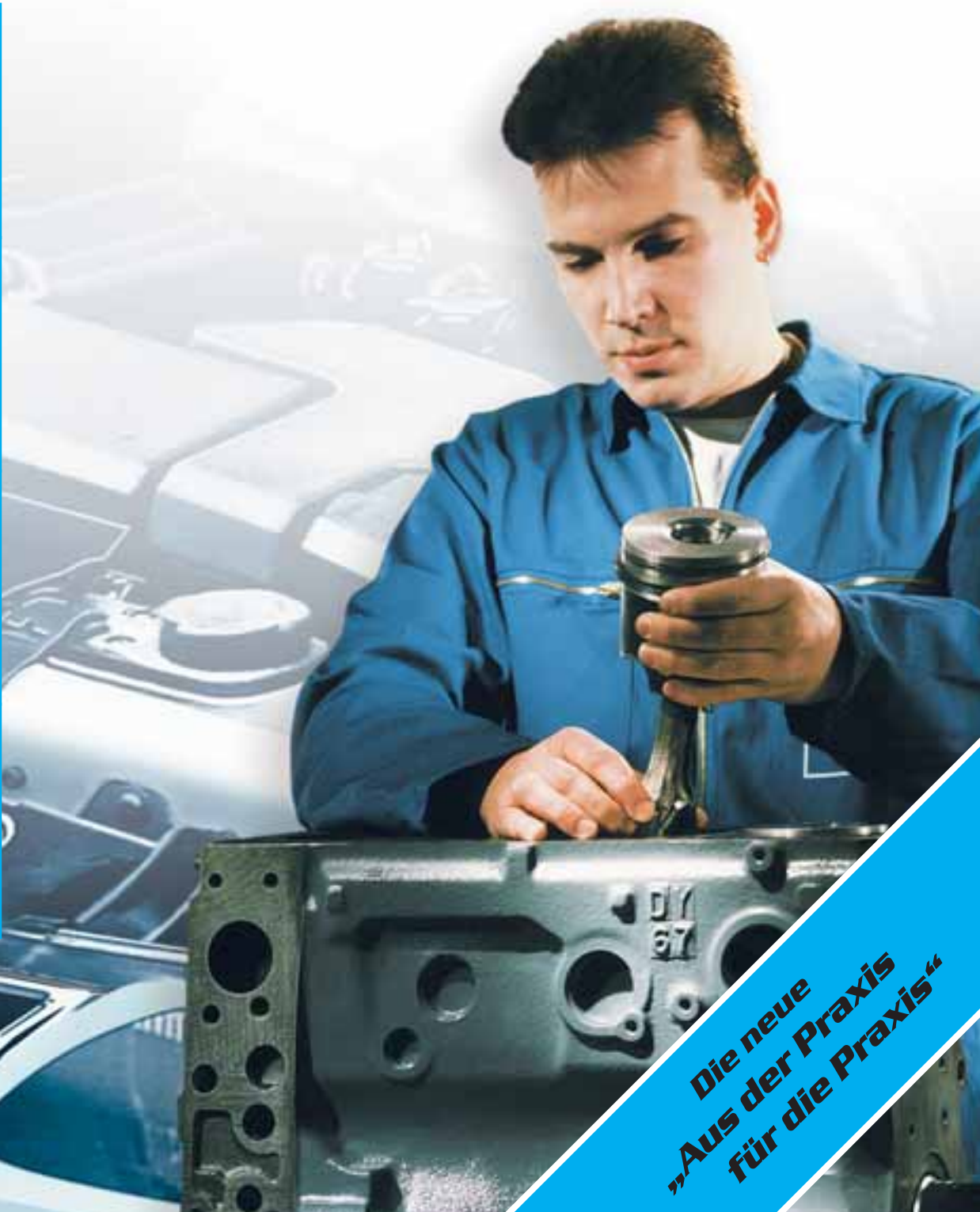


Kolbenschäden

erkennen und beheben



**Die neue
„Aus der Praxis
für die Praxis“**



MSI Motor Service International. Marken-Motorenteile, weltweit.

MSI Motor Service International GmbH ist die Vertriebsorganisation für die weltweiten Aftermarket-Aktivitäten der Kolbenschmidt Pierburg AG. Sie ist ein führender Anbieter von Motorkomponenten für den freien Ersatzteilmarkt mit den Premium-Marken KOLBENSCHMIDT, PIERBURG und TRW. Ein breites und tiefes Sortiment ermöglicht den MSI Kunden, Motorenteile aus einer Hand zu beziehen. Als Problemlöser für Handel und Werkstatt bietet Sie darüber hinaus ein umfangreiches Leistungspaket und die technische Kompetenz als Tochtergesellschaft eines großen Automobilzulieferers.

Kolbenschmidt Pierburg AG. Renommiertes Zulieferer der internationalen Automobilindustrie.

Als langjährige Partner der Automobilhersteller entwickeln die Unternehmen der Kolbenschmidt Pierburg Gruppe innovative Komponenten und Systemlösungen mit anerkannter Kompetenz in Luftversorgung und Schadstoffreduzierung, bei Öl-, Wasser- und Vakuumpumpen, bei Kolben, Motorblöcken und Gleitlagern. Die Produkte der Kolbenschmidt Pierburg AG erfüllen die hohen Anforderungen und Qualitätsstandards der Automobilindustrie. Niedrige Schadstoffemission, günstiger Kraftstoffverbrauch, Zuverlässigkeit, Qualität und Sicherheit sind die maßgeblichen Antriebsfaktoren für die Innovationen von Kolbenschmidt Pierburg.

2. Auflage 11.06
Artikel-Nr. 50 003 973-01
ISBN 978-3-86522-182-7

Herausgeber:

© MSI Motor Service International GmbH
Untere Neckarstraße
74172 Neckarsulm, Germany

Redaktion:

Uwe Schilling
Alexander Schäfer

Technische Mitarbeit:

Andreas Bühl
Jean-Pierre Brigaud
Bernd Greiner
Mike Knowles
Karl Leitgeb
Uwe Scherzer
Uwe Schilling
Simon Schnaibel
Johann Szopa
Bernd Waldhauer

Layout und Produktion:

Margot Schneider
Hela Werbung GmbH, Heilbronn

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

Änderungen und Bildabweichungen vorbehalten.
Haftung ausgeschlossen

1. EINLEITUNG	4
1.1 Vorwort.....	4
1.2 Hinweise zum Gebrauch der Broschüre	5
2. SCHNELLDIAGNOSE	6
3. AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER SCHÄDEN	10
3.1 SPIELFRESSER	10
3.1.0 Allgemeines über Spielfresser	10
3.1.1 Spielfresser am Kolbenschaft	11
3.1.2 Spielfresser jeweils neben den Bolzenaugen (45°-Fresser)	12
3.1.3 Spielfresser am unteren Schaftende	14
3.2 TROCKENLAUFFRESSER	16
3.2.0 Allgemeines über Trockenlauffresser	16
3.2.1 Trockenlauffresser am Kolbenschaft	17
3.2.2 Einseitiger Kolbenschaftfresser ohne Gegendruckstellen	18
3.2.3 Trockenlauffreiber durch Kraftstoffüberschwemmung	20
3.2.4 Kolbenkopffresser an Dieselsonnen	21
3.2.5 Trockenlauffresser verursacht durch brandige Kolbenringe.....	22
3.3 ÜBERHITZUNGSFRESSER	24
3.3.0 Allgemeines zum Überhitzungsfresser.....	24
3.3.1 Überhitzungsfresser mit Schwerpunkt am Kolbenkopf.....	25
3.3.2 Überhitzungsfresser mit Schwerpunkt am Kolbenschaft.....	26
3.4 VERBRENNUNGSSTÖRUNGEN	27
3.4.0 Allgemeines über Kolbenschäden durch Verbrennungsstörungen	27
3.4.1 Abschmelzungen von Kolbenkopf und Kolbenschaft (Ottomotor)	31
3.4.2 An- und Abschmelzungen am Kolbenkopf (Dieselmotor)	32
3.4.3 Boden- und Bodenmuldenrisse (Dieselmotor).....	34
3.4.4 Ringstegbrüche	36
3.4.5 Anschlagspuren am Kolbenkopf (Dieselmotor)	38
3.4.6 Loch im Kolbenboden (Ottomotor)	40
3.4.7 Kolbenkopffresser durch Verwendung von falschen Kolben (Dieselmotor)	42
3.4.8 Erosion am Feuersteg und auf dem Kolbenboden (Ottomotor)	44
3.5 KOLBEN UND KOLBENRINGBRÜCHE	46
3.5.0 Allgemeines über Kolbenbrüche	46
3.5.1 Kolbenbruch in der Kolbenbolzennabe	47
3.5.2 Kolbenbruch durch Anlauf des Kolbenbodens gegen den Zylinderkopf	48
3.5.3 Materialauswaschung im Ringbereich (Ringbruch).....	50
3.6 KOLBENBOLZENBRÜCHE	52
3.6.0 Allgemeines über Kolbenbolzenbrüche.....	52
3.6.1 Gebrochener Kolbenbolzen.....	53
3.7 SCHÄDEN AN DEN BOLZENSICHERUNGEN	54
3.7.0 Allgemeines über Schäden an den Kolbenbolzensicherungen.....	54
3.7.1 Kolbenschäden durch gebrochene Bolzensicherungen	55



3.8	FRESSER IN DEN KOLBENBOLZENAUGEN	58
3.8.0	Allgemeines über Fresser in den Kolbenbolzenaugen	58
3.8.1	Fresser in den Kolbenbolzenaugen (schwimmend gelagerter Kolbenbolzen)	59
3.8.2	Fresser in den Kolbenbolzenaugen (Schrumpfleuel)	60
3.8.3	Fresser in den Kolbenbolzenaugen (mit Kolbenschaftfresser)	61
3.9	KOLBENGERÄUSCHE	62
3.9.0	Allgemeines über Kolbengeräusche.....	62
3.9.1	Radiale Anschlagstellen am Feuersteg.....	63
3.10	ZYLINDER UND ZYLINDERLAUFBUCHSEN	64
3.10.1	Laufbuchsenlängsrisse.....	65
3.10.2	Abgerissener Bund an der Zylinderbuchse	66
3.10.3	Kavitation an Zylinderbuchsen.....	68
3.10.4	Ungleichmäßiger Zylinderverschleiß	70
3.10.5	Glanzstellen im oberen Zylinderbereich	72
3.10.6	Laufbuchsenriss durch Flüssigkeitsschlag.....	74
3.11	ÜBERHÖHTER ÖLVERBRAUCH	76
3.11.0	Allgemeines zum Ölverbrauch	76
3.11.1	Ölabstreifring Montagefehler (erhöhter Ölverbrauch nach Motorreparatur)	77
3.11.2	Verschleiß der Kolben, Kolbenringe und Zylinderlaufbahn durch Schmutz (erhöhter Ölverbrauch)	78
3.11.3	Verschleiß der Kolben, Kolbenringe und Zylinder durch Kraftstoffüberschwemmung (erhöhter Ölverbrauch)	80
3.11.4	Kolbenringverschleiß kurz nach der Motorüberholung (erhöhter Ölverbrauch)	82
3.11.5	Unsymmetrisches Kolbentragbild (erhöhter Ölverbrauch).....	84
4.	ANHANG	86
4.1	Glossar	87
4.1.1	Fachausdrücke und Benennungen am Kolben.....	87
4.1.2	Erklärung der verwendeten Fachausdrücke.....	88
4.2	Empfohlene Werkzeuge und Prüfmittel.....	97
4.3	Technische Informationen.....	100

1 Einleitung

1.1 Vorwort

Die Anforderungen an den Verbrennungsmotor haben sich im Laufe seiner Entwicklungsgeschichte ständig verändert. Auch wenn die Automobilindustrie in heutiger Zeit mit hohen Literleistungen, hohen Drehmomenten, geringen Kraftstoffverbräuchen und mit der Erfüllung der neuesten Abgasnormen wirbt, spielte schon seit jeher die Haltbarkeit und Lebensdauer der Motoren die wichtigste Rolle für den Motorenentwickler.

Seit der Energiekrise in den siebziger Jahren kam bei der Entwicklung die Bemühung um Wirtschaftlichkeit, sprich die Senkung des Kraftstoffverbrauches, hinzu. Erste Benzineinspritzanlagen hielten Ihren Einzug in die Fahrzeug-Serienfertigung. Der Kraftstoffverbrauch konnte damit gesenkt und die Motorleistung erhöht werden.

In den achtziger Jahren stand bei der Motorenentwicklung der Umweltaspekt an oberster Stelle. Im Zuge dieser Anforderungen erfuhr der Verbrennungsmotor die wesentlichsten Änderungen bei der Gemischaufbereitung und der Abgasnachbehandlung. Der Einsatz von Katalysatoren zur Abgasreinigung bzw. Abgasnachbehandlung bei Benzinmotoren erforderte eine sehr viel genauere und regelbare Gemischbildung. Bestehende Einspritzanlagen wurden im Zuge der sich verschärfenden Abgasrichtlinien modifiziert und um die Lambdaregelung ergänzt. Vergaser konnten diese Anforderungen nicht mehr erfüllen und hatten endgültig ausgedient. Wurde die

Gemischaufbereitung bei Dieselmotoren in der Vergangenheit zum überwiegenden Teil durch indirekte Einspritzungen mit mechanischen Einspritzpumpen bewerkstelligt, so sind es heute Direkteinspritzmotoren mit elektronisch geregelter Hochdruckeinspritzung und Turboaufladung. Eine weitere Entwicklung hatte Ihren Ursprung in den achtziger Jahren. Mit der zunehmenden Mobilität und der damit verbundenen, schnell zunehmenden Jahresgesamtfahrleistung der Fahrzeuge, kam die Forderung nach verlängerten Wartungsintervallen. Um die Betriebssicherheit der Motoren zwischen den Wartungsintervallen zu gewährleisten und die empfindlichen Abgaskatalysatoren vor einer Verschmutzung durch Öl zu schützen, musste der Ölverbrauch der Motoren gesenkt und die Motorölqualität den erhöhten Anforderungen angepasst werden.

Im Zuge dieser Anforderungen unterlag auch das Innenleben der Motoren stetigen Weiterentwicklungen und Modifikationen. Die Fertigungsprozesse im Motorenbau wurden optimiert, die Fertigungstoleranzen und das Gewicht der Bauteile gesenkt und die Materialgüte erhöht. Die Form der Brennräume und der Gaswege wurde im Hinblick auf geringen Kraftstoffverbrauch und geringe Emissionen optimiert. Trotz diesen erheblichen konstruktiven Veränderungen im und am Motor haben sich die Schadensbilder von Kolben und Zylindern nicht maßgeblich geändert. Noch immer sind die Hauptursachen von Motorschäden auf Störungen, Unregelmäßigkeiten oder

auf Überbeanspruchungen thermischer oder mechanischer Art zurückzuführen. Schäden an den besonders hoch beanspruchten Teilen des Motors, vor allem am Kolben, sind die Folge.

Diese Broschüre soll dem interessierten Leser einen Einblick in die verschiedenen Schadensmöglichkeiten im Innersten eines Verbrennungsmotors geben und dem Fachmann als Hilfestellung bei der Diagnose und Ursachenermittlung dienen. Wie auch in der Medizin, ist bei der Beurteilung von Motorschäden ebenfalls eine ganzheitliche Betrachtungsweise erforderlich, um die nicht immer eindeutige(n) Ursache(n) identifizieren zu können. Nicht selten kommt es nach einer Motorreparatur zu erneuten Schäden und Ausfällen, weil die beschädigten Bauteile zwar ersetzt, nicht aber die Schadensursachen beseitigt wurden. Aus diesem Grund ist immer eine gewisse Detektivarbeit nötig um dem Fehler auf die Spur zu kommen. Zum Schadenshergang wird dem Fachmann, ohne weitere Angaben zur Laufzeit oder zum Ausmaß des Schadens, oft nur ein einzelnes defektes Teil präsentiert. In so einem Fall kann eine Diagnose jedoch nur allgemein und nicht schadenspezifisch ausfallen.

Alle Schäden in dieser neuen, vollständig überarbeiteten Ausgabe wurden mit großer Sorgfalt zusammengetragen und auf den neuesten Stand gebracht. Sie verfügen damit über ein umfangreiches Nachschlagewerk, welches Sie bei Ihrer Arbeit oder auch im Studium unterstützen kann.

1.2 Hinweise zum Gebrauch der Broschüre

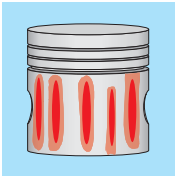


Abb. 1

Schäden zu erkennen ist eine nicht immer leichte Angelegenheit. Oftmals sind die Schäden auf den Fotos schwer auszumachen

und nicht ohne weiteres als solche erkennbar. Aus diesem Grund wurden die Schadenfotos um *Schadenpiktogramme* ergänzt (Abb. 1). Diese helfen die Schäden auf den Fotos besser zu erkennen und zu identifizieren. Es handelt sich dabei um keine 1:1 Darstellung des betreffenden Schadens. Die Piktogramme sind lediglich Beispieldarstellungen, die zum Teil noch um nützliche Zusatzinformationen ergänzt wurden.

Neu in dieser Broschüre sind ebenfalls die Schnelldiagnoseseiten welche ein schnelles Auffinden und Zuordnen

eines Schadens ermöglichen. Hier finden sich ebenfalls die oben genannten Schadenpiktogramme anhand derer eine Zuordnung oder zumindest eine Vorauswahl über die in Frage kommenden Schadenthemen getroffen werden kann.

In manchen Fällen sind zu ein und demselben Schaden mehrere unterschiedliche Piktogramme vorhanden. Wenn zum Beispiel ein Schaden am Kolben und auch an der Zylinderlaufbahn charakteristische Spuren hinterlassen hat, dann finden sich zu diesem Schaden unter Umständen zwei Piktogramme mit den jeweiligen Bauteilen und deren Schadensbildern.

Im Anhang dieser Broschüre wurde ein Glossar hinzugefügt in dem die

wichtigsten Fachausdrücke, die in dieser Broschüre benutzt wurden, nochmals erklärt werden.

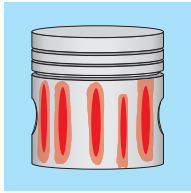
Eine Liste mit den von MSI Motor Service International GmbH empfohlenen Werkzeugen, ein Überblick über weitere verfügbare Broschüren sowie über das MSI Schulungsprogramm runden diese Ausgabe ab.

Wir hoffen Ihnen mit dieser Broschüre wertvolle Informationen zu geben die Ihnen beim Bestimmen der Schadenursachen und bei der Vermeidung künftiger Schäden hilfreich sein werden.

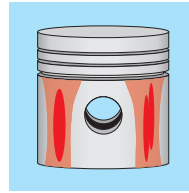
Ihre MSI Motor Service International GmbH



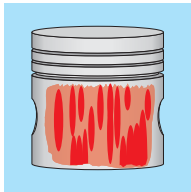
KOLBENSCHAFTFRESSER



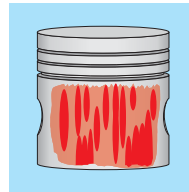
Spielfresser am Kolbenschaft..... 11



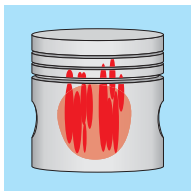
Spielfresser jeweils neben den Bolzen-
augen (45°-Fresser) 12



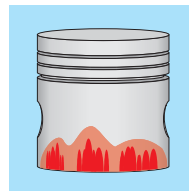
Einseitiger Kolbenschaftfresser
ohne Gegendruckstellen..... 18



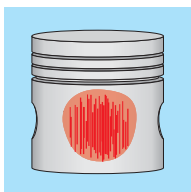
Überhitzungsfresser mit Schwerpunkt
am Kolbenschaft 26



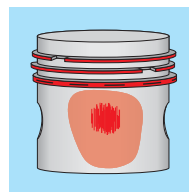
Trockenlauffresser am Kolbenschaft... 17



Spielfresser am unteren Schaftende... 14



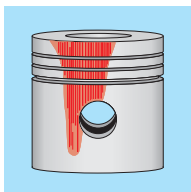
Trockenlaufreiber durch Kraftstoff-
überschwemmung..... 20



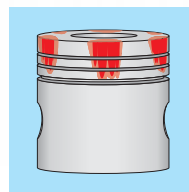
Verschleiß der Kolben, Kolbenringe
und Zylinder durch Kraftstoff-
überschwemmung (erhöhter
Ölverbrauch) 80



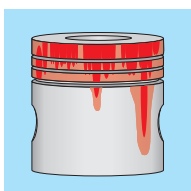
KOLBENKOPFFRESSER



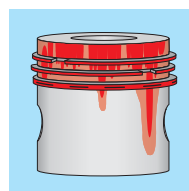
Kolbenkopffresser an Dieselpolben 21



Kolbenkopffresser durch Verwendung
von falschen Kolben (Dieselmotor) 42



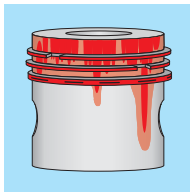
Überhitzungsfresser mit Schwerpunkt
am Kolbenkopf..... 25



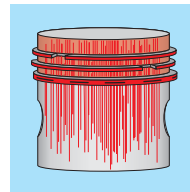
Trockenlauffresser verursacht durch
brandige Kolbenringe 22



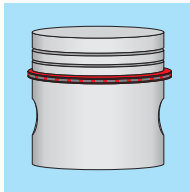
KOLBENRINGSCHÄDEN



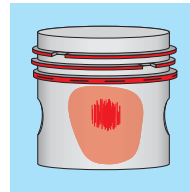
Trockenlauffresser verursacht durch
brandige Kolbenringe 22



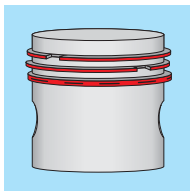
Verschleiß der Kolben, Kolbenringe
und Zylinderlaufbahn durch Schmutz
(erhöhter Ölverbrauch) 78



Ölabstreifring Montagefehler (erhöhter
Ölverbrauch nach Motorreparatur) 77



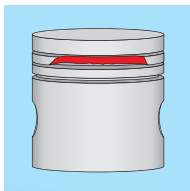
Verschleiß der Kolben, Kolbenringe
und Zylinder durch Kraftstoff-
überschwemmung (erhöhter
Ölverbrauch) 80



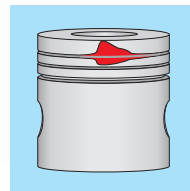
Kolbenringverschleiß kurz nach
der Motorüberholung (erhöhter
Ölverbrauch) 82



SONSTIGE SCHÄDEN IM RING- UND SCHAFTBEREICH



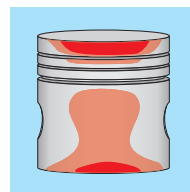
Ringstegbrüche 36



Materialauswaschung im Ringbereich
(Ringbruch) 50



Kolbenschäden durch gebrochene
Bolzensicherungen..... 55



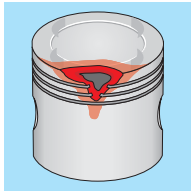
Radiale Anschlagstellen
am Feuersteg..... 63



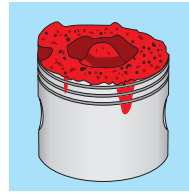
Unsymmetrisches Kolbentragbild
(erhöhter Ölverbrauch) 84



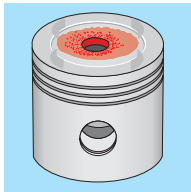
KOLBENKOPFSCHÄDEN



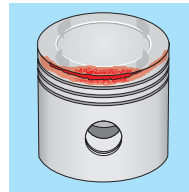
Abschmelzungen von Kolbenkopf und Kolbenschaft (Ottomotor)..... 31



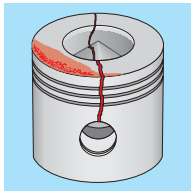
An- und Abschmelzungen am Kolbenkopf (Dieselmotor)..... 32



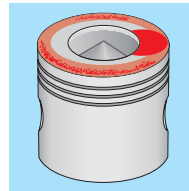
Loch im Kolbenboden (Ottomotor)..... 40



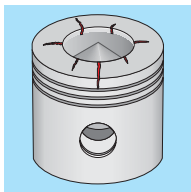
Erosion am Feuersteg und auf dem Kolbenboden (Ottomotor)..... 44



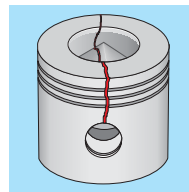
Kolbenbruch durch Anlauf des Kolbenbodens gegen den Zylinderkopf 48



Anschlagspuren am Kolbenkopf (Dieselmotor) 38

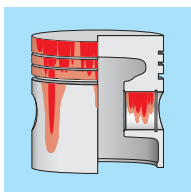


Boden- und Bodenmuldenrisse (Dieselmotor) 34

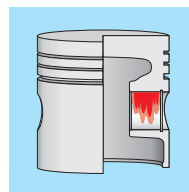


Kolbenbruch in der Kolbenbolzennabe 47

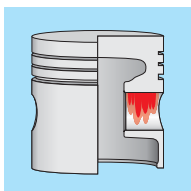
BOLZENFRESSER UND BOLZENBRÜCHE



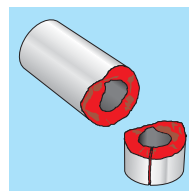
Fresser in den Kolbenbolzenaugen (mit Kolbenschaftfresser) 61



Fresser in den Kolbenbolzenaugen (schwimmend gelagerter Kolbenbolzen) 59



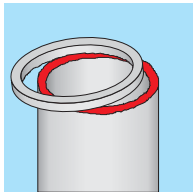
Fresser in den Kolbenbolzenaugen (Schrumpfpleuel) 60



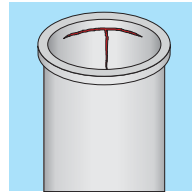
Gebrochener Kolbenbolzen 53



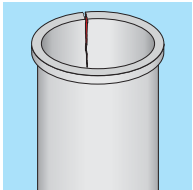
ZYLINDERSCHÄDEN



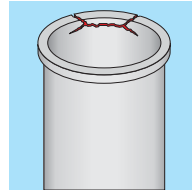
Abgerissener Bund an der Zylinderbuchse..... 66



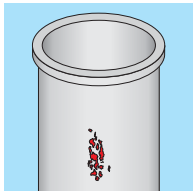
Abgerissener Bund an der Zylinderbuchse (Vorstufe) 66



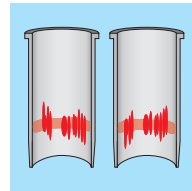
Laufbuchsenlängsrisse 65



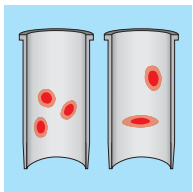
Laufbuchsenriss durch Flüssigkeitsschlag..... 74



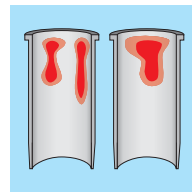
Kavitation an Zylinderbuchsen 68



Spielfresser am unteren Schaftende... 14



Ungleichmäßiger Zylinderverschleiß... 70



Glanzstellen im oberen Zylinderbereich 72



Ausführliche Beschreibung der Schäden





3.1 Spielfresser

3.1.0 Allgemeines über Spielfresser

Das Spiel zwischen Kolben und Zylinder kann sich im Betrieb bei falscher Dimensionierung der Laufpartner, bei Zylinderverzügen, oder aber auch bei thermischen Überlastungen unzulässig verringern oder ganz dezimiert werden. Darüber hinaus erreicht der Kolben im Betrieb wesentlich höhere Temperaturen als der Zylinder, was im Betrieb zu unterschiedlichem Wärmeausdehnungsverhalten von Kolben und Zylinder führt. Der Kolben erfährt eine stärkere Wärmeausdehnung als der ihn umschließende Zylinder. Aluminiumwerkstoffe erfahren darüber hinaus im Vergleich zu Grauguss eine doppelte Wärmeausdehnung was bei der Konstruktion entsprechend berücksichtigt werden muss.

Bei abnehmendem Spiel zwischen Kolben und Zylinder, kommt es zunächst zu einer Mischreibung, weil der Ölfilm an der Zylinderwand durch den sich ausdehnenden Kolben weggedrückt wird. Dadurch werden die tragenden Oberflächen am Kolben zunächst hochglänzend blank gerieben. Durch die Mischreibung und die so entstehende Reibungswärme erhöht sich durch die Temperatur der Bauteile noch weiter. Der Kolben drückt dabei immer stärker gegen die Zylinderwand. Die Funktion des Ölfilms kommt dabei völlig zum Erliegen. Es kommt zum Trockenlauf des Kolbens im Zylinder. Erste Anreißer mit glatter, dunkel gefärbter Oberfläche sind die Folge.

Zusammengefasst ergeben sich folgende charakteristische Merkmale eines Spielfressers: Hochglänzende Druckstellen, die in glatte, dunkel verfärbte Verreibungen übergehen. Die Fressstellen sind beim Spielfresser sowohl auf der Druck- als auch auf der Gegendruckseite vorhanden.

3.1.1 Spielfresser am Kolbenschaft

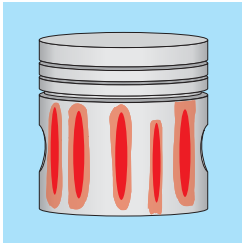


Abb. 1

Beschreibung

Um den Pleierschaft herum sind mehrere gleichartige Fressstellen vorhanden.

Die Fresser sind auf der Druck- und Gegendruckseite aufgetreten, d.h. zu den Fressstellen auf der einen Pleiersseite befinden sich auf der gegenüberliegenden Seite entsprechende Gegenfressstellen. Die Oberfläche der Fresser geht von hochglänzenden Druckstellen in dunkel verfärbte, relativ glatte Verreibungen über.

Das Ringfeld ist unbeschädigt.

Beurteilung

Das Spiel zwischen dem Pleierschaft und der Zylinderlaufbahn war entweder zu eng bemessen oder es wurde

durch Verzüge, die möglicherweise erst im Motorbetrieb aufgetreten sind, unzulässig eingengt.

Hinweis:

Im Gegensatz zum Trockenlauffresser tritt ein Spielfresser immer nach kurzer Laufzeit im Anschluss an eine Motorenüberholung ein.

