

# Ölalterung und Verschleiß im Ottomotor

Aus Gründen des Umweltschutzes und der Servicefreundlichkeit ist die Automobilindustrie bestrebt, die Ölwechselintervalle zu optimieren. Im Auftrag der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e. V. (FVV) haben drei Forschungspartner in einem gemeinsamen Forschungsprojekt die Schmierstoffalterung und deren Einfluss auf das Verschleißverhalten der Tribosysteme im Ottomotor untersucht. Die Partner sind das Institut für Tribologie und Energiewandlungsmaschinen der Technischen Universität Clausthal, das Institut für Maschinenelemente und Konstruktionstechnik der Universität Kassel und das Institut für Oberflächen- und Schichtanalytik GmbH der Technischen Universität Kaiserslautern.

## 1 Einleitung

Das Motoröl ist ein wichtiges Konstruktionselement, das eine lange Lebensdauer des Motors gewährleisten soll. Mit modernen Schmierstoffen können sehr niedrige Verschleißgeschwindigkeiten erreicht werden. Während des Betriebs verliert das Öl infolge von Alterungsprozessen seine Verschleiß mindernde Wirkung und es muss ersetzt werden, bevor erhöhter Verschleiß zu irreversiblen Veränderungen an den Oberflächen der Tribosysteme führt. Hauptursache für die Alterung ist neben der thermischen und mechanischen Belastung der von der Betriebsweise abhängige Schadstoffeintrag.

Wichtige Entwicklungspotenziale hinsichtlich einer Optimierung der Ölwechselintervalle liegen dabei einerseits in Maßnahmen zur Minderung des Schadstoffeintrags in das Motoröl [2, 3], andererseits in einer optimalen Ausnutzung des Schmierstoffs mit Hilfe einer leistungsfähigen Sensorik [1]. Um diese Potenziale ausschöpfen zu können ist ein fundiertes Verständnis der Wechselwirkungen zwischen dem Ölzustand, den Verschleißschutzmechanismen und dem Verschleißverhalten der Tribosysteme unabdingbar.

Ziel des Forschungsprojekts der beteiligten Partner ist, aufzuzeigen

- warum eine kalte Fahrweise die Ölalterung forciert
- welche Rolle dabei das Blow-by-Gas spielt
- wie erhöhter Verschleiß zu irreversibler Schädigung der Tribosysteme führt
- wie Ölsensorik zur Optimierung von Ölwechselintervallen genutzt werden kann.

## 2 Konzept und experimentelle Technik

Die Auswirkungen des Schadstoffeintrags in das Öl auf das Verschleißverhalten werden in vier Prüfläufen mit 1,8-l-Ottomotoren mit Direkteinspritzung untersucht. Durch verschiedene Betriebsweisen und Änderung der Blow-by-Gas-Führung werden die mechanischen und chemischen Belastungen des Schmierstoffs variiert und dabei der Schadstoffeintrag und seine Auswirkungen auf den Motor ermittelt [7].

Während der Testläufe werden in Abständen von 100 bis 150 h Bolzen der Steuerkette, Kolben, Pleuellager und Pleuellager und Pleuellager und Pleuellager eines Zylinders entnommen und die Oberflächentopografie und Oberflächenchemie [6] der Laufflächen dieser Bauteile vermessen und hinsichtlich ihrer hydrodynamischen Eigenschaften und ihres Verschleißschutzverhaltens bewertet. Anhand von Tragdruckberechnungen [4, 5] auf der Basis vermessener Ober-

## Die Autoren



**Prof. Dr.-Ing. Hubert Schwarze** ist Direktor des Instituts für Tribologie und Energiewandlungsmaschinen an der Technischen Universität Clausthal.



**Dr.-Ing. Ulrich Müller-Frank** ist Technischer Berater der APL Automobil Prüftechnik Landau GmbH in Landau.



**Dr. rer. nat. Ludwig Brouwer** ist Projektleiter am Institut für Tribologie und Energiewandlungsmaschinen an der Technischen Universität Clausthal.



**Dr.-Ing. Michael Kopnarski** ist wissenschaftlicher Leiter und Geschäftsführer des Instituts für Oberflächen- und Schichtanalytik GmbH (IFOS) an der Technischen Universität Kaiserslautern.



**Prof. Dr.-Ing. Gunter Knoll** ist Direktor des Instituts für Maschinenelemente und Konstruktionstechnik der Universität Kassel.



**Dr.-Ing. Stefan Emrich** ist Projektleiter am Institut für Oberflächen- und Schichtanalytik GmbH (IFOS) an der Technischen Universität Kaiserslautern.



**Dipl.-Ing. Frank Schlerege** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Simulation Tribosysteme im Verbrennungsmotor am Institut für Maschinenelemente und Konstruktionstechnik der Universität Kassel.

### MTZ Peer Review

Das Gütesiegel für wissenschaftliche Beiträge in der MTZ. Von Experten aus Forschung und Industrie begutachtet.

Eingegangen ..... 28. April 2008  
Geprüft ..... 27. Mai 2008  
Angenommen ..... 3. Juni 2008





flächenstrukturen der Zylinderflächen werden die Ursachen für einen Übergang von einem tolerierbaren zu einem erhöhtem Verschleißniveau ermittelt. Der Alterungszustand des Motoröls wird anhand von Ölanalysen und Online-Sensordaten bewertet.

