

Weniger Verschleiß und Ölverbrauch durch Spiralgleithonung bei Deutz-Motoren

Im Rahmen der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Motoren 2012 (mit 4 und 6 l Hubraum) der Deutz AG für die Abgasstufe Tier 3 entstehen neue Abstimmungsaufgaben bezüglich eines Leistungsmaximums von 178 kW bei 2100/min und einer höheren AGR-Rate über eine gekühlte Abgasrückführung. Diese neuen Randbedingungen führen ohne konstruktive Änderungen zu einem höheren Verschleiß in der Zylindereinheit. Zusammen mit Deutz hat die Firma Nagel auf der vorhandenen Basis eine Lösung für die Zylindereinheit gefunden, die nicht nur das Verschleißproblem beseitigt, sondern auch den wichtigen wirtschaftlichen Erwartungen hinsichtlich Ölverbrauch und Wartungsintervallen Rechnung trägt.

Tabelle 1: Technische Daten der Motoren TCD2012 L06-4V und TCD2012L04-4V

Motordaten		Motortypen	
		TCD2012 L06-4V	TCD2012 L04-4V
mechanische Daten	Einheit		
Zylinderzahl	Stck.	6	4
Ventile/Zylinder	Stck.	4	4
Bohrung	mm	101	101
Hub	mm	126	126
Hubraum	l	6,06	4,04
Leistungsmerkmale			
Leistung	kW	178	113
Nenn Drehzahl	1/min	2100	2100
Mitteldruck (Nennleistung)	bar	16,8	16,0
Drehmoment (Md max)	Nm	1070	657
Drehzahl (Md max.)	1/min	1450	1500
Mitteldruck (Md max)	bar	21,9	20,8
Verbrauch (Nennleistung)	g/kWh	213	217
Verbrauch (Bestpunkt)	g/kWh	202	202
Mittlere Kolbengeschwindigkeit (Nennleistung)	m/s	8,82	8,82
Literleistung	kW/l	29,4	28,0
spezielle Kenndaten			
Abgasrückführung	~	extern	extern
Einspritzsystem	~	Deutz-Common-Rail	Deutz-Common-Rail
	bar	1400	1400

1 Der neue Motor von Deutz für Schlepperanwendungen

Der neue Deutz-Motor TCD 2012 L04/6-4V, **Titelbild**, wurde im Rahmen der Tier 3 für die Schlepperanwendung mit Deutz-Common-Rail und e-AGR (wassergekühlte externe AGR) entwickelt. Die **Tabelle 1** zeigt die technischen Daten des Motors mit einer für Tier-3-Motoren hohen spezifischen Leistung. Damit der Motor mit seiner buchslosen Zylindereinheit (parent bore) die hohen Anforderungen an Lebensdauer, Ölverbrauch, Blow-by und Abgasemissionen sicher erfüllt, muss die gesamte Zylindereinheit neu definiert werden.

2 Die Zylindereinheit

2.1 Kolbenringe

Bei der Optimierung der Kolbenringbestückung für den Motor werden folgende Kolbenringe der Firma Federal-Mogul eingesetzt: Beim Doppeltrapezring der 1. Nut

ist die Lauffläche der Kolbenringe mit einer GDC-Beschichtung versehen. Dabei handelt es sich um eine Hartchromschicht mit darin eingelagerten feinsten Diamantpartikeln, die sich sowohl durch hohe Verschleißbeständigkeit und Brandspursicherheit, als auch niedrigen Zylinder Verschleiß auszeichnet [1].

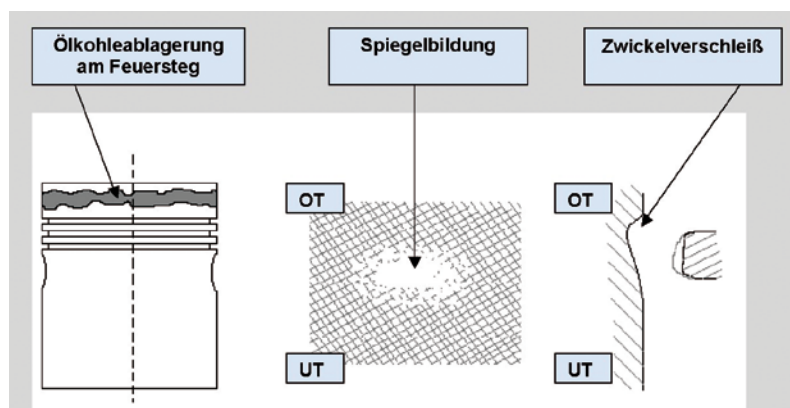


Bild 1: Verschleißmerkmale an der Zylinderoberfläche

Die Autoren



Dipl.-Ing. Thomas Hoen ist Leiter Mechanik 2012 Industrie und AGRI-Power bei der Deutz AG in Köln.



Josef Schmid ist Leiter Forschung und Entwicklung Bearbeitungsprozesse und Schneidstoffe bei der Nagel Maschinen- und Werkzeugfabrik GmbH in Nürtingen.



Dipl.-Ing. Walter Stumpf ist Anwendungsingenieur Kolbenringe/ Zylinderlaufbuchsen bei Federal Mogul in Burscheid.

Tabelle 2: Oberflächenhärtung und Beschichtung bei buchsenlosem Motor (parent bore)

	Induktive Härtung	Laserhärtung	Therm. Spritzschichten (Draht-/Pulververfahren)	Kaltverfestigung durch Lappen
Vorteile	kostengünstig	geringere Rissneigung, geringere Verzüge	verschleißfest, reibungsgünstig, variabel (je nach Methode)	geringe Investitionskosten
Nachteile	Gefahr der Bildung von Mikrorissen (Oberflächenausbrüche) und Makrorissen starke Verzüge nach der Behandlung	teuer, geringere Härtungstiefe als bei der induktiven Härtung	teuer, fehlende Erkenntnis zur Schichthaftung bei Motoren mit hoher Betriebsdauer und extremen Bedingungen	hohe Fertigungskosten

Die Beschichtung ist eine Weiterentwicklung der bewährten CKS-Beschichtung (Chrom Keramik) des Basismotors. Die Minutenringe der 2. Nut bestehen aus einer hochverschleißfesten Graugusslegierung und sind unbeschichtet. Die zweiseitigen Ölringe, ebenfalls aus Grauguss, haben verchromte Laufstege.

2.2 Kolben

Es wird ein spritzölgekühlter Ringträger-Alu-Kolben ohne Kühlkanal mit einer vergrößerten Kompressionshöhe zur Reduzierung der Muldenrandspannungen in der Bolzenachse eingeführt. Damit die Erhöhung der Kompressionshöhe möglich wird, muss die Pleuellänge gekürzt werden. Dies führt zu einer Erhöhung der Seitenkraft. Das kleine Feuerstegspiel soll vom Basismotor übernommen werden.

2.3 Zylinder des buchsenlosen Kurbelgehäuses

Der bisherige Basismotor ist mit einer Plateauhonung ausgestattet. Diese Honung wird in einem dreistufigen Honprozess (keramische Honleisten) in der Fertigung bei Deutz hergestellt. Als Konsequenz der deutlich gesteigerten externen AGR-Rate und Leistung waren die im Bild 1 gezeigten Probleme zu lösen:

- Spiegelbildung: Durch die Bildung von harter Ölkohle wird im mittleren Bereich der Zylinder die Honstruktur abgerieben
- Zwickelverschleiß: Er wird durch den Übergang von hydrodynamischer Reibung in Mischreibung zwischen Kolbenringen und Zylinder im OT (Oberer Totpunkt) beim Verbrennungstakt verursacht.

3 Möglichkeit zur Verschleißreduzierung der Zylinder

Die Zylinderoberfläche soll im Verschleiß den gestiegenen Anforderungen angepasst werden. In den folgenden Abschnitten werden die Möglichkeiten vorgestellt.

3.1 Oberflächenhärtung und Beschichtung

Bei den buchsenlosen Deutz-Motoren (2012) gibt es nur wenige Werkstoffalternativen zu dem verwendeten Kurbelgehäuse-Werkstoff GG25. In der Tabelle 2 sind die Optimierungspotenziale ohne Änderung des Grundwerkstoffs aufgelistet.