Mögliche Ursachen

- Zu klein ausgeführte Zylinderbohrung.
- Zu fester oder ungleichmäßiger Anzug des Zylinderkopfes (Zylinderverzug).
- Unebene Planflächen am Zylinder oder am Zylinderkopf.
- Unsaubere oder verzogene Gewinde in den Gewindelöchern bzw. an den Zylinderkopfschrauben.
- Gefressene oder nicht gleichmäßig eingölte Auflageflächen der Schraubenköpfe.
- Verwendung von falschen oder ungeeigneten Zylinderkopfdichtungen.
- Zylinderverzüge durch ungleichmäßige Erwärmung, verursacht durch Kesselstein, Schmutz oder andere Störungen im Kühlsystem.

3.1.2 Spielfresser jeweils neben den Bolzenaugen (45°-Fresser)

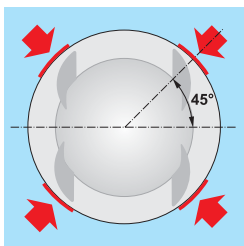
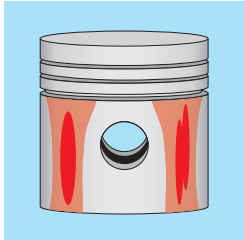


Abb. 1



Abb. 2



Abb. 3

Beschreibung

Charakteristisch an diesem Schadenbild sind die Fressstellen, die jeweils um ca. 45° versetzt zur Bolzenachse auftreten und sowohl auf der Druck-, als auch auf der Gegendruckseite, zu finden sind. Die Oberfläche der Fressstellen geht von hochglänzenden Druckstellen in dunkel verfärbte, relativ glatte Reiber über. Der Kolbenbolzen zeigt blaue Anlassfarben; ein Indiz dafür, dass in diesem Fall die Lagerung des Kolbenbolzens, aufgrund von Spiel- oder Öl-mangel, heiß lief.



Beurteilung

Der Schaden entsteht, wenn sich der Bereich um die Kolbenbolzenaufnahme übermäßig stark erwärmt. Da in diesem Bereich der Kolben ziemlich steif ist, kommt es zu einer erhöhten Wärmeausdehnung in diesem Bereich

und zu einer Spieleinengung zwischen Kolben und Zylinderlauffläche. Der relativ dünnwandige und damit elastische Kolbenschaft ist in der Lage, die erhöhte Wärmeausdehnung durch Nachgiebigkeit auszugleichen. Am

Übergang zu den steifen Bolzenaugen drückt das Material dann aber mit großer Kraft gegen die Zylinderwand, was letztlich zum Durchdrücken des Ölfilms und Anreiben des Kolbens führt.

Mögliche Ursachen

- **Zu hohe Belastung des noch nicht betriebswarmen Motors.**

Der Kolben kann innerhalb von 20 Sekunden seine volle Betriebstemperatur erreichen, während der kalte Zylinder hierfür sehr viel länger benötigt. Durch die unterschiedliche Wärmeausdehnung der beiden Bauteile dehnt sich der Kolben sehr viel stärker und schneller aus wie der Zylinder. Das Laufspiel des Kolbens wird an den oben beschriebenen Stellen stark eingeengt. Es kommt zu dem genannten Schaden.

- **Zu enge Passung des Kolbenbolzens im Pleuelkopf (Schrumpfpleuel).**

Bei zu enger Passung des Kolbenbolzens im Pleuelauge können das Pleuelauge und damit auch der Kolbenbolzen unrund werden. Der Grund hierfür liegt an den unterschiedlichen Wandstärken am Pleuelauge. Während in Richtung der Pleuelstange mehr Material und größere Wanddicken vorhanden ist, ist die Wanddicke am Pleuelende sehr viel geringer. Wenn sich der Kolbenbolzen verformt, wird das Spiel in der Bolzenlagerung eingeengt. Der

dadurch verursachte Spielmangel in der Lagerung führt zu einer erhöhten Reibungswärme und damit zu einer stärkeren Wärmeausdehnung in dem besagten Bereich.

- **Fresser in Pleuelauge durch Mangelschmierung bei der Erstinbetriebnahme des Motors.**

Beim Zusammenbau wurde der Kolbenbolzen nicht oder nur unzureichend geschmiert. Bevor das Öl bei der ersten Inbetriebnahme an die Lagerstelle gelangt, kommt es zu einer Mangelschmierung, zum Fressen des Bolzenlagers und damit zu einer erhöhten Wärmeentwicklung.

- **Montagefehler beim Einschrumpfen des Kolbenbolzens (Schrumpfpleuel).**

Beim Einschrumpfen des Kolbenbolzens in das Pleuelauge ist neben der o.g. Schmierung des Bolzens darauf zu achten, dass unmittelbar nach dem Einsetzen des Bolzens die Bolzenlagerung nicht durch Kolbenkippbewegung auf Freigang geprüft wird.

Unmittelbar nach dem Einsetzen des kühlen Bolzens in das heiße Pleuel kommt es zum Temperatenausgleich der beiden Bauteile. Der Kolbenbolzen kann dadurch noch sehr heiß werden. Er wird sich ausdehnen und kann in der noch kühlen Bolzenlagerung festklemmen. Wird die Lagerung in diesem Zustand bewegt, kann hier ein erster Anreiber oder Fresser entstehen der im Betrieb zur Schwergängigkeit der Lagerung und damit zu erhöhter Reibung und Wärmeentwicklung führt. Aus diesem Grund sollten die montierten Bauteile in Ruhe abkühlen und die Lagerung erst danach auf Freigängigkeit kontrolliert werden. ■

3.1.3 Spielfresser am unteren Schaftende

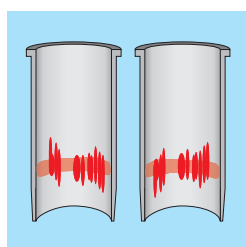
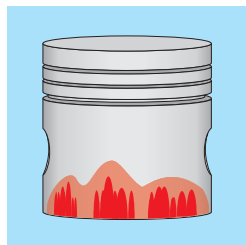


Abb. 1

Beschreibung

Der Kolben weist an den unteren Schaftenden typischen Spielfressern mit Druck- und Gegendruckstellen auf. Die Spuren gehen von hochglänzenden Druckstellen in glatte, dunkel verfärbte Verreibungen über. (Abb. 1) Alle anderen Kolbenpartien sind ohne besondere Merkmale. Die dazu gehörende nasse Zylinderlaufbuchse (Abb. 2) zeigt im unteren Bereich, dort wo sie am Außendurchmesser mit mehreren Dichtringen gegen Wasser und Öl im Kurbelgehäuse abgedichtet wird, genau gleichartige Fresser.



Abb.2



Kolbenschäden

BESCHREIBUNG – BEURTEILUNG – URSACHEN

Beurteilung

Da die Fressstellen sowohl am Kolben wie an der Zylinderlaufbuchse die charakteristischen Merkmale eines

Spielfressers tragen, muss das Laufspiel zwischen Kolben und Zylinder im unteren Bereich durch die Verformung

des Zylinders so stark eingeengt worden sein, dass der Ölfilm wegen Spielmangel durchgedrückt wurde.

Mögliche Ursachen

- Maßlich falsche oder ungeeignete O-Ringe können eine Zylinderlaufbuchse bis zur völligen Reduzierung des Kolbenlaufspiels verformen. Zur Sicherstellung eines ausreichend großen Quellraums sollten die Dichtungen nur ca. 70 % des Nutenvolumens ausfüllen.
- Verwendung von zusätzlichem Dichtmittel bei O-Ringen. Die für diesen Zweck verwendeten Dichtungen haben die Eigenschaft, dass sie durch den Einfluss von Öl im Betrieb aufquellen. Diese Eigenschaft ist gewollt um die Dichtheit über längere Zeiträume zu gewährleisten. Es darf deshalb kein zusätzliches Dichtmittel verwendet werden. Der Freiraum in der Nut würde gänzlich gefüllt und die O-Ringe könnten sich im Betrieb nicht ausdehnen.
- In den Nuten für die Dichtungen im Gehäuse waren möglicherweise noch Reste der alten Dichtungen vorhanden (s.o.).
- Dichtungen können eine einwandfreie Abdichtung nicht gewährleisten, wenn sie sich beim Einführen der Laufbuchse verwinden. Sie müssen deshalb vor der Laufbuchsenmontage immer mit einem Gleitmittel bestrichen werden. ■

3.2 Trockenlauffresser

3.2.0 Allgemeines über Trockenlauffresser

Trockenlauffresser können generell, d.h. auch bei ausreichendem Spiel zwischen Zylinder und Kolben auftreten. Dabei bricht der Ölfilm aufgrund der hohen Temperatur oder wegen Kraftstoffüberschwemmung, oftmals

nur örtlich begrenzt, zusammen. An diesen Stellen reiben nun die ungeschmierten Flächen von Kolben, Kolbenringen und Zylinderlaufbahn aufeinander, dies führt in sehr kurzer Zeit zu Fressern mit stark aufgerie-

bener Oberfläche. Ähnliche Erscheinungen treten auf, wenn Ölmangel vorliegt, d. h. wenn überhaupt kein Schmierfilm mehr zwischen Kolben und Zylinder vorhanden ist.

Zusammengefasst ergeben sich folgende charakteristische Merkmale eines Trockenlauffressers:



a) Bei gänzlich zerstörtem Ölfilm:

Überganglos treten eng begrenzte Fresser überwiegend am Kolbenschaft auf, die eine stark verriebene, dunkel gefärbte Oberfläche aufweisen. Im Anfangsstadium sind oft keine Fresser auf der gegenüberliegenden Kolbenseite zu finden.



b) Bei Ölmangel:

Diese sind bis auf die Einfärbung der Oberfläche mit den oben beschriebenen Trockenlauffressern identisch. Die Oberfläche der Fressstellen ist nahezu metallisch rein und nicht dunkel verfärbt. Da sich der Ölmangel auf die gesamte Zylinderoberfläche erstreckt, sind oftmals auch im Anfangsstadium Fressstellen sowohl auf der Druck-, als auch auf der Gegendruckseite zu finden.

3.2.1 Trockenlauffresser am Kolbenschaft

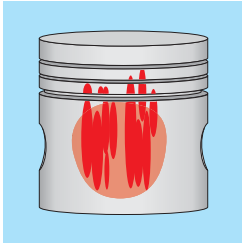


Abb. 1

Beschreibung

Im Laufflächenbereich, dort wo sich am Kolbenschaft normalerweise das Tragbild abbildet, sind Fressstellen vorhanden, die sich teilweise bis ins Ringfeld erstrecken. Auf der gegenüberliegenden Schaftseite sind leichte Gegenfressstellen aufgetreten. Die Oberfläche der Fressstellen ist nicht dunkel verfärbt und nahezu metallisch rein.

Beurteilung

Zwischen der Kolben- und Zylinderlaufbahn hat akuter Schmiermangel vorgelegen. Die nahezu metallisch reine Oberfläche der Fressstellen zeigt an, dass zum Zeitpunkt des Fressers der Ölfilm zwar noch vorhanden aber entscheidend geschwächt war.

Aufgrund der geringen Beschädigung kann es sich hierbei um einen temporären Ölmangel oder um einen Schaden im Anfangsstadium handeln. Bei einem Weiterbetrieb des Motors unter Schmierölmangel wäre der Schaden sicherlich noch schwerwiegender ausgefallen.

Hinweis:

Die Schadensstelle am Kolben liegt bei dieser Art von Trockenlauffresser immer an den Stellen an der der Kolbenschaft im Zylinder trägt, also dort, wo sich bei einem unbeschädigten, gelaufenen Kolben das normale Tragbild abzeichnen würde.

Mögliche Ursachen

- Mangelschmierung durch Motorölmangel
- Zu niedriger Öldruck im Motor (Ölpumpe, Überdruckventil usw.). Dadurch steht zu wenig Öl zur Schmierung zur Verfügung. An den

Lagerstellen der Kurbelwelle tritt zu wenig Öl aus. Die Zylinderlaufbahn die hauptsächlich durch Spritz- und Schleuderöl von der Kurbelwelle geschmiert wird, wird aus diesem Grund unzureichend mit Schmieröl versorgt.



3.2.2 Einseitiger Kolbenschafffresser ohne Gegendruckstellen

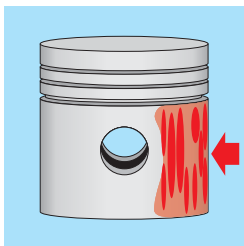
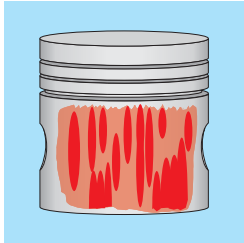


Abb. 1

Beschreibung

Auf der einen Kolbenschaffseite sind schwere, dunkel verfärbte Fresser mit stark aufgerissener Oberfläche vorhanden. Infolge der hohen Temperaturen am Kolben (Abb. 1) wurde im Fressstellenbereich das Kolbenmaterial an der Schafffläche großflächig herausgerissen. Die Abbruchkante in Höhe des Kolbenbolzens zeigt dies deutlich. Ganz typisch ist die der Fressstelle gegenüberliegende Kolbenschaffseite völlig unbeschädigt, was im Anfangsstadium meist auch für das Ringfeld zutrifft.



Abb. 2



Kolbenschäden

BESCHREIBUNG – BEURTEILUNG – URSACHEN

Beurteilung

Es handelt sich hierbei um einen typischen Trockenlauffresser. Dieser Schaden entsteht, wenn der Schmierfilm nur auf einer Zylinderhälfte zusammenbricht. Der Schaden tritt

meistens an der Druckseite, seltener an der Gegendruckseite auf. Dies geschieht entweder durch einen lokal begrenzten Schmiermangel oder durch eine Überhitzung der betreffen-

den Zylinderseite. Ein Spielmangel scheidet als Schadensursache aus, da trotz der schweren Fresser auf der gegenüberliegenden Seite keinerlei Gegendruckstellen vorhanden sind.

Mögliche Ursachen

- Teilweiser Zusammenbruch der Kühlung durch Kühlmittelmangel, Luftblasen, Schmutzablagerungen oder durch sonstige Störungen des Kühlkreislaufes.
- Bei Rippenzylindern kann es durch Schmutzablagerungen außen am Zylinder zu einer örtlichen Überhitzung des Zylinders und damit zum Zusammenbruch des Schmierfilms kommen.
- Defekte, fehlende oder falsch montierte Luftleitbleche bei luftgekühlten Motoren.
- Bei Motoren, bei denen konstruktiv die höher belastete Zylinderdruckseite über Spritzdüsen im Pleuel zusätzlich mit Öl angespritzt wird, kann auch eine verstopfte Spritzdüse oder mangelnder Öldruck zu diesem Schaden führen.
- Ölverdünnung oder für den Einsatzzweck ungeeignete Ölqualitäten, die an der stärker belasteten Zylinderdruckseite zuerst zu einer Mangel-schmierung führen. ■

3.2.3 Trockenlaufreiber durch Kraftstoffüberschwemmung

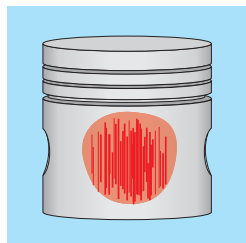


Abb. 1

Beschreibung

Auf der Lauffläche des Kolbenschaftes, dort wo sich normalerweise das Kolbentragbild befindet, sind schmale, scharf begrenzte, längliche Reibstellen vorhanden.

Beurteilung

Unverbrannter Kraftstoff, der an der Zylinderlaufbahn kondensiert, hat den tragenden Ölfilm verdünnt bzw. abgewaschen. Dadurch kommt es zum Trockenlauf zwischen den Gleitpartnern Kolben und Zylinder.

Langgezogene, schmale Reibstellen sind die Folge. Das Ringfeld bleibt bei solchen Schäden unbeschädigt, da hier hauptsächlich nur die Kolbenringe in Kontakt mit der Zylinderlaufbahn stehen.

Hinweis:

Der Schadensort am Kolben liegt beim Kraftstoffreiber immer an den Stellen im Schaftragsbereich wo der Kolbenschaft im Zylinder trägt. Bei einem unbeschädigten, gelaufenen Kolben zeichnet sich dort das normale Tragbild ab.

Mögliche Ursachen

- Überfetteter Motorlauf und Verbrennungsstörungen durch Fehler im Ansaugsystem, verstopfte Luftfilter, Fehler bei der Gemischaufbereitung oder an der Zündanlage.
- Ungenügende Verdichtung und dadurch verursacht eine unvollständige Verbrennung.
- Kaltstarteinrichtung defekt oder Choke zu lange betätigt (Vergasermotoren).
- Ölverdünnung durch häufigen Kurzstreckenbetrieb bzw. durch Überfettung

3.2.4 Kolbenkopffresser an Dieselkolben

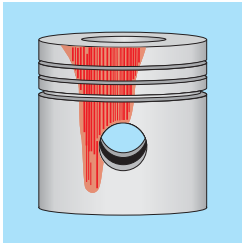


Abb. 1

Beschreibung

Der Kolbenkopf hat örtlich mit Schwerpunkt am Feuersteg gefressen. Die Oberfläche der Fressstellen ist rau und aufgerieben, zum Teil sind sogar schon größere Materialstücke herausgerissen.

Beurteilung

Durch einen Fehler an der Einspritzdüse spritzte unzerstäubter Kraftstoff bis an die Zylinderwand und schwächte dort den Ölfilm bis zum totalen Trockenlauf. Das Kolben-

material hat in diesem Bereich am Feuersteg durch Trockenlauf so stark gefressen, dass es zu einer regelrechten Verschweißung des Kolbenmaterials mit der Zylinderwand gekommen

ist, wodurch mehr oder weniger große Stücke aus dem Kolbenkopf herausgerissen wurden.

Mögliche Ursachen

- Undichte, nachtropfende, verschmutzte oder falsche Einspritzdüsen.
- Klemmende Düsennadel durch verzogenen Einspritzdüsenkörper (falsches Anzugsdrehmoment).
- Falscher Einspritzzeitpunkt (Förderbeginn). ■

3.2.5 Trockenlauffresser verursacht durch brandige Kolbenringe

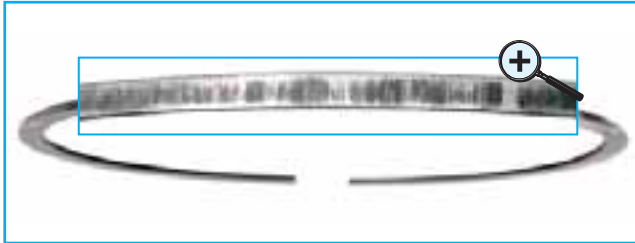
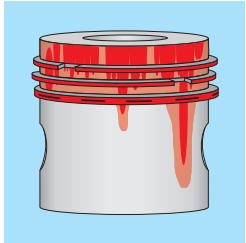


Abb. 1



Abb. 2

Beschreibung

An den Ringlaufflächen sind Fressriefen und Brandflecken vorhanden. Die Zylinderbohrungen (nicht abgebildet) haben Längsriefen. Am linken Kolben (Abb. 3) sind oben rechts am Feuersteg erste Anreißer sichtbar. Im fortgeschrittenen Stadium (Abb. 4) haben sich die Reiber über den gesamten Kolben ausgebreitet.



Abb. 3



Abb. 4



Kolbenschäden

BESCHREIBUNG – BEURTEILUNG – URSACHEN

Beurteilung

Solche Schäden treten bevorzugt in der Einlaufphase unter starker Belastung auf, wenn die Kolbenringe infolge mangelnden Einlaufs noch nicht Ihre volle Dichtwirkung erlangt haben (überwiegend an Dieselkolben). Die an den Ringen vorbeiströmenden Verbrennungsgase heizen die Ringe und die Zylinderwand übermäßig auf

und verursachen einen Zusammenbruch der Schmierung zwischen den Kolbenringen und der Zylinderwand. Aber auch Verbrennungsstörungen und erhöhte Temperaturen bzw. eine ungenügende Kühlung von Kolben und Zylinderwand können den Schmierfilm beeinträchtigen oder zerstören. Dies bedeutet zunächst einen Trocken-

lauf für die Kolbenringe, wodurch die sogenannten Brandflecken entstehen. Über die ungeschmierten Zylinderpartien muss auch der Kolben gleiten, was zunächst zu Anreibern am Feuersteg und im weiteren Schadenverlauf zu Fressstellen am gesamten Kolbenschaft führt (Abb. 4).

Mögliche Ursachen

- Übermäßige Belastung des Motors während der Einlaufphase.
- Die Struktur der gehonten Zylinderoberfläche war für eine gute Haftfähigkeit des Motorenöls nicht optimal (Verquetschung der Graphitadern, Blechmantelbildung, zu geringe Rauheit und/oder falscher Honwinkel).
- Ungeeignetes Schmieröl (falsche Ölqualität und Viskosität).
- Die Temperatur an den Zylinderlaufbahnen war zu hoch (Fehlfunktionen im Kühlsystem bzw. Ablagerungen in den die Zylinder umschließenden Kühlkanälen).
- Verbrennungsstörungen und dadurch erhöhte Temperaturen während der Verbrennung (mageres Gemisch, Glühzündungen, nachtropfende oder undichte Einspritzdüsen)
- Unzureichende Ölversorgung der Zylinderlaufbahnen durch zu wenig Spritz- und Schleuderöl von den Pleuel- und Kurbelwellenlagern.

Hinweis:

Weiterführende Informationen zum Thema Honen finden Sie in unserer Broschüre „Honen von Grauguss Motorblöcken“ und in der Broschüre „Ölverbrauch und Ölverlust“. Beide Broschüren sind im Anhang mit Bestellnummer aufgeführt.

3.3 Überhitzungsfresser

3.3.0 Allgemeines zum Überhitzungsfresser



Beim Überhitzungsfresser bricht der Ölfilm infolge zu hoher Temperaturen zusammen. Es kommt zunächst zur Mischreibung und zu einzelnen Reibstellen. Im weiteren Verlauf kommt es durch die zusätzliche Aufheizung an den Reibstellen zum kompletten Trockenlauf des Kolbens im Zylinder. Die Fressstellen sind dunkel verfärbt und stark aufgerissen. Je nach Schadenursache beginnt der Überhitzungsfresser entweder am Kolbenschaft oder am Kolbenkopf.

3.3.1 Überhitzungsfresser mit Schwerpunkt am Kolbenkopf

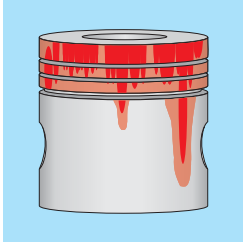


Abb. 1

Beschreibung

Vom Kolbenkopf ausgehend sind starke Fresser aufgetreten, die zum Schafende hin mehr und mehr auslaufen. Die Oberfläche der Fressstellen ist dunkel verfärbt, stark verriefet und zum Teil aufgerissen. Die Fresser verteilen sich auf den gesamten Kolbenumfang. Die Kolbenringe sind ebenfalls rundherum verfressen, wobei die Fresser zum Ölabbstreifring hin schwächer werden.

Beurteilung

Der Kolbenkopf hat sich durch sehr hohe thermische Überlastung vom Verbrennungsraum her so stark aufgeheizt, dass er einerseits das Laufspiel überbrückt und andererseits den Ölfilm mehr und mehr zerstört hat.

Dies führte letztlich zu dem gesamten Kolbenkopf herum zu einer Kombination von Spiel- und Trockenlauffresser. Genereller Spielmangel aufgrund eines zu geringen Kolbeneinbauspiels scheidet als

Schadensursache aus, da sich in diesem Fall der Ausgangspunkt des Schadens im Schaftbereich befinden würde (siehe hierzu auch Punkt „3.1.1 Spielfresser am Kolbenschaft“)

Mögliche Ursachen

- Längere, hohe Belastung des noch nicht voll eingelaufenen Motors.
- Überhitzung durch einen gestörten Verbrennungsablauf.
- Störungen im Motorkühlsystem.
- Störungen bei der Ölversorgung (Kolben mit Ölkühlung bzw. mit Kühlkanal)
- Verbogene oder verstopfte Ölspritzdüsen, die den Kolben von unten nicht oder nur unzureichend mit Öl kühlen.



3.3.2 Überhitzungsfresser mit Schwerpunkt am Kolbenschaft

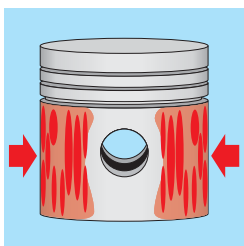
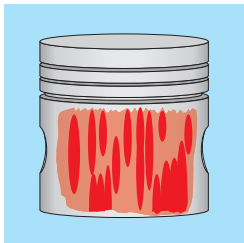


Abb. 1



Beschreibung

Der Pleierschaft hat nahezu rundherum gefressen. Die Oberfläche der Fressstellen ist dunkel gefärbt, rau und stark aufgerieben. Das Ringfeld ist nur geringfügig durch hochgeriebes Pleiersmaterial beschädigt.

Beurteilung

Durch starke Überhitzung des gesamten Motors ist die Schmierung im Zylinder rundherum zusammengebrochen. Dies führte zu dem cha-

rakteristischen Trockenlauffresser mit stark aufgeriebener Oberfläche. Wegen fehlendem Pleierskopffresser und da sich der Schwerpunkt des

Schadens im Pleierschaftbereich befindet, kann eine motorische Überlastung durch Verbrennungsstörungen ausgeschlossen werden.

Mögliche Ursachen

- Überhitzung des Motors durch Störungen im Kühlsystem (Kühlmittelmangel, Schmutz, defekte Wasserpumpe, fehlerhaftes Thermostat, gerissener oder rutschender Keilriemen, unzureichend oder fehlerhaft entlüftete Kühlsysteme)
- Bei luftgekühlten Motoren: Überhitzungen durch Schmutzablagerungen auf den Zylinderaußen-seiten, abgebrochene Kühlrippen oder durch ausgefallene oder beeinträchtigte Kühlluftventilation. ■

3.4 Verbrennungsstörungen

3.4.0 Allgemeines über Kolbenschäden durch Verbrennungsstörungen

Verbrennungsstörungen bei Ottomotoren

Die normale Verbrennung des Kraftstoff-Luftgemisches im Zylinder folgt einem genau vorbestimmten Ablauf. Sie wird durch den Funken der Zündkerze kurz vor dem oberen Totpunkt eingeleitet. Die Flamme breitet sich von der Zündkerze ausgehend kreisförmig aus und durchläuft den Brennraum mit stetig steigender Brenngeschwindigkeit von 5–30 m/s. Der Druck im Verbrennungsraum steigt dadurch steil an und erreicht kurz

nach dem oberen Totpunkt seinen maximalen Wert. Der Druckanstieg pro Grad Kurbelwinkel darf dabei, zur Schonung der Triebwerksteile, 3–5 bar nicht überschreiten. Dieser normale Verbrennungsablauf kann aber durch verschiedene Einwirkungen gestört werden, woraus sich im Wesentlichen drei ganz unterschiedliche Fälle von Verbrennungsstörungen beschreiben lassen:

1. **Glühzündung (Vorentflammung):** führt zu thermischer Überlastung des Kolbens
2. **Klopfende Verbrennung:** führt zu erosionsartigen Materialabtragungen und mechanischer Überbelastung an den Kolben und am Kurbeltrieb
3. **Kraftstoffüberschwemmung:** führt zu Verschleiß mit Ölverbrauch und auch zu Kolbenfressern.

In der Abb. 1 sind die Unterschiede dargestellt wie ein normaler Verbrennungsablauf, eine klopfende

Verbrennung sowie die Glühzündung zeitlich ablaufen.

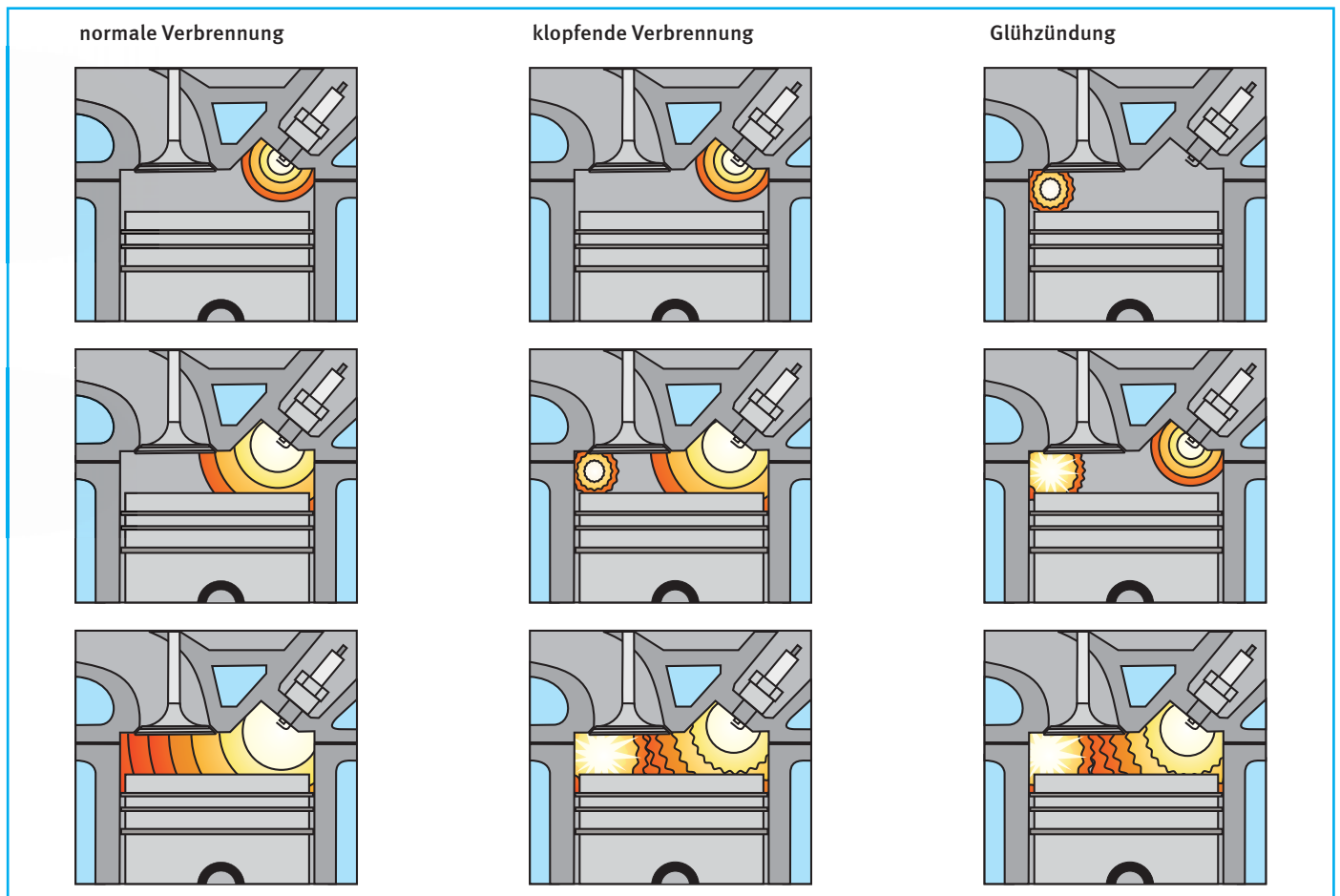


Abb. 1



zu 1. Glühzündung (Vorentflammung):

Bei einer Glühzündung wird die Verbrennung durch ein im Verbrennungsraum glühendes Teil, bereits vor dem eigentlichen Zündzeitpunkt eingeleitet. In Betracht kommen das heiße Auslassventil, die Zündkerze, Dichtungsteile und Ablagerungen auf diesen Teilen und den Flächen, die den Verbrennungsraum umschließen. Die Flamme wirkt bei Glühzündung unkontrolliert auf die Bauteile ein, wodurch die Temperatur am Kolbenboden sehr stark ansteigt und bei ununterbrochener Glühzündung schon nach wenigen Sekunden den Schmelzpunkt des Kolbenmaterials

erreicht. Bei Motoren mit weitgehend halbkugelförmigem Brennraum entstehen dadurch im Kolbenboden Löcher, die meist in Verlängerung der Zündkerzenachse auftreten.