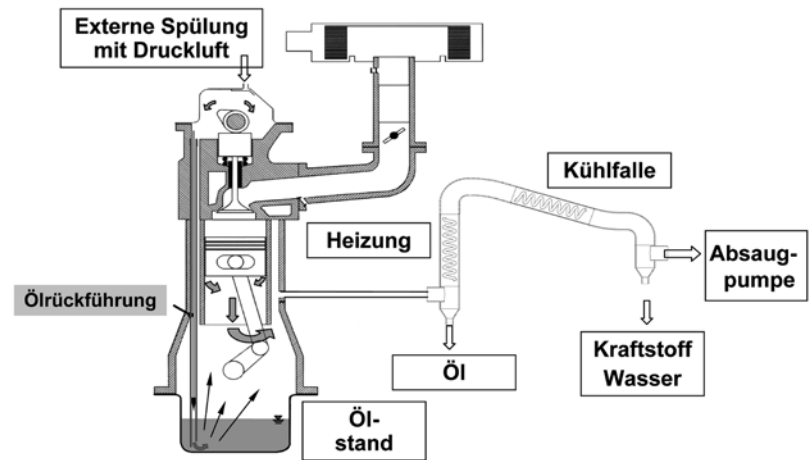
Die Motorenversuche werden auf einem Prüfstand mit Online-Radionuklid-Verschleißmesstechnik durchgeführt, auf dem Wechsellastprogramme einschließlich automatisierter Motorstarts und -stopps rechnergesteuert gefahren werden können. Mit einer Kälteanlage können Kühlmitteltemperaturen bis zu  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  realisiert werden.

Die serienmäßig als Frischluftsystem ausgelegte Kurbelgehäuseentlüftung des Versuchsmotors leitet die Blow-by-Gase vom Ölabscheider im Kurbelwellengehäuse und von der Ventildeckelentlüftung in den Ansaugtrakt. Dabei kommen sie mit den Tribosystemen und dem Motoröl in Kontakt.

Um zu verhindern, dass die Blow-by-Gase sich im Motor verteilen und über den Kettenkasten in den Ventildeckel gelangen, wird dieser bis unter den Ölspiegel der Ölwanne mit einem Blech zum Kurbelgehäuse abgesperrt. Das Aufsteigen von Blow-by-Gasen über die Ölrückläufe wird durch bis unter den Ölspiegel der Ölwanne geführte Aluminium- und PTFE-Röhrchen (Teflon) verhindert. Das Zurücklaufen des Öls aus dem Zylinderkopf ist über die Röhrchen gewährleistet.

Durch Spülung mit Druckluft über die Ventildeckelentlüftung wird das Blow-by-Gas am Entstehungsort im Kurbelwellengehäuse mit Hilfe einer Vakuumpumpe über ein externes Ölabscheidesystem abgesaugt. Dadurch wird verhindert, dass die Gase sich im Motor verteilen und in den Motorkopf aufsteigen, **Bild 1**.

Die Prüfläufe sind an reale Fahrweisen wie Kurzstrecken-Stadtverkehr bei niedriger Temperatur beziehungsweise schnelle Autobahnfahrt mit häufigen Vollgasbeschleunigungen angelehnt. In einer Kaltphase wechseln Betrieb bei geringer Belastung und Abkühlung bei stehendem Motor. Dabei liegt die Motoröltemperatur zwischen  $20$  und  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . In einer Heißphase werden im Motor bei hoher Belastung Öltemperaturen von  $110$  bis  $140\text{ }^{\circ}\text{C}$  erreicht.



**Bild 1:** Grundprinzip der Blow-by-Modifikation

Die Prüfläufe dauern jeweils  $500\text{ h}$ . Beim Kaltlauf, **Bild 2**, wechselt  $7\text{ h}$  Kaltphase mit  $1\text{ h}$  Heißphase. Im Heißlauf wird der Motor in  $9\text{ h}$  dauernden Programmzyklen unter den Bedingungen der Heißphase betrieben. Heiß- und Kaltlauf werden jeweils einmal mit dem originalen und dem modifizierten Blow-by-Gas-System durchgeführt.

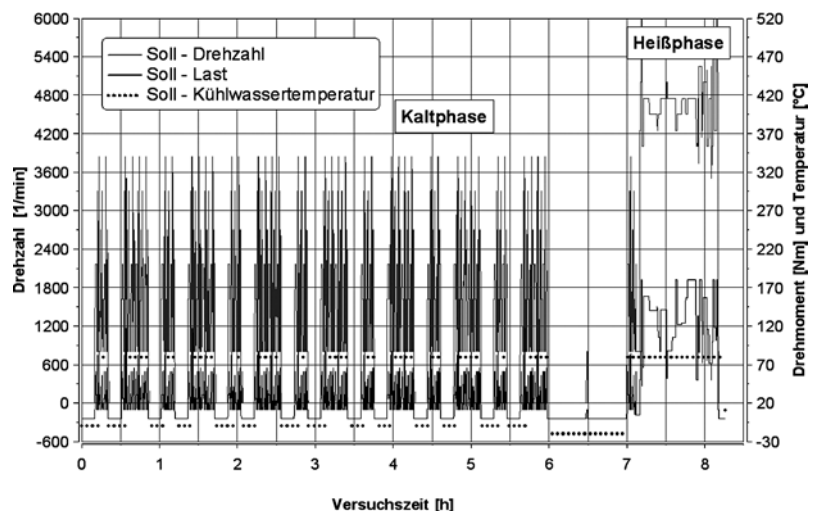
### 3 Ergebnisse

Im Kaltlauf ohne Blow-by-Gas-Modifikation (Kaltlauf 1) wird an den Kettenbolzen im Vergleich mit den Heißläufen mit einem Drittel der Überrollungen die zehnfache Verschleißmenge produziert, **Bild 2**. Durch die Blow-by-Gas-Modifikation

(Kaltlauf 2) sinkt der Verschleiß der kalten Fahrweise auf die Hälfte; im Heißbetrieb bleibt er unverändert.

Die jeweils über einen Zyklus gemittelte Verschleißgeschwindigkeit an den Kettenbolzen der Steuerkette, **Bild 3**, liegt bei  $3,5\text{ }\mu\text{g/h}$  (feine Partikel im Ölkreislauf) mit leicht steigender Tendenz beziehungsweise  $0,5\text{ }\mu\text{g/h}$  (grobe Partikel im Ölfilter). Die auftretenden Schwankungen lassen sich bestimmten Ereignissen während des Betriebs zuordnen.