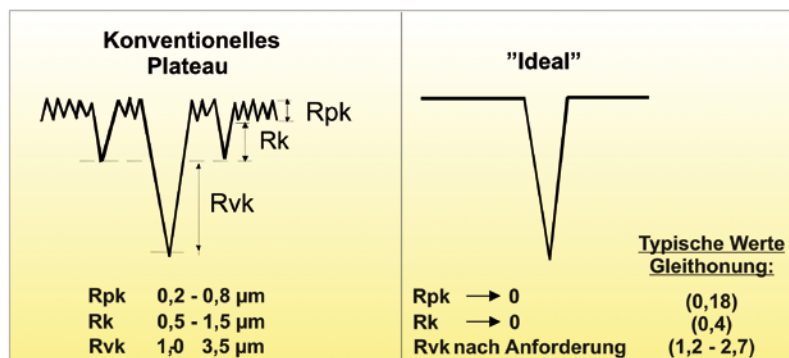
3.2 Kühlung des Zylinderkurbelgehäuses im Zwickelbereich

Durch Kühlung des Zylinderkurbelgehäuses im Zwickelbereich wird in der heißen (oberen) Zone eine Mangel-schmierung durch Verdampfung des Ölfilms verhindert. Beim Motor 2012 wird die Deckplattendicke des Kurbelgehäuses von 50 mm auf 15 mm im Stegbereich zwischen den Zylindern reduziert, so dass die Temperatur im Zwickelbereich deutlich gesenkt wird.

3.3 Oberflächentopographie

Bei der geänderten Oberflächentopographie bleibt der Werkstoff selbst unverändert, die Verschleißreduzierung wird im Wesentlichen über zwei oft gemeinsam begangene Wege erreicht:

- Reduzierung des (Einlauf-)Verschleißes durch Erhöhung des Materialtraganteils
- Reduzierung der Reibung durch bessere Schmierung in den kritischen Zonen.

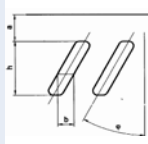
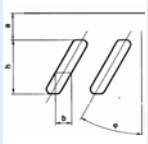

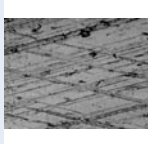

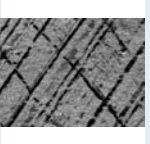
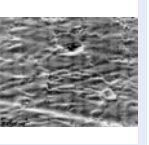


Charakteristik der Spiralgleithonung:

- Minimierung der Kernrautiefe und der Plateaurauigkeit
- Reduzierung der Riefenbreite
- Möglichst freie Wahl des Rvk-Wertes (je nach Anwendung z.B. im NFZ oder PKW)
- Steilerer, optimierter Honwinkel
- Gleichmäßige tribologisch optimierte und betriebssichere Oberfläche über die gesamte Zylinderlänge

Bild 2: Vergleich zwischen konventionellem Plateauhonen und Gleithonen

Tabelle 3: Vergleichstabelle der verschiedenen Zylinderoberflächenbehandlungen

Hontypen	Induktive Härtung	Laserhärtung	Honlappen	Plateauhonung	Gleithonung	Spiralgleithonung	UV-Laserbehandlung
Strukturbereich [mm]	20	20	ganze Zylinderlänge	ganze Zylinderlänge	ganze Zylinderlänge	ganze Zylinderlänge	ganze Zylinderlänge
Arbeitsschritte							
Stufe 1	Induktives Härten	Laserhärten					
Stufe 2	Koaxialhonen	Koaxialhonen	Vorhonen	Vorhonen	Vorhonen	Vorhonen	Vorhonen
Stufe 3	Honen	Honen	Läppen	Honen	Honen	Honen	Honen
Stufe 4	Finish-Honen	Finish-Honen		Finish-Honen	Finish-Honen	Finish-Honen	Finish-Honen
Stufe 5							UV-Lasern
Oberflächen-Kenngrößen							
Honwinkel [°]	33	33	35	33	40 - 60	140 - 150	45
Rz [µm]	7	7	7,5	7	2,8	2,9	4,99
Rpk [µm]	0,4	0,4	0,8	0,4	0,08	0,1	0,99
Rk [µm]	1,5	1,5	2	1,5	0,33	0,5	1,42
Rvk [µm]	2	2	1,3	2	1,03	1,8	1,05
Topographie							
Auswertung							
Kosten	+	-	-	++	++	++	-
Seriennähe	+++	-	+	+++	+++	+++	+
Prozess-Sicherheit	+++	-	+	+++	+++	+++	+
Erfolgsaussichten	+++	++	++	-	+	+++	+++