Bei Brennräumen mit größeren Quetschflächen zwischen Kolbenboden und Zylinderkopf, schmilzt meist im Bereich der Quetschflächen an der am höchsten belasteten Stelle der Feuersteg an, was sich oftmals bis zum Ölring und bis ins Kolbeninnere fortsetzt.

Zur Erläuterung:

Als Quetschfläche wird im Motorenbau jene Fläche am Kolbenboden bezeichnet, die im oberen Totpunkt des Kolbens dem Zylinderkopf ziemlich nahe kommt. Bei der Aufwärtsbewegung des Kolbens in Richtung des oberen Totpunktes werden die Frischgase aus diesem engen Spalt in Richtung Mitte des Verbrennungsraumes gequetscht, wodurch eine Verwirbelung der Gase und somit auch eine bessere Verbrennung erreicht werden. Eine klopfende Verbrennung, die zu hoher Oberflächentemperatur einzelner Teile des Brennraumes führt, kann ebenfalls Glühzündungen hervorrufen.

zu 2. Klopfende Verbrennung:

Bei klopfender Verbrennung wird die Zündung normal über den Funken der Zündkerze eingeleitet. Die sich von der Zündkerze ausbreitende Flammfront erzeugt Druckwellen, die in dem unverbrannten Gas kritische Reaktionen hervorrufen. Dadurch kommt es im Restgasgemisch an vielen Stellen gleichzeitig zur Selbstentzündung. Die Brenngeschwindigkeit steigert sich dadurch auf den 10–15fachen Wert. Der Druckanstieg pro Grad Kurbelwinkel und die Druckspitze werden wesentlich höher. Des Weiteren bilden sich im Expansionshub sehr hochfrequente Druckschwingungen. Außerdem heizen sich die den Brennraum umschließenden Oberflächen sehr stark auf. Von Rückständen sauber gebrannte Brennräume sind ein untrügliches Zeichen für eine klopfende Verbrennung.

Leichtes Klopfen mit Unterbrechungen wird von den meisten Motoren über längere Zeit ohne Schäden ertragen.

Stärkeres, länger anhaltendes Klopfen führt zu erosionsartigen Abtragungen von Kolbenmaterial am Feuersteg und auf dem Kolbenboden. Auch der Zylinderkopf und die Zylinderkopfdichtung können in ähnlicher Weise geschädigt werden. Teile im Verbrennungsraum (z.B. die Zündkerze) können sich dabei so stark aufheizen, dass daraus Glühzündungen (Vorentflammungen) mit einer thermischen Überbeanspruchung des Kolbens entstehen (An- und Abschmelzungen).

Schweres Dauerklopfen führt nach kurzer Zeit zu Ringsteg- und Schaftbrüchen, die meistens ohne An- und Abschmelzungen und ohne Fresser auftreten.

In der Abb. 1 ist der Druckverlauf im Verbrennungsraum graphisch dargestellt. Die blaue Kennlinie zeigt einen Druckverlauf bei normaler Verbrennung. Die rote Kennlinie zeigt einen Druckverlauf bei klopfender Verbrennung der mit Druckspitzen überlagert ist.

zu 3. Kraftstoffüberschwemmung:

Zu fettes Gemisch, nachlassender Verdichtungsdruck und Zündstörungen rufen unvollkommene Verbrennung mit Kraftstoffüberschwemmung hervor. Die Schmierung der Kolben, Kolbenringe und Zylinderlaufbahnen wird mehr und mehr unwirksam. Mischreibung mit Verschleiß und Ölverbrauch sowie Fresser sind die Folge (näheres siehe auch unter Ölverbrauch und Kolbenfresser)

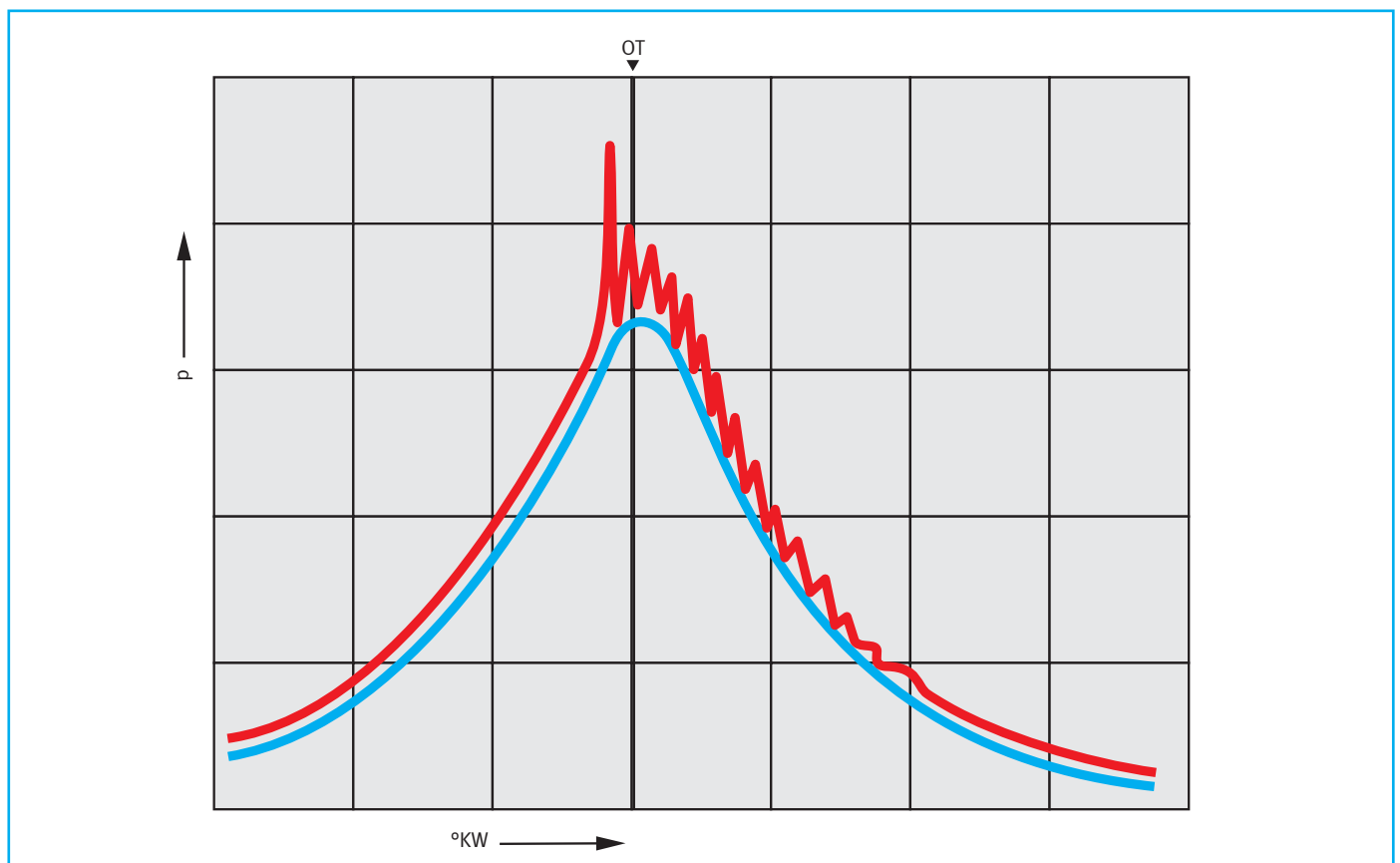


Abb. 1



Verbrennungsstörungen bei Dieselmotoren

Für einen optimalen Verbrennungsablauf beim Dieselmotor, spielt neben eines mechanisch einwandfreien Zustand des Motors auch eine äußerst fein zerstäubende, exakt abspritzende Einspritzdüse, sowie ein korrekter Einspritzbeginn eine wesentliche Rolle. Nur so kann der eingespritzte Kraftstoff mit geringstem Zündverzug entflammen und bei normalem Druckablauf restlos verbrennen. Dieser normale Verbrennungsablauf kann aber durch verschiedene Einflüsse gestört werden. Im Wesentlichen gibt es drei gravierende Arten von Verbrennungsstörungen:

1. Zündverzug
2. Unvollständige Verbrennung
3. Nachtropfende Einspritzdüsen

zu 1. Zündverzug:

Der am Einspritzbeginn eingespritzte Kraftstoff entzündet sich, wenn er nicht fein genug zerstäubt und im richtigen Zeitpunkt in den Zylinder kommt oder wenn die Verdichtungs-temperatur bei Spritzbeginn noch nicht hoch genug ist, erst mit einer gewissen Verzögerung (Zündverzug). Der Zerstäubungsgrad ist nur vom Zustand der Einspritzdüse abhängig. Eine Düse, die bei der Prüfung mit einem Düsenprüfgerät einwandfrei abspritzt, kann jedoch bei der Montage in den Zylinderkopf oder durch Temperaturspannungen so verklemmt werden, dass sie beim Betrieb nicht mehr einwandfrei zerstäubt. Die Verdichtungs-temperatur ist vom Verdichtungsdruck und somit vom mechanischen Zustand des Motors abhängig. Der kalte Motor weist immer einen gewissen Zündverzug auf. Die kalten Zylinderwände entziehen der ohnehin kälteren Ansaugluft beim

Verdichten so viel Wärme, dass die bei Einspritzbeginn vorhandene Verdichtungs-temperatur nicht ausreicht, um den eingespritzten Kraftstoff sofort zu entflammen. Erst bei weiter fortschreitender Verdichtung wird die Zündtemperatur erreicht und der bis dahin eingespritzte Kraftstoff schlagartig entflammt. Dies verursacht einen steilen explosionsartigen Druckanstieg mit Geräuschbildung und eine starke Erwärmung des Kolbenbodens. Brüche im Triebwerk z.B. der Ringstege, des Kolbens und Wärmespannungsrisse im Kolbenboden, sind die Folge.

zu 2. Unvollständige Verbrennung:

Wenn der Kraftstoff nicht zum richtigen Zeitpunkt oder unzerstäubt in den Verbrennungsraum gelangt, kann er in der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit nicht restlos verbrennen. Das gleiche geschieht, wenn nicht genügend Sauerstoff, d.h. Ansaugluft in den Zylinder gelangt. Ursachen können ein verstopfter Luftfilter, nicht korrekt öffnende Einlassventile, Fehler am Turbolader oder Verschleiß an den Kolbenringen und den Ventilen sein. Der nicht oder nicht vollkommen verbrannte Kraftstoff schlägt sich zum Teil an den Zylinderwänden nieder und beeinträchtigt oder zerstört dort den Schmierfilm. Die Laufflächen und Flanken der Kolbenringe, die Nutflanken der Kolben, die Zylinderlaufbahn und letztlich auch die Kolbenschichtflächen werden dadurch in kürzester Zeit stark verschliffen oder fressen. Ölverbrauch und Leistungsverlust sind die Folge (beispielhafte Schadensbilder, siehe unter Ölverbrauch und Trockenlauffresser)

zu 3. Nachtropfende Einspritzdüsen:

Damit die Einspritzdüsen durch Druckschwankungen vom Druckventil der Einspritzpumpe über die Einspritzleitungen bis hin zu den Düsen nach Einspritzende nicht nochmals öffnen und nachspritzen, wird das System über das Druckventil der Einspritzpumpe nach Einspritzende um einen gewissen Betrag druckentlastet. Ist der Abspritzdruck der Einspritzdüsen zu niedrig eingestellt oder kann er von der Düse nicht zuverlässig gehalten werden (mechanische Düsen), können die Düsen durch Druckschwankungen in der Einspritzleitung trotz der Druckentlastung auch nach dem Einspritzende noch mehrmals kurz hintereinander öffnen. Undichte oder nachtropfende Düsen verursachen ebenfalls eine unkontrollierte Kraftstofffeinbringung in den Brennraum. Der in beiden Fällen unkontrolliert eingespritzte Kraftstoff trifft durch den fehlenden Sauerstoff unverbrannt auf den Kolbenboden. Dort verglimmt der Kraftstoff mit recht hohen Temperaturen und heizt das Kolbenmaterial örtlich so stark auf, dass die Massenkraft und Erosion der Verbrennungsgaseteilchen des Kolbens aus der Oberfläche herausreißen können. Beträchtliche Materialabtragungen bzw. erosive Auswaschungen am Kolbenboden sind die Folge.

3.4.1 Abschmelzungen von Kolbenkopf und Kolbenschaft (Ottomotor)

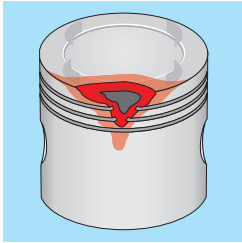


Abb. 1

Beschreibung

Am Kolbenkopf ist das Kolbenmaterial hinter den Ringen hindurch abgeschmolzen. Der Kolbenschaft hat nicht primär gefressen, es ist lediglich von der Schadenstelle Kolbenmaterial auf den Kolbenschaft aufgerieben.

Beurteilung

Kolbenkopfaberschmelzungen an Ottomotoren sind die Auswirkung von Glühzündungen an Kolben mit überwiegend ebenem Boden und größeren Quetschflächen. Glühzündungen werden durch glühende Teile im Verbrennungsraum eingeleitet, wenn diese die Selbstzündtemperatur des

Gasgemisches überschreiten. Dies sind im Wesentlichen die Zündkerze, das Auslassventil und an den Brennraumwänden haftende Rückstände. Im Quetschflächenbereich wird der Kolbenkopf durch Glühzündung sehr stark aufgeheizt. Die Temperaturen erreichen Werte, die das Kolbenmaterial

in einen teigigen Zustand versetzt. Durch die Massenkraft und durch die in die Schadenstelle eindringenden Verbrennungsgase wird Material bis zum Ölring hin abgetragen.

Mögliche Ursachen

- Zündkerzen mit zu niedrigem Wärmewert
- Zu mageres Gemisch und dadurch erhöhte Verbrennungstemperaturen.
- Beschädigte, undichte Ventile oder ein zu kleines Ventilspiel. Die Ventile schließen dadurch nicht korrekt. Durch die vorbeiströmenden Verbrennungsgase heizen sich die Ventile stark auf und kommen ins Glühen. Primär sind die Auslassventile betroffen, da die Einlassventile von den Frischgasen gekühlt werden.
- Glühende Verbrennungsrückstände auf den Kolbenböden, dem Zylinderkopf, den Ventilen und den Zündkerzen.
- Ungeeigneter Kraftstoff mit zu niedriger Oktanzahl. Die Kraftstoffqualität muss dem Verdichtungsverhältnis des Motors entsprechen, d.h. der Oktanwert des Kraftstoffes muss den Oktanbedarf des Motors in allen Betriebszuständen abdecken.
- Dieselmotoren im Benzin und dadurch eine Herabsetzung der Oktanzahl des Kraftstoffes.
- Hohe Mengen an Öl im Verbrennungsraum durch hohen Ölverbrauch an den Kolbenringen oder der Ventilführung
- Hohe Motor- oder Ansauglufttemperatur durch ungenügende Motorraumbelüftung.
- Allgemeine Überhitzung.

3.4.2 An- und Abschmelzungen am Kolbenkopf (Dieselmotor)

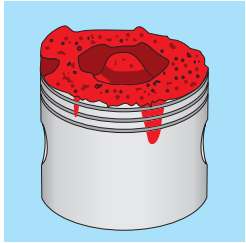


Abb. 1

Beschreibung

Der Boden- und Feuerstegbereich ist völlig zerstört (Abb. 1) Der Feuersteg ist bis zum Ringträger abgeschmolzen. Abgeschmolzenes Kolbenmaterial wurde am Kolbenschaft heruntergerieben und hat dort ebenfalls Beschädigungen und Fressstellen verursacht. Der Ringträger des ersten Verdichtungsringes ist nur noch auf der linken Seite des Kolbens teilweise erhalten. Der Rest des Ringträgers hat sich während des Betriebes vom Kolben gelöst und hat im Verbrennungsraum weitere Zerstörungen verursacht. Durch die Wucht der umherfliegenden Teile wurden diese durch das Einlassventil in das Saugrohr und damit auch in die Nachbarzylinder transportiert und haben dort ebenfalls Beschädigungen (Einschlagspuren) hinterlassen.



Abb. 2

zu Abb. 2:

In der Spritzrichtung eines oder mehrerer Düsenstrahlen sind auf dem Kolbenboden bzw. am Feuerstegrand erosionsartige Abschmelzungen aufgetreten. Der Kolbenschaft und die Kolbenringzone weisen keine Fresser auf.



Kolbenschäden

BESCHREIBUNG – BEURTEILUNG – URSACHEN

Beurteilung

Schäden dieser Art treten besonders bei Direkteinspritz-Diesel-Motoren auf. Vorkammermotoren werden davon nur betroffen, wenn eine Vorkammer beschädigt ist und der Vorkammermotor dadurch praktisch zum Direkteinspritzer wird. Wenn die Einspritzdüse des betreffenden Zylinders ihren Abspritzdruck nach Beendigung des Einspritzvorganges nicht hält und der Druck abfällt, können Schwingungen

in der Einspritzleitung die Düsennadel nochmals anheben, so dass nach Abschluss des Einspritzvorganges erneut Kraftstoff in den Verbrennungsraum gespritzt wird (mechanische Düsen). Ist der Sauerstoff im Verbrennungsraum aufgebraucht, so durchströmen die einzelnen Kraftstofftröpfchen den gesamten Verbrennungsraum und treffen weiter außen auf den nach unten gehenden Kolbenboden. Sie

verglimmen dort unter Sauerstoffmangel bei recht großer Hitzeentwicklung. Dabei wird das Material an diesen Stellen teigig. Die Massenkraft und Erosion der schnell vorbeistreichenden Verbrennungsgase reißen einzelne Partikel aus der Oberfläche (Abb. 2), oder tragen den Kolbenkopf komplett ab, was letztlich zu Schäden wie in Abb. 1 führt.

Mögliche Ursachen

- Undichte Einspritzdüsen oder schwergängige bzw. verklemmte Düsennadeln.
- Gebrochene oder lahme Düsenfedern
- Defekte Druckentlastungsventile in der Einspritzpumpe
- Einspritzmenge und der Einspritzzeitpunkt sind nicht nach den Motorenherstellerangaben eingestellt.
- Bei Vorkammermotoren: Defekt an der Vorkammer, aber nur in Verbindung mit einer der vorher genannten Ursachen.
- Zündverzug durch unzureichende Verdichtung aufgrund von zu großem Spaltmaß, falschen Steuerzeiten oder durch undichte Ventile
- Zu großer Zündverzug durch zündunwilligen Dieselkraftstoff (zu niedrige Cetanzahl)

3.4.3 Boden- und Bodenmuldenrisse (Dieselmotor)

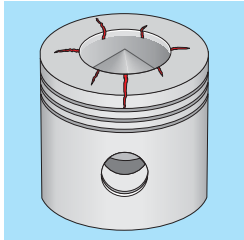


Abb. 1

Beschreibung

Der Kolbenkopf zeigt einen Spannungsriss, der sich einseitig vom Kolbenboden bis zur Kolbenbolzenbohrung erstreckt (Abb. 1 und Abb. 2) Die heißen Verbrennungsgase, die durch den Riss hindurchgeströmt sind, haben einen Kanal in das Kolbenmaterial gebrannt, der von der Mulde bis in die Gussausparung unterhalb des Ölabstreifringes nach außen verläuft.



Abb. 2

Beurteilung

Durch hohe thermische Überlastung wird das Kolbenmaterial beim Vorkammernmotor an den Auftreffstellen der Vorkammerstrahlen und beim Direkteinspritzmotor am Muldenrand örtlich stark aufgeheizt. An den aufgeheizten Stellen dehnt sich das Material stärker aus wie an den übrigen Stellen. Da die überhitzten Stellen von kaltem Umgebungsmaterial umgeben sind, wird das Material an der heißen Überlastungsstelle über die Elastizitätsgrenze hinaus bleibend verformt. Beim Abkühlen passiert dann genau das Gegenteil. An den Stellen, an

denen das Material zuvor gestaucht und weggedrückt wurde, ist nun plötzlich zu wenig Material vorhanden. Dadurch entstehen dann in diesem Bereich entsprechende Zugspannungen, die letztlich Spannungsrisse herbeiführen (Abb. 3 und Abb. 4). Wenn die Spannungen aus der thermischen Belastung noch durch Spannungen von einer Bolzendurchbiegung überlagert werden, bildet sich aus den Spannungsrisse mitunter ein stark erweiterter Hauptriss, der zum völligen Bruch und Ausfall des Kolbens führt.



Abb. 3



Abb. 4

Mögliche Ursachen

- Fehlerhafte oder falsche Einspritzdüsen, Störungen in der Einspritzpumpe, Schäden an der Vorkammer.
- Hohe Temperaturen durch Defekte im Kühlsystem.
- Fehler an der Motorbremse oder exzessiver Gebrauch derselben. In der Folge kommt es zu einer Überhitzung.
- Mangelnde Kolbenkühlung bei Kolben mit Kühlkanal, durch z.B. verstopfte oder verbogene Kühlöldrüsen.
- Bei Motoren mit häufig wechselnder Belastung wie z.B. bei Stadtomnibussen, Erdbewegungsmaschinen usw. können die genannten Faktoren besonders kritisch werden.
- Verwendung von Kolben falscher Spezifikation z.B. Einbau von Kolben ohne Kühlkanal obwohl ein Kühlkanalkolben verwendet werden muss, Einbau von Kolben von Fremdherstellern die ohne Faserverstärkung am Muldenrand ausgestattet sind.
- Einbau von Kolben mit einer für den Motor falscher Muldenausformung. Siehe hierzu auch Punkt „3.4.7 Kolbenkopffresser durch die Verwendung von falschen Kolben“

3.4.4 Ringstegbrüche

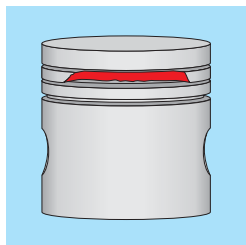


Abb. 1

Beschreibung

Auf einer Kolbenseite ist ein Ringstegbruch zwischen dem ersten und zweiten Verdichtungsring vorhanden (Abb. 1). Der Bruch beginnt an der oberen Stegkante im Nutengrund und verläuft schräg ins Kolbenmaterial gerichtet. Nahe der unteren Stegkante kehrt der Bruch wieder nach außen um und tritt an der unteren Stegkante bzw. leicht darunter im Nutengrund aus. Die den Stegbruch seitlich begrenzenden Längsrisse in den Ringstegen sind nach unten erweitert. Kolbenfresser oder Überhitzungserscheinungen sind nicht vorhanden.

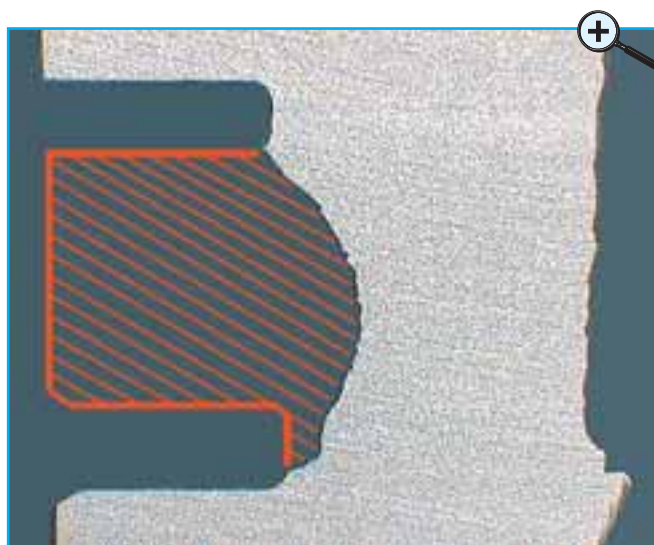


Abb. 2 Querschnitt eines Ringstegs

Beurteilung

Materialfehler, obwohl im Schadensfall immer wieder vermutet, sind keine Ursache für Stegbrüche. Solche Brüche sind immer eine Folge von Materialüberlastung. Man kann diese Überlastungserscheinungen nach 3 Ursachen unterscheiden:

Klopfende Verbrennung:

Das bedeutet, dass die Oktanzahl des Kraftstoffes den Bedarf des Motors nicht in allen Betriebs- und Belastungszuständen decken konnte. (siehe auch Punkt „3.4.0 Allgemeines über Kolbenschäden durch Verbrennungsstörun-

gen an Ottomotoren“). Ringstegbrüche durch klopfende Verbrennung treten meistens auf der Druckseite auf. Beim Dieselmotor kann eine klopfende Verbrennung nur durch einen Zündverzug verursacht werden.

Flüssigkeitsschläge:

Bei stehendem oder laufendem Motor gelangt Flüssigkeit (Wasser, Kühlmittel, Öl oder Kraftstoff) auf unbeabsichtigte Weise in den Verbrennungsraum. Da Flüssigkeiten nicht verdichtet werden können, kommt es im Verdichtungstakt zu einer enormen Belastung auf den Kolben und den Kurbeltrieb. Ringstegbrüche, Nabenbrüche oder Pleuel- und Kurbelwellenschäden sind die unausweichliche Folge.

In Abbildung 3 ist ein Bruchverlauf dargestellt wie er bei Klopfender Verbrennung und bei Flüssigkeitsschlägen auftritt. Die Bruchflächen sind dabei nach unten erweitert weil die Kraft die den Bruch verursachte von oben auf den Ringsteg einwirkt.

Einbaufehler:

Beim Einbau des Kolbens wurde der Kolben nicht eingeschoben sondern eingeklopft, weil die Kolbenringe nicht richtig zusammengespannt oder ungeeignete Werkzeuge verwendet wurden. Die Ringstege brechen dabei in umgekehrter Richtung weil der Druck nicht wie in den vorgenannten Fällen von oben sondern von unten kommt (Abb. 4).

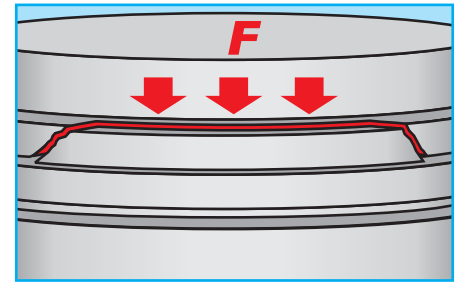


Abb. 3

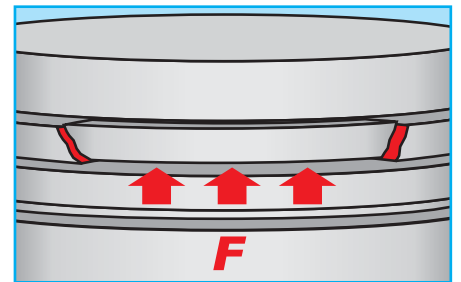


Abb. 4

Mögliche Ursachen

Klopfende Verbrennung bei Ottomotoren

- Verwendung eines nicht ausreichend klopfesten Kraftstoffes. Die Kraftstoffqualität muss dem Verdichtungsverhältnis des Motors entsprechen, d.h. die Oktanzahl des Kraftstoffes muss den Oktanbedarf des Motors in allen Betriebszuständen abdecken.
- Dieselmotorkraftstoff im Benzin und dadurch eine Herabsetzung der Oktanzahl des Kraftstoffes.
- Öl im Verbrennungsraum durch hohen Ölverbrauch an den Pleuellagerringen oder Ventildurchführungen mindern die Klopfestigkeit des Kraftstoffes.
- zu hohes Verdichtungsverhältnis verursacht durch Verbrennungsrückstände auf den Pleuellagerböden und dem Pleuellagerkopf bzw. durch übermäßiges Abschleifen der Pleuellager- und Pleuellagerkopfoberfläche im Zuge einer Motorenüberholung oder zu Tuningzwecken.
- Zu früher Zündzeitpunkt
- Zu mageres Gemisch und dadurch erhöhte Verbrennungstemperaturen.

- zu hohe Ansauglufttemperaturen, die durch ungenügende Motorraumbelüftung oder Auspuffrückstau entstehen. Aber auch ein nicht rechtzeitiges Umschalten der Ansaugluftklappe auf Sommerbetrieb bzw. eine defekte Umschaltautomatik führen zu einer beträchtlichen Erhöhung der Ansauglufttemperatur (speziell bei älteren Vergasermotoren).

