

AUTOREN



PROF. DR.-ING. HUBERT SCHWARZE
ist Direktor des Instituts für Tribologie und Energiewandlungsmaschinen (ITR) an der Technischen Universität Clausthal.



DR. RER. NAT. LUDWIG BROUWER
ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am ITR der Technischen Universität Clausthal.



PROF. DR.-ING. GUNTER KNOLL
ist Direktor des Instituts für Maschinenelemente und Konstruktionstechnik der Universität Kassel.



DIPL.-ING. CLAUDIO LONGO
ist Oberingenieur am Institut für Maschinenelemente und Konstruktionstechnik der Universität Kassel.



DR.-ING. MICHAEL KOPNARSKI
ist wissenschaftlicher Leiter und Geschäftsführer des Instituts für Oberflächen- und Schichtanalytik GmbH (IFOS) an der Technischen Universität Kaiserslautern.



DR.-ING. STEFAN EMRICH
ist Projektleiter am IFOS an der Technischen Universität Kaiserslautern.

AUSWIRKUNG VON ETHANOL E85 AUF SCHMIERSTOFFALTERUNG UND VERSCHLEISS IM OTTOMOTOR

Die Auswirkung von ethanolhaltigem Kraftstoff auf die Schmierölalterung in Ottomotoren ist bisher kaum untersucht. Das FVV-Forschungsprojekt 930 von TU Clausthal, Universität Kassel und IFOS Kaiserslautern zeