axialspiel zu gering, sodass Anlaufscheibe gegen Gleitpartner gepresst wird
- zu hohe axiale Belastung
- andauernde axiale Belastung
- Wange der Welle zu rau

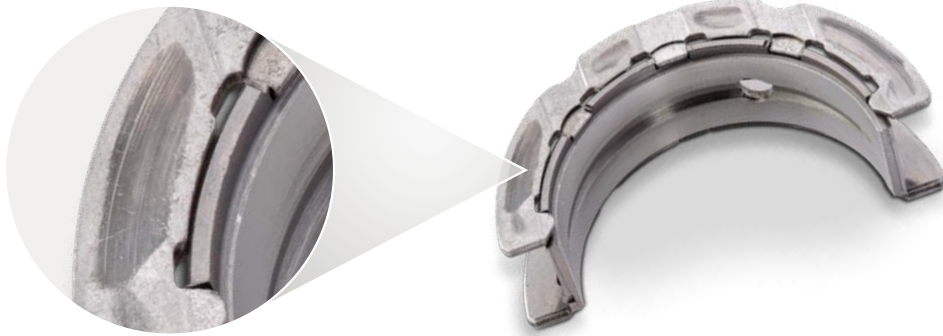
ABHILFE

- Axialspiel der Kurbelwelle kontrollieren und vorgegebenen Toleranzbereich einhalten – gegebenenfalls eine Anlaufscheibe mit Untermaßstufe einsetzen
- axiale Belastung auf Anlaufscheibe überprüfen

Gleitverschleiß

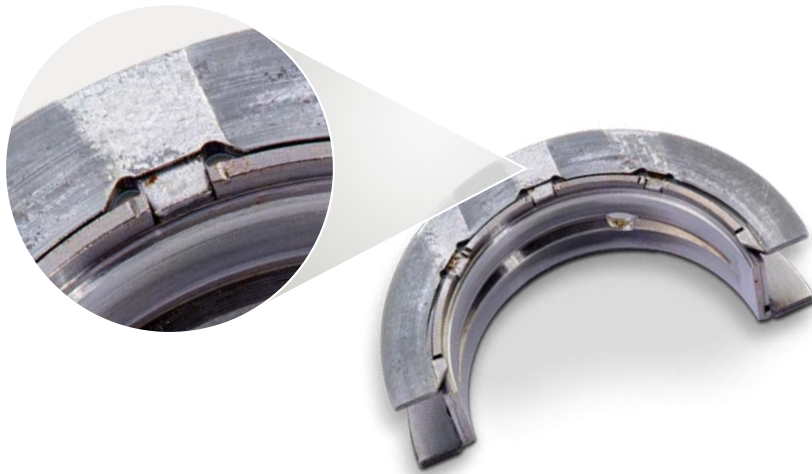
Tragspuren auf der Lauffläche der Anlaufscheibe sichtbar