Klopfende Verbrennung bei Dieselmotoren

- Schlecht zerstäubende oder undichte Einspritzdüsen.
- Zu niedriger Abspritzdruck der Einspritzdüsen.
- Zu niedriger Verdichtungsdruck durch falsche Pleuellagerkopfdichtungen, zu geringe Pleuellagerüberstände, undichte Ventile oder gebrochene bzw. verschlissene Pleuellagerringe.
- Defekte Pleuellagerkopfdichtungen.
- Beschädigungen an der Pleuellagerkammer.
- Unsachgemäßer oder übermäßiger Einsatz von Anlasshilfen (Starthilfespray), beim Kaltstart.

bei Flüssigkeitsschlägen

- unbeabsichtigtes Ansaugen von Wasser beim Durchfahren von Hochwasser, Pfützen oder niedrigen Gewässern, bzw. durch Hochspritzen von größeren Wassermassen voraus- oder vorbeifahrender Fahrzeuge.
- Volllaufen des Pleuellagers mit Wasser bei stehendem Motor durch Undichtigkeiten der Pleuellagerkopfdichtung oder durch Risse in Bauteilen.
- Volllaufen des Pleuellagers mit Kraftstoff bei stehendem Motor durch undichte Einspritzdüsen (nur Ottomotor mit Einspritzsystem). Der Restdruck im Einspritzsystem entleert sich durch die undichte Düse in den Pleuellager. In diesem und im vorher genannten Fall kommt es beim Starten zu dem beschriebenen Schaden. ■

3.4.5 Anschlagspuren am Kolbenkopf (Dieselmotor)

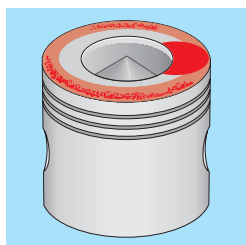


Abb. 1



Abb. 2

Beschreibung

Am Kolbenkopf (Abb. 1) sind starke Anschlagspuren zu sehen. Die Ölkohle wurde in diesem Bereich, durch metallischen Kontakt des Kolbens mit dem Zylinderkopf, nahezu entfernt. Durch die Anschläge wurden die Ölkohleablagerungen in den Kolbenboden eingedrückt und haben Narben hinterlassen. Die Kolbenringe weisen einen sehr starken Verschleiß auf. Insbesondere am Ölabbstreifring sind starke Abnutzungserscheinungen mit bloßem Auge erkennbar.

Am Kolben in Abb. 2 ist an der vorderen Bodenkante ein Abdruck von der Wirbelkammer und auf der rechten Bodenseite ein starker Ventilabdruck zu sehen. Neben der Wirbelkammer ist während des Betriebes also auch ein Ventil in Kontakt mit dem Kolbenboden gekommen und hat sich im Laufe der Zeit in den Kolbenboden eingegraben. Am Kolbenschaft sind erste Anzeichen eines beginnenden Trockenlaufreibers zu sehen (Abb. 4).

Abb. 3



Abb. 4





Beurteilung

Die Kolben haben im Betrieb am Zylinderkopf bzw. an Wirbelkammer und einem Ventil angeschlagen. Brüche infolge dieser Gewalteinwirkung sind noch nicht aufgetreten. Die Art des Verschleißes an den Kolbenringen und auch am Kolbenschaft deutet jedoch darauf hin, dass es in der Folge dieser Anschläge zu Verbrennungsstörungen durch Kraftstoffüberschwemmung gekommen ist.

Durch das Anschlagen des Kolbens kommt es zu mehr oder weniger starken Erschütterungen am Zylinderkopf. Die Einspritzdüse wird durch diese Erschütterungen ebenfalls in Schwin-

gungen versetzt. Die Düse kann dadurch im geschlossenen Zustand den Druck nicht mehr halten und spritzt unkontrolliert ab. Durch das vermehrte Einspritzen von Kraftstoff in den Zylinder kommt es zu einer Kraftstoffüberschwemmung. Diese führt zu einer Schädigung des Ölfilms, was zunächst einen höheren Mischreibungsanteil und damit Verschleiß im Kolbenringbereich nach sich zieht. Damit verbunden entsteht ein erhöhter Ölverbrauch. Erst wenn der Ölfilm durch den Kraftstoff so stark beeinträchtigt wird, dass eine Mangelschmierung entsteht, bilden sich die charakteris-

tischen Kraftstoffreiber (siehe auch Punkt „3.2.3 Trockenlaufreiber durch Kraftstoffüberschwemmung“). Der Kolbenschaft wird im Anfangsstadium weniger in Mitleidenschaft gezogen, weil dieser vom Kurbeltrieb her immer wieder mit neuem, noch schmierfähigem Öl versorgt wird. Erst wenn sich die Abriebteile aus dem Hubbereich der Kolben mit dem Schmieröl immer mehr vermischen und auch das Schmieröl durch zunehmende Ölverdünnung an Tragfähigkeit verliert, breitet sich der Verschleiß über alle Gleitpartner des Motors aus.

Mögliche Ursachen

- falsches Kolbenüberstandsmaß. Der Kolbenüberstand wurde im Rahmen einer Motorenüberholung nicht kontrolliert bzw. nicht korrigiert.
- Außermittigt gebohrte Pleuelbuchse im Zuge einer Pleuelbuchsenerneuerung
- exzentrisches (außermittiges) Nachschleifen der Kurbelwelle
- außermittiges Nacharbeiten der Lagergrundbohrung (beim Nachsetzen der Lagerdeckel der Kurbelwelle)
- Einbau von Zylinderkopfdichtungen mit zu geringer Dicke.
- Ölkohleablagerung am Kolbenkopf und dadurch eine Einengung oder Überbrückung des Spaltmaßes.
- Falsche Steuerzeiten durch falsche Einstellung, Kettenlängung, übersprungene Zahnriemen.
- Exzessive Nachbearbeitung der Zylinderkopfplanfläche und eine daraus resultierende Steuerzeitenverschiebung. (Der Abstand zwischen antreibendem und getriebenem Rad verändert sich, was sich ggf. bauartbedingt durch die Riemen- oder Ketteneinstellung nicht korrigieren lässt.)
- Beim Erneuern der Ventilsitzringe wurde nicht auf die korrekte Lage der Ventilsitze geachtet. Wenn die Ventilsitzfläche bei der Bearbeitung nicht tief genug im Zylinderkopf platziert wird, verfügen die Ventile nicht über den korrekten Rückstand im Zylinderkopf und stehen zu weit über.
- Überdrehen des Motors. Die Ventile schließen aufgrund der erhöhten Massenkraft nicht mehr rechtzeitig und schlagen am Kolben an.
- Zu großes Spiel in der Pleuellagerung oder ein ausgelaufenes Pleuellager, insbesondere in Verbindung mit starkem Übertouren beim Bergabfahren. ■

3.4.6 Loch im Kolbenboden (Ottomotor)

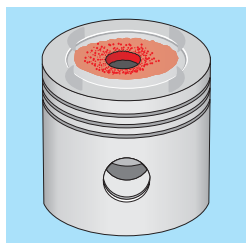


Abb. 1

Beschreibung

Der Kolbenboden zeigt ein durchgehendes Loch. Die Oberfläche des Kolbenbodens ist von dem herausgeschmolzenen Material bedeckt. Durch die enorme Wärmeentwicklung und heruntergeriebenes Kolbenmaterial ist der Schaftbereich ebenfalls schon in Mitleidenschaft gezogen und zeigt Fressstellen.

Beurteilung

Schäden dieser Art werden durch Glühzündungen verursacht. Dabei wird die Selbstentzündungstemperatur des Gasgemisches durch glühende Teile im Verbrennungsraum überschritten. Dies sind im Wesentlichen die Zündkerze, das Auslassventil und im Brennraum vorhandene Verbrennungsrückstände. Das Gemisch entzündet sich dabei noch vor der eigentlichen Entzündung durch die Zündkerze. Die Verbrennung setzt dabei schon lange

vor dem eigentlichen Zündzeitpunkt ein, so dass die Flamme, im Gegensatz zum normalen Verbrennungsablauf, eine viel längere Zeit auf den Kolbenboden einwirkt. Der Kolbenboden heizt sich durch Glühzündungen innerhalb kurzer Zeit so stark auf, dass das Material dort teigig wird. Die Massenkraft bei den Hubbewegungen des Kolbens und auch die schnell trömenden Verbrennungsgase tragen die weich gewordene Masse ab. Infolge

abnehmender Festigkeit an dieser Stelle, drückt dann der Verbrennungsdruck die noch verbleibende Bodenwandstärke nach innen durch. In vielen Fällen treten nicht einmal Fresser auf.

Hinweis:

Eine so schnelle örtliche Aufheizung des Kolbenbodens bis zum teigigen Zustand ist nur durch Glühzündungen möglich.



Mögliche Ursachen

- Zündkerzen mit zu niedrigem Wärmewert
- Zu mageres Gemisch und dadurch erhöhte Verbrennungstemperaturen.
- Beschädigte, undichte Ventile oder ein zu kleines Ventilspiel. Die Ventile schließen dadurch nicht korrekt. Durch die vorbeiströmenden Verbrennungsgase heizen sich die Ventile stark auf und kommen ins Glühen. Primär sind die Auslassventile betroffen, da die Einlassventile von den Frischgasen gekühlt werden.
- Glühende Verbrennungsrückstände auf den Kolbenböden, dem Zylinderkopf, den Ventilen und den Zündkerzen.
- Ungeeigneter Kraftstoff mit zu niedriger Oktanzahl. Die Kraftstoffqualität muss dem Verdichtungsverhältnis des Motors entsprechen, d.h. der Oktanwert des Kraftstoffes muss den Oktanbedarf des Motors in allen Betriebszuständen abdecken.
- Diesekraftstoff im Benzin und dadurch eine Herabsetzung der Oktanzahl des Kraftstoffes.
- Hohe Mengen an Öl im Verbrennungsraum durch hohen Ölverbrauch an den Kolbenringen oder der Ventilführung
- Hohe Motor- oder Ansauglufttemperatur durch ungenügende Motorraumbelüftung.
- Allgemeine Überhitzung.

3.4.7 Kolbenkopffresser durch Verwendung von falschen Kolben (Dieselmotor)

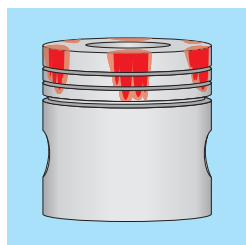


Abb. 1

Beschreibung

Am Kolbenkopf sind örtlich begrenzt deutliche Fressriefen zu sehen, die sich über den gesamten Umfang verteilen. Diese Fressriefen haben ihren Schwerpunkt am Feuersteg. Sie beginnen am Kolbenboden und enden am 2. Verdichtungsring.

Beurteilung

Anhand der Art des Schadens ist dieser eindeutig auf Verbrennungsstörungen zurückzuführen. Der Fehler liegt jedoch nicht beim Einspritzsystem, wie man zuerst vermuten könnte, sondern in der Verwendung eines falschen Kolbens.

Im Rahmen der Gesetzgebung zur Reduzierung von Schadstoffen im Abgas werden die Motoren entsprechend der vorgeschriebenen Abgas-Normen konstruiert. Häufig unterscheiden sich die Kolben der jeweiligen Abgas-Norm optisch kaum voneinander.

Im vorliegenden Schadenfall kommen innerhalb derselben Motorbaureihe, für unterschiedliche Abgasnormen,

Kolben mit unterschiedlichem Muldendurchmesser zum Einsatz.

Der Kolben der Abgasnorm Euro 1 mit einem Muldendurchmesser von 77 mm wurde im Zuge einer Motorreparatur durch einen Kolben der Abgasnorm Euro 2 mit einem Muldendurchmesser von 75 mm ersetzt. Dadurch kam es zu einer erhöhten Aufheizung des Muldenrandes weil die Einspritzdüse durch den kleineren Durchmesser der Mulde nicht mehr in der Mulde sondern auch auf deren Rand auftraf. An den Auftreffstellen der Einspritzstrahlen kam es deshalb zu einer örtlichen Überhitzung des Kolbenmaterials und zu einer erhöhten

Wärmeausdehnung, was in der Folge zu den örtlich begrenzten Fressstellen führte.

Werden nicht die für den jeweiligen Motortyp und die jeweilige Abgasnorm vorgeschriebenen Kolben verwendet, kann es im Betrieb zu schwerwiegenden Verbrennungsstörungen mit nicht absehbaren Folgen kommen. Abgesehen von Schäden wie im vorliegenden Fall, wäre die Nichteinhaltung der Abgaswerte noch das geringere Übel. Leistungsdefizite, erhöhter Kraftstoffverbrauch und der spätere Einbau der richtigen Kolben, führen jedoch zu erheblichen Folgekosten.



Kolbenschäden

BESCHREIBUNG – BEURTEILUNG – URSACHEN

Mögliche Ursachen

- Verwendung von Kolben mit falscher Muldenform, Muldentiefe oder Muldendurchmesser
- Verwendung von maßlich abweichenden Kolben (Kompressionshöhe)
- Verwendung von Kolben falscher Bauart. Es darf z.B. kein Kolben verwendet werden der keinen Kühlkanal besitzt, wenn vom Motorenhersteller für den entsprechenden Einsatzzweck (z.B. Erreichen einer bestimmten Leistung) ein Kühlkanal vorgesehen ist.
- Einbau zwar der richtigen Kolben aber die Verwendung von für den Einsatzzweck ungeeigneten Bauteilen (Einspritzdüsen, Zylinderkopfdichtungen, Einspritzpumpen oder sonstigen gemisch- oder verbrennungsbeeinflussenden Bauteilen). ■

3.4.8 Erosion am Feuersteg und auf dem Kolbenboden (Ottomotor)

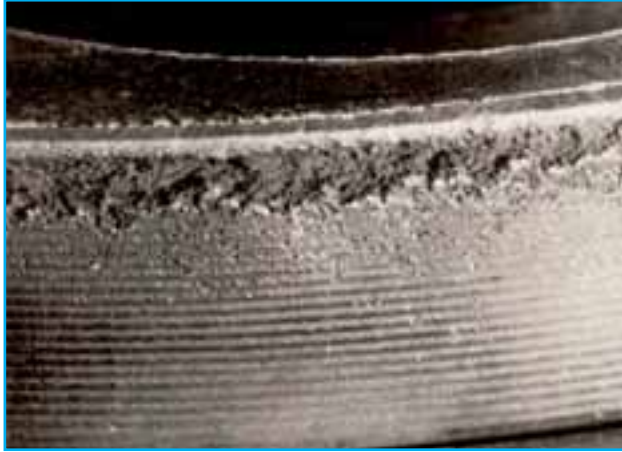
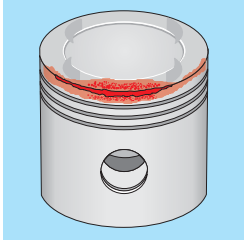


Abb. 1

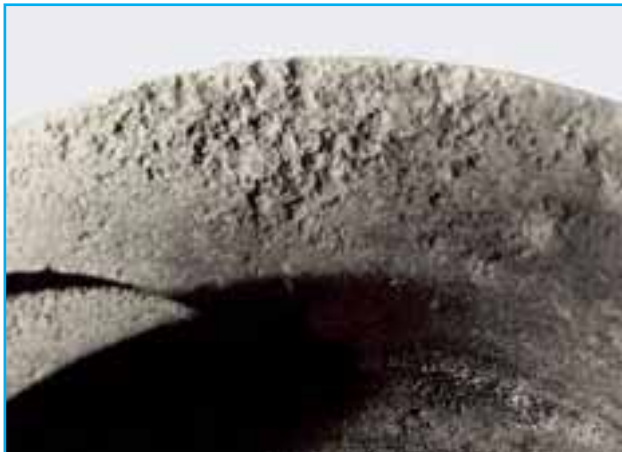


Abb. 2

Beschreibung

Der Feuersteg weist erosionsartige Abtragungen auf (Abb. 1), die sich oftmals auf der Kolbenbodenoberfläche fortsetzen (Abb. 2). Fresser oder andere Schädigungen des Kolbens müssen dabei nicht unbedingt auftreten.



Beurteilung

Erosionsartige Materialabtragungen am Feuersteg und auf dem Kolbenboden sind immer Folge einer länger anhaltenden klopfenden Verbrennung mittlerer Stärke. Dabei entstehen Druckwellen die sich im Zylinder ausbreiten und auch zwischen Feuersteg

und Zylinderwand bis zum ersten Verdichtungsring hinunter laufen. Am Umkehrpunkt der Druckwelle werden durch die kinetische Energie kleinste Partikel aus der Kolbenoberfläche herausgerissen. Im Laufe der Zeit weiten sich die Materialabtragungen

aus, insbesondere dann, wenn aus der klopfenden Verbrennung auch Glühzündungen entstehen. Das Material wird im Schadensbereich oftmals hinter den Ringen bis zur Ölringnut abgetragen.

Mögliche Ursachen

- Verwendung eines nicht ausreichend klopfesten Kraftstoffes. Die Kraftstoffqualität muss dem Verdichtungsverhältnis des Motors entsprechen, d.h. die Oktanzahl des Kraftstoffes muss den Oktanbedarf des Motors in allen Betriebszuständen abdecken.
- Das Benzin wurde durch Dieselmotorenkraftstoff verunreinigt. Eine versehentliche falsche Betankung oder die wechselweise Verwendung von Tanks oder Kanistern für beide Kraftstoffarten kann zu solchen Verunreinigungen führen. Um eine starke Herabsetzung der Oktanzahl des Benzins zu bewirken, reichen schon kleinste Dieselbeimengungen aus.
- Hohe Mengen an Öl im Verbrennungsraum durch z.B. verschlissene Kolbenringe, Ventileführungen und Abgasturbolader oder dergleichen setzen die Klopfestigkeit des Kraftstoffes herab.
- Ein zu hohes Verdichtungsverhältnis verursacht durch Verbrennungsrückstände auf den Kolbenböden und dem Zylinderkopf bzw. durch ein übermäßiges Abschleifen der Block- und Zylinderkopfoberfläche im Zuge einer Motorüberholung oder zu Tuningzwecken.
- Zu früher Zündzeitpunkt
- Zu mageres Gemisch und dadurch erhöhte Verbrennungstemperaturen.
- Zu hohe Ansauglufttemperaturen, die durch ungenügende Motorraumbelüftung oder Auspuffrückstau entstehen. Aber auch ein nicht rechtzeitiges Umschalten der Ansaugluftklappe auf Sommerbetrieb bzw. eine defekte Umschaltautomatik führen zu einer beträchtlichen Erhöhung der Ansauglufttemperatur (speziell bei älteren Vergasermotoren). ■

3.5 Kolben und Kolbenringbrüche

3.5.0 Allgemeines über Kolbenbrüche

Im Motorbetrieb können Kolbenbrüche durch einen Gewaltbruch oder einen Dauerbruch entstehen.



Abb. 1

Ein Gewaltbruch (Abb. 1) wird immer durch einen Fremdkörper ausgelöst, der im Motorbetrieb mit dem Kolben kollidiert. Dies können abgerissene Teile vom Pleuel, von der Kurbelwelle, den Ventilen oder ähnliches sein. Auch wenn Wasser oder Kraftstoff in

die Zylinder gelangt, kann es zu einem Gewaltbruch des Kolbens kommen. Die Bruchflächen eines Gewaltbruches erscheinen grau, nicht verrieben und zeigen keine Rasterlinien. Der Kolben bricht ohne Bruchentwicklung schlagartig.

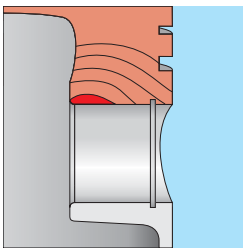
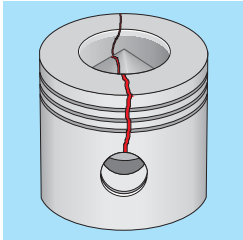


Abb. 2

Bei einem Dauerbruch (Abb. 2) bilden sich auf der Bruchfläche Rasterlinien, die den Ausgang und den stufenweisen Fortschritt des Bruches erkennen lassen. Die Bruchflächen sind oftmals glänzend verrieben. Ursache eines Dauerbruches ist eine Überbelastung des Kolbenmaterials. Überbelastungen treten durch klopfende Verbrennung, starke Erschütterungen des Kolbens, z.B. durch Anlaufen des

Kolbenkopfes gegen den Zylinderkopf, Materialfehler oder durch zu großes Schaftspiel auf. Zu große Kolbenbolzendehformationen durch Überlast (Durchbiegung und Ovalverformung) führen zu Nabenrissen oder Rissen in der Abstützung. Des Weiteren können Dauerbrüche von Wärmespannungsrissen auf den Kolbenböden herrühren.

3.5.1 Kolbenbruch in der Kolbenbolzennabe



Beschreibung

In der Mittelachse der Kolbenbolzenbohrung zeigt sich ein typischer Nabenermüdungsriss im Anfangsstadium (Abb. 2). Der Riss hat sich halbkreisförmig um den Ausgangspunkt herum ausgebreitet. Aus einem Anfangsriss bildet sich innerhalb kurzer Zeit ein sogenannter Spaltbruch, der den Kolben bis zum Kolbenboden hin in zwei Teile aufspaltet, wie in Abb. 1 zu sehen ist.



Abb. 1

(Der Kolben wurde zur Untersuchung von unten her aufgesägt, der ursprüngliche Riss ging von der Bolzenbohrung bis zum Kolbenboden).



Abb. 2 Querschnitt einer Kolbenbolzennabe

Beurteilung

Nabenbrüche treten durch Überbelastung auf. Dies kann durch eine mangelhafte Ölversorgung begünstigt werden.

Ein Anriss in der Bolzennabe, der durch Überbelastung entstanden ist, schreitet dann auch bei normaler Belastung

weiter fort und führt letztlich zum Spalten bzw. zum Bruch des gesamten Kolbens.

Mögliche Ursachen

- Verbrennungsstörungen, insbesondere schlagartige Verbrennung durch Zündverzug.
- Übermäßige oder unsachgemäße Anwendung von Anlasshilfen beim Kaltstart.
- Der Zylinder ist bei stehendem Motor voll Wasser, Kraftstoff oder Öl gelaufen (Flüssigkeitsschlag).
- Leistungssteigerungen (z.B. Chiptuning) unter Verwendung des Serienkolbens.
- Verwendung falscher oder gewichtserleichterter Kolbenbolzen. Durch die Ovalitätsverformung des Bolzens wird die Bolzenlagerung überbeansprucht.

3.5.2 Kolbenbruch durch Anlauf des Kolbenbodens gegen den Zylinderkopf

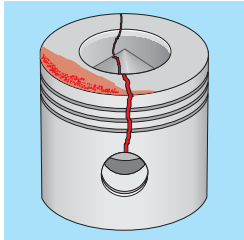


Abb. 1

Beschreibung

An dem Kolben in Abb. 1 sind am Pleierboden Anschlagspuren zu sehen. Der Pleier hat sowohl an der Pleierfläche als auch an beiden Ventilen angeschlagen. Als Folge der Erschütterungen und der Gewalteinwirkung hat sich im Betrieb ein Bruch in Pleierrichtung entwickelt.

Beim Pleier in Abb. 2 ist der Pleierschaft in der unteren Pleiernut abgebrochen. Die Bruchflächen zeigen Dauerbruchcharakter.



Abb. 2



Beurteilung

Durch die außerordentlich schnelle Folge harter Schläge beim Anschlagen des Kolbenbodens gegen den Zylinderkopf wird der Kolben derart erschüttert, dass Risse entstehen. Bei Kolben mit unterem Ölabstreifring (wie Abb. 2)

bricht dabei nahezu immer der Schaft im Bereich der unteren Ölringnut. Durch das Anschlagen am Zylinderkopf verkanntet sich der Kolben im Zylinder und schlägt in der Folge mit dem Schaft gegen die Zylinderwand.

Da die Materialstärke im Bereich der unteren Ringnut geringer ist wie z.B. am Feuersteg, bricht der Kolben in diesem Bereich.

Mögliche Ursachen

- Das sogenannte Spaltmaß – das ist der Mindestabstand zwischen Kolbenboden und Zylinderkopf - in der oberen Totpunktlage des Kolbens, war zu klein. Hierfür kommen die folgenden Umstände in Frage:

a) Einbau von Kolben mit falscher Kompressionshöhe. Bei der Motorüberholung wird in vielen Fällen die Planfläche des Zylinderblocks nachgearbeitet. Werden nach der Bearbeitung Kolben mit der originalen Kompressionshöhe verwendet, kann der Kolbenüberstand anschließend zu groß sein. Für den Reparaturfall werden daher Kolben mit reduzierter Kompressionshöhe angeboten, so dass der Kolbenüberstand innerhalb des vom Motorenhersteller festgelegten Toleranzbereiches bleibt. *

b) Ungenügende Dicke der Zylinderkopfdichtung. Viele Hersteller sehen für ein und denselben Motor Zylinderkopfdichtungen mit unterschiedlicher Dicke vor. Dies ist zum einen notwendig um bei der Produktion Additionen von Bauteiltoleranzen auszugleichen, zum Anderen um eine Anpassung des Kolbenüberstandes bei Reparaturen vornehmen zu können. Bei Reparaturen ist daher stets sicherzustellen, dass Zylinderkopfdichtungen mit vorgeschriebener Materialdicke verwendet werden. Nur so lässt sich garantieren, dass nach der Reparatur das vorgeschriebene Spaltmaß erreicht wird. Die Dichtungsstärke muss nach Maßgabe des Motorenherstellers anhand des Kolbenüberstandes neu festgelegt werden, wenn im Zuge einer Reparatur der Zylinderblock nachgearbeitet oder ersetzt wird.

Achtung:

Eine Freigängigkeitsprüfung, die im Anschluss an eine Motorüberholung von Hand erfolgt indem der Motor in kaltem Zustand mehrere Male durchgedreht wird, ist keine Garantie dafür, dass der Kolben bei betriebswarmer Maschine nicht gegen den Zylinderkopf schlägt. Durch die Erwärmung von Kolben und Pleuel erfahren diese auch eine Längenausdehnung, welche das Abstandsmaß des Kolbenbodens zum Zylinderkopf verringert. Dabei kommt es vor allem bei großen Nutzfahrzeugmotoren mit großen Kompressionshöhen zu nennenswerten Maßveränderungen, welche die Freigängigkeit des Kolbens im oberen Totpunkt noch um wenige Zehntel Millimeter reduziert.

- Zu großes Spiel in der Pleuellagerung oder ein ausgelaufenes Pleuellager, insbesondere in Verbindung mit starkem Übertouren beim Bergabfahren.

* MSI liefert für viele Diesel-Motoren Kolben mit reduzierter Kompressionshöhe (KH).
Details siehe MSI-Kolbenkatalog.
Details siehe MSI Katalog „ Kolben, Zylinder, Assemblies“

3.5.3 Materialauswaschung im Ringbereich (Ringbruch)

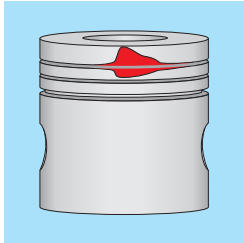


Abb. 1

Beschreibung

Im Ringfeld im Bereich der ersten Ringnut ist eine starke Materialauswaschung vorhanden, die bis zum Kolbenboden reicht. Die Ringnut zeigt starken axialen Verschleiß. Im Kolbenboden sind starke Eindrücke von Bruchstücken des 1. Ringes zu sehen. Der Kolbenschaft hat an einigen Stellen ein matt gebilmstes Laufbild.



Abb. 2



Beurteilung

Aufgrund des starken axialen Nutverschleißes, besonders an der ersten Ringnut, kann der Schaden in dem gezeigten Fall nur durch einen Eintrag von Verunreinigungen in den Verbrennungsraum verursacht worden sein. Die Verunreinigungen lagerten sich dadurch auch in der Ringnut ein und verursachten am Ring und in der Ringnut abrasiven Verschleiß. Das

Ringhöhen spiel erhöhte sich dadurch immer weiter. Der in seinem Querschnitt stark geschwächte Ring konnte schließlich dem Verbrennungsdruck nicht mehr standhalten und brach. Das abgebrochene Stück des Ringes konnte sich dadurch noch ungehinderter in der schnell größer werdenden Nut bewegen und verursachte durch das fortwährende Hämmern die abgebilde-

te Auswaschung. Nachdem die Auswaschung schließlich bis an den Kolbenboden heranreichte, gelangten die Bruchstücke des Kolbenrings zwischen Kolbenboden und Zylinderkopf wo diese weitere Beschädigungen an Kolbenboden und Zylinderkopf verursachten.

Mögliche Ursachen

- Bei stark axialem Verschleiß der Ringnut und der Kolbenringe kommt hierfür nur ein Eintritt von Fremdkörpern in den Verbrennungsraum in Betracht. Siehe hierzu auch Punkt „3.11.2 Verschleiß der Kolben, Kolbenringe und Zylinder durch Schmutz“
- Bei stark radialem Verschleiß der Ringe ohne vorhandenen Axialverschleiß ist eine Kraftstoffüberschwemmung eine wahrscheinliche Ursache. Siehe hierzu Punkt „3.11.3 Verschleiß der Kolben, Kolbenringe und Zylinder durch Kraftstoffüberschwemmung“.
- Bei unverschlissenen Ringnuten und Kolbenringen und nach kürzerer Laufzeit nach einer Motorüberholung, kann so ein Schaden aufgrund eines Kolbenmontagefehlers entstehen. Die Kolbenringe können beim Einsetzen des Kolben in den Zylinder brechen, wenn diese nicht tief genug in die Ringnut gedrückt werden. Dies passiert üblicherweise dann, wenn das verwendete Ringspannband nicht richtig um den Kolben gelegt und gespannt wurde, bzw. wenn ein falsches oder ein beschädigtes Einführwerkzeug bei der Kolbenmontage verwendet wird.
- Ringflattern verursacht durch ein zu großes Ringhöhen spiel. Dieser Zustand kann dann eintreten, wenn bei der Motorreparatur lediglich ein neuer Ringsatz montiert wird, obwohl die Ringnuten im Kolben eigentlich schon verschlissen sind. Durch das zu große Spiel kommen die Ringe ins Flattern und können brechen. Ein weiterer Grund für ein zu hohes Ringhöhen spiel kann die Verwendung eines falschen Ringsatzes sein. Die Ringhöhe ist ggf. zu gering und dadurch das Spiel in der Nut schon beim Einbau zu groß.
- Auch ein für den Anwendungszweck ungeeigneter Kolben kann zu diesem Schaden führen. Kolben für Dieselmotoren werden aufgrund der Belastung und auch der benötigten Lebensdauer mit einem Ringträger aus nickelhaltigem Gusseisen versehen. Kolben ohne Ringträger werden aus Kostengründen bei Dieselmotoren in der Regel nur noch dann eingesetzt, wenn die zu erwartende Laufzeit eher geringer ausfällt. Dies kann zum Beispiel bei landwirtschaftlichen Maschinen der Fall sein. Muss ein solcher Kolben ohne Ringträger längere Laufzeiten bzw. höhere Kilometerleistungen absolvieren, reicht die Verschleißfestigkeit der Ringnuten für die zu absolvierende Motorlebensdauer ggf. nicht aus. Irgendwann wird sich die Nut durch natürlichen Verschleiß maßlich so ausweiten, dass es zum Ringflattern und auch zum Ringbruch kommen kann. ■



3.6 Kolbenbolzenbrüche

3.6.0 Allgemeines über Kolbenbolzenbrüche

Bolzenbrüche können durch Überbelastung bei Verbrennungsstörungen, Einwirken von Fremdkörpern oder durch Materialfehler entstehen. Bei einem Materialfehler geht der Riss in den meisten Fällen von einer Schlackenzeile aus. Dies lässt sich im Zuge einer Materialuntersuchung im Labor jedoch eindeutig nachweisen. Eine übermäßige oder unsachgemäße Anwendung von Anlasshilfen (Starthilfespray) ist mit den Auswirkungen extremer Verbrennungsstörungen gleichzusetzen.