Nach jeder Bauteilentnahme, erscheinen Verschleißspitzen, die sich aber jeweils innerhalb weniger Zyklen normalisieren und wieder auf das Niveau vor der Entnahme zurückgehen. Die Änderung der Blow-by-Gas-Führung wirkt sich unter den Betriebsbedingungen des Heiß-



**Bild 2:** Prüfprogramm für den Kaltlauf

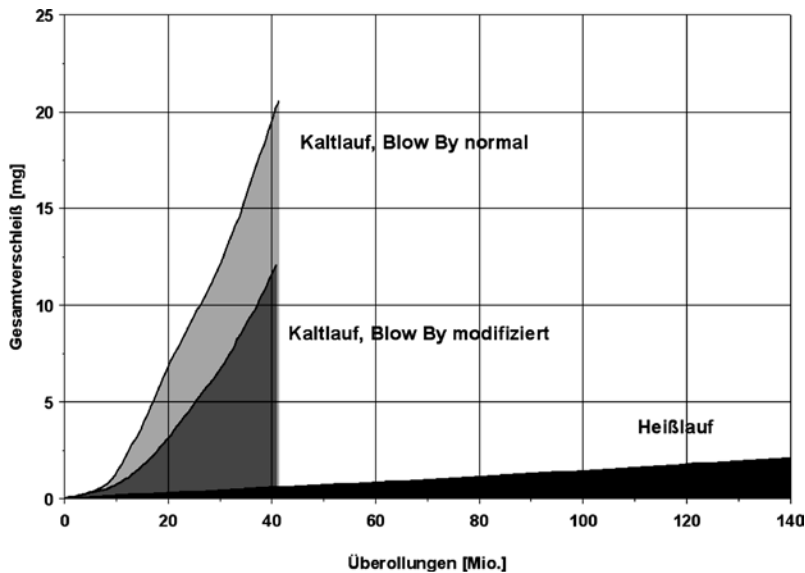


Bild 3: Entwicklung des Gesamtverschleißes während der Prüfläufe

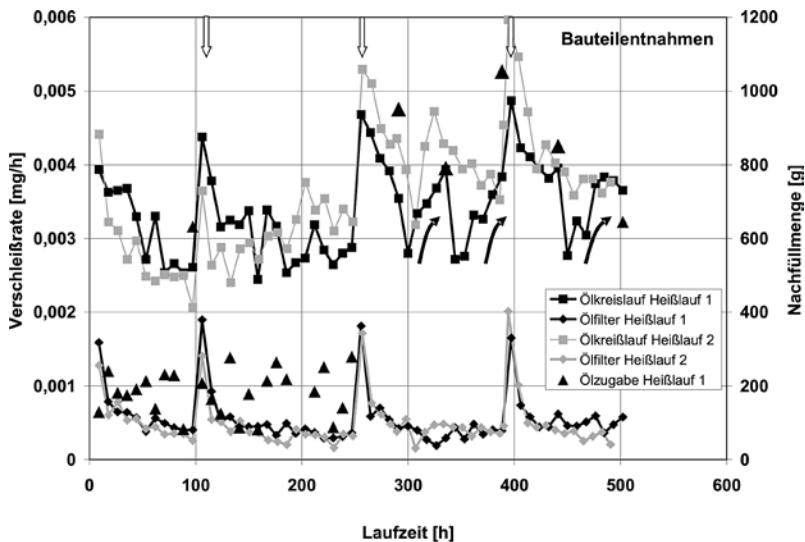


Bild 4: Verschleißgeschwindigkeiten an den Kettenbolzen bei den Heißläufen

laufs nicht auf die Verschleißgeschwindigkeit aus.

Wird der Ölverlust wie in den ersten 250 h nach jedem Zyklus durch Frischölzugabe (Zeichen  $\Delta$  in Bild 4) kompensiert, bleibt die Verschleißgeschwindigkeit konstant auf einem niedrigen Niveau. Im zweiten Teil des Heißlauf 1 nimmt die Verschleißrate nach Zugabe größerer Ölmen gen nach entsprechend längeren Zeitintervallen zunächst deutlich ab und steigt im Verlauf der nachfolgenden Zyklen ohne Ölzugabe wieder an (Pfeile in Bild 4).

Obwohl bei den Betriebsbedingungen des Kaltlaufs erheblich weniger Blow-by-Gas pro Zeit entsteht als im Heißlauf, ist die schädigende Wirkung auf die Tribosysteme sehr viel gravierender. Zwar sind die Verschleißraten zu Beginn des Prüflaufs auf einem ähnlichen Niveau wie beim Heißlauf, jedoch setzt bereits nach 50 h Verschleißprogression ein. In der Heißphase des Kaltlaufs ist die Verschleißrate nach 200 h unter gleicher mechanischer Belastung 30 Mal höher als im Heißlauf. In der Kaltphase steigt sie auf Grund der geringeren mechanischen Belastung langsamer an. Da die Kaltphase sechsmal länger dauert als die Heißphase, tragen beide Phasen des Kaltlaufs etwa im gleichen Umfang zum Gesamtverschleiß bei.

Beim Kaltlauf mit modifizierter Blow-by-Gas-Führung entwickeln sich die Verschleißraten im Prinzip ähnlich, jedoch setzt die Verschleißprogression deutlich später ein. Vor allem bleibt die Verschleißgeschwindigkeit der Kaltphase deutlich kleiner, so dass nur 50 % des Ge-

# Der neue 7-Zylinder

Vielleicht läuft er nicht rund.

Aber die Gießtechnik bekommen wir hin.