Neuzustand vor
Betrieb



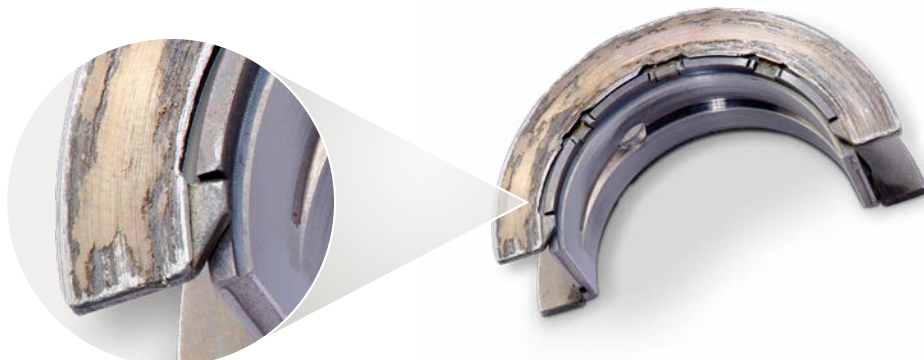
Fortgeschrittener Gleitverschleiß

Werkstoffverschiebung und Abtrag, Schmiernuten kaum noch vorhanden



Fresser

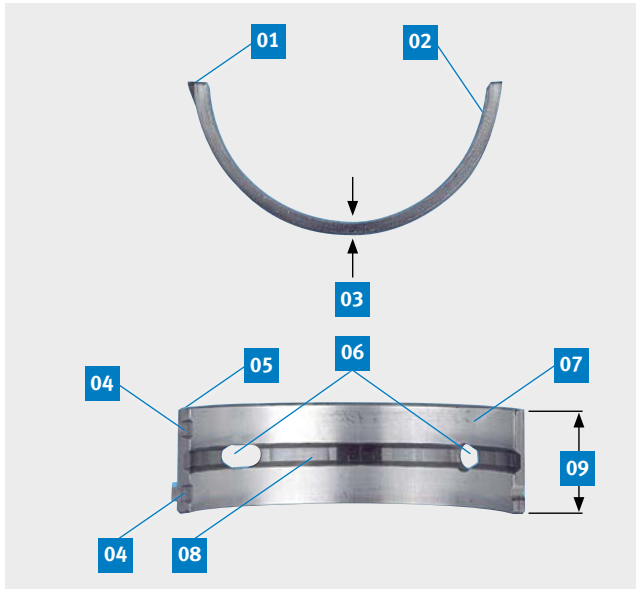
herausgerissene Werkstoffbereiche und starke Riefenbildung, Schmiernuten nicht mehr sichtbar



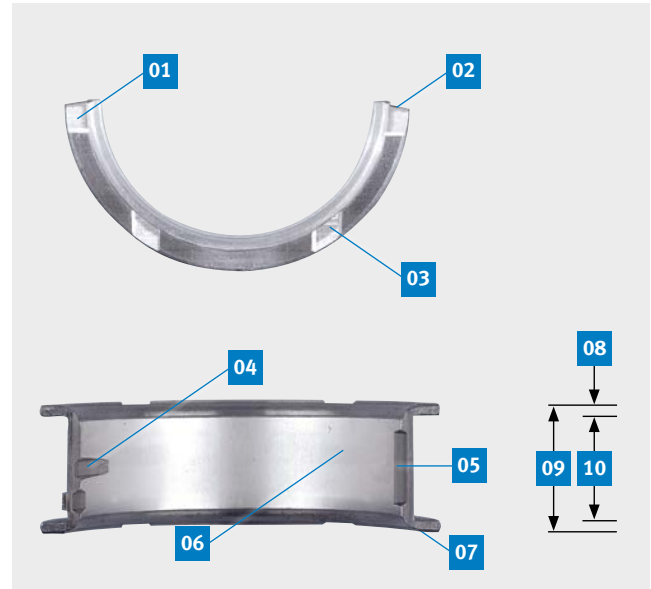
Totalschaden

9. GLOSSAR

FACHAUSDRÜCKE UND BENENNUNGEN AM GLEITLAGER



- 01 Teilfläche
- 02 Freilegung der Lauffläche
- 03 Wanddicke
- 04 Fixiernocken links und rechts
- 05 Stirnfläche
- 06 Ölbohrung
- 07 Lauffläche
- 08 Ölnut innen
- 09 Lagerbreite



- 01 Freilegung an Stirnfläche
- 02 Freilegung an Bundteilfläche
- 03 Schmiernut an Stirnfläche
- 04 Sichelnut
- 05 Schmiertasche
- 06 Lauffläche
- 07 Stirnfläche
- 08 Bunddicke
- 09 Lagerbreite
- 10 Bundabstand



- 01 Haltenocken
- 02 Schmiernut

ERKLÄRUNG FACHAUSDRÜCKE

Abrasiv

schleifend / schmirgelnd

Anreiber

Eine Vorstufe des Fressers, der durch starke Mischreibung (z. B. durch Schmierölmangel) verursacht wird. Typisch für einen Anreiber sind Riefenbildung und Mischreibungsspuren sowie Verschiebungen der Gleitschicht.

Ausklinkdrehzahl

Beschreibt den Ausklinkpunkt – den Bereich, in dem der Übergang von Mischreibung zu Flüssigkeitsreibung bedingt durch die höhere Gleitgeschwindigkeit stattfindet. In hydrodynamischen Gleitlagern – wie bei Verbrennungsmotoren verwendet – baut sich der dünne Schmierfilm erst bei höheren Gleitgeschwindigkeiten auf. Bei niedrigen Gleitgeschwindigkeiten müssen diese Gleitlager Mischreibung mit hohen Anteilen an Festkörperreibung ertragen. Aus diesem Grund ist man immer bestrebt, den Betrieb bei Mischreibung möglichst kurz zu halten.

Axialkraft

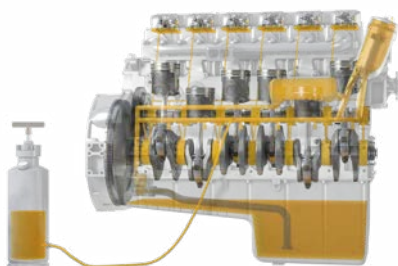
Eine Kraft die in Richtung einer Achse eines Rotationskörpers wirkt.

Diffusionssperre

Die Diffusionssperre ist eine dünne Schicht meistens aus Nickel (Ni) oder Nickelchrom (NiCr), die die Zinn-Diffusion zwischen der gesputterten oder galvanischen Gleitschicht (oberste Lagerschicht) und dem Bronze Lagerwerkstoff unterbinden soll. Eine Zinn-Diffusion würde die mechanischen Eigenschaften von Gleitschicht und Lagermetall verändern.

Druckölbefüllung

Um Einlaufschäden, wie z. B. einen Trockenlauf der Gleitlager zu vermeiden, muss das Ölsystem vor dem ersten Motorstart mit Drucköl befüllt und entlüftet werden.



Erosion

Materialabtragung durch die kinetische Energie von festen, flüssigen oder gasförmigen Stoffen, die auf die Oberfläche wirken.

Fixiernocken

Die Fixiernocken werden an Lagerschalen im Bereich der Teilfläche angebracht. Sie verhindern durch die axiale Positionierung Fehler bei der Montage.

Flüssigkeitsreibung

Auch Fluidreibung genannt. Bei hydrodynamischen Gleitlagern baut sich bei niedrigen Drehzahlen kein tragfähiger Schmierfilm auf, hier liegt Mischreibung zwischen Zapfen und Gleitlager vor. Erst ab der Ausklinkdrehzahl setzt die Flüssigkeitsreibung, der gewünschte Zustand, ein. Hierbei wird ein tragfähiger Schmierfilm ausgebildet und der Verschleiß von Zapfen und Gleitlager minimiert.

Freilegung

Der Bereich einer Lagerschale, in dem die Wanddicke in Richtung der Teilfläche verringert wird. Dies gleicht Montageungenauigkeiten aus.

Galvanik

Elektrochemisches Beschichtungsverfahren – galvanische Schichten werden elektrochemisch auf die fertig bearbeiteten Gleitlager aufgebracht und ermöglichen spezifische Belastungen bis ca. 100 MPa. Durch galvanische Schichten sollen die Anpassungsvorgänge beim Einlaufen erleichtert und die Partikelverträglichkeit der Lagerschalen sowie deren Notlaufeigenschaften verbessert werden.

Gecrackte Pleuel

Gecrackte Pleuel werden erst einteilig hergestellt, dann mit Bruchkerben (Sinterpleuel) oder mit Laserkerben (Stahlpleuel) versehen und danach gezielt in zwei Teile gebrochen (Cracken). Beide Teile werden bei der Pleuelmontage verschraubt, wobei sie aufgrund der individuellen Bruchgeometrie exakt zusammenpassen.

Polymer-Beschichtung

Auch Polymer-Gleitlack. Dieser besteht aus einem temperatur- und schmutzresistenten Polyamid-Harz mit einem hohen Anteil an reibungs- und verschleißreduzierenden Füllstoffen. Das Resultat der neuen Kombination von Metall und Polymer ist eine um 20 % höhere Belastbarkeit als bei herkömmlichen Zweistofflagern, eine höhere Verschleißfestigkeit und weniger Reibung.