Der Kolbenbolzen wird im Betrieb, durch den Druck der Verbrennungsgase auf den Kolben, durchgebogen und oval verformt. Durch die Ovalverformung kann sich an den Bolzenenden bei Überlast zunächst ein Längsriss bilden, der seinen Ausgang entweder am Bolzenaußen- oder -innendurchmesser haben kann. Der Riss verläuft dann als Dauerbruch weiter in Richtung Bolzenmitte. Im größten Scher- und Biegebeanspruchungsbereich zwischen dem Kolbenbolzenauge und dem Pleuelauge ändert sich die

Richtung zu einem Querriss, was letztlich zum Durchbrechen des ganzen Bolzens führt. Neben den hier geschilderten Schäden können aber auch Brüche entstehen, die ihren Ursprung in irgendwelchen Beschädigungen des Bolzens oder in einem Härtefehler haben.

3.6.1 Gebrochener Kolbenbolzen

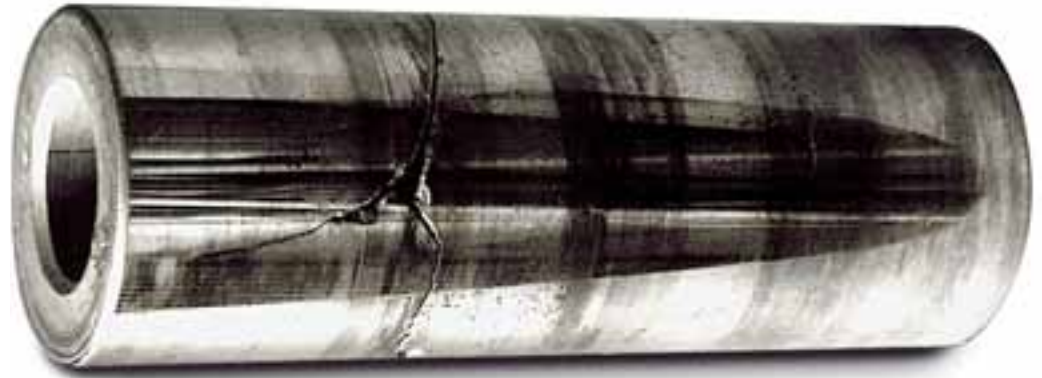
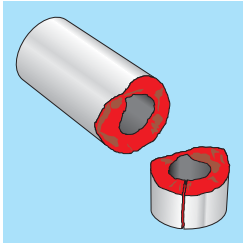


Abb. 1

Beschreibung

Der Pleuelbolzen (Abb. 1) ist am Übergang zwischen der Pleuelstange und dem Pleuelbolzenauge durch einen Querriss komplett durch-

gebrochen. Das kürzere Bruchstück ist der Länge nach gespalten. Die Bruchflächen zeigen Dauerbruchcharakter.

Beurteilung

Bolzenbrüche sind, vorausgesetzt dass kein Materialfehler vorliegt, immer eine Folge von Überbeanspruchungen. Materialfehler lassen sich aber durch eine Materialuntersuchung des gebrochenen Bolzens eindeutig feststellen.

Durch die Ovalverformung des Pleuelbolzens in den Pleuelbolzenbohrungen bildet sich bei einer Überbelastung an den Enden des Bolzens zunächst ein Längsriss, der seinen Ausgang sowohl an der Außenfläche wie an der Innenbohrung nehmen kann. Der Riss verläuft dann als Dauerbruch weiter in Richtung Bolzenmitte. Im größten Scher- und Biegebeanspruchungsbereich zwischen dem

Pleuelbolzenauge und dem Pleuelauge ändert sich die Richtung zu einem Querriss, was letztlich zum Durchbrechen des ganzen Bolzens führt. Abb. 2 zeigt, dass sich ein erster Anriss nicht nur durch eine Überbelastung, sondern auch durch eine unsachgemäße Behandlung des Pleuelbolzens beim Einbau entstehen kann. Die Stirnseite des gebrochenen Bolzens lässt deutlich erkennen, dass der Anriss von einer Schlagbeschädigung (Hammerschlag) ausgegangen ist. Dieser Sachverhalt belegt, dass sich ein vorhandener Anriss - auch bei normaler Beanspruchung - als Dauerbruch weiterbilden und letztlich zum Totalbruch führen kann.



Abb.2

Mögliche Ursachen

- Verbrennungsstörungen sowohl bei Otto- wie auch bei Dieselmotoren, insbesondere durch klopfende Verbrennung.
- Flüssigkeitsschläge
- Unsachgemäße Behandlung der Pleuelbolzen beim Einbau.



3.7 Schäden an den Bolzensicherungen

3.7.0 Allgemeines über Schäden an den Kolbenbolzensicherungen

Zur Kolbenbolzensicherung werden Drahtsprengringe oder sogenannte Seegersicherungen verwendet. Beide Arten können im Betrieb brechen oder aus der Nut im Kolben herausspringen bzw. herausgeschlagen werden. Ein Brechen der Sicherungsringe bzw. Abbrechen der Ringenden ist immer auf eine Überbeanspruchung oder unsachgemäße Behandlung beim Einsetzen der Sicherungsringe zurückzuführen. Die Sicherungsringe werden in axialer Richtung nur dann beansprucht, wenn dem Kolbenbolzen eine axiale Bewegung aufgezwungen wird. Ein Pleuel-

fluchtfehler oder eine pendelnde, meist asymmetrische, Pleuelstange bringt die Kolbenbolzenachse und Kolbenwellenachse aus der Parallelität und verursacht genau diese axiale Bewegungen des Bolzens. Der Kolbenbolzen schlägt dann in außerordentlich schneller Folge wechselseitig gegen die Kolbenbolzensicherungen und treibt diese stufenweise aus ihrer Nut heraus. Danach werden sie weiter bis an die Zylinderlaufbahn gedrückt, wo sie durch Verschleiß abgerieben werden. Letztendlich zerbrechen die Sicherungsringe. Teile klemmen

sich zwischen Kolben und Zylinder ein, andere Teile werden durch die Massenkraft in der Aussparung der Kolbenbolzenaugen hin- und hergeschleudert und verursachen dort beträchtliche Materialauswaschungen. Nicht selten gelangen die Bruchstücke auch durch die Innenbohrung des Kolbenbolzens auf die andere Seite des Kolbens und verursachen dort ebenfalls schwere Schäden.

3.7.1 Kolbenschäden durch gebrochene Bolzensicherungen

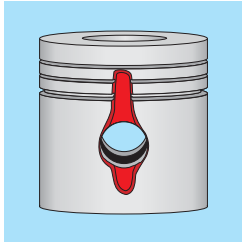


Abb. 1

Beschreibung I

Auf beiden Kolbenseiten ist das Bohrungsende der Bolzenbohrungen stark ausgeschlagen. Die Beschädigungen ziehen sich zum Teil bis ins Ringfeld hoch (Abb. 1).

Ein Sicherungsring war bei Ausbau der Kolben nicht mehr in der Sicherungsnut vorhanden. Er ist im Betrieb herausgesprungen und zerbrochen. Der zweite Sicherungsring ist zwar beschädigt, er war aber beim Ausbau der Kolben noch in seiner Nut montiert. Der Kolbenbolzen ist wegen der fehlenden Bolzensicherung im Betrieb nach außen bis zur Zylinderlaufbahn gewandert. Mit der Stirnseite hatte der Bolzen offensichtlich längere Zeit Kontakt mit der Zylinderlaufbahn. Die Stirnseite ist dadurch ballig verschliffen (Abb. 3).

Das Laufbild vom Kolben ist sehr unsymmetrisch ausgebildet.

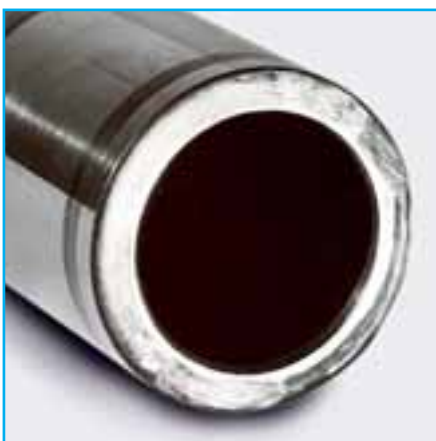


Abb. 3



Abb. 2



Abb. 4



Abb. 5



Abb. 6

Beschreibung II

In diesem Fall hat ein Schrägläufer ebenfalls zum Heraushämmern der Bolzensicherung geführt. Durch den Schräglauf des Kolbens im Zylinder und die einseitige Belastung des Kolbenbolzens ist es zum Bruch des Kolbenbolzens gekommen (Abb. 6) und in der Folge auch zum Kolbenbruch (Abb. 5). In Abbildung 4 ist als Folge des Schrägllaufes des Kolbens im Zylinder sehr deutlich das asymmetrische Laufbild zu sehen.



Kolbenschäden

BESCHREIBUNG – BEURTEILUNG – URSACHEN

Beurteilung

Die Bolzensicherungen, als Drahtsprengringe oder Seeger-Sicherungen ausgebildet, werden im Betrieb nur durch einen Axialschub des Kolbenbolzens herausgedrückt bzw. herausgehämmt. Voraussetzung ist, dass sie richtig eingesetzt und nicht beschädigt wird. Axialschub im Kolbenbolzen tritt immer dann auf, wenn die Kolbenbolzenachse im Betrieb nicht parallel zur Kurbelwellenachse liegt. Dies ist überwiegend dann der Fall

wenn durch ein verbogenes Pleuel ein starker Schrägstand des Kolbens entsteht. Bei den Hubbewegungen kommt es dadurch zu einem wechselnden Axialschub, durch den der in der Hauptdruckrichtung liegende Sicherungsring regelrecht herausgehämmt wird. Der herausgesprungene Sicherungsring klemmt sich dann zwischen den nach außen wandernden Kolbenbolzen, dem Kolben und der Zylinderlaufbahn ein. Er wird dort

verschlissen und zerbricht letztlich in mehrere Teile. Wie in der Abbildung 2 gezeigt verhämmern die Teilstücke durch ihre Massenkraft bei der Auf-Abwärtsbewegung des Kolbens das Kolbenmaterial innerhalb kürzester Zeit. Einzelne Bruchstücke wandern dabei auch durch den hohlen Kolbenbolzen und verursachen auf der gegenüberliegenden Kolbenseite ebenfalls entsprechende Zerstörungen.

Mögliche Ursachen

- Axialschub des Kolbenbolzens im Motorbetrieb durch:
 - Pleuelverbiegung oder Pleuelverdrehung
 - Schief gebohrte Pleuelaugen (Achsenunparallelität)
 - Schief gebohrte Zylinder
 - Zu großes Pleuellagerspiel, insbesondere in Verbindung mit asymmetrischen Pleuelstangen
- Verwendung alter oder beschädigter Sicherungsringe.
- Unsachgemäß montierte Sicherungsringe. ■



3.8 Fresser in den Kolbenbolzenaugen

3.8.0 Allgemeines über Fresser in den Kolbenbolzenaugen

Fresser in den Kolbenbolzenaugen können primär oder auch sekundär als Folge von Kolbenschaftfressern auftreten.

Da die Bolzenlagerung in den Kolbenbolzenbohrungen nicht zwangsweise mit Öl versorgt wird und nur Spritz- oder Schleuderöl zur Verfügung steht, sind die Fresser an den Kolbenbolzenlagerstellen fast immer typische Trockenlauffresser mit stark aufgerissener Oberfläche und Materialverschweißungen.

Primäre Fresser in den Kolbenbolzenbohrungen bei schwimmend gelagerten Bolzen entstehen durch zu wenig Spiel oder durch Verklemmung bei Pleuelfluchtfehlern.

Dadurch wird die freie Beweglichkeit des Kolbenbolzens in der Pleuelbuchse eingeengt. Der Bolzen dreht sich dann zwangsweise in den Bolzenbohrungen. Dafür ist aber das Spiel eines schwimmend gelagerten Bolzens in den Kolbenbolzenbohrungen zu klein. Starke Erwärmung und dadurch ein

Zusammenbrechen der Schmierverhältnisse mit Trockenlauf und Fresser sind die unausweichliche Folge. Durch die hohe Erwärmung dehnt sich der Kolben im Bereich der Kolbenbolzenbohrungen auch am Schaft wesentlich stärker aus. Dies kann dann auch dort zu Spielmangel, Trockenlauf und Fressern führen (Siehe auch Punkt „3.1.2 Spielfresser jeweils neben den Bolzenaugen“).

Für Kolbenbolzen, die im Pleuel eingeschrumpft werden, wird das Spiel in der Kolbenbolzenbohrung so groß bemessen, dass sich dort immer ein ausreichend dicker Ölfilm bilden kann. Bei der Wiederverwendung gelaufener Schrumpfleuel ist darauf zu achten, dass die Bohrung im Pleuel nicht verzogen oder sonst wie beschädigt ist. Der Kolbenbolzen könnte sich sonst im eingeschrumpften Zustand so stark verformen, dass dadurch das Spiel in den Kolbenbolzenbohrungen örtlich nicht mehr ausreicht, wodurch sich sehr leicht Fresser bilden können. Beim Einbau der Kolben in den Motor ist stets die Bolzenlagerung einzuölen, damit für die ersten Umdrehungen ausreichend Schmierstoff vorhanden ist.

Hinweis:

Beim Einschrumpfen des Kolbenbolzens in das Pleuel, ist neben der o.g. Schmierung des Bolzens darauf zu achten, dass unmittelbar nach dem Einsetzen des Bolzens die Bolzenlagerung nicht durch Kolbenkipfbewegung auf Freigang geprüft wird. Unmittelbar nach dem Einsetzen des kühlen Bolzens in das heiße Pleuel kommt es zum Temperatenausgleich der beiden Bauteile. Der Kolbenbolzen kann dadurch noch sehr heiß werden und sich so weit ausdehnen, dass er in der noch kühlen Bolzenbohrung festklemmt. Wird die Lagerung in diesem Zustand bewegt, kann hier ein erster Anreiber oder Fresser entstehen der im Betrieb zur Schwergängigkeit der Lagerung und damit zu erhöhter Reibung und Wärmeentwicklung führt. Aus diesem Grund sollten die montierten Bauteile vor einer Überprüfung auf Freigängigkeit erst ausreichend abkühlen. Sekundäre Fresser in den Kolbenbolzenbohrungen werden über schwere Kolbenschaftfresser eingeleitet. Der ganze Kolben kann dabei so stark aufgeheizt werden, dass auch in den Kolbenbolzenbohrungen die Schmierung zusammenbricht. Teilweise wird auch Abrieb von den Schaftfressern in die Bolzenlagerung eingeschwemmt.

Sekundäre Fresser in den Kolbenbolzenbohrungen werden über schwere Kolbenschaftfresser eingeleitet. Der ganze Kolben kann dabei so stark aufgeheizt werden, dass auch in den Kolbenbolzenbohrungen die Schmierung zusammenbricht. Teilweise wird auch Abrieb von den Schaftfressern in die Bolzenlagerung eingeschwemmt.

3.8.1 Fresser in den Kolbenbolzenaugen (schwimmend gelagerter Kolbenbolzen)

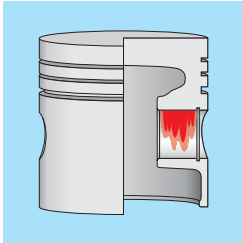


Abb. 1

Beschreibung

Der Kolbenbolzen hat in den Kolbenbolzenbohrungen stark gefressen. Das Kolbenmaterial wurde auf dem Kolbenbolzen regelrecht aufgeschweißt (Abb. 1). Im Bereich der Pleuelbuchse ist der Kolbenbolzen blau angeläufen. Der Kolbenschaft selbst hat nicht gefressen.

Beurteilung

Die Blauverfärbung des Kolbenbolzens im Bereich der Pleuelbuchse zeigt, dass dort zu wenig Spiel vorhanden war und sich der Kolbenbolzen infolgedessen nur schwer oder gar nicht

in der Pleuelbuchse drehen konnte. Die Drehung des Kolbenbolzens erfolgte deshalb nur in der Kolbenbolzenbohrung. Dafür ist das Spiel eines schwimmend gelagerten Kolben-

bolzens aber zu klein. Die erhöhte Reibung führte zu einer übermäßigen Erwärmung in der Lagerung wodurch der Ölfilm unwirksam wurde und der Bolzenfresser auftrat.

Mögliche Ursachen

- Das Spiel zwischen Pleuelbuchse und Kolbenbolzen wurde zu eng bemessen.
- Möglicherweise wurde das Spiel in der Pleuelbuchse durch einen Pleuefluchtfehler überbrückt und dadurch der Bolzen festgeklemmt.
- Die Bolzenlagerung wurde beim Einbau der Kolben nicht eingölt.

Hinweis:

Damit für die ersten Motorumdrehungen genügend Schmierung vorhanden ist und nicht gleich beim Motorstart ein Anreiber entsteht, ist es beim Einbau der Kolben unerlässlich die Bolzenlagerung großzügig einzuölen.



3.8.2 Fresser in den Kolbenbolzenaugen (Schrumpfleuel)

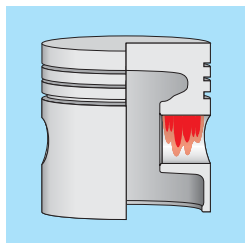


Abb. 1

Beschreibung

Der Kolben ist offensichtlich nur ganz kurze Zeit gelaufen. Es ist kein Bodenbelag und keine Laufspur vorhanden. Der Kolbenbolzen hat in beiden Kolbenbolzenaugen auf der oberen, also der sog. druckbelasteten Seite gefressen (Abb. 1). Die Oberfläche der Fresser ist metallisch sauber. Es sind keine Spuren von eingebranntem Öl vorhanden.

Beurteilung

Der Kolben zeigt praktisch noch keine Laufspuren und kann daher nur kurze Zeit gelaufen sein. Es kann also davon

ausgegangen werden, dass der Kolbenbolzen schon bei den ersten Motorumdrehungen gefressen hat. Die metallisch

reinen Fressstellen sind (ein) Indiz für einen Öl­mangel in der Bolzenlagerung.

Mögliche Ursachen

- Die Bolzenlagerung wurde möglicherweise vor der Montage des Pleuels in den Motor nicht eingölt.
- Beim Einschrumpfen des Pleuels in das Pleuel wurde unmittelbar nach dem Einsetzen des Bolzens die Bolzenlagerung durch Pleuelkipfbewegung auf Freigang geprüft. Die Lagerung kann zu diesem Zeitpunkt durch die ungewöhnlichen, im Betrieb nicht vorkommenden Temperaturunterschiede der Bauteile in Mitleidenschaft gezogen werden.

3.8.3 Fresser in den Kolbenbolzenaugen (mit Kolbenschaftfresser)

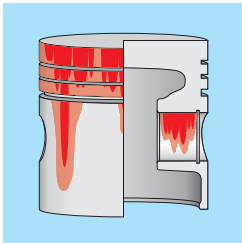


Abb. 1

Beschreibung

Der Kolben hat am ganzen Umfang, mit Schwerpunkt am Pleuellagerkopf, gefressen (Abb. 1). Die Pleuellagerringe sind in den Pleuellagerbohrungen festgegangen. In beiden Pleuellagerbohrungen sind Pleuellager vorhanden.

Beurteilung

Nachdem der Schwerpunkt der Pleuellager am Pleuellagerkopf liegt, hat der Schaden offensichtlich dort infolge von Pleuellagerstörungen begonnen. Im weiteren Verlauf sind dann die Pleuellager

festgegangen, und die Pleuellager haben sich immer stärker auf den Pleuellager heruntergezogen. Die an den festgegangenen Pleuellager vorbeistreichenden Pleuellager haben

den Pleuellager dann so aufgeheizt, so dass letztlich der Pleuellager in der Pleuellagerbohrung unwirksam wurde und auch hier Pleuellager entstanden sind.

Mögliche Ursachen

- Pleuellagerstörungen die zu einem kombinierten Pleuellager- und Pleuellager am Pleuellagerkopf

und -schaft führen und in der Folge auch zu dem Pleuellager in der Pleuellagerbohrung.





3.9 Kolbengeräusche

3.9.0 Allgemeines über Kolbengeräusche

Laufgeräusche der Kolben können durch die verschiedensten Einflüsse im Motorbetrieb verursacht werden.

- **Kolbenkippen durch zu großes Laufspiel:**
Durch eine zu groß ausgeführte Zylinderbohrung oder durch Verschleiß/Materialeinfall kippt der Kolben, angeregt durch die Pendelbewegung der Pleuelstange und durch den Anlagewechsel des Kolbens im Zylinder und schlägt dabei, insbesondere mit dem Kolbenkopf, hart gegen die Zylinderlaufbahn.
- **Kolbenkippen durch zu wenig Spiel in der Bolzenlagerung:**
Das Spiel zwischen Kolbenbolzen und Pleuelbuchse kann entweder zu klein ausgeführt sein, es kann aber auch im Betrieb durch eine Verklemmung oder Verspannung im Betrieb überbrückt werden. Dies geschieht insbesondere durch Pleuefluchtfehler (Verbiegung und Verdrehung).
- **Anschlagen des Kolbens in Bolzenrichtung:**
Ein seitliches Anschlagen des Kolbens gegen die Zylinderbohrung geht in den überwiegenden Fällen von der Pleuelstange aus. Aufgrund von einem Fluchtfehler der Pleuelstange (Verbiegung, insbesondere aber Verdrehung) führt der Kolben bei seiner Hubbewegung in der Motorlängsachse eine pendelnde Bewegung aus, wodurch der Kolben wechselseitig gegen den Zylinder geschlagen wird. Unsymmetrische Pleuelstangen oder außermittige Unterstützung des Kolbens durch die Pleuelstange bewirken das Gleiche.
- **Wechselseitiges Anschlagen des Kolbenbolzens gegen die Kolbenbolzensicherungen:**
Ein Axial Schub im Kolbenbolzen ist immer Folge eines Fluchtfehlers zwischen der Achse des Kolbenbolzens und der Kurbelwellenachse. Wie im vorherigen Punkt beschrieben, sind eine Pleuelverbiegung oder -verdrehung sowie eine Asymmetrie in der Pleuelstange die häufigsten Ursachen solcher Fehler. Ein zu großes Pleuellagerspiel (Pleuellagerzapfen an der Kurbelwelle) kann jedoch, besonders bei niederen Drehzahlen, ein seitliches Pendeln der Pleuelstange bewirken. Der Kolbenbolzen verkanntet sich dadurch im Pleuelauge und wird durch die Pendelbewegung in der Kolbenbolzenbohrung des Kolben hin und hergeschoben. Ein Anschlagen des Kolbenbolzens gegen die Bolzensicherungen ist die Folge.
- **Die Kolbeneinbaurichtung wurde nicht beachtet:**
Um den Anlagewechsel des Kolbens vor dem oberen Totpunkt und vor Beginn des Arbeitstaktes zu vollziehen, ist die Kolbenbolzenachse um wenige Millimeter zur Kolbendruckseite hin desachsiert. Wird der Kolben um 180° verdreht in den Zylinder eingesetzt und damit der Kolbenbolzen zur falschen Seite hin desachsiert, geschieht der Anlagewechsel des Kolbens zum falschen Zeitpunkt. Das Kolbenkippen vollzieht sich dadurch viel heftiger und damit auch geräuschvoller.

3.9.1 Radiale Anschlagstellen am Feuersteg

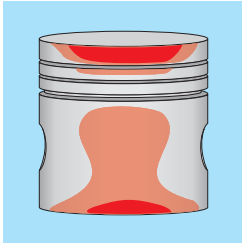


Abb. 1

Beschreibung

Der Feuersteg weist in Kipprichtung Schlagstellen auf (Abb. 1). Am Pleuellager ist ein nach oben und unten stärker ausgeprägtes Laufbild als in der Pleuellagermitte vorhanden.

Beurteilung

Ein nach außen als besonders störend wahrnehmbares Kolbengeräusch wird insbesondere durch wechselseitiges

Anschlagen des Pleuellagers gegen die Pleuellagerbahn verursacht. Je nach Ursache schlägt der Pleuellager

entweder in Kipprichtung oder in der Pleuellagermitte (Bolzenrichtung) gegen die Pleuellagerbahn

Mögliche Ursachen bei Anschlagstellen in Kipprichtung

- zu großes Pleuellagerspiel und damit schlechte Pleuellagerführung verursacht durch zu groß gebohrte, bzw. gehonete Pleuellagerbahn
- Die Pleuellagerausrichtung bei desachtierten Pleuellagern wurde nicht beachtet.
- Schwergängige Pleuellagerung: Durch die Schwergängigkeit schlägt der Pleuellagerkopf in der sogenannten Kippebene gegen die Pleuellagerbahn. Gründe hierfür sind:
 - zu geringes Spiel im Pleuellager bzw. in der Pleuellagerbohrung.
 - zu enge Pleuellagerung des Pleuellagers in der Pleuellagerbuchse (Schrumpfleuellager). Beim Ein-

- schrumpfen des Pleuellagers und bei zu enger Pleuellagerung des Pleuellagers im Pleuellager, verformt sich das Pleuellager in Richtung der schwächsten Pleuellagerstärken. Das Pleuellager und der Pleuellager nehmen dabei eine ovale Form an.
- bei Schrumpfleuellagern: Spieleinengung zwischen Pleuellager und Pleuellager durch Verzug des Pleuellagers infolge nicht mehr genau geometrisch runder Pleuellagerbohrungen in den Pleuellagern.
- gefressener Pleuellager

Mögliche Ursachen bei Anschlagstellen in Pleuellagermitte

- Bei einem Pleuellagerfluchtfehler, insbesondere bei einer Pleuellagerverdrehung oder aber bei zu großem Pleuellagerspiel pendelt der Pleuellagerkopf in Pleuellagermitte und schlägt gegen die Pleuellagerbahn.
- Pleuellagerfluchtfehler (Verbiegung/ Verdrehung): Es entsteht ein wechselnder Pleuellagerflucht im Pleuellager, durch den dieser wechselseitig gegen die Pleuellagerbohrung schlägt. ■

3.10 Zylinder und Zylinderlaufbuchsen



3.10.1 Laufbuchsenlängsrisse

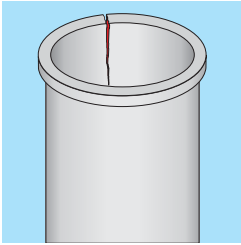


Abb. 1

Beschreibung

Der meist vertikal verlaufende Riss verläuft zumeist vom Buchsenbund ausgehend in vertikaler Richtung. Trockene Laufbuchsen sind teilweise auch betroffen wegen ihrer relativ dünnen Zylinderwandstärke.

Beurteilung

Laufbuchsenrisse dieser Art werden häufig durch unvorsichtigen Umgang (Schlageinwirkungen) verursacht. Auch wenn die Buchse nicht sofort einen sichtbaren Schaden erleidet, kann ein mikrofeiner Riss oder eine Kerbe im späteren Betrieb des Motors

einen Bruch erzeugen und damit einen Ausfall verursachen. Wie auch schon im vorgenannten Fall beschrieben, kann eine fehlerhafte Bundaylage oder Schmutz zwischen Laufbuchse und Zylinderblock, ebenfalls solche Schäden verursachen. Bei Längsris-

sen die durch fehlerhafte Bundaylagen verursacht wurden, treten die Längsrisse oft zusammen mit Querrissen auf.

Mögliche Ursachen

- Unsachgemäße und unvorsichtige Behandlung der Laufbuchsen während dem Transport oder der Reparatur und damit verbunden Beschädigungen durch Risse oder Kerben.
- Flüssigkeitsschläge
- Fremdkörper unter Kontakt- oder Dichtflächen
- Fehlerhafte Bundaylagen. (Siehe auch Punkt „3.10.2 Abgerissener Bund an der Zylinderbuchse“)



3.10.2 Abgerissener Bund an der Zylinderbuchse



Abb. 1

Beschreibung

Bei der Zylinderbuchse ist der komplette Buchsenbund abgerissen (Abb. 1). Der Bundriss beginnt im Grund der Buchsenbundunterkante und verläuft unter einem Winkel von ca. 30° schräg nach oben.

Beurteilung

Für einen derartigen Schaden sind Biegemomente verantwortlich, welche bei mangelhafter Montage entstehen (Schmutz und Formfehler). Die Ursachen, die zu solchen Brüchen führen, sind vielfältig. In den meisten Fällen wird der Zylinderbuchsenbund schon beim Anziehen des Zylinderkopfes abgedrückt. Bei den neuen Nutzkraftfahrzeug-Motorgenerationen mit Pumpe-Düse oder Common-Rail Einspritzsystem wird aufgrund der höheren Verbrennungsdrücke der Motorblock zunehmend belastet. Durch die bei diesen Typen bauartbedingte Verwendung von sehr harten Stahl-Zylinderkopfdichtungen, kann sich nach einer längeren Laufleistung das Kurbelgehäuse im Bereich der Buchsenbundaufgabe verziehen. Die Verformung der Auflagefläche ist rein optisch ohne geeignete Hilfsmittel nicht zu erkennen.

Eine einfache Methode, diesen Verzug zu prüfen, ist der Einsatz von Lager-tusche. Die Tusche wird hauchdünn auf die Auflagefläche des Buchsenbundes am Motorblock aufgetragen. Danach setzt man die neue Buchse ohne Dichtungen ein und drückt die Buchse auf den Sitz. Danach wird die Buchse wieder herausgenommen. Die Auflagefläche an der Buchse sollte nun am ganzen Umfang gleichmäßig mit Tusche bedeckt sein. Sind Teile der Fläche nicht mit Farbe in Berührung gekommen trägt muss der Buchsensitz nachgearbeitet werden. Diese Nacharbeit geschieht am besten auf einem stationären Bohrwerk oder mit einem mobilen Buchsenbund-Plandrehgerät (siehe Werkzeuganhang). Nur auf diese Weise ist gewährleistet dass die Planparallelität zur Gehäuseoberfläche gegeben ist (Abb. 2).

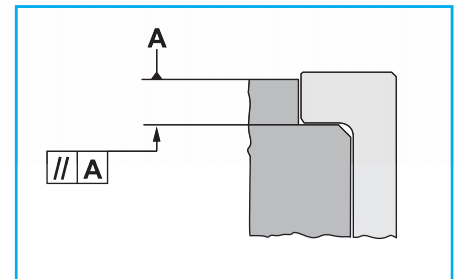


Abb. 2

Mögliche Ursachen

- Es wurden keine vorgeschriebenen Dichtungen verwendet (Nachbau-dichtungen haben zum Teil andere Formgebungen und Durchmesser).
- Die vom Motorenhersteller vorge-schriebenen Anzugsdrehmomente und Drehwinkel wurden nicht be-achtet.
- Der Buchsensitz im Motorblock wurde nicht sorgfältig vom Schmutz befreit.
- Rechtwinkligkeit und/oder Plan-heit der Bundauflage waren nicht gewährleistet (Abb. 2 und Abb. 5).
- Bei der Nacharbeit des Buchsen-sitzes wurden nicht auf die korrekte Form geachtet. Die Formgebung des Buchsensitzes muss der Formgebung der Zylinderbuchse entsprechen. Der Übergang der Bundfläche zum Passsitzdurchmesser muss mit einer Abkantung von 0,5- 1,0 Millimeter X 45° (C) versehen sein, um ein Aufsitzen der Hohlkehle des Buchsenbundes an der Kante zu vermeiden. Bei Nichtbeachtung kann der Bund beim Festziehen des Zylinderkopfes sehr leicht abgedrückt werden. (Abb. 3). Weiterhin muss darauf geachtet werden, dass der Ausrundungsradius am Buchsensitz (D) in (Abb. 4) nicht zu groß gewählt wird, damit die Buchse am Buchsenbund nicht an der Außen- oder Innenkante trägt.
- Steht der Buchsenbund nicht um das vorgeschriebene Maß über die Zylinderdichtfläche hinaus bzw. steht er ein Stück zurück (Abb. 6) wird die Buchse bei der Montage nicht stark genug auf den Buchsen-sitz gepresst. Im Betrieb kann dies die Buchse durch die Pendelbewe-gung des Kolbens ebenfalls in eine Pendelbewegung versetzen. Die dadurch ständig einwirkenden Kräfte führen zum Buchsenbundabbriss. Muss die Buchsenbundauflage bei einer Motoreninstandsetzung nach-gearbeitet werden, können entweder Ausgleichscheiben aus Stahl unter-legt bzw. Buchsen mit Bundübermaß verwendet werden, um den nötigen Überstand der Buchse zur Zylinder-oberfläche zu gewährleisten. Die Buchse mit Bundübermaß* ist dem Unterlegen mit Ausgleichsscheiben vorzuziehen, da sie die technisch stabilere Lösung darstellt.

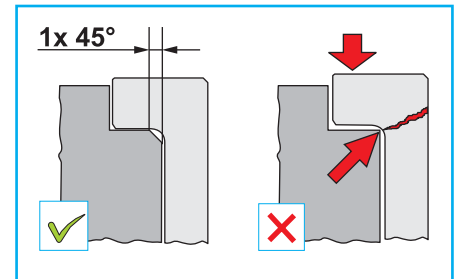


Abb. 3

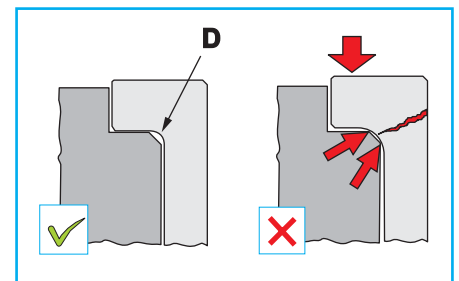


Abb. 4

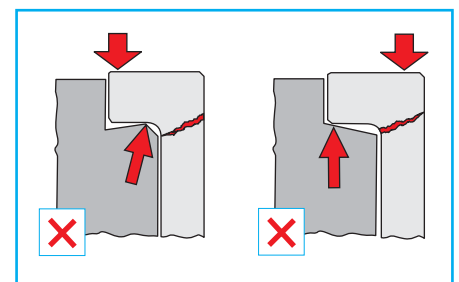


Abb. 5

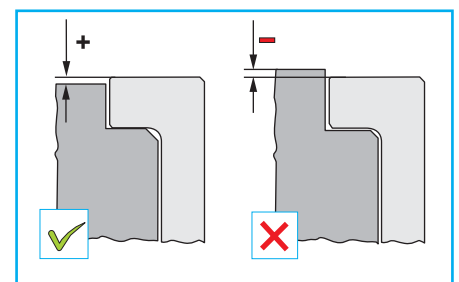
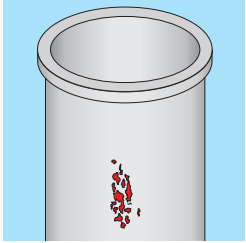


Abb. 6

* MSI liefert für die meisten Motoren Zylinderlaufbuchsen mit Bundübermaß. Details entnehmen Sie bitte dem aktuellen Katalog „Kolben, Zylinder, Assemblies“.

3.10.3 Kavitation an Zylinderbuchsen



Beschreibung

Die nasse Zylinderlaufbuchse weist im Bereich des Wassermantels starke Kavitationserscheinungen auf. Diese gehen soweit, dass bereits ein Loch bis in das Zylinderinnere entstanden ist.



Abb. 1



Abb. 2



Abb. 3 Querschnitt der Zylinderlaufbuchse

Beurteilung

Kavitation tritt bevorzugt in der Kippenebene des Kolbens (auf der Druck- oder Gegendruckseite) auf und wird durch Schwingungen der Zylinderwand ausgelöst. Die hochfrequenten Schwingungen werden durch den Verbrennungsdruck, durch die Kolbenseitenkräfte und den Anlagewechsel im unteren und oberen Totpunkt hervorgerufen. Wenn das Kühlwasser den Schwingungen der Zylinderwand nicht

mehr folgen kann, führt dies zu einem momentanen Abheben des Wasserfilms von der Zylinderlaufbuchse. In der hierbei entstehenden Unterdruckzone kommt es zu einer Dampfbläschenbildung, die beim Zurückschwingen der Zylinderwand mit außerordentlich hoher Geschwindigkeit in sich zusammenfallen (implodieren). Das durch die Bläschen verdrängte Wasser prallt beim Implodieren der Bläschen schlag-

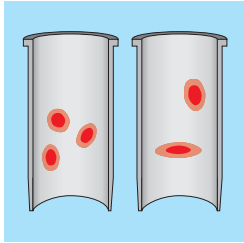
artig auf die Zylinderoberfläche. Die so entstehende Aufprallenergie löst kleinste Teilchen aus der Oberfläche des Zylinders. Im Laufe der Zeit werden dadurch regelrechte Löcher herausgerissen (herausgewaschen). Eine Besonderheit bei der Kavitation ist, dass Löcher nach innen erweitert sind (Abb. 3) und dadurch Höhlen im Material entstehen wovon letztlich auch der Name Kavitation herrührt.



Mögliche Ursachen

- Das korrekte Kolbenspiel wurde nicht eingehalten (Wiedereinbau bereits gelaufener Kolben, bzw. zu groß gefertigte Zylinder).
- Mangelhafter oder unpräziser Sitz der Laufbuchse im Gehäuse.
- Die vorgeschriebene Dauerfrostfüllung mit Korrosionsschutz oder dem Kühlwasser entsprechende Zusätze fehlen. Das Korrosionsschutzmittel beinhaltet Inhibitoren, welche die Schaumbildung verhindern. Diese Inhibitoren verbrauchen sich jedoch mit der Zeit. Deshalb ist es notwendig das Korrosionsschutzmittel alle 2 Jahre zu wechseln und das richtige Mischungsverhältnis einzustellen.
- Verwendung von ungeeigneten Kühlmitteln wie Salzwasser (Meerwasser), aggressivem oder säurehaltigem Wasser oder sonstiger Flüssigkeiten.
- Ungenügender Vordruck im Kühlsystem: Der Kühlerdruck ist durch ungeeignete Kühlerdeckel (zu geringe Druckhaltung durch defektes Überdruckventil) oder durch Undichtheiten im Kühlsystem nicht gewährleistet. Bei einem vorschriftsmäßigen Vordruck im Kühlsystem liegt die Siedetemperatur des Kühlmittels höher als bei atmosphärischem Druck. Durch den Vordruck im Kühlsystem kann zwar die Ursache der Dampfbläschenbildung nicht beseitigt werden, aber die Bläschen werden zumindest in ihrer Entstehung behindert.
- Zu niedere Betriebstemperatur des Motors: Erreicht ein Motor durch bestimmte Einsatzbedingungen oder auch durch Thermostatdefekte nicht die normale Betriebstemperatur, kann sich im Kühlsystem wegen der geringeren Wärmeausdehnung des Kühlmittels kein Überdruck aufbauen. Durch die zu niedrige Betriebstemperatur erfahren auch die Kolben nicht die korrekte Wärmeausdehnung. Sie laufen dadurch im Betrieb mit erhöhtem Kolbenspiel. Beide Fälle begünstigen die Bläschenbildung und damit die Kavitation. ■

3.10.4 Ungleichmäßiger Zylinderverschleiß



Beschreibung

Die Zylinderbohrungen zeigen ein unregelmäßiges Verschleißbild mit einzelnen, hochglänzenden Polierstellen (Abb. 2). Die Kolben zeigen keinerlei Verschleiß oder Reibstellen. Der Motor verlor an den Dichtstellen Öl, insbesondere jedoch an den Radialwellendichtringen. In Abbildung 1 sieht man deutlich die Korrosion am Außendurchmesser der Laufbuchse die im eingebauten Zustand eine Unrundheit des Zylinders verursachte.



Abb. 1



Abb. 2

Beurteilung

Hochglänzende, ungleichmäßige Laufbilder an den Laufflächen in den Zylindern weisen immer auf Zylinderverzug hin. Insbesondere nasse oder trockene Zylinderbuchsen können schon unmittelbar nach der Montage verzogen sein. Die Kolbenringe können einen verzogenen Zylinder weder

gegen Öl noch gegen Verbrennungsgase einwandfrei abdichten. Das Öl tritt an den Kolbenringen vorbei in den Verbrennungsraum und wird verbrannt. Durch die am Kolben vermehrt vorbeiströmenden Verbrennungsgase, steigt zudem der Druck im Kurbelgehäuse an. Dieser Überdruck führt zu Ölver-

lust an diversen Dichtstellen am Motor insbesondere an den Radialwellendichtringen. Darüber hinaus wird Öl über die Ventilführungen in die Ansaug- und Abgaskanäle gedrückt und dann vom Motor angesaugt und verbrannt oder ausgeschieden.



Mögliche Ursachen

- Ungleichmäßiges oder falsches Anziehen der Zylinderkopfschrauben.
- Unebene Planflächen vom Zylinderblock und vom Zylinderkopf.
- Unsaubere oder verzogene Gewinde der Zylinderkopfschrauben.
- Ungeeignete oder falsche Zylinderkopfdichtungen.
- Fehlerhafte Bundauflage im Gehäuse, falscher Buchsenüberstand und verzogene und/ oder ausgeschlagene untere Buchsenführung können Ursache für einen beträchtlichen Zylinderverzug sein.
- Zu loser oder zu fester Buchsensitz im Gehäuse (bei trockenen Zylinderlaufbuchsen).
- Einzeln stehende Rippenzylinder müssen zum Kurbelgehäuse und zum Zylinderkopf genau planparallel aufliegen. Wenn mehrere Zylinder einen gemeinsamen Zylinderkopf haben, ist darauf zu achten, dass die Rippenzylinder gleiche Höhe haben. Das Vorhandensein und die Anordnung der Luftleitbleche ist bei dieser Bauform von großer Bedeutung.
- In den Grundbohrungen der Gehäuse entstehen bei trockenen Buchsen im Betrieb oftmals beträchtliche Unebenheiten durch Kontaktkorrosion (Passungsrost, Abb. 1). In diesem

Fall muss die Zylindergrundbohrung sorgfältig gereinigt werden. Ist eine Reinigung allein nicht mehr erfolgversprechend, müssen die Zylindergrundbohrungen nachgearbeitet und anschließend Zylinderlaufbuchsen mit Außenübermaß* eingebaut werden. Die sehr dünnwandigen Buchsen müssen über die gesamte Länge und Umfang anliegen können. Ist dies nicht der Fall, deformieren sich die Buchsen bereits beim Einbau in die Grundbohrungen und erst recht während des Betriebes.

Bei trockenen Zylinderlaufbuchsen unterscheidet man nach Pressfit und nach Slipfit Ausführungen. Pressfit-Buchsen werden in den Motorblock eingepresst und müssen nach dem Einpressen noch gebohrt und gehont werden. Slipfit-Buchsen sind fertig bearbeitet und werden nur in die Grundbohrung eingeschoben. Aufgrund des Spieles welches bei der Slipfit-Buchse zwischen Buchse und Zylindergrundbohrung verbleibt, neigt diese Ausführung - im Gegensatz zur Pressfit Buchse - eher zu Verzugs- und Korrosionsproblemen.

- Verzogene Zylinderbohrungen bei Zylinderblöcken ohne Laufbuchsen. Bestimmte Motoren neigen dazu sich bei der Montage des Zylinderkopfes zu verziehen. Werden diese Motoren auf normale Weise gebohrt und gehont können sich im späteren Betrieb Verzugsprobleme ergeben.

Empfehlung:

Bei Zylinderblöcken ohne Laufbuchsen, mit direkt in den Zylinderblock gebohrten Zylindern, empfiehlt es sich vor der Zylinderbearbeitung eine Druckplatte (ugs. Honbrille) auf die Zylinderplanfläche zu schrauben. Diese Druckplatte hat bis auf die Wasserkanäle dieselben Öffnungen wie der Zylinderblock und ist mehrere Zentimeter stark. Durch das Aufschrauben und definierte Anziehen mit dem Anzugsdrehmoment der Zylinderkopfschrauben erzeugt man während der Zylinderbearbeitung dieselben Spannungsverhältnisse wie wenn der Zylinderkopf montiert wäre. Verzüge in den Zylinderbohrungen, die sich beim Anziehen der Kopfschrauben ggf. ergeben könnten, werden auf diese Weise definiert erzeugt und bei der Bearbeitung berücksichtigt. Dadurch ist gewährleistet, dass die Zylinderbohrung im späteren Motorbetrieb (einwandfreie Bearbeitung vorausgesetzt) weitgehend rund und zylindrisch ist. ■

* MSI liefert für viele Motoren Zylinderlaufbuchsen mit Außenübermaß. Details siehe MSI Katalog „Kolben, Zylinder, Assemblies“

3.10.5 Glanzstellen im oberen Zylinderbereich

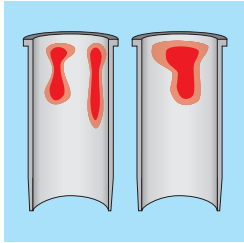


Abb. 2

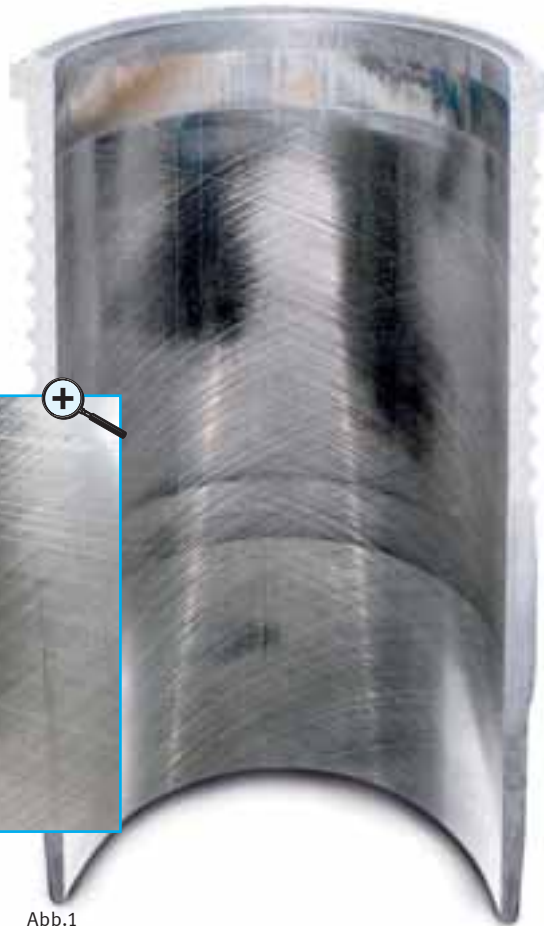


Abb.1

Beschreibung

Die Zylinderlauffläche weist im oberen Bereich hochglänzende, blanke Stellen auf, an denen keinerlei Honstruktur mehr erkennbar ist (Abb. 1+2). Der Kolben selbst hat keine nennenswerten Verschleißspuren.

Der Motor hat einen erhöhten Ölverbrauch.



Abb. 3



Beurteilung

Solche Verschleißbilder treten auf, wenn sich im Betrieb am Feuersteg des Kolbens durch verbranntes Öl und Verbrennungsrückstände ein harter Ölkohlebelag bildet (Abb. 3). Dieser Belag hat abrasive Eigenschaften und führt im Betrieb durch die Auf- und Abwärtsbewegung und die Anlagewechsel des Kolbens zu erhöhtem Verschleiß im oberen Zylinderbereich. Der überhöhte Ölverbrauch wird durch die Glanzstellen selbst nicht verursacht, da der Zylinder durch die Polierstellen keine starke Unrundheit

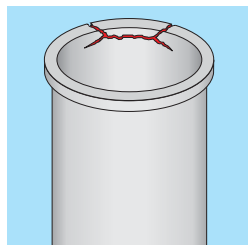
erfährt und die Kolbenringe weiterhin Ihrer Abdichtfunktion nachkommen können. Auch die Schmierung des Zylinders ist nicht beeinträchtigt, da sich trotz Verlust der Honstruktur in den offenen Graphitadern der Zylinderoberfläche immer noch genügend Öl halten kann. Bei der Beurteilung eines solchen Schaden ist wichtig, dass in dem vorliegenden Fall die Glanzstellen nur an Stellen im Zylinder auftreten, die im Betrieb in Kontakt mit dem verkockten Feuersteg kommen. Sind die Glanzstellen auch an Stellen

vorhanden die vom Feuersteg nicht überlaufen werden, liegt die Schadenursache eher in einem Zylinderverzug (Punkt „3.10.4 Ungleichmäßiger Zylinder Verschleiß“), in einer Kraftstoffüberschwemmung (Punkt „3.11.3 Verschleiß von Kolben Kolbenringen und Zylindern durch Kraftstoffüberschwemmung“) bzw. in einem Schmutzeintrag begründet (Punkt „3.11.2 Verschleiß von Kolben Kolbenringen und Zylindern durch Schmutz“).

Mögliche Ursachen

- Übermäßig hoher Eintritt von Motoröl in den Verbrennungsraum durch defekte Turbolader, ungenügende Ölabscheidung bei der Motorlüftung, defekte Ventilschaftabdichtungen u.s.w.
- Überdruck im Kurbelgehäuse durch erhöhten Ausstoß von Blowby Gasen oder durch ein defektes Kurbelgehäuseentlüftungsventil.
- Ungenügende Zylinderendbearbeitung und dadurch erhöhter Öleintritt in den Verbrennungsraum (siehe hierzu auch Punkt „3.11.4 Kolbenringverschleiß kurz nach der Motorüberholung“).
- Verwendung von nicht freigegebenen Motorölen bzw. von Motorölen minderer Qualität. ■

3.10.6 Laufbuchsenriss durch Flüssigkeitsschlag



Beschreibung

Die Laufbuchse zeigt im oberen Bereich eine starke Rissbeschädigung und Fressstellen auf der Lauffläche (Abbildung 1 und 2). Der dazugehörige Kolben zeigt ebenfalls Fressspuren auf der Druck- und Gegendruckseite. Im Kolbenboden ist in dem Bereich in welchem die Fressstellen am Schaft vorhanden sind, eine muldenförmige Vertiefung entstanden (Abb. 3).



Abb. 1



Abb. 2



Abb. 3



Abb. 4



Kolbenschäden

BESCHREIBUNG – BEURTEILUNG – URSACHEN

Beurteilung

Der Zylinder hat im Betrieb einen Flüssigkeitsschlag erlitten. Der hohe Flüssigkeitsdruck hat die Laufbuchse gesprengt und eine Mulde in den Kolbenboden gedrückt. Dadurch

wurde das Kolbenmaterial nach außen gequetscht wodurch es zu einer starken Spieleinengung in diesem Bereich und zu den Fressspuren auf beiden Kolbenseiten und an der Laufbuchse

kam. Ob sich der Flüssigkeitsschlag im laufenden Betrieb oder während des Motorstarts ereignete lässt sich nicht mehr nachvollziehen.

Mögliche Ursachen

- unbeabsichtigtes Ansaugen von Wasser beim Durchfahren von Hochwasser, Pfützen oder niedrigen Gewässern, bzw. durch Hochspritzen von größeren Wassermassen voraus- oder vorbeifahrender Fahrzeuge.
- Vollaufen des Zylinders mit Wasser bei stehendem Motor durch Undichtigkeiten der Zylinderkopfdichtung oder durch Risse in Bauteilen.
- Vollaufen des Zylinders mit Kraftstoff bei stehendem Motor durch undichte Einspritzdüsen. Der Restdruck im Einspritzsystem entleert sich durch die undichte Düse in den Zylinder. In diesem und im vorgenannten Fall kommt es beim Starten zu dem besagten Schaden. ■



3.11 Überhöhter Ölverbrauch

3.11.0 Allgemeines zum Ölverbrauch

Der Gesamtölverbrauch eines Motors setzt sich hauptsächlich aus Ölverbrauch (im Brennraum verbranntes Öl) und aus Ölverlust (Undichtigkeiten) zusammen. Entgegen der noch vorherrschenden und weitverbreiteten Meinung, spielt der Ölverbrauch, der über die Kolben und die Kolbenringe in den Verbrennungsraum gelangt, heutzutage nur noch eine untergeordnete Rolle.

Durch die stetige Weiterentwicklung der Motoren konnten Teiledesign, Materialzusammensetzungen und Fertigungsprozesse verbessert und weitestgehend optimiert werden. Der Verschleiß an Zylindern, Kolben und Kolbenringen und der dadurch entstehende Ölverbrauch zählt daher heute zu den eher vernachlässigbaren Größen. Die derzeitig erreichbaren hohen Kilometerleistungen und die zurückgegangene Anzahl der

Schäden am Kurbeltrieb belegen diesen Sachverhalt.

Der Ölverbrauch, der zwischen Kolbenringen und Zylinderwand in den Verbrennungsraum gelangt lässt sich technisch bedingt jedoch nicht ganz vermeiden sondern nur minimieren. Die Gleitpartner Kolben, Kolbenringe und Zylinderlaufbahn benötigen eine ständige Schmierung um einen reibungslosen Betrieb zu gewährleisten. Während der Verbrennung ist der auf der Zylinderwand verbleibende Ölfilm der heißen Verbrennung ausgesetzt. Je nach Motorleistung, Motorlast und Temperatur wird hier mehr oder weniger Motoröl verdampft oder verbrannt. Richtwerte für einen normalen Ölverbrauch bewegen sich zwischen 0,2 bis maximal 1,5 g/kWh. Der Verschleiß an Kolben, Kolbenringen und Zylindern und dadurch erhöhter

oder exzessiver Ölverbrauch, liegt in der überwiegenden Anzahl der Schadensfälle nicht ursächlich an den Bauteilen selbst. Fast immer führt ein von außen einwirkendes Ereignis zum Verschleiß der Bauteile. Verbrennungsstörungen durch Fehler in der Gemischaufbereitung, von außen in den Motor gelangender Schmutz, unzureichende Motorkühlung, Ölmenge, Öle falscher Qualität und auch Montagefehler sind die Hauptursachen für frühzeitigen Verschleiß und in der Folge auch von zu hohem Ölverbrauch. Detaillierte Schadensbeschreibungen, die Kolben und Zylinder betreffend, finden Sie auf den nachfolgenden Seiten.

Aufgrund der Komplexität des Themas Ölverbrauch ist hierzu eine separate Broschüre „Ölverbrauch & Ölverlust“ aus der Reihe Service Tipps & Infos erschienen. Die Bestellinformationen hierfür erhalten Sie im Anhang. Die in der Broschüre behandelten Themen sind:

- zu großes Lagerspiel im Turbolader
- verstopfte Ölrücklaufleitung am Turbolader
- verschlissene Einspritzpumpen
- Ölaustritt ins Ansaugsystem
- verschlissene Ventilschaftabdichtungen und Ventilführungen
- Zylinderkopf-Montagefehler
- Überdruck im Motorgehäuse
- zu hohen Ölstand
- Verbrennungsstörungen und Kraftstoffüberschwemmung
- falschen Kolbenüberstand
- unregelmäßige Wartung
- die Verwendung minderwertiger Motorenöle
- Zylinderverzug
- Bearbeitungsfehler beim Bohren und Honen
- zu niedrige Graphitfreilegungsquote
- verdrehte/verbogene Pleuel
- gebrochene/verklebte/falsch montierte Kolbenringe

3.11.1 Ölabbstreifring Montagefehler (erhöhter Ölverbrauch nach Motorreparatur)

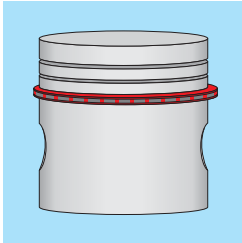


Abb.1

Beschreibung

Die Ringe zeigen keinen sicht- oder messbaren Verschleiß. Auch die Pleuellager haben keine Verschleißmerkmale (Abb. 1).

Der Ölabbstreifring ist im vorliegenden Fall ein sogenannter 3-teiliger Ring, bestehend aus der Expanderfeder und den beiden seitlichen Lamellen. Die beiden Enden der Expanderfeder stoßen normalerweise stumpf aufeinander. In diesem Fall war die Expanderfeder falsch montiert und das letzte Glied am Stoß überlappt (Abb. 2).

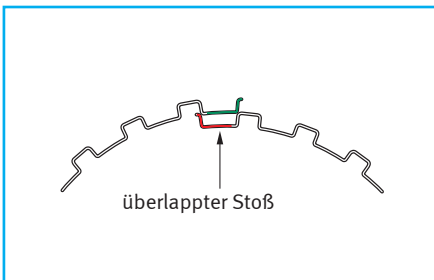


Abb. 2

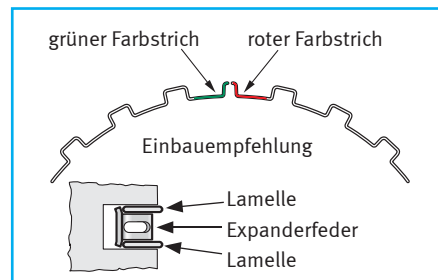


Abb. 3

Beurteilung

Durch den überlappten Einbau der Expanderfeder, wird die Umfangslänge verkürzt und die Spannung

für die Lamellen geht verloren. Die Lamellen liegen nicht mehr dicht an der Zylinderwand an und können das

Öl nicht mehr abstreifen. Das Öl gerät in den Brennraum und verbrennt dort. Der Ölverbrauch steigt stark an.

Mögliche Ursachen

- Bereits bei der Montage des Pleuellagers mit den Ringen in die Zylinderbohrung wurde nicht auf den vorschriftsmäßigen Einbau der Expanderfeder geachtet.

In der Regel sind die Federenden farblich unterschiedlich gekennzeichnet, z.B. linkes Stoßende grün, rechtes Stoßende rot.

Achtung!

Beide Farben der Expanderfeder müssen nach der Montage der Pleuellager sichtbar sein. Diese Kennzeichnung sollte deshalb immer - auch bei vormontierten Pleuellagerringen - vor dem Einbau der Pleuellager in die Zylinderbohrung kontrolliert werden (Abb. 3)

3.11.2 Verschleiß der Kolben, Kolbenringe und Zylinderlaufbahn durch Schmutz (erhöhter Ölverbrauch)

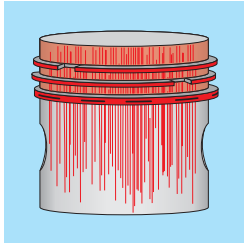


Abb. 1

Beschreibung

Der Kolben (Abb. 1), zeigt ein milchig graues (gebimstes) Schafttragbild mit feinen kleinen Längsriefen an Feuersteg und Kolbenschaft. Die Drehrillen die bei der Kolbenbearbeitung entstehen sind am Schaft völlig abgetragen. Abbildung 3 zeigt eine Ausschnittsvergrößerung vom Kolbenschaft bei der dieser abrasive Verschleiß deutlich zu sehen ist. Die axiale Höhe der Kolbenringe hat durch Verschleiß beträchtlich abgenommen und damit auch die Tangentialspannung. Die Flanken der Verdichtungsringe, insbesondere des ersten Ringes sowie die Flanken der Ringnuten sind verschlissen (Abb. 2). Die scharfen, ölabstreifenden Kanten der Kolbenringe sind regelrecht ausgefranst und es hat sich dort ein sogenannter Bart gebildet, (Abb. 4) In der mikroskopischen Vergrößerung sind auf den Oberflächen der Kolbenringflanken Rollspuren erkennbar. Die Zylinder sind bauchig verschlissen. Der Größtwert des Durchmessers liegt in etwa auf Mitte der Ringlaufbahn.