3.3.1 Gleithonung

Aufgrund der großen Fortschritte in der Entwicklung und Anwendung geeigneter Schneidmittel, hauptsächlich Diamantwerkzeuge, ist man heute in der Lage, dem „idealen Plateau“ sehr nahe zu kommen, **Bild 2**.

Das „ideale Plateau“ ist beim Gleithonen in der Praxis jetzt insofern erreicht, als eine weitere Verringerung der Rpk- und Rk-Werte über das (produktionsbezogen) Machbare hinaus keine Vorteile mehr bringt. Ein noch so glattes, ideales Plateau wird nach kurzer Laufzeit durch den Kolbenring und die im Öl enthaltenen Partikel, wie Ölkohle oder Späne, ohnehin wieder um ein geringes Maß aufgeraut.

Entscheidend ist dabei auch, dass beim Gleithonen mit geeigneten Diamantwerkzeugen trotz des Erreichens der teilweise geforderten hohen Rvk-Werte eine Struktur-

turbreite (Riefenbreite) erreicht werden kann, die nur einen Bruchteil gegenüber anderen Strukturen beträgt. Diese Ausbildung von häufigen, aber engen und dennoch ausreichend tiefen Strukturen reduziert im eigentlich kritischen Bereich der Grenz-/Mischreibung die Reibung und den Verschleiß. Sie führt darüber hinaus zu einem dünnen Ölfilm und gewährleistet somit einen geringen Ölverbrauch. Dies hat sich bereits in der Praxis mit mehr als 30 Serienanwendungen bestätigt [2].

3.3.2 Spiralgleithonung

Ein noch konsequenterer Weg zur Verschleißreduzierung unter Beibehaltung eines niedrigen Ölverbrauchs wurde durch eine weitere Prozessentwicklung erreicht, welche einen optimierten, steilen Honwinkel von 140 ° in der Serienproduktion ermöglicht.

Ein flacher Honwinkel <50 ° begünstigt zwar zumindest in der Theorie das Aufschwimmen des Kolbenrings mit zunehmender Kolbengeschwindigkeit. Die eigentlichen Problemzonen für erhöhten Verschleiß und Reibung sind jedoch die Umkehrbereiche des Kolbens mit gegen Null gehender Kolbengeschwindigkeit, das heißt Bereiche mit eingeschränkter beziehungsweise nicht mehr vorhandener Hydrodynamik.

3.3.3 UV-Laserbelichtungsbehandlung

Bei der UV-Laserbelichtungsbehandlung wird die gesamte Kolbenlaufbahn flächendeckend behandelt. Durch die Laserbelichtung kommt es oberflächlich zu einer Werkstoffmodifikation mit verbesserten Gleiteigenschaften, **Tabelle 3**. Diese Änderung erlaubt einen niedrigen Ölverbrauch und weist trotz der relativ

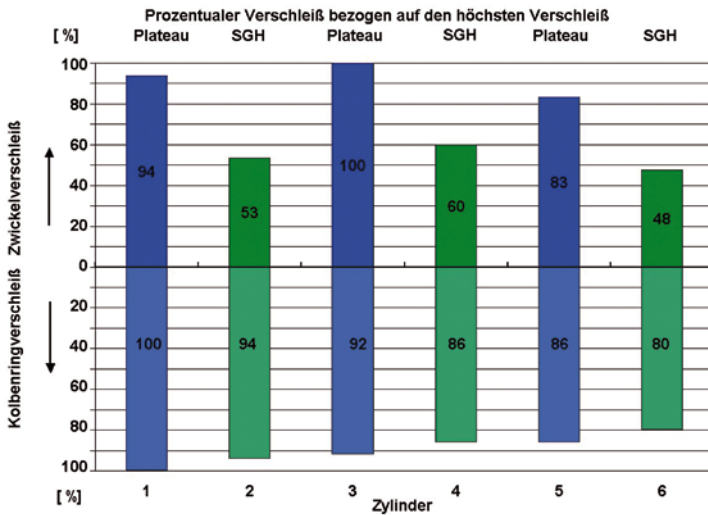


Bild 3: Zylinder- und Kolbenringverschleiß mit Plateau und Spiralgleit honung

feinen Oberfläche geringen Verschleiß und Reibung bei hoher Betriebssicherheit auf. Das Verfahren wird seit einigen Jahren mit Erfolg bei hoch belasteten Pkw-Dieselmotoren eingesetzt. Allerdings ist es aus Kostengründen und wegen der komplexen Anlagentechnik kaum möglich, in allen Einsatzländern eine Überholung der Laufbahn durchzuführen. Deshalb wird dieses Verfahren zur Zeit nicht weiter verfolgt.

3.3.4 Festlegung der Zylinderoberfläche für die Versuche

Nach gründlicher Betrachtung der verschiedenen möglichen Zylinderflächenbehandlungen, Tabelle 3, hat sich die Deutz AG anstelle der bisher verwendeten Plateauhonung, für die Spiralgleit honung entschieden. Diese bringt die Vorteile der vorgestellten Oberflächen mit sich und ist kombiniert mit einem einfachen Fertigungsverfahren, das weltweit verfügbar ist.

4 Motorenversuche

4.1 Zylinderverschleiß im Split-Test mit Plateauhonung und Spiralgleit honung

Um die Auswirkung der unterschiedlich gehonten Zylinderoberflächen auf das Verschleißverhalten von Zylinder und Kolbenringe zu untersuchen, wurde ein Motorblock in den Zylindern 1, 3 und 5 mit einer serienmäßigen Plateauhonung versehen und die Zylinder 2, 4 und 6 bei Nagel spiralgleit gehont. Die Rauheits-

werte der unterschiedlichen Honungen wurden bei Federal-Mogul in Burscheid mittels Weißlicht-Interferometer bestimmt.

Der Motor wurde mit Serienbauteilen montiert und anschließend in einem Deutz-Vollast-Dauerlauf 500 h getestet. Nach Beendigung des Tests wurde bei Federal-Mogul der Zylinderverschleiß bestimmt. Außerdem wurde der Verschleiß der Kolbenringe ermittelt. **Bild 3** zeigt den über den Umfang gemittelten Zwickelverschleiß der Zylinder sowie den dazu gehörigen Laufflächenverschleiß der Kolbenringe aus der 1. Nut.

Deutlich erkennt man den im Vergleich zur Plateauhonung reduzierten Zylinderverschleiß von zirka 40 % durch die Spiralgleit honung. Beim Kolbenringverschleiß zeigt sich aufgrund der ohnehin als extrem verschleißfest bekannten GDC-Beschichtung nur ein geringer Unterschied zwischen den beiden Honverfahren.

4.2 Zylinderverschleiß nach einem Dauerlauf mit Spiralgleit honung

Zur Absicherung der bisherigen guten Ergebnisse wurde ein Motor einem Prüfstandtest über 3000 h unterzogen und anschließend der Zylinderverschleiß ermittelt. Die ermittelten Verschleißwerte liegen deutlich unterhalb des bei Deutz spezifizierten zulässigen Grenzwerts pro 1000 h und sind bedeutend geringer als bei der Plateauhonung der Basisvariante.

Um einen Eindruck vom Umfang der Verschleißverteilung im Zylinder zu erhalten, werden die gemessenen Verschleißwerte im Diagramm, **Bild 4**, als Isolinien dargestellt.