MAGMASOFT® ist der Schlüssel zu robustem Design anspruchsvoller Gussbauteile. Mit Gießsimulation sichern Sie die geforderte Bauteilqualität und reproduzierbare Fertigung. Gießsimulation ist die gemeinsame Sprache zwischen Konstrukteur und Gießer!

Rechnen lohnt sich!

Mehr Informationen unter [www.magmasoft.de](http://www.magmasoft.de)



Besuchen Sie uns auf dem  
17. Aachener Kolloquium  
»Fahrzeug- und Motorentechnik«  
Stand 065  
6. - 8. Oktober 2008 / Aachen

**MAGMA**

Committed to Casting Excellence

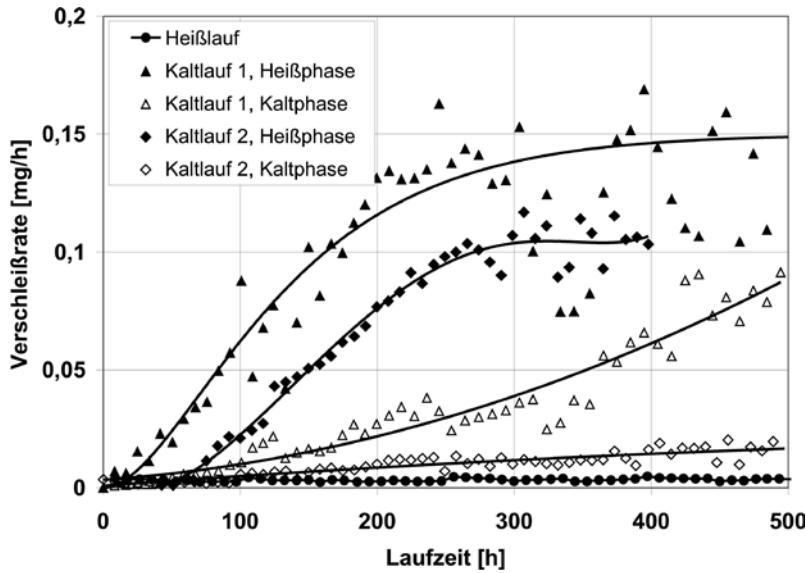


Bild 5: Verschleißgeschwindigkeiten an den Kettenbolzen beider Kaltläufe

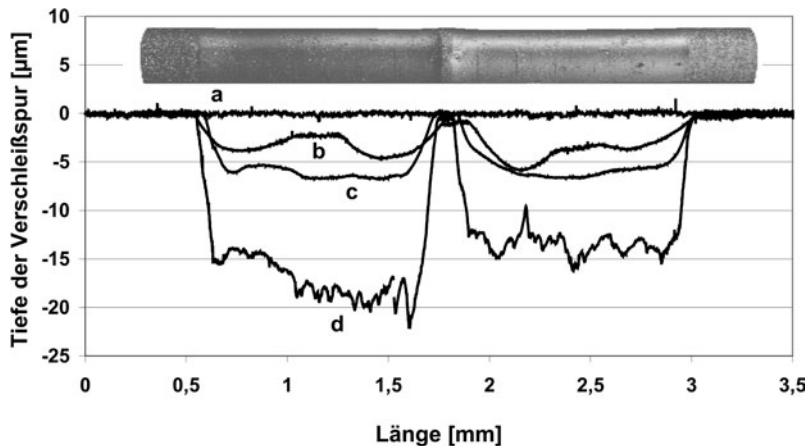


Bild 6: Verschleißprofil am Kettenbolzen; a: Neuzustand, b: Heißlauf 1 (500 h), c: Kaltlauf 2 (500 h) d: Kaltlauf 1 (500 h)

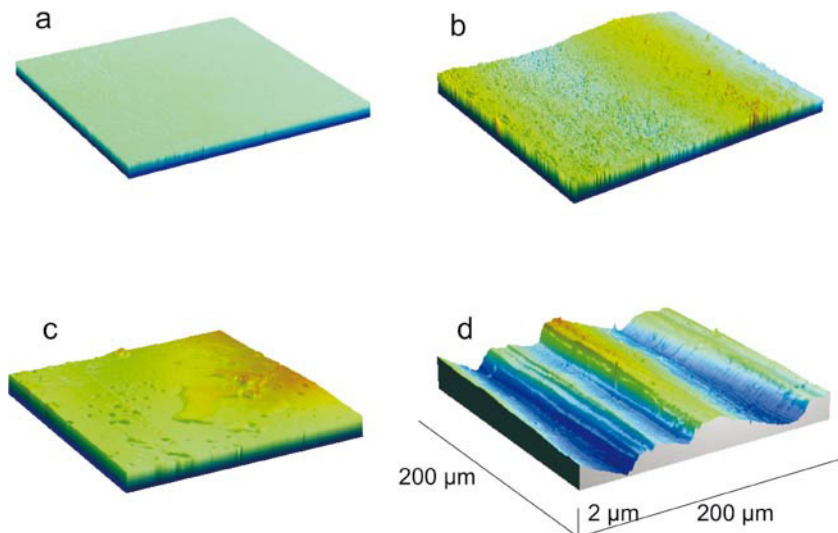


Bild 7: Weißlicht-Interferogramme der Kettenbolzen im Neuzustand (a) und am Ende von Heißlauf 1 (b), Kaltlauf 2 (c) und Kaltlauf 1 (d)

samtverschleißes bei originaler Blow-by-Gas-Führung erreicht werden, Bild 5.

### 3.1 Oberflächenanalytik

Nach 500 h sind auf der Oberfläche eines Bolzens der Steuerkette die Spuren eines äußeren Laschenpaares erkennbar, Bild 6. Der Axialschnitt zeigt die Verschleißtiefen von 3 µm bei den Heißläufen, 15 µm (Kaltlauf 1) beziehungsweise 7 µm (Kaltlauf 2).

Am Ende der Prüfläufe ergeben sich deutlich unterschiedliche Verschleißbilder. Bei den Heißläufen erscheint die Kontaktfläche gegenüber dem Neuzustand geglättet. Beim Kaltlauf 2 zeigen sich auf einer glatten Oberfläche vereinzelt Strukturen, die auf Veränderungen im Verschleißmechanismus hindeuten. Beim Kaltlauf 1 ist die Oberfläche durch Riefen in Laufrichtung geprägt, Bild 7.

Bei den Zylinderlaufflächen ist nach 500 h bei den Heißläufen die Honriefenstruktur noch erkennbar, während beim Kaltlauf 1 ausgeprägte Riefen in Laufrichtung dominieren, Bild 8.

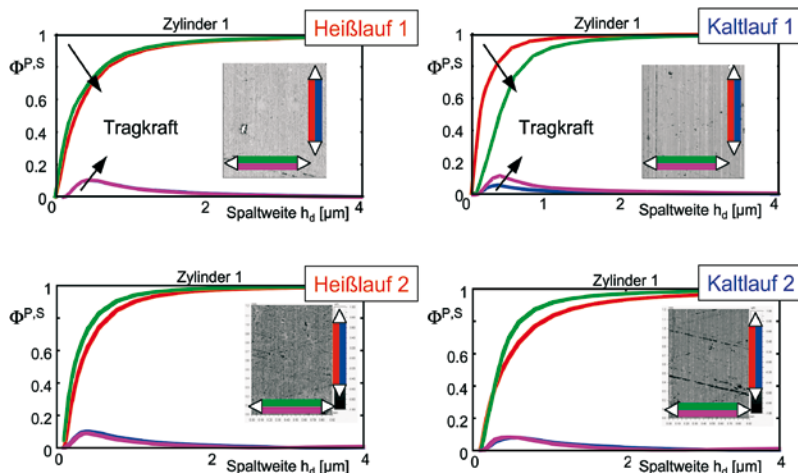
Die Veränderungen der Oberflächenstruktur wirken sich bei den Heißläufen in Hubrichtung positiv auf die Tragkraft des Schmierfilms aus. Längsriefen, wie sie sich im Kaltlauf 1 gebildet haben, vermindern die Tragkraft. In Folge der geringeren Tragkraft steigt mit dem Anteil der Festkörperreibung der Verschleiß und es kommt zu Verschleißprogression und schließlich zu Hochlagenverschleiß.

In den oberflächennahen Schichten aller untersuchten Bauteile findet man verschleißschutzwirksame Elemente wie Phosphor, Schwefel und Zink vor, Tabelle. Die Eindringtiefe der verschleißschutzwirksamen Elemente innerhalb der tribochemisch modifizierten Oberfläche ist beim Kettenbolzen mit 20 nm relativ gering. Die Heißläufe zeigen eine stärkere Elementanreicherung als die Kaltläufe, bei denen dementsprechend der Verschleißschutz nach 500 h nicht wirksam wird.

### 3.2 Ölanalytik

Aus den Blow-by-Gasen ließen sich mit dem Abscheider die drei Phasen Öl, Kraftstoff und Wasser auffangen, die je nach Betriebstemperatur des Motors in unterschiedlichen Mengen gebildet wurden. Bei niedrigen Motortemperaturen unter 30 °C gelangt mit dem Spülgas haupt-





**Bild 8:** Druckflussfaktoren  $\phi^P$  in Hubrichtung (rot) und Umfangsrichtung (grün) sowie und Scherflussfaktoren  $\phi^S$  in Hubrichtung (blau) und Umfangsrichtung (magenta) in Abhängigkeit von der Spaltweite für Zylinderlaufflächen am Ende der Prüfläufe

**Tabelle:** Nachweis von verschleißschutzaktiven Additiv-Elementen an der Kolbenbolzenbohrung nach 500 h (0 = unterhalb der Nachweisgrenze, + = nachweisbar, ++ = relativ erhöht)

Kolbenbolzenbohrung	Kaltlauf 1	Kaltlauf 2	Heißlauf 1	Heißlauf 2	
Additivspuren von ...	Phosphor	+	+	++	++
	Calcium	+	+	++	++
	Schwefel	++	+	+	++
	Zink	0	0	+	+

sächlich Wasser in den Abscheider. Zwischen 30 und 40 °C beobachtet man eine Öl-Wasser-Emulsion, die oberhalb von 40 °C wieder verschwindet.

Die Hauptmenge des Kraftstoffs scheidet sich erst während der Heißphase bei Motortemperaturen oberhalb von 100 °C ab. Im aufgefangenen Wasser ließen sich Schwefelsäure und Salpetersäure mit einem pH-Wert 4 nach 50 Betriebsstunden und pH 1 am Ende des Prüflaufs nachweisen.

Die Ölsensoren machen deutlich, wie sich die verschiedenen Betriebsbedingungen auf die Schadstoffbelastung auswir-

ken. Die Viskosität nimmt während der Kaltphasen stetig ab, um dann in der Heißphase wieder anzusteigen, **Bild 9**.

Eintrag und Austrag von Wasser sowie von Produkten der Öloxidation spiegeln sich in Änderungen der Permittivität, **Bild 10**, wider. Kurzeitige Belastungen sind nur zum Teil reversibel und verursachen permanente Veränderungen im Schmierstoff.

Eine kalte Fahrweise ist deshalb sehr schädlich, weil bei relativ niedrigen Motortemperaturen durch das Auftreten von Wasser in flüssiger Phase unter anderem durch Emulsionsbildung verstärkt

hochkorrosive Säuren in den Schmierstoff eingetragen werden oder direkt die Oberflächen angreifen. Gleichzeitig kommt es bei niedrigen Temperaturen zum Einkondensieren von Kraftstoff in das Motoröl. Bei der verringerten Viskosität steigt der Anteil der Festkörperreibung. In der Heißphase kann ausgasender Kraftstoff Kavitationserscheinungen zur Folge haben. Bei hoher Last führen dann Korrosion, Festkörperreibung und Kavitation nach einer Inkubationszeit zu Verschleißprogression.

#### 4 Auswertung

Bei den Heißläufen liegen während der gesamten Versuchsdauer tribologisch optimale Schmierungsbedingungen vor, und die Verschleißrate der Tribosysteme verbleibt auf niedrigem Niveau. Die oberflächentopografische Untersuchung der Tribosysteme hat gezeigt, dass sich die Druck- und Scherflussfaktoren und somit der Tragdruckaufbau durch den Verschleißprozess nicht nachhaltig verschlechtern. Die chemische Zusammensetzung der Oberflächen deutet darauf hin, dass Triboschichten zu dem niedrigen Verschleißniveau beitragen. Eine Zunahme der Verschleißgeschwindigkeit durch Ölalterung bleibt unter diesen Bedingungen reversibel, das heißt, durch Nachfüllen von Öl Verschleiß mindern der Wirkstoffe beziehungsweise Ölwechsel kann das niedrige Verschleißniveau aufrecht erhalten werden.

Kaltlauf 1 mit originaler Blow-by-Gas-Führung zeigt ein völlig anderes Verschleißverhalten. Nach kurzer Laufzeit steigt die Verschleißgeschwindigkeit bei den hohen Belastungen der Heißphase, die denen des Heißlaufs entsprechen, stark an und erreicht den 30-fachen Wert der Heißläufe. Die Oberflächentopografie der Bauteile ist durch

**KACO** Welt der Dichtungstechnik • [www.kaco.eu](http://www.kaco.eu)  
Sabö-Group

**Verantwortung schafft Vorsprung**

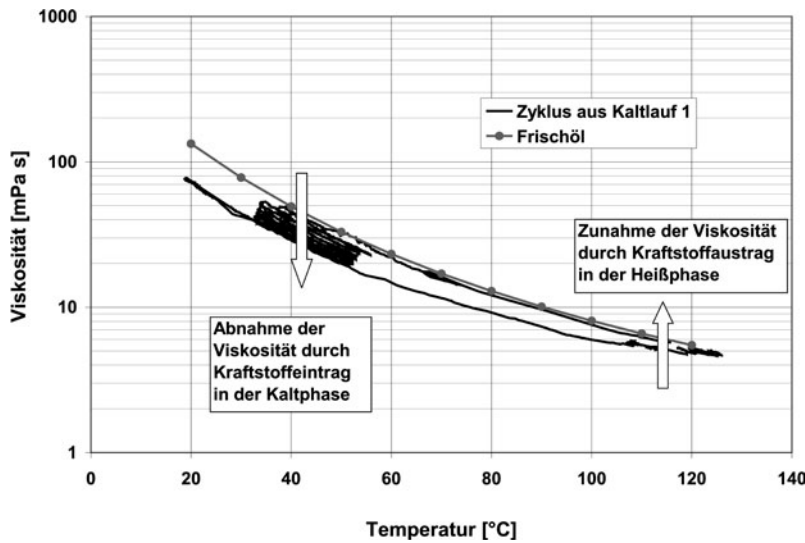


Bild 9: Viskositätsverlauf im Kaltlauf aus Online-Sensormessung

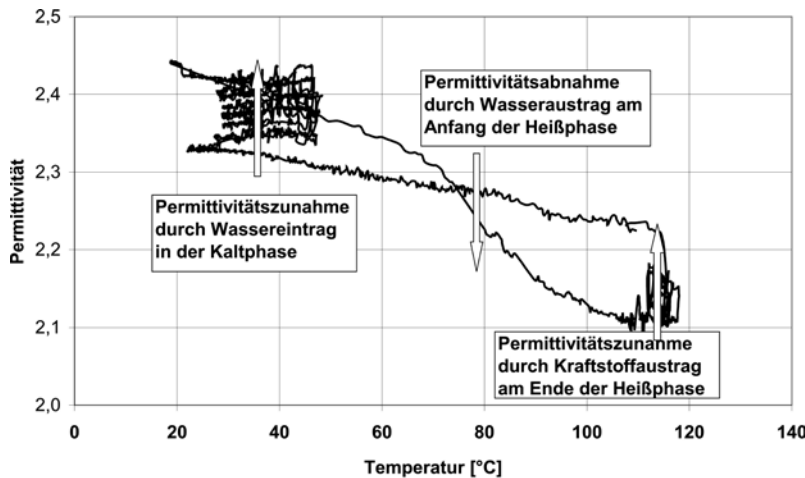


Bild 10: Permittivitätsverlauf im Kaltlauf aus Online-Sensormessung

Riefen in Bewegungsrichtung geprägt, die zu ungünstigen Flussfaktoren und somit zu vermindertem Tragdruckaufbau, geringeren Spaltweiten, größerem Anteil von Festkörperreibung und zu erhöhtem Verschleiß führen. Solche anisotropen Oberflächenstrukturen formen sich allein durch Einlaufprozesse nicht wieder in hydrodynamisch günstigere Topografien um. Die Veränderungen dieser Tribokontakte sind irreversibel und ein Ölwechsel käme zu spät. Verschleiß mindernde Triboschichten sind entweder nicht nachzuweisen oder weniger ausgeprägt als bei den anderen Prüfläufen.

Beim Kaltlauf 2 mit modifizierter Blow-by-Gas-Führung steigt die Verschleißrate der Heißphasen später an und er-

reicht am Ende auch nicht die hohen Werte des Kaltlauf 1. Dagegen bleibt die Verschleißgeschwindigkeit der Kaltphase bis zum Ende des Prüflaufs deutlich niedriger. Gesamtverschleiß und Verschleißtiefe sind zwar deutlich größer als bei den Heißläufen aber um einen Faktor zwei kleiner als beim Kaltlauf 1. Die Oberflächen der Kettenbolzen weisen Strukturen auf, die möglicherweise auf einen veränderten Verschleißmechanismus hindeuten. Auf die Flussfaktoren und damit auf die Tragfähigkeit des Schmierfilms wirken sich diese Veränderungen der Oberflächentopografie noch nicht erkennbar aus.

Die Ölanalysen haben ergeben, dass der Schadstoffeintrag deutlich geringer als beim Kaltlauf 1 und, mit Ausnahme

des Kraftstoffeintrags, mit dem der Heißläufe vergleichbar ist. Die Blow-by-Gas-Absaugung verzögert die Alterung des Schmierstoffs. Dadurch setzt die Verschleißprogression zu einem späteren Zeitpunkt ein.

Die oberflächenanalytischen Untersuchungen zeigen, dass der Abbau der auf diesen Bauteilen nur wenige Nanometer dicken Öladditiv-Verschleißschutzschichten bei den Kaltläufen schneller abläuft als bei den Heißläufen. Bei relativ hohen Additivkonzentrationen findet man die Additivelemente überwiegend im Bereich der Verschleißspuren. Ein niedriger Additivlevel auf den tribologisch belasteten Bereichen der Oberflächen korreliert mit einer hohen Verschleißgeschwindigkeit, das Unterschreiten einer kritischen Additivkonzentration führt zu stark ansteigenden Verschleißgeschwindigkeiten.

Dass die Verschleißrate bei niedriger Viskosität nicht unmittelbar, sondern erst mit einer Verzögerung deutlich ansteigt, deutet darauf hin, dass die Tribosysteme für eine gewisse Zeit ungünstige Betriebsbedingungen tolerieren, bevor es zu irreversiblen Schädigungen kommt. Die Viskositätsmessung kann als Indikator für verschiedene Veränderungen am Schmierstoff im Kaltbetrieb dienen: Viskosität, Kraftstoffeintrag und -austrag sowie (indirekt) hohe Korrosivität der Blow-by-Gase. Die Verschleißprogression tritt umso schneller auf, je weiter die Viskosität vom Sollwert  $\eta_0$  nach unten abweicht. Die mit der relativen Viskositätsabnahme gewichtete Betriebszeit

$$\eta^* = \int_0^t (\eta_0 - \eta) / \eta_0 dt \tag{G1}$$

korreliert mit der Verschleißrate während der Heißphase, Bild 11. Anhand dieser Korrelation lässt sich ein Ölwechselintervall festlegen, für das sicherer Betrieb mit tolerierbarer Verschleißrate gewährleistet ist. Dieses Modell ist nur dann anwendbar, wenn die für kalte Fahrweise typischen Prozesse das Verschleißgeschehen dominieren. Unter Heißlaufbedingungen werden weitere Parameter zu berücksichtigen sein.

Legt man Kaltbetrieb zugrunde, ließe sich durch eine effektive Entfernung der Blow-by-Gase aus dem Motor das Ölwechselintervall verdoppeln. Bei Heißbetrieb ist kein Einfluss der Blow-by-Gasführung

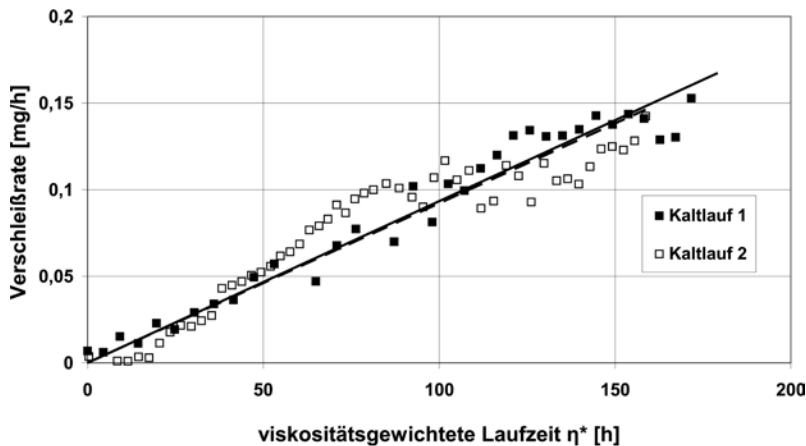


Bild 11: Verschleißrate über der gewichteten Betriebszeit  $\eta^*$

auf das Verschleißverhalten festzustellen. Daher könnte man durch eine Zwischenspeicherung der aus dem Blow-by-Gas abgeschiedenen Schadstoffe bei kaltem Motor den Eintrag von Schadstoffen reduzieren.

Mit einer Sensorik lassen sich über die Veränderungen wichtiger Öleigenschaften tribologisch ungünstige Betriebszustände detektieren. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, durch ein tribooptimiertes Motormanagement die Belastung des Schmierstoffs und des Verschleißschutzes zu minimieren und dadurch die Ölwechselintervalle auszudehnen.

Mit Ausnahme der Viskosität lassen sich die von den Sensoren gemessenen Größen nur bedingt mit Labordaten wie Basenzahl oder Öloxidation korrelieren. Eine direkt nutzbare Korrelation zwischen Hochlagenverschleiß und Ölsensordaten ist nicht aufzeigbar, weil die Sensorsignale in Bezug auf das Verschleißverhalten je nach Betriebsweise unterschiedlich zu interpretieren sind.

Der entscheidende Schadstoffeintrag über das Blow-by-Gas in das Öl findet bei kalter Fahrweise statt. In einem bestimmten Temperaturfenster bildet sich aus Blow-by-Gas und Ölnebel eine Öl-Wasser-Emulsion, die in kälteren Bereichen des Motors in eine wässrige Phase und eine Ölphase zerfällt. Die wässrige Phase weist stark korrosive Eigenschaften auf. Das Öl aus der Emulsion ist deutlich stärker belastet als das Öl im Kreislauf.

Diese Veränderungen im Schmieröl führten schon nach kurzer Versuchsdauer zu deutlich höheren Verschleißraten

als in Referenzläufen, bei denen die Motortemperatur stets oberhalb des kritischen Temperaturfensters lag. Nach einer Verringerung des Schadstoffeintrags durch eine Einschränkung der Zir-

kulation des Blow-by-Gases im Motor und dessen Entfernung am Entstehungsort stieg die Verschleißrate deutlich später und weniger stark an.

Momentaufnahmen der Ölbeschaffenheit erlauben nur bedingt Rückschlüsse auf das Verschleißverhalten. Online Messungen von Viskosität, Leitfähigkeit und Permittivität ermöglichen die Erfassung der zeitlichen Entwicklung der Öleigenschaften und somit die Berücksichtigung der Einwirkdauer ungünstiger Schmierzustände auf die Tribosysteme bei der Optimierung der Ölwechselintervalle.

## 5 Zusammenfassung

Im Auftrag der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e. V. (FVV) wurden in einem gemeinsamen Forschungsprojekt die Schmierstoffalterung

PROtronic™

Engine Control Prototyping





Die wichtigsten Bausteine sind schon vorhanden!

- Schnelle Motor-Inbetriebnahme für noch schnellere Ergebnisse
- Erleben Sie seriennahes Prototyping mit PROtronic™, dem Steuergerät mit offenen Funktionsmodellen für Otto- und Dieselmotoren



www.aft-werdohl.de



und deren Einfluss auf das Verschleißverhalten der Tribosysteme im Ottomotor untersucht. Partner des Forschungsprojekts waren das Institut für Tribologie und Energiewandlungsmaschinen der Technischen Universität Clausthal, das Institut für Maschinenelemente und Konstruktionstechnik der Universität Kassel und das Institut für Oberflächen- und Schichtanalytik GmbH der Technischen Universität Kaiserslautern.

In motorischen Prüfungen bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen und verschiedenen Modifikationen der Blow-by-Gasführung wurde die Ölalterung mit Sensoren im Ölkreislauf sowie durch

Laboranalysen untersucht und ihre Auswirkungen auf die Tribosysteme durch eine Analyse der Bauteiloberflächen hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung, der Topografie und des Tragdruckaufbaus ermittelt.

Als besonders kritisch für das Verschleißverhalten der Tribosysteme hat sich der Betrieb des Motors bei tiefen Temperaturen herausgestellt. Unter Kaltlaufbedingungen ist die Verschleißrate gegenüber dem Betrieb bei warmem Motor um ein Mehrfaches erhöht. Der Eintrag von Kraftstoff, Wasser und Säuren schädigt das Öl und beeinträchtigt die Verschleißschutzmechanismen. Prozesse, die sich progressiv verstärken, führen zu irreversiblen Veränderungen der Oberfläche und letztlich zu Hochlagenverschleiß. Hauptursache für den Schadstoffeintrag sind Blow-by-Gase, durch deren effektive Entfernung aus dem Motor ließen sich Ölwechselintervalle deutlich verlängern.

Eine für alle Betriebsbedingungen gültige Korrelation von Sensordaten (Permittivität, Leitfähigkeit) und Laboraten (Basenzahl, Öloxidation) existiert nicht. Die Viskosität ist ein geeigneter Indikator für den Alterungszustand des Öls und lässt sich zur Optimierung von Ölwechselintervallen nutzen.

#### Literaturhinweise

- [1] Kaden, H.; Fichtner, W.; Ahlborn, K.: Sensorik zur Online-Messung von Schmieröleigenschaften. In: MTZ 61 (2000), Nr. 3, S. 164 ff.
- [2] Ahlborn, S.; Blomerius, H.; Schuhmann, H.: Neue Wege in der Reinigung von Kurbelgehäuseentlüftungsgasen. In: MTZ 60 (1999), Nr. 7/8, S. 454 ff.
- [3] Sauer, H. L.; Trautmann, P.: Messung und Abscheidung von Ölnelaerosolen aus der Kurbelgehäuseentlüftung von Verbrennungsmotoren. In: MTZ 61 (2000), Nr. 2, S. 874 ff.
- [4] Holland, J.; Schwarze, H.; Buchheister, C.: Kontaktauflösende Messung von Druck-, Temperatur- und Spaltweitenverlauf in EHD-Kontakten. In: Tribologie und Schmierungstechnik 48 (2001), Nr. 5, S. 33 ff.
- [5] Knoll, G.; Lagemann, V.; Lechtape-Grüter, R.; Radtke, A.: Simulationsverfahren zum Festkörperkontakt und zur Mikrohydrodynamik rauher Oberflächen. GfT/DGMK-Tribologie-Fachtagung 1997, Band II
- [6] Kopnarski, M.: Application of Microbeam Techniques to Materials Problems in a Service Laboratory. In: Mikrochim. Acta 132, pp 401–410 (2000)
- [7] Wolf, M.: Der Einfluss der Schmierstoffalterung auf das Verschleißverhalten der Tribosysteme im Verbrennungsmotor. Dissertation, TU Clausthal, 2007



#### Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei dem Arbeitskreis „Ölwechsoptimierter Ottomotor“, Nr. 848, der FVV Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e. V. in Frankfurt/Main für die beratende Unterstützung und bei der AIF für die finanzielle Förderung.

Download des Beitrags unter  
[www.MTZ-online.de](http://www.MTZ-online.de)

**MTZ**

Read the English e-magazine.

Order your test issue now:  
SpringerAutomotive@abo-service.info

# Ventilhauben- module



Diese und weitere Produkte und Dienstleistungen von Spezial-Anbietern finden Sie direkt unter

[www.BranchenIndex.de](http://www.BranchenIndex.de)

Die B2B-Suchmaschine für Industrie und Wirtschaft