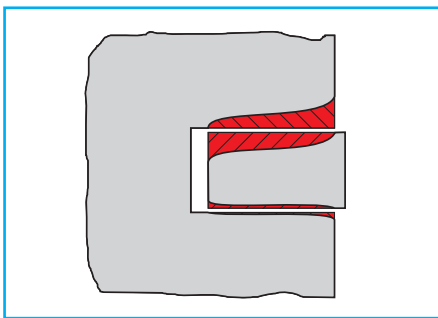


Abb. 2



Abb. 3

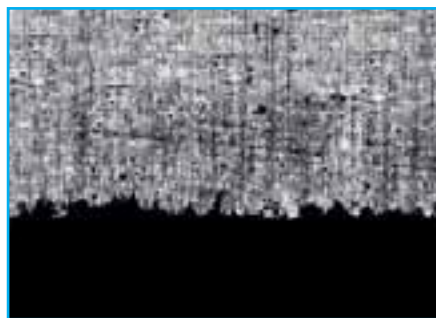


Abb. 4

Beurteilung

Riefen auf den Kolben und den Kolbenringen, ein mattes Tragbild am Kolbenschaft, Rollspuren an den Ringflanken (Abb. 6 und 7), sowie bauchiger Zylinderverschleiß (Abb. 5) sind immer eine Folge von abrasiven Fremdkörpern im Ölkreislauf. Die an den Laufflächen und Flanken verschlissenen Kolbenringe können die Zylinder nicht mehr ausreichend gegen Öldurchtritt in den Verbrennungsraum abdichten. Gleichzeitig steigt der Druck im Kurbelgehäuse durch Verbrennungsgase an, die an den Kolben vorbeiströmen. Dieser Überdruck kann noch zusätzlich zu vermehrtem Ölaustritt an Radialwellendichtringen, Ventilschaftdichtungen und anderen Dichtstellen

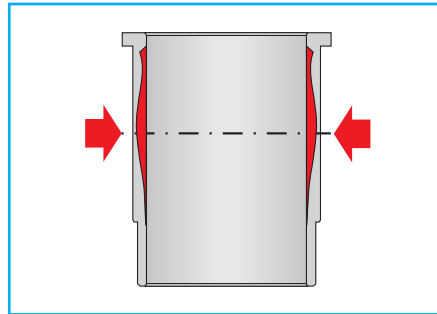


Abb. 5

führen. Rollspuren an den Ringen entstehen, wenn sich Schmutzpartikel in der Ringnut einlagern und der Kolbenring bei seiner Drehung in der Nut immer wieder über das Schmutzteilchen läuft und dadurch die charakteristischen Spuren verursacht.

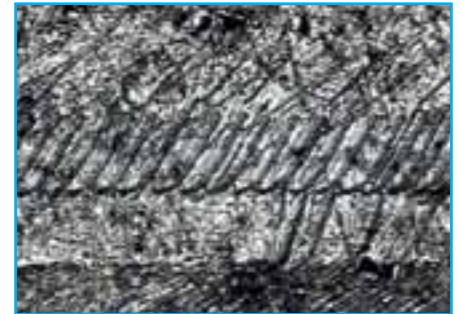


Abb. 6



Abb. 7

Mögliche Ursachen

- Schmirgelnde Schmutzpartikel, die mit der Ansaugluft durch ungenügende Filterung in den Motor gelangen durch z.B.:
 - fehlende, defekte, verformte oder schlecht gewartete Luftfilter
 - undichte Stellen im Ansaugsystem, z. B. verzogene Flansche, fehlende Dichtungen oder defekte bzw. poröse Schläuche
- Schmutzpartikel die bei der Überholung des Motors nicht restlos entfernt wurden. Häufig werden Motorenteile bei der Überholung sand- oder glasgestrahlt um die Oberflächen von hartnäckigen Ablagerungen oder Verbrennungsrückständen zu befreien. Wenn sich

dabei das Strahlgut in das Material einlagert und nicht richtig entfernt wird, kann es sich im Motorbetrieb lösen und abrasiven Verschleiß verursachen. In Abbildung 8 und 9 wurde so ein Schmutzschaden im Labor unter dem Mikroskop mit polarisiertem Licht betrachtet. Deutlich sind Bruchstücke von dem Glasstrahlgut bzw. noch ganze Glaskügelchen zu sehen.

- Abriebteilchen, die beim Einlauf des Motors entstehen und dann bei zu spätem ersten Ölwechsel durch den Ölkreislauf wieder an die Gleitpartner gelangen und dort Verschleiß verursachen. Besonders aber die scharfen, ölabstreifenden Kanten der Kolbenringe schädigen.

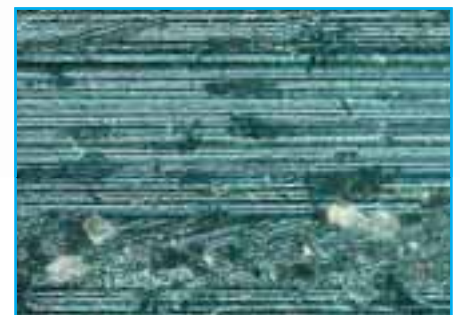


Abb. 8

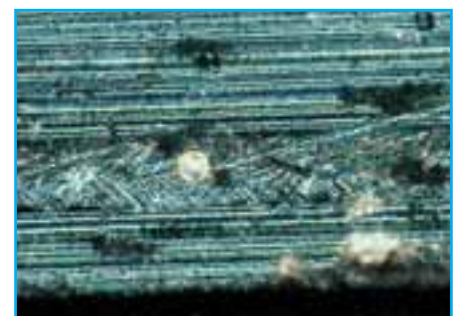


Abb. 9

3.11.3 Verschleiß der Kolben, Kolbenringe und Zylinder durch Kraftstoffüberschwemmung (erhöhter Ölverbrauch)

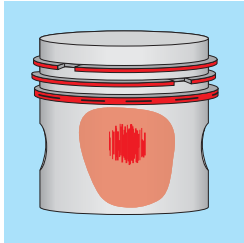


Abb. 1

Beschreibung

Der Pleier hat Abnutzungserscheinungen an Pleiersteg und Pleierschaft. Am Pleierschaft sind Reibstellen zu sehen die für einen Trockenlauf infolge Kraftstoffüberschwemmung charakteristisch sind. Die Pleiersegmente weisen einen sehr starken radialen Verschleiß auf (Abb. 1). Die beiden Stege (Tragflächen) des Pleierstreifringes sind gänzlich abgetragen, was auf einen erheblichen Verschleiß hindeutet (Abb. 2). Im Vergleich dazu ist in Abbildung 3 das Profil eines neuen Pleierstreifringes (Dachfasenschlauchfederring) zu sehen.

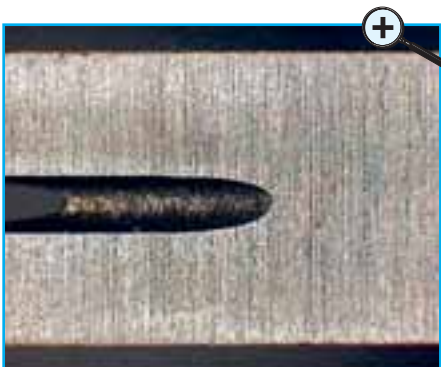


Abb. 2



Abb. 3



Kolbenschäden

BESCHREIBUNG – BEURTEILUNG – URSACHEN

Beurteilung

Kraftstoffüberschwemmung durch Verbrennungsstörungen führt immer zu einer Schädigung des Ölfilms, was zunächst einen höheren Mischreibungsanteil und damit Verschleiß an den Kolbenringen nach sich zieht. Erst wenn der Ölfilm durch den Kraftstoff so stark beeinträchtigt wird, dass eine Mangelschmierung entsteht, bilden sich die charakteristischen Kraftstoffreißer (siehe auch Punkt „3.2.3

Trockenlaufreißer durch Kraftstoffüberschwemmung“). Durch die immer unwirksamere Schmierung kommt es jedoch zu beträchtlichem Verschleiß an Kolbenringen, Kolbenringnuten und an den Zylinderlaufflächen. Der Kolbenschaft wird im Anfangsstadium weniger in Mitleidenschaft gezogen, weil dieser vom Kurbeltrieb her immer wieder mit neuem, noch schmierfähigem Öl versorgt wird.

Erst wenn sich die Abriebteile aus dem Hubbereich der Kolben mit dem Schmieröl mehr und mehr vermischen und auch das Schmieröl durch zunehmende Ölverdünnung an Tragfähigkeit verliert, breitet sich der Verschleiß über die Gleitpartner des Motors aus. Insbesondere die Zapfen der Kurbelwelle und auch die Kolbenbolzen sind davon betroffen.

Mögliche Ursachen

- Kraftstoffüberschwemmung durch Störungen bei der Gemischaufbereitung (Otto- und Dieselmotor)
- Störungen im Zündsystem (Ottomotor).

- Unzureichender Verdichtungsdruck.
- Falsches Kolbenüberstandsmaß: Der Kolben schlägt im Betrieb gegen den Zylinderkopf. Die Erschütterungen und die daraus resultierenden Schwingungen führen bei Diesel-

motoren mit direkter Einspritzung zu unkontrolliertem Abspritzen der Einspritzdüsen und damit zu einer Kraftstoffüberschwemmung im Zylinder (siehe auch Punkt „3.4.5 Anschlagspuren am Kolbenkopf“)

3.11.4 Kolbenringverschleiß kurz nach der Motorüberholung (erhöhter Ölverbrauch)

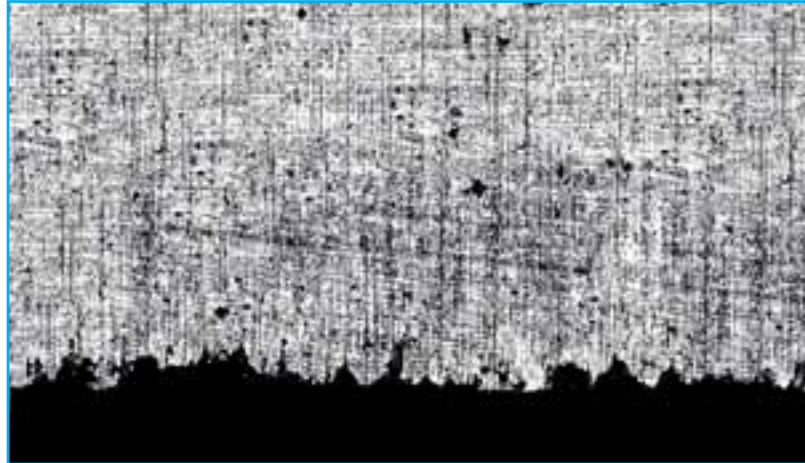
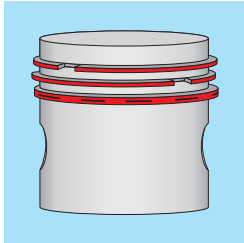


Abb. 1

Beschreibung

Die Kolben zeigen keinerlei Verschleißmerkmale. Die Kolbenringe zeigen oberflächlich betrachtet zunächst keinen sicht- oder messbaren Verschleiß. Bei genauerer Betrachtung der Ringe zeigt

sich jedoch, dass die ölabbreife Ringkanten, vornehmlich an den Ringunterkanten, abnormal abgenutzt sind. In der Vergrößerung betrachtet, sind die Ringunterkanten regelrecht

ausgefranst. Ohne eine Vergrößerung lässt sich dies durch eine deutlich fühlbare Gratbildung (scharfe Ringkante) erkennen (Abb. 1).

Beurteilung

Durch die abgenutzten Kolbenringkanten entstehen zwischen den Laufflächen der Kolbenringe und der Zylinderlaufbahn, bedingt durch eine sogenannte Ölkeilbildung, hohe hydrodynamische Kräfte (Abb. 2). Die Kolbenringe schwimmen bei der Auf-

und Abwärtsbewegung des Kolbens auf dem Ölfilm auf und werden geringfügig von der Zylinderlaufbahn abgehoben. Das Schmieröl gelangt so vermehrt in den Verbrennungsraum und wird verbrannt.

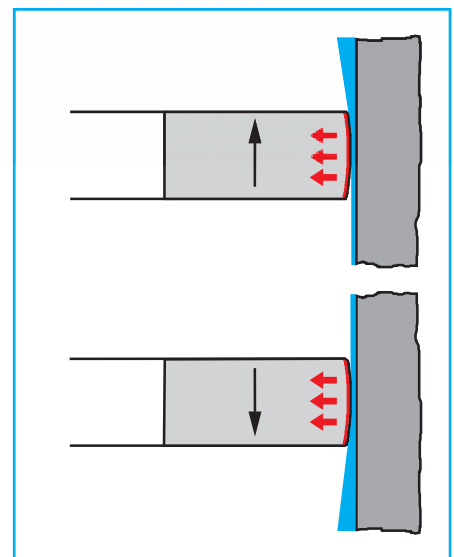


Abb. 2

Mögliche Ursachen

Die Gratbildung entsteht, wenn die Kolbenringe nach der Motorüberholung keine optimalen Verhältnisse vorfinden. Die Gründe liegen vornehmlich an einer ungenügenden oder ungeeigneten Zylinderendbearbeitung. Wenn beim Fertighonen stumpfe Honsteine verwendet werden oder wenn mit zu hohem Druck gearbeitet wird, entstehen an der Zylinderwand Grate und Erhebungen die in Bearbeitungsrichtung umgebogen sind. Diese umgebogenen Metallspitzen, man spricht hier von einer Blechmantelbildung, führen zu einer erhöhten Reibung in der Einlaufphase und verhindert dass sich Motoröl in den feinen Graphitadern einlagern kann (Abb. 3).

Werden diese Grate nicht durch einen abschließenden Bearbeitungsgang dem sogenannten Plateauhonen entfernt, kommt es während der Einlaufphase zu einem frühzeitigen Verschleiß an den Kolbenringkanten. Die Ringe übernehmen dabei ungewollt das Abtragen des Blechmantels und die Reinigung der Graphitadern. Dies führt jedoch zu einer Abnutzung der Kolbenringkanten und der besagten Gratbildung. Ein so entstandener Grat an der Kolbenringkante läuft sich erfahrungsgemäß – wenn überhaupt – nur sehr schwer ab. Abhilfe bringt praktisch nur das Auswechseln der geschädigten Kolbenringe.

Da der erste Ringsatz die unvorteilhafte Randschicht auf der Zylinderlaufbahn, den Blechmantel, durch Verschleiß weitestgehend abgetragen hat, findet ein als Ersatz eingebauter zweiter Ringsatz wesentlich günstigere, wenn nicht sogar normale Laufverhältnisse vor. Nach dem Auswechseln der Ringe normalisiert sich der Ölverbrauch, dies wird in den allermeisten Fällen fälschlicherweise einer schlechten Materialqualität der zuerst eingebauten Kolbenringe zugeschrieben, was natürlich nicht zutrifft. Abbildung 4 zeigt eine mikroskopische Vergrößerung durch den Schnitt der Zylinderoberfläche nach dem unvorteilhaften Honen der Zylinderlaufbahn (Blechmantel). Deutlich sind die umgebogenen Spitzen zu sehen. Abbildung 5 zeigt die Oberfläche nach dem Plateauhonen. Die Grate und Spitzen wurden weitestgehend entfernt und die Graphitadern wurden freigelegt. Die Kolbenringe finden hier sofort gute Bedingungen für einen Einlauf vor und sehen einer langen Lebensdauer entgegen. Besonders gute Ergebnisse bekommt man bei der Herstellung des Plateaus durch Honbürsten.

Weitere Informationen zu diesem Thema finden Sie unserer Broschüre „Honen von Graugussmotorblöcken“ (siehe Anhang)



Abb. 3



Abb. 4

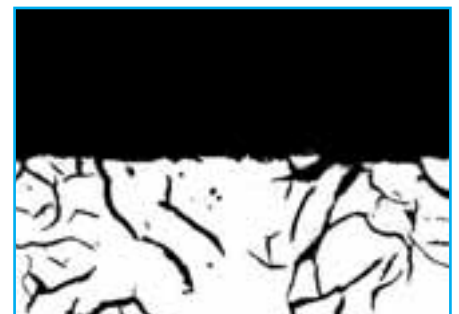


Abb. 5

Kolbenschäden

BESCHREIBUNG – BEURTEILUNG – URSACHEN

3.11.5 Unsymmetrisches Kolbentragbild (erhöhter Ölverbrauch)

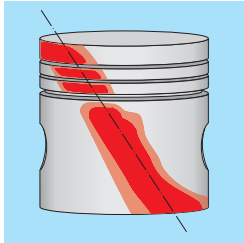


Abb. 1

Beschreibung

Abb. 1. Das Tragbild des Kolbens ist über die gesamte Kolbenhöhe auf beiden Seiten asymmetrisch. Der Feuersteg ist auf der linken Seite des Kolbens über dem Bolzenauge (linke Bildseite) blank gerieben, während auf der gegenüberliegenden Seite, an der unteren Kolbenkante, Anlaufspuren zu sehen sind. Der oberste Verdichtungsring zeigt ebenfalls ein ungleichmäßiges Tragbild. Tragende glänzende Oberflächen wechseln sich mit dunkleren matten, bläulich verfärbten Stellen ab (Anlassfarben).

Abb. 2 zeigt ebenfalls einen Schrägläufer. Der Schwerpunkt der Abnutzung liegt hier aber nicht am Feuersteg sondern an der unteren, rechten Kolbenkante in der Umgebung der Aussparung für die Kühlöldüse und unterhalb der Bolzenbohrung.



Abb. 2



Kolbenschäden

BESCHREIBUNG – BEURTEILUNG – URSACHEN

Beurteilung

Solche asymmetrischen Tragbilder weisen auf einen Schiefelauf des Kolbens im Zylinder und auf eine Unparallelität zwischen Kolbenbolzen- und Kurbelwellenachse hin. Der Kolben trägt einseitig und die Kolbenringe können aufgrund der schlechten Anlage am Zylinder ihrer Abdichtfunktion nur unzureichend nach-

kommen. Die heißen Verbrennungsgase blasen durch und heizen die Kolbenringe und die Zylinderwand übermäßig auf. Auf diese Weise wird der Ölfilm geschwächt, was einen Trockenlauffresser zur Folge haben kann. Durch den Schräglauf des Kolbens im Zylinder und durch dessen Auf- und Abwärtsbewegung, entsteht an den

Kolbenringen eine Pumpwirkung, welche das Öl in den Verbrennungsraum befördert und zu einem erhöhten Ölverbrauch führt. Unter gewissen Umständen erfährt der Kolbenbolzen einen Axialschub was zu einem Verschleiß oder Bruch der Bolzensicherung führen kann. Sie hierzu auch Punkt „3.7.1 Kolbenschäden durch gebrochene Bolzensicherungen“

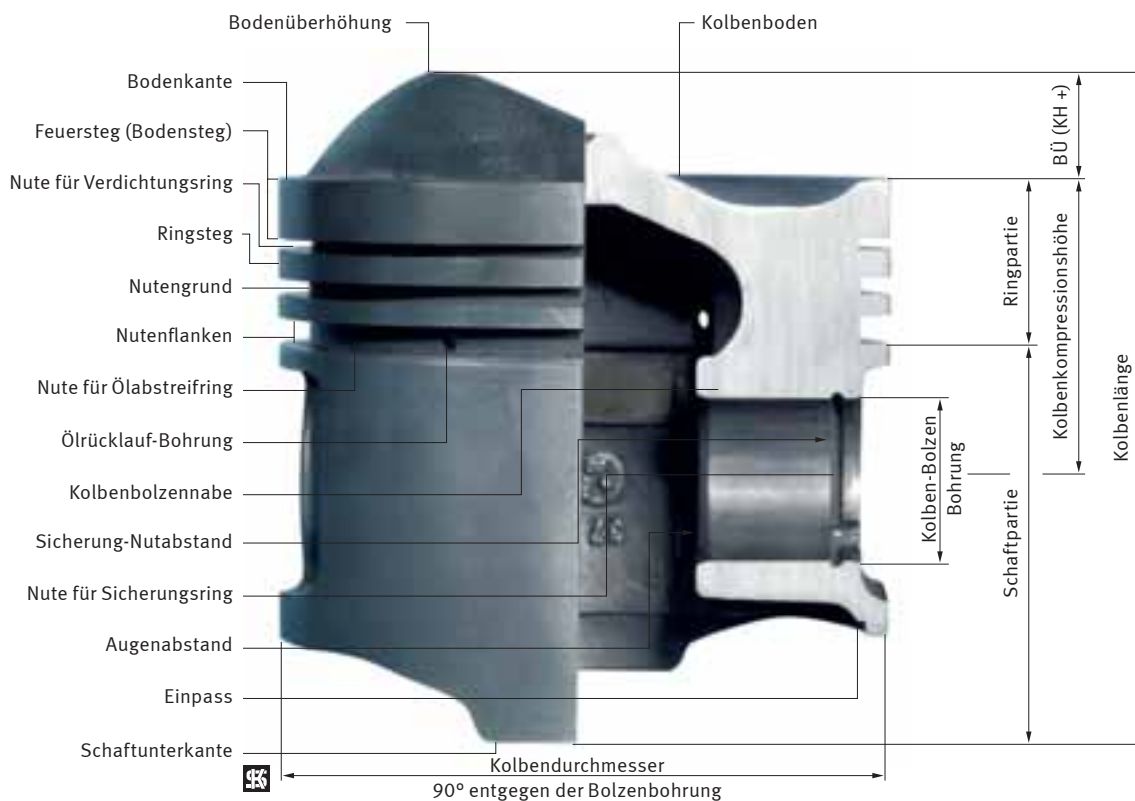
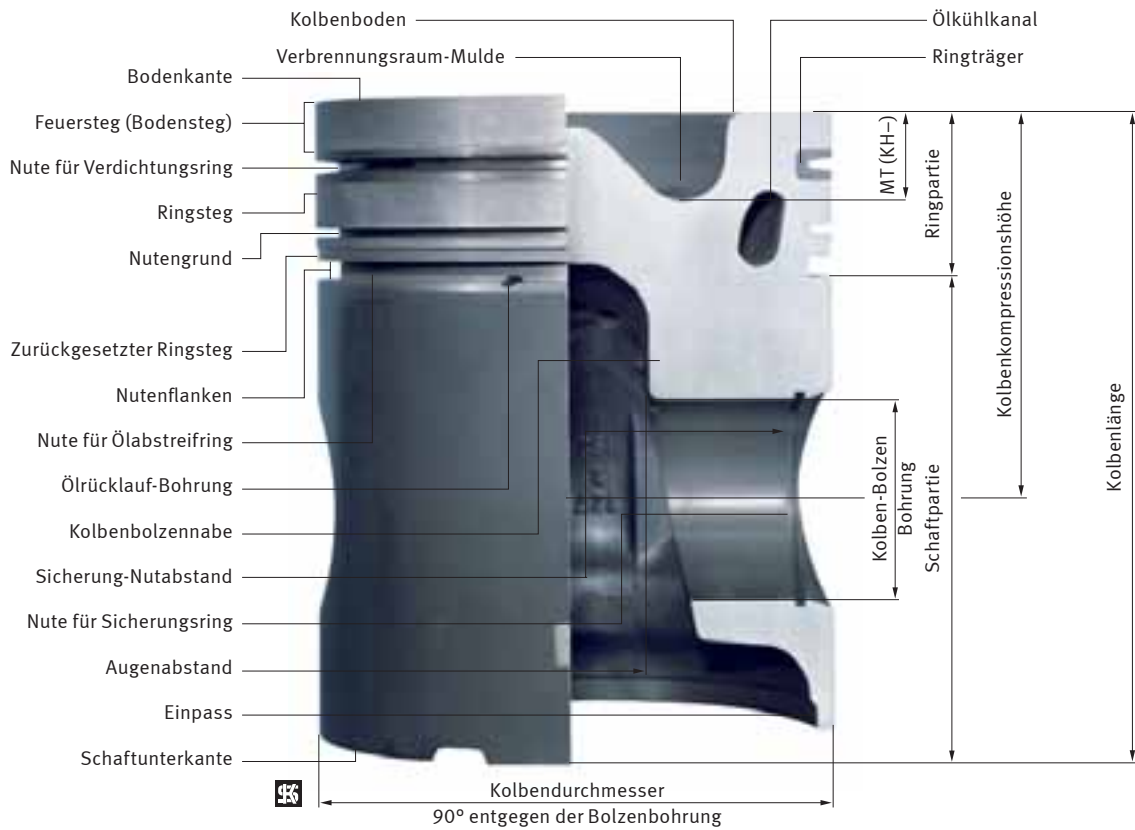
Mögliche Ursachen

- Verbogene oder verdrehte Pleuellstangen
- Schief gebohrte Pleuelaugen
- Schief gebohrte Zylinderbohrungen
- Schief montierte Einzelzylinder (Verzüge bei der Montage)
- Zu großes Pleuellagerspiel, insbesondere in Verbindung mit asymmetrischen Pleuellstangen

Anhang 

4.1 Glossar

4.1.1 Fachausdrücke und Benennungen am Kolben



4.1.2 Erklärung der verwendeten Fachausdrücke

A	Abgasrichtlinien	Nationale oder internationale gesetzliche Vorschriften zur Begrenzung der Abgasemissionen von Kraftfahrzeugen
	abrasiv	schleifend/schmirgelnd
	Anlagewechsel	Wechsel des Kolbens im Zylinder von der Gegendruckseite zur Druckseite bzw. umgekehrt. Der Kolben liegt bei der Aufwärtsbewegung auf der Gegendruckseite des Zylinders an und wechselt im Bereich des oberen Totpunktes zur Druckseite.
	Anreiber	Vorstufe zum Fresser bei Schmierölmangel oder beginnender Spieleinengung
	Assembly	Reparatursatz bestehend aus Zylinderlaufbuchse und Kolben
	asymmetrisch	nicht spiegelbildlich, unsymmetrisch
B	Balligkeit	Leicht tonnenförmige Form des Kolbens im Schaftbereich
	Blechmantel	Herausgerissenes und verquetschtes Material welches die Lauffläche des Zylinder bei fehlerhafter oder unvollständiger Zylinderendbearbeitung (Honen/Kreuzschleifen) bedeckt.
	Blechmantelbildung	Materialverquetschung an der Zylinderlauffläche die durch stumpfe Honsteine oder bei zu starkem Spreizen der Honsteine entsteht.
	Blowby	Leckgasmenge die bei der Verbrennung an den Kolbenringen vorbei in das Kurbelgehäuse gelangt. Die Blowby Gasmenge ist dabei umso größer je schlechter die Abdichtung des Kolbens im Zylinder erfolgt. Der Durchschnittswert für den Blowby Gasausstoß liegt bei 1% der angesaugten Luftmenge.
	Bruchverlauf	Bruchrichtung
C	Cetanzahl	Kennzahl für die Zündwilligkeit von Dieselmotorkraftstoff. Die Zündwilligkeit ist dabei umso höher je höher die Cetanzahl ist.
	Chiptuning	Modifikation der Software eines Motorsteuergerätes zur Erhöhung der Motorleistung
	Common-Rail	Ausdruck für Dieseldirekteinspritzsysteme moderner Bauart. Die elektrisch betätigten Einspritzventile werden dabei von einer gemeinsamen Einspritzleiste (Rail) mit unter hohem Druck stehenden Kraftstoff gespeist.



D

Dauerbruch	Bruch der nicht abrupt aufgrund von einer Materialüberlastung entsteht sondern sich mehr oder weniger schnell entwickelt. Die Bruchgeschwindigkeit kann sich im Betrieb dabei über wenige Sekunden bis zu Stunden oder Tagen hinziehen. Der Bruch beginnt langsam aufgrund eines Anrisses, einer Beschädigung oder aufgrund von Schwingungen und entwickelt sich nicht schlagartig. Ein charakteristisches Merkmal von Dauerbrüchen ist, dass die Bruchfläche nicht gleichmäßig grau und matt ist, sondern Rasterlinien zeigt welche den schrittweisen Fortgang des Bruches dokumentieren.
Dauerklopfen	Klopfende Verbrennung die beim Motorbetrieb ständig anhält.
Desachsierung	Konstruktive Verlagerung der Kolbenbolzenachse um wenige 1/10 Millimeter zur Druckseite des Kolbens. Der Anlagewechsel des Kolbens im oberen Totpunkt wird dadurch vor der eigentlichen Verbrennung vollzogen. Dadurch verläuft der Anlagewechsel des Kolbens geräuschloser und sanfter als wenn der Anlagewechsel durch die einsetzende Verbrennung und bei weit größerer Belastung geschehen würde. Bei Dieselmotoren kann die Desachsierung des Kolbenbolzens aufgrund von thermischen Gründen auch auf der Gegendruckseite vorhanden sein.
Direkteinspritzmotor	Motoren bei denen der Kraftstoff direkt in den Verbrennungsraum eingespritzt wird.
Druckseite	Jene Kolben- oder Zylinderseite auf der sich der Kolben während der Verbrennung abstützt. Die Druckseite liegt entgegengesetzt zur Drehrichtung der Kurbelwelle.