Deutlich erkennt man, dass an keiner Stelle im Zylinder der Verschleiß größer ist als 15 µm. Wie aus den Verschleißauswertungen vieler Dieselmotoren bekannt, zeigt auch diese Messung den typischen Einfluss des Einspritzstrahls auf den Zylinderverschleiß. Durch das Auftreffen des Einspritzstrahls wird der Schmierfilm an der Zylinderwand teilweise abgewaschen.

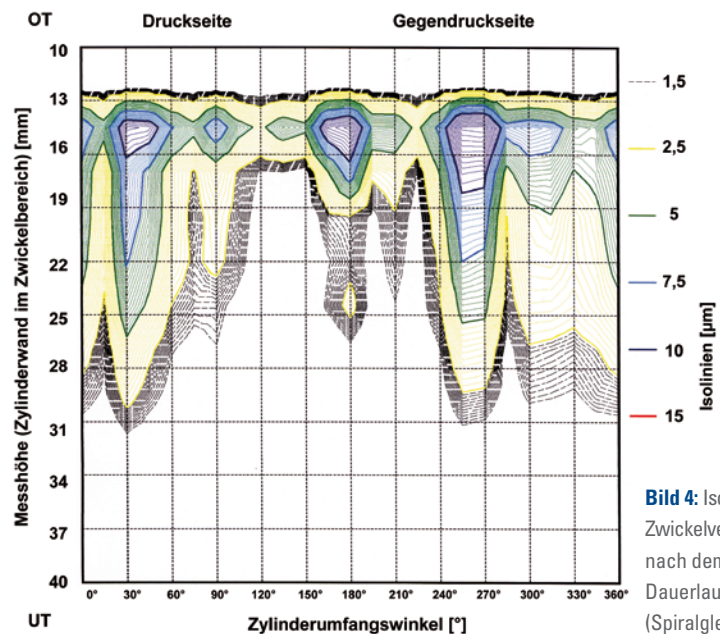


Bild 4: Isolinien des Zwickelverschleißes nach dem 3000-h-Dauerlauf (Spiralgleit honung)

Um den optischen Eindruck zu dokumentieren und auf Spiegelbildung (bore polishing) zu untersuchen, wurde die Zylinderoberfläche mit einem Scanner fotografiert, **Bild 5**. Nach dem Zylinderscanen ist erkennbar, dass die Zylinder über den gesamten Umfang und dem Kolbenhub trotz engem Feuerstegspiel keine Spiegelstellen aufweisen und überall die Honriefen zu erkennen sind. Auch ist der für die Spiralgleithonung typische Honwinkel von 140° sichtbar. Mithilfe des Zyklus-Dauerlaufprogramms wird das Ölverbrauchs- und Blow-by-Verhalten in den betriebsrelevanten Kennfeldpunkten untersucht.

In **Bild 6** werden die Ergebnisse des 3000-h-Dauerlaufs (Spiralgleithonung) mit einem 1500-h-Dauerlauf (Plateauhonung) verglichen. Der erhöhte Anfangsölverbrauch ist durch die Messtechnik bedingt und lässt daher keine Aussage über die Güte der Honnungen zu. Die Spiralgleithonung zeigt aufgrund reduzierter Kernrautiefen als auch Riefenbreiten über die Laufzeit einen konstant niedrigeren Ölverbrauch als die Plateauhonung. Beim Blowby zeigen sich keine Unterschiede. Im hohen und niedrigen Leerlauf konnte eine Reduzierung des Ölschiebens durch die Spiralgleithonung im Verhältnis zur Plateauhonung beobachtet werden. Die Spiralgleithonung mit dem steileren Honwinkel führt zu einer Eingrenzung der Ölfilmstärke bei höheren Drehzahlen und verringert damit auch einen Anstieg des Ölverbrauchs.

Der Kolben zeigt in **Bild 7** für diese Laufzeit einen sehr geringen Ölkohleaufbau am Feuersteg und damit keine Neigung zur Spiegelbildung (bore polishing). Die Erhöhung der Seitenkraft führt auch bei dieser hohen Laufzeit zu einem guten Tragbild am Kolbenhemd ohne hohen Verschleiß.