Presssitz und Überstand

Buchsen und Lagerschalen werden hauptsächlich durch Presspassungen im Gehäuse fixiert. Bei Lagerschalen ergibt sich der Presssitz dadurch, dass die beiden Halbzylinder mit einer Umfangslänge größer als 180° gefertigt werden. Die Differenz zwischen dem Ist-Maß der Umfangslänge der Lagerschale und der auf 180° bezogenen Umfangslänge wird als Überstand bezeichnet. Der Überstand der Lagerschale beeinflusst unmittelbar den Presssitz.

Rundheit

Rundheit eines Rotationselements in einem Schnitt (senkrecht zu seiner Ist-Achse) ist gleich der minimalen Breite des Rings zwischen zwei Kreisen mit einem gemeinsamen Zentrum. Das Zentrum kann in diesem Schnitt frei bewegt werden, sodass diese Breite des Rings den minimalen Wert erreicht. Dabei befinden sich alle Punkte des Elements zwischen diesen zwei Kreisen.

Spreizung

Das Spreizmaß gibt die Abweichung des Außendurchmessers von der idealen Kreisform im Bereich der Teilfläche an. Es repräsentiert die elastische Rückfederung nach der Formgebung und wird im unverbautem Zustand gemessen. Die daraus resultierende Vorspannung der Lagerschale erleichtert die Montage durch eine gute Anlage an die Bohrungswand und verhindert ein Herausfallen oder Verdrehen.

Sputter

Höhere Motorleistungen erfordern, insbesondere für die Pleuellager, Werkstoffe mit deutlich höherer Ermüdungsfestigkeit, geringerer Verschleißrate im Mischreibungsgebiet und gute Korrosionsbeständigkeit bei höheren Temperaturen. Diesem komplexen Anforderungsprofil wird mit Hilfe der physikalischen Gasphasenabscheidung (PVD) entsprochen. Im Hochvakuum werden feinste Partikel aus einem Spender herausgeschlagen. Mit Hilfe elektromagnetischer Felder werden sie gleichmäßig auf das zu beschichtende Teil aufgetragen. Diese Magnetronschichten zeichnen sich durch feinste Verteilung der einzelnen Gefügebestandteile aus. Ausgangsbasis ist das bekannte Dreistofflager. Der Grundaufbau wurde bei behalten. Die galvanische Gleitschicht wird durch eine gesputterte Gleitschicht ersetzt. Gesputterte Lagerschalen kommen hauptsächlich auf der Druckseite von Pleuellagern zum Einsatz. Die Gegenschalen sind herkömmliche Zwei- oder Dreistofflager. Die richtige Einbaulage der gesputterten Lagerschale ist Voraussetzung für die Betriebssicherheit.

Stangen- / Deckelseitig

Um den Pleuel auf der Kurbelwelle montieren zu können, besteht das Pleuellager aus einer stangen- und einer deckelseitigen Lagerschale. Im montierten Zustand verspannen die Pleuelschrauben das Lagerschalenpaar zu einem exakt geschlossenen Lager. Die stangenseitige Lagerschale ist mechanisch deutlich höher belastet als die deckelseitige, denn über sie wird die aus dem Verbrennungsvorgang resultierende Gaskraft in die Kurbelwelle eingeleitet. Insbesondere bei hochaufgeladenen Dieselmotoren wirken spezifische Belastungen von 100 MPa und mehr auf die Gleitlagerschale. Die deckelseitige Pleuellagerschale hat die Aufgabe, das Lager zu schließen.

Start-Stopp-Automatik

In erster Linie wegen der geforderten Senkung der CO₂-Emission wird der Start-Stopp-Betrieb bei Verbrennungsmotoren forciert. Im Start-Stopp-Betrieb stoppt der Motor bei Stillstand des Fahrzeugs und startet wieder automatisch zum Anfahren. Dies erfordert von innermotorischen Gleitlagern eine gesteigerte Mischreibungsresistenz. Die Lager verlassen bei jedem Start- und Stoppvorgang den hydrodynamischen Betriebsbereich und durchfahren den Mischreibungsbereich bis zum Nullpunkt der Gleitgeschwindigkeit. Nur daraufhin speziell optimierte Gleitschichten gewährleisten unter diesen für das Gleitlager tribologisch äußerst kritischen Bedingungen ausreichende Verschleißfestigkeit.