E

Erosion	Abtragung von Material durch die kinetische Energie von auf die Oberfläche einwirkenden festen, flüssigen oder gasförmigen Stoffen.
Expansionshub	Arbeitstakt

F

Faserverstärkung	Faserverstärkung des Muldenrandes bei Kolben von Dieseldirekteinspritzmotoren. Vor dem Gussvorgang wird ein Fasering aus Aluminiumoxid in die Kolbengießform eingelegt und während des Gussvorganges vom flüssigen Aluminium penetriert. Der Muldenrand wird dadurch widerstandsfähiger gegenüber Rissbildung. Faserverstärkungen sind nur beim Gießpressverfahren möglich bei dem das Aluminium unter hohem Druck (ca. 1000 bar) in die Gießform gepresst wird.
-------------------------	--

G	Gegendruckseite	Der Druckseite gegenüberliegende Kolben- oder Zylinderseite.
	Gewaltbruch	Bruch der bei Überlastung in Bruchteilen einer Sekunde ohne vorhergehenden Anriss entsteht. Die Bruchflächen sind matt, körnig und nicht verrieben.
	Glühzündung	Selbstentzündung des Kraftstoff-Luftgemisches vor dem eigentlichen Entzündungsvorganges durch die Zündkerze. Die Glühzündung wird dabei durch ins Glühen gekommen Bauteile (Zylinderkopfdichtung, Zündkerze, Auslassventil, Ölkohleablagerungen o.ä.) eingeleitet.
	Graphitadern	Einlagerungen von Graphit in das Grundmaterial beim Lamellengraphitguss (Grauguss). Werden die bei der Zylinderendbearbeitung angeschnittenen Adern durch Honbürsten gereinigt, kann sich dort Öl zur Kolbenschmierung einlagern.
	Graphitfreilegungsquote	Anzahl der beim Honbürsten freigelegten Graphitadern. Ein brauchbarer Wert liegt hierbei bei $\geq 20\%$
H	Honbürsten	Letzter Bearbeitungsgang beim Honen. Die Zylinderoberfläche wird von Spitzen und Graten befreit und die Graphitadern werden freigelegt und gereinigt. Durch Honbürsten ist eine Graphitadern-Freilegungsquote von bis zu 50% erreichbar.
	Honen	Zylinderendbearbeitung durch Kreuzschleifen
	Honstruktur	Charakteristisches Schliffbild welches beim Kreuzschleifen (Honen) entsteht.
K	Kavitation	Aushöhlung von Werkstoffen die von Wasser oder anderen Flüssigkeiten umspült werden. Bei Unterdruckbildung und Temperatur an der Oberfläche entstehen wie beim Kochen Dampfbläschen die aber sofort wieder zusammenfallen. Beim Zusammenfallen prallt die Wassersäule mit großer Wucht auf das Material zurück und reist dabei kleinste Materialpartikel aus der Oberfläche. Die Bläschenbildung kann durch Schwingungen oder aber auch durch starken Unterdruck ausgelöst werden.
	Kipprichtung	Drehrichtung um die Kolbenbolzenachse. Da der Kolben nicht um diese Achse rotiert sondern im Zylinder nur hin und herkippt, wird hier auch von der Kipprichtung gesprochen
	Kloppfestigkeit	Widerstandsfestigkeit des Ottokraftstoffes (Benzin) gegen Selbstentzündung.
	Kolbenabwärtsbewegung	Bewegung des Kolbens in Richtung Kurbelwelle während des Ansaug- und Arbeitstaktes (4-Takt Motor)
	Kolbenaufwärtsbewegung	Bewegung des Kolbens von der Kurbelwelle weg in Richtung Zylinderkopf (Verdichtungs- und Ausstoßtakt, beim 4-Takt Motor)



Kolbeneinbauspiel

Spiel zwischen Kolben und Zylinder welches den Freigang des neuen Kolbens im Zylinder beim Einbau und während des Betriebes gewährleistet.

Der neue Kolben verformt sich während der ersten Betriebsstunden noch bleibend, man spricht in diesem Zusammenhang auch von Einfall. Dies ist zum Einen verursacht durch die Erwärmung und die dadurch noch eintretenden Gefügeveränderungen, zum Anderen durch die mechanische Beanspruchung. Das Kolbengrößtmaß welches immer im Schaftbereich liegt, ist deshalb während der Einlaufphase noch gewissen Maßveränderungen unterworfen welche je nach Bauform und Materialzusammensetzung und der spezifischen Belastung unterschiedlich ausfällt. Dies ist ein ganz normales Betriebsverhalten von Aluminiumkolben und stellt keinen Grund zur Beanstandung dar. Auch bei Kolbenschäden die durch Mangelschmierung, Überhitzung oder motorischer Überlastung entstehen, verformt sich der Kolbenschaft plastisch was noch stärkere Verformungen und Maßveränderungen zur Folge hat.

In Schadenfällen wird häufig das Kolbeneinbauspiel zur Beurteilung des Verschleißes herangezogen bzw. es werden fälschlicherweise hinterher Einbauspiele nachgerechnet obwohl der Kolben nicht mehr die ursprünglich im Neuzustand vorhandene Form und Maßhaltigkeit besitzt. Oftmals wird das Kolbengrößtmaß am Schaft für zu klein befunden und dem Kolben Abnutzung attestiert obwohl die feinen Bearbeitungsritzen oder die Graphitierung/Beschichtung am Kolbenschaft in vollem Umfang erhalten sind.

Diese an einem gelaufenen Kolben ermittelten Kolbenmaße und die daraus errechneten Einbauspiele können weder dazu dienen die Qualität der Motoreninstandsetzungsarbeit zu beurteilen noch die Materialqualität und die Maßhaltigkeit des Kolbens im Neuzustand.

Wenn das Einbauspiel zu klein ist kann es eigentlich nur zum Spielfresser (siehe Punkt 3.1.1 Spielfresser) kommen. Wenn das Einbauspiel zu groß ist kommt es im Kaltzustand des Motors zu geringfügig erhöhter Geräusentwicklung durch vermehrtes Kolbenkippen. Kolbenfresser, erhöhter Ölverbrauch oder andere Schäden können dadurch nicht entstehen.

Das Einbauspiel darf nicht mit dem Laufspiel des Kolbens verwechselt werden. Das Laufspiel stellt sich erst nach der Wärmedehnung des Kolbens ein und kann nicht gemessen werden.

Kolbenkippen

Anlagewechsel des Kolbens im Zylinder von der Druck zur Gegendruckseite und umgekehrt. Das Kolbenkippen ist nach dem Verbrennungsgeräusch das zweitlauteste Geräusch beim Hubkolben-Verbrennungsmotor



	Kolbenlaufspiel	Das Kolbenlaufspiel stellt sich während des Betriebes nach der Wärmedehnung der Bauteile ein. Der Kolben unterliegt aufgrund dessen Konstruktionsmerkmalen und den der unterschiedlichen Wandstärken beim Erwärmen einer Formänderung. Der Kolben dehnt sich dabei im Bereich größerer Materialstärken stärker aus was bei der Konstruktion entsprechend berücksichtigt wird.
	Kolbentragbild	Laufbild am Kolbenschaft dort wo der Kolbenschaft am Zylinder anliegt.
	Kolbenüberstand	Überstand des Dieselpolbens im oberen Totpunkt über die Zylinderblock-Dichtfläche hinaus. Das Überstandsmaß ist ein wichtiges Maß welches bei der Überholung von Motoren genau eingehalten und kontrolliert werden muss damit das Verdichtungsverhältnis stimmt und der Kolben beim Betrieb nicht am Zylinderkopf anschlägt.
	Kraftstoffüberschwemmung	Übermäßige Kraftstoffeinbringung in den Verbrennungsraum. Der Kraftstoff schlägt sich aufgrund von schlechter Zerstäubung oder überfettetem Gemisch an den Bauteilen nieder und kann den Ölfilm auf der Zylinderlauffläche verdünnen oder abwaschen was zur Mangelschmierung, zu Reibern oder Fressern führen kann.
	Kühlkanalkolben	Kolben mit in den Kolbenboden eingegossenem Kühlkanal. In diesen Kühlkanal wird durch Kühlöldüsen im Betrieb von unten Öl eingespritzt.
L	Lambdaregelung	Regeleinrichtung bei der Motorelektronik des Benzinmotors zur Kontrolle und Regelung der Gemischzusammensetzung.
M	Mangelschmierung	Mangelschmierung ergibt sich wenn der Ölfilm geschwächt wird und seiner Funktion nicht mehr in vollen Umfang nachkommen kann. Diese wird verursacht wenn zu wenig Öl vorhanden ist, wenn der Ölfilm reißt oder wenn der Ölfilm durch Kraftstoff verdünnt wurde. Dadurch kommt es zunächst zur Mischreibung und bei weiterem Verlauf auch zum Reiben oder Fressen der Bauteile.
	Materialeinfall	Gefüge- und daraus resultierende Formveränderung des Kolbenschaftes beim gelaufenen Kolben (siehe Kolbeninbauspiel)
	Mischreibung	Wenn zwischen zwei Gleitpartnern die durch einen Ölfilm voneinander mechanisch getrennt sind der Ölfilm geschwächt wird. Einzelne Materialerhebungen des einen Gleitpartners kommen dadurch in Kontakt mit den Materialspitzen des anderen und reiben metallisch aufeinander. Mischreibung wird auch als halbflüssige Reibung bezeichnet.



O

Oktanbedarf	Der Oktanbedarf eines Motors ergibt sich aus seinen Konstruktionsmerkmalen. Er steigt mit zunehmendem Verdichtungsverhältnis, Motortemperatur, Frühzündung, Füllung, Motorlast und unvorteilhafterer Brennraumgestaltung. Die Oktanzahl eines Motors (MOZ, Motoroktanzahl) sollte stets einige Punkte unter der Oktanzahl des zur Verfügung stehenden Kraftstoffes liegen um in allen Betriebszuständen einen klopfenden Motorbetrieb zu verhindern.
Oktanzahl	Die Oktanzahl eines Kraftstoffes (ROZ, auch Research Oktanzahl genannt) kennzeichnet die Klopfestigkeit eines Ottokraftstoffes. Je höher die Oktanzahl, desto klopfester ist der Kraftstoff.
Ölverdünnung	Von Ölverdünnung spricht man, wenn das Öl durch Kraftstoff verdünnt ist. Dieser Zustand kann bei häufigem Kurzstreckenbetrieb oder bei Störungen in der Gemischaufbereitung, bei Störungen der Zündanlage oder bei mangelnder Verdichtung durch mechanische Motorprobleme eintreten. Unverbrannter Kraftstoff schlägt sich an der Zylinderwand nieder, vermischt sich dort mit dem Öl und gelangt so auch in die Ölwanne. Die Viskosität und die Schmierfähigkeit des Öls werden herabgesetzt und der Verschleiß und auch der Ölverbrauch erhöht sich.

P

Plateauhonen	Endbearbeitung beim Zylinderschleifen bei der die Spitzen der Materialoberfläche abgeschnitten werden und ein sogenanntes Plateau hergestellt wird. Dadurch wird die Oberfläche geglättet, das Einlaufverhalten verbessert und der Verschleiß reduziert.
Pleuefluchtfehler	Unparallelität zwischen Kurbelwellen- und Kolbenbolzenachse
Pressfit	Trockene Zylinderlaufbuchse die unter Zuhilfenahme eines dafür vorgesehenen speziellen Gleitmittels in die Zylindergrundbohrung eingepresst wird. Es handelt sich hierbei bis auf wenige Ausnahmen um semi-finished Buchsen, d.h. dass die Zylinderbohrung anschließend noch durch Bohren und Honen endbearbeitet werden muss. Vorteil: Die Buchse sitzt fest in der Zylindergrundbohrung.
Pumpe-Düse	Spezielle Konstruktion beim Diesel-Direkteinspritzmotor bei der Einspritzdüse und Druckerzeugung (Pumpe) eine Einheit bilden und direkt im Zylinderkopf eingebaut sind. Erzeugt wird der Einspritzdruck über einen Pumpenkolben der im Gegensatz zur Verteiler- oder Reiheneinspritzpumpe direkt von der Nockenwelle des Motors betätigt wird. Die Einspritzdüsen werden elektrisch betätigt. Einspritzzeit und -menge werden elektronisch von einem Steuergerät geregelt.

Q

Quetschfläche	Teil des Kolbenbodens der im Betrieb sehr nahe an den Zylinderkopf herankommt. Das Gemisch wird zu Ende des Verdichtungsaktes aus dem immer engeren Randbereich in die Mitte des Verbrennungsraum gequetscht was zu einer Verwirbelung der Gase und zu einer besseren Verbrennung führt.
----------------------	--



R	Rasterlinien	Linien die auf den Bruchflächen von Dauerbrüchen zu finden sind und durch das mehr oder weniger schnelle Fortschreiten des Bruches verursacht sind. Der Bruch geschieht stückweise. Für jedes weitere durchgebrochene Stück wird eine Rasterlinie erzeugt. Der Bruchausgang liegt im Zentrum der Rasterlinien.
	Reiber	Erster Kontakt zweier Gleitpartner die aufgrund einer Schmierfilmschädigung entsteht. Im Gegensatz zum Fresser wird beim Reiber die Oberfläche zwar anders strukturiert aber maßlich noch nicht sehr verändert.
	Ringträger	In den Aluminiumkolben eingegossener Ring aus Guss-eisen mit hohem Nickelanteil in den die erste Ringnut eingestochen wird. Der erste, manchmal auch der zweite, Verdichtungsring sitzt damit in einer verschleißfesten Nut wodurch höhere Arbeitdrücke und damit auch höhere Belastungen möglich sind. Ringträger werden generell bei Dieselpumpen, nach dem Alfin-Verfahren eingesetzt.
	Rippenzylinder	Zylinder bei vornehmlich luftgekühlten Motoren die an der Außenseite mit Kühlrippen zur Motorkühlung versehen sind.
	Rollspuren	Verschleißspuren an den Kolbenringflanken die aufgrund von einem Staub- oder Schmutzeintrag in den Motor entstanden sind. Der sich in der Kolbenringnut einlagernde Schmutz verursacht in der Nut und der Kolbenringflanke charakteristische Verschleißspuren die dadurch entstehen, dass der Ring sich im Betrieb dreht und sich dadurch der Schmutz in die Oberfläche wiederkehrende Muster in die Oberflächen kratzt.
	S	Schlackenzeile
Schleuderöl		Öl welches im Betrieb bestimmungsgemäß aus den Lagerstellen der Pleuelwelle austritt und welches dazu dient die Zylinderlaufflächen von unten mit Öl zu benetzen und zu schmieren.
Schrägläufer		Kolben der durch ein verdrehtes oder verbogenes Pleuel im Zylinder verkantet läuft und beim Ausbau ein charakteristische, unsymmetrisches Tragbild zeigt.



T

Schrumpfleuel	Pleuel bei dem der Kolbenbolzen fest mit dem Pleuel verbunden ist. Beim Zusammenbau des Kolbens mit dem Pleuel wird das Pleuelauge erhitzt und der Kolbenbolzen stark abgekühlt. Durch die Schrumpfung des Bolzens und die Ausdehnung der Pleuelbohrung entsteht ein Luftspalt der es erlaubt den Kolbenbolzen von Hand einzuschieben. Beim anschließenden Abkühlen bzw. beim Erwärmen der Bauteile wird das Spiel eliminiert und der Bolzen im Pleuel festgeklemmt. Der Kolben muss beim Einschrumpfen des Bolzens in das Pleuelauge nicht erwärmt werden.
Slipfit	Trockene Zylinderlaufbuchse die von Hand in den Zylinderblock eingeschoben werden kann. Diese ist in der Regel schon endbearbeitet d.h. die Zylinderbohrung muss anschließend nicht mehr gebohrt und gehont werden. Nachteil: Vorhandenes Spiel zwischen Zylinderlaufbuchse und Zylindergrundbohrung.
Spaltmaß	Verbleibender Raum zwischen Kolbenboden und Zylinderkopf im oberen Totpunkt des Kolbens. Bei der Überholung eines Motors muss stets darauf geachtet werden, dass das Spaltmaß nach Herstellerangabe eingehalten wird. (siehe hierzu auch Kolbenüberstand) Das Spaltmaß wird auch Bleimaß genannt, weil dieses unter Zuhilfenahme eines Bleidrahtes ermittelt werden kann. Der Bleidraht wird beim Zusammenbau in den Zylinder eingelegt und der Motor einmal durchgedreht. Der Bleidraht wird dabei flachgedrückt und kann anschließend nachgemessen werden. Das Maß welches anhand des gequetschten Drahtes ermittelt wird ist das Bleimaß.
Tangentialspannung	Kraft die den Kolbenring im eingebauten Zustand gegen die Zylinderwand drückt.
Totpunkt	Punkt an dem die Laufrichtung des Kolbens, bei dessen Auf- und Abwärtsbewegung im Zylinder, umgekehrt wird. Man unterscheidet nach unterem und oberem Totpunkt.



V	Vorkammer	Teil des Verbrennungsraumes bei indirekt einspritzenden Dieselmotoren. Der Kraftstoff wird in die Vorkammer eingespritzt wo dieser sich entzündet. Durch den in der Vorkammer entstehenden Überdruck wird der Kolben nach unten bewegt.
W	Wirbelkammer	Teil des Verbrennungsraumes bei indirekt einspritzenden Dieselmotoren. Im Unterschied zur Vorkammer ist die Austrittöffnung der Kammer größer und mündet tangential in die Wirbelkammer. Bei der Verdichtung wird die in die Kammer einströmende Luft aufgrund der Form der Wirbelkammer stark verwirbelt was einer guten Verbrennung zugute kommt.



Artikel-Nr. 50 009 912

4.2.1 Rauheitsmessgerät MarSurf PS1

Netzunabhängiges Rauheitsmessgerät. Einsatz für Messungen auf ebenen Flächen, auf Wellen und in Bohrungen. Besonders geeignet für mobile Messungen. Einfache Bedienung, großes LC-Display, bietet einen Leistung-

sumfang wie ein Laborgerät. Die erfassten Messdaten können mittels der verfügbaren Schnittstellen (USB, RS232) direkt in den Computer geladen und dort weiterverarbeitet, gespeichert und gedruckt werden.

- Anwendungsgebiete:
- Rauheitsmessungen vor Ort direkt am Werkstück
 - Universell an der Bearbeitungsmaschine
 - Messen im Produktionsprozess
 - In der Wareneingangskontrolle



Artikel-Nr. 50 009 911

4.2.2 Auswertesoftware PS1 Explorer für MarSurf

Funktionsumfang:
Direkte Übernahme der Messdaten von Marsurf PSI über die USB-Schnittstelle
Bildschirmdarstellung,

Dokumentierung, Speicherung und Protokollierung der Messergebnisse. Messprofile und Ergebnisse können über

den PC-eigenen Drucker ausgedruckt werden. Die Software läuft auf allen gängigen Win 2000 und Win XP-Systemen.



Artikel-Nr. siehe Tabelle

4.2.3 Reinigungsset für Ventilführungen

Häufig lagern sich, sogar nach dem Waschen von Zylinderköpfen, Verunreinigungen in den Ventileführungen ab, die vor dem Einbau der Ventile unbedingt entfernt werden müssen. Das Reinigungsset besteht aus einer Nylonbürste zum Vorreinigen und einer Filzbürste zum Endreinigen.

Artikel-Nr.	Beschreibung (Ø in mm)
50 009 901	Ventilschaftdurchmesser Ø 5,0
50 009 902	Ventilschaftdurchmesser Ø 6,0
50 009 895	Ventilschaftdurchmesser Ø 7,0
50 009 896	Ventilschaftdurchmesser Ø 8,0
50 009 897	Ventilschaftdurchmesser Ø 9,0
50 009 898	Ventilschaftdurchmesser Ø 10,0
50 009 899	Ventilschaftdurchmesser Ø 11,0
50 009 900	Ventilschaftdurchmesser Ø 12,0



Artikel-Nr. (LKW) 50 009 894
Artikel-Nr. (PKW) 50 009 893
Artikel-Nr. (PKW) 50 009 904

4.2.4 Montage-Werkzeug für Ventilschaftabdichtungen

Mit diesem Werkzeug werden die Dichtlippen, der Ventilschaftabdichtung bei der Montage, vor Beschädigungen geschützt.

Artikel-Nr. 50 009 894
(Set für LKW):
Ø Ventilschaft: 10 mm
Ø Ventilschaft: 11 mm
Ø Ventilschaft: 12 mm

Artikel-Nr. 50 009 893
(Set für PKW):
Ø Ventilschaft: 7 mm
Ø Ventilschaft: 8 mm
Ø Ventilschaft: 9 mm

Artikel-Nr. 50 009 904
(Set für PKW):
Ø Ventilschaft: 5 mm
Ø Ventilschaft: 6 mm
Ø Ventilschaft: 7 mm



4.2.5 Kolbenringzange

Zum Einsetzen und Abnehmen von Kolbenringen. Stabile Werkstatt-Qualität. Glanzvernickelt.

Artikel-Nr. 50 009 815
Für PKW Kolbenringe
Ø 50–110 mm

Artikel-Nr. 50 009 829
Für LKW Kolbenringe
Ø 110–160 mm



4.2.6 Messuhrenhalter (klein/groß) und Messuhr

Halter für Messuhren. Anwendungsbeispiel: zum Messen von Kolbenüberstand und Zylinderlaufbuchsenüberstand. Im Lieferumfang ist keine Messuhr enthalten.

Artikel-Nr. 50 009 882 (kl.)
Gesamtlänge: 75 mm
8 mm Aufnahmebohrung

Artikel-Nr. 50 009 884
passende Messuhr
Messbereich: 0–10mm
kleinste Meßeinheit: 0,01mm

Artikel-Nr. 50 009 883 (gr.)
Gesamtlänge: 90 mm
8 mm Aufnahmebohrung



4.2.7 Kolben-Montagehülsen

Mit der Montagehülse ist eine leichtere, sichere und schnellere Montage der Kolben gewährleistet. Die Montagehülsen sind für 13 verschiedene Zylinderdurchmesser erhältlich.

Artikel-Nr.	Beschreibung (Ø in mm)
50 009 865	Montagehülse für Ø 86,0
50 009 877	Montagehülse für Ø 94,4
50 009 878	Montagehülse für Ø 94,8
50 009 866	Montagehülse für Ø 97,0
50 009 903	Montagehülse für Ø 97,5
50 009 874	Montagehülse für Ø 100,0
50 009 875	Montagehülse für Ø 102,0
50 009 867	Montagehülse für Ø 121,0
50 009 868	Montagehülse für Ø 125,0
50 009 869	Montagehülse für Ø 127,0
50 009 870	Montagehülse für Ø 128,0
50 009 876	Montagehülse für Ø 130,0
50 009 906	Montagehülse für Ø 130,2



4.2.8 Kolbenringspannband

Die Kolbenringspannbänder sind aus Spezial-Federbandstahl Oberfläche brüniert und teilvernickelt. Stufenlose Einstellung. Unerlässlich zum schnellen und sicheren Einsetzen von Kolben in Zylinderbohrungen.

Artikel-Nr. 50 009 816
Kolbenring-Spannband PKW für Kolbendurchmesser von 53 mm bis 125 mm

Artikel-Nr. 50 009 828
Kolbenring-Spannband NKW für Kolbendurchmesser von 90 mm bis 175 mm



4.2.9 Buchsenbundsitz-Plangerät

Präzisions-Plandrehgerät zur Bearbeitung von Buchsenbundsitzen im Motorblock. Anwendung auch bei eingebautem Motor möglich! Planen von Hand. Das Gerät wird durch einen

elektrischen Magneten arretiert, Anschluss 230 V, 50 Hz. Im Lieferumfang enthalten sind ein Plandrehgerät, ein stabiler Koffer aus Holz und eine ausführliche

Bedienungsanleitung (Drehstahl ist nicht enthalten). Für weitere technische Informationen siehe Service-Information SI 0007 „Buchsenbundabriss“.



Artikel-Nr. 50 009 817



4.2.10 Honbürsten für Plateauhonen

Honzubehör für Graugussmotorblöcke für Plateauhonen zur Reduzierung des Ölverbrauches und zum leichteren Einlaufen von Kolben, Kolbenringen und Zylindern.

Das Zubehör enthält zwei Honbürsten, die aus Nylonfasern mit Siliziumkristallen bestehen. Es sind mindestens 10 Hübe unter Verwendung von Honöl auszuführen. Dabei wird die Bohrung gereinigt und die Spitzen werden abgetragen.

Beim Bürsten erfolgt keine maßliche Veränderung mehr!



Artikel-Nr. 50 009 864



4.2.11 Honzubehör für Aluminium-Motorblöcke (ALUSIL®/LOKASIL®/Silitech®)

Artikel-Nr.	Beschreibung
50 009 907	Silizium-Freilegungspaste
50 009 908	Diamant-Honleisten
50 009 909	Silizium-Freilegungsleisten
50 009 863	Filzleistenset (4 Filzleisten)

Für weitere technische Informationen zum Honen von Aluminium-Motoren siehe KS Broschüre „Überholung von Aluminium-Motorblöcken“ (Bestell-Nr. siehe Anhang).



4.2.12 Honwinkel-Prüffolien für Grauguss-Zylinderbohrungen

Mit der Prüffolie lässt sich der Honwinkel ohne großen Aufwand überprüfen. Der

Honwinkel soll zwischen minimal 40° und maximal 80° liegen.

Nicht für Aluminiumzylinderlaufflächen geeignet.



Artikel-Nr. 50 009 873



Für weitere Informationen zu Werkzeugen und Prüfmitteln siehe Katalog „Werkzeuge & Prüfmittel“ (Bestell-Nr. siehe Anhang).

4.3 Technische Informationen



Produkt Handbuch – Motorkomponenten

Technische Basisinformationen zu allen KS-Produktgruppen

Artikel-Nr.	Sprache	Artikel-Nr.	Sprache
50 003 734	deutsch	50 003 731	spanisch
50 003 733	englisch	50 003 580	russisch
50 003 732	französisch		



Service - Tipps & Infos

Kolbenschäden

Erkennen und beheben

Artikel-Nr.	Sprache	Artikel-Nr.	Sprache
50 003 973-01	deutsch	50 003 973-04	spanisch
50 003 973-02	englisch	50 003 973-09	russisch
50 003 973-03	französisch		Weitere Sprachen auf Anfrage.



Service - Tipps & Infos

Überholung von Aluminium-Motorblöcken

Artikel-Nr.	Sprache	Artikel-Nr.	Sprache
50 003 804-01	deutsch	50 003 804-04	spanisch
50 003 804-02	englisch	50 003 804-09	russisch
50 003 804-03	französisch		



Service - Tipps & Infos

Gesinterte Ventilsitzringe

Technische Information und Einbaueinleitung

Artikel-Nr.	Sprache	Artikel-Nr.	Sprache
50 003 728-01	deutsch	50 003 728-04	spanisch
50 003 728-02	englisch	50 003 728-09	russisch
50 003 728-03	französisch		



Service - Tipps & Infos Ölverbrauch & Ölverlust

Artikel-Nr.	Sprache
50 003 605-01	deutsch
50 003 605-02	englisch
50 003 605-03	französisch

Artikel-Nr.	Sprache
50 003 605-04	spanisch
50 003 605-09	russisch



Service - Tipps & Infos Technische Filterbroschüre

Artikel-Nr.	Sprache
50 003 596-01	deutsch
50 003 596-02	englisch
50 003 596-03	französisch

Artikel-Nr.	Sprache
50 003 596-04	spanisch
50 003 596-09	russisch



Service - Tipps & Infos Innenraumfilter Saubere Luft im Fahrzeuginneren

Artikel-Nr.	Sprache
50 003 939-01	deutsch
50 003 939-02	englisch
50 003 939-03	französisch

Artikel-Nr.	Sprache
50 003 939-04	spanisch
50 003 939-09	russisch



Katalog Werkzeuge & Prüfmittel

Artikel-Nr.	Sprache
50 003 931-01	deutsch
50 003 931-02	englisch
50 003 931-03	französisch

Artikel-Nr.	Sprache
50 003 931-04	spanisch
50 003 931-09	russisch



Wandtafeln

Einbau von Kolben / Kolbenringen / Gleitlagern

70 x 100 cm, mit Aufhängeösen

Sprache	Kolben	Kolbenringe	Gleitlager
deutsch	50 003 842	50 003 717	50 003 999
englisch	50 003 841	50 003 716	50 003 998
französisch	50 003 840	50 003 715	50 003 996
spanisch	50 003 839	50 003 714	50 003 997
russisch	50 003 835	50 003 710	50 003 844



Poster

Kolbenschäden / Ölverbrauch - Ölverlust / Ventilschäden

594 x 840 cm (DIN A1)

Sprache	Kolben- schäden	Ölverbrauch / -verlust	Ventilschäden
deutsch	50 003 974-01	50 003 975-01	50 003 976-01
englisch	50 003 974-02	50 003 975-02	50 003 976-02
französisch	50 003 974-03	50 003 975-03	50 003 976-03
spanisch	50 003 974-04	50 003 975-04	50 003 976-04
russisch	50 003 974-09	50 003 975-09	50 003 976-09

Know-how aus erster Hand immer aktuell.



Know-how Transfer

Die Motorkonstruktionen, elektronische Diagnosesysteme und Abgastechnologien werden immer komplexer und somit auch schwieriger zu reparieren. Aus diesem Grunde verpflichtet sich die MSI, ihr umfangreiches technisches Wissen weiterzugeben.

Das MSI-Schulungsprogramm ...

Jährlich profitieren rund 4500 Mechaniker und Techniker von unseren Schulungen und Seminaren, die wir weltweit vor Ort oder auch in unserem Schulungszentrum in Dormagen (Deutschland) durchführen.

... Fachwissen, direkt vom Hersteller !
www.msi-motor-service.com → «Schulungen»

Technische Informationen ...

Mit den Produkt Informationen, Service Informationen, Broschüren „Service Tipps & Infos“ sowie Poster und Lehrtafeln sind Sie auf dem neuesten Stand der Technik.

... Informationen aus der Praxis für die Praxis !
www.msi-motor-service.com → «Broschüren»

MSI News ...

Aktuelle Themen, Informationen, Meldungen, Produkt-Neuaufnahmen.

... Informationen aus erster Hand !
www.msi-motor-service.com → «Aktuelles»

Kataloge, MSI-CD, TecDoc-CD ...

Mit unseren umfangreichen Katalogen, ob auf CD oder gedruckt, finden Sie immer das richtige Teil zum richtigen Fahrzeug.

... sicher und schnell !
www.msi-motor-service.com → «Kataloge»

MSI OnlineShop ...

der noch schnellere Zugang zu den aktuellen Produktdaten, volles Programm.

... immer topaktuell !
www.onlineshop.msi-motor-service.com

Ihr direkter Zugang zu unserem Leistungsprogramm ...

www.msi-motor-service.com

MOTOR SERVICE INTERNATIONAL

 KOLBENSCHMIDT  PIERBURG

MSI Motor Service International GmbH

Untere Neckarstraße
74172 Neckarsulm, Germany
Phone +49 71 32-33 33 33
Fax +49 71 32-33 28 64

Hamburger Straße 15
41540 Dormagen, Germany
Phone +49 21 33-2 67-100
Fax +49 21 33-2 67-111

info@msi-motor-service.com
www.msi-motor-service.com



50 003 973-01 11/06
ISBN 978-3-86522-182-7



4 028977 480416