Bild 7: Kolben nach 3000-h-Lauf

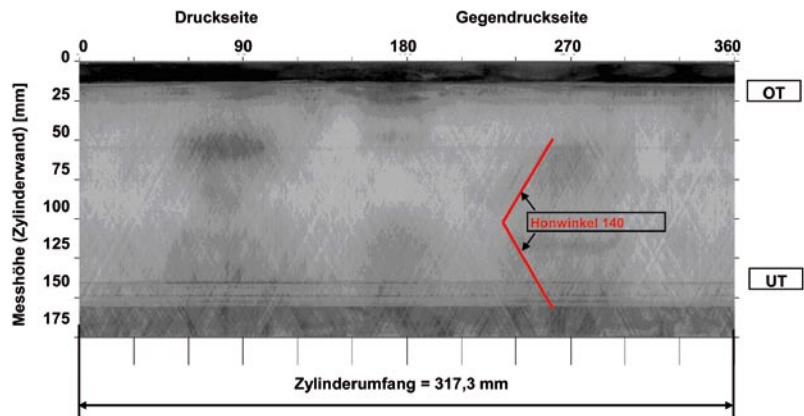


Bild 5: Zylinderscan nach dem 3000-h-Dauerlauf (Spiralgleithonung)

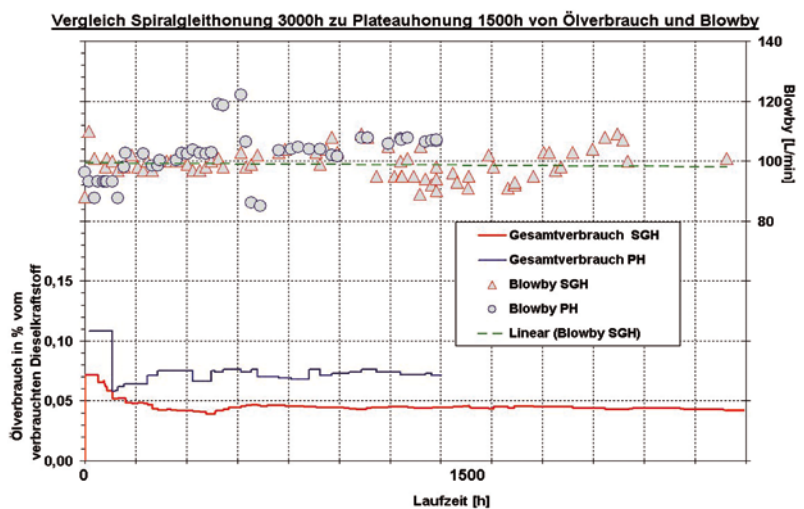


Bild 6: Ölverbrauch und Blow-by im Vergleich von Spiralgleithonung zu Plateauhonung im Programmlauf

5 Diskussion und Zusammenfassung

Die Entscheidung für die Spiralgleithonung wird in den Motorentests bestätigt durch:

- deutliche Reduzierung des Zwickelverschleißes von 40 % gegenüber der Plateauhonung
- Einhalten des Grenzwerts von Deutz beim 3000-h-Lauf
- kein Verschleiß durch Spiegelbildung (bore polishing)
- konstant geringer Ölverbrauch über die gesamte Motorlaufzeit
- Reduzierung des Ölschiebeverhaltens.

Mit der weiteren Entwicklung der Motoren werden die Anforderungen an die Reduzierung von Verschleißverhalten, Ölverbrauch und Reibleistung noch an-

steigen. Für die Emissionsstufe Tier 4 ist Deutz mit der Spiralgleithonung gut vorbereitet. Für weitere Entwicklungen könnte die UV-Laserbelichtungsbehandlung ein weiteres Potenzial bedeuten.

Literaturhinweise

- [1] Esser, J.; Linde, R.; Münchow, F.: Diamantbewehrte Laufschiene für Kompressionsringe. In: MTZ 2004, Nr. 7/8
- [2] Schmid, J.: Optimierte Honnverfahren für Guss-eisen-Laufflächen. VDI-Berichte Nr. 1906 (2006)

Download des Beitrags unter
www.MTZ-online.de

MTZ

Read the English e-magazine.
Order your test issue now:
SpringerAutomotive@abo-service.info