Teilfläche

Bei den Teilflächen einer Lagerschale handelt es sich um die freien Enden des Hohlzylinderabschnitts. Diese Flächen entstehen beim Trennen der Platine vom Band oder entsprechender Nacharbeit. Bei der Montage werden die Ober- und Unterschale im Gehäuse über die Teilflächen verspannt, um so aufgrund des Überstands den Presssitz zu erzeugen.

Tragspur / Tragbild

Erscheinungsbild der Lagerlauffläche, das durch Kontakt mit dem Zapfen während des Betriebs verursacht wird.

Nutsysteme / Schmiernut

Nutsysteme sind notwendig, um den erforderlichen Schmierstoff im Lager zu verteilen und damit die Entstehung eines hydrodynamischen Betriebszustands zu ermöglichen. Sie werden vorzugsweise im unbelasteten Lagerbereich angeordnet. Durch Nutsysteme wird auch die Schmierstoffverteilung zu anderen Verbrauchern gewährleistet.

Wanddicke

Das Lagerspiel wird über die Wanddicke des Gleitlagers eingestellt. Da der Außendurchmesser durch die Presspassung vorgegeben wird, kann das Lagerspiel relativ zum Wellendurchmesser durch die Variation der Wanddicke angepasst werden. Für instandgesetzte Wellen gibt es Gleitlager mit verschiedenen Übermaßstufen (größeren Wanddicken).

KNOW-HOW TRANSFER

FACHWISSEN VOM EXPERTEN

WELTWEITE SCHULUNGEN

Direkt vom Hersteller

Jährlich profitieren rund 4.500 Mechaniker und Techniker von unseren Schulungen und Seminaren, die wir weltweit vor Ort oder auch in unseren Schulungszentren in Neuenstadt, Dormagen und Tamm (Deutschland) durchführen.

TECHNISCHE INFORMATIONEN

Aus der Praxis für die Praxis

Mit unseren Produkt Informationen, Service Informationen, technischen Broschüren und Postern sind Sie immer auf dem neuesten Stand der Technik.

TECHNISCHE VIDEOS

Wissensvermittlung per Video

In unseren Videos finden Sie praxisbezogene Einbauhinweise und Systemerklärungen rund um unsere Produkte.



PRODUKTE IM FOKUS ONLINE

Unsere Lösungen anschaulich erklärt

Erfahren Sie durch interaktive Elemente, Animationen und Videoclips Wissenswertes über unsere Produkte im und um den Motor.

ONLINESHOP

Ihr direkter Zugang zu unseren Produkten

Bestellen rund um die Uhr. Schnelles Prüfen der Verfügbarkeit. Umfangreiche Produktsuche über Motor, Fahrzeug, Abmessungen usw..

NEWS

Regelmäßige Informationen per E-Mail

Melden Sie sich jetzt online zu unserem kostenlosen Newsletter an und Sie erhalten regelmäßige Informationen über Produktneuaufnahmen, technische Publikationen und vieles mehr.

INDIVIDUELLE INFORMATIONEN

Speziell für unsere Kunden

Von uns erhalten Sie umfangreiche Informationen und Services zu unserem breiten Leistungsspektrum: wie z. B. personalisierte Verkaufsförderungsmaterialien, Verkaufsunterstützungen, technischen Support und vieles mehr.



TECHNIPEDIA

Technische Informationen rund um den Motor

In unserer Technipedia teilen wir unser Know-how mit Ihnen. Hier finden Sie Fachwissen direkt vom Experten.

MOTORSERVICE APP

Mobiler Zugang zu technischem Know-how

Hier erhalten Sie schnell und einfach die aktuellsten Informationen und Services rund um unsere Produkte.

SOCIAL MEDIA

Immer aktuell





HEADQUARTERS:**MS Motorservice International GmbH**

Wilhelm-Maybach-Straße 14–18
74196 Neuenstadt, Deutschland
www.ms-motorservice.com

MS Motorservice Deutschland GmbH

Rudolf-Diesel-Straße 9
71732 Tamm, Deutschland
Telefon: +49 7141 8661-455
Telefax: +49 7141 8661-450
www.ms-motorservice.de

www.rheinmetall.com

© MS Motorservice International GmbH – 50003 859-01 – DE – 05/17 (112022)



4 028977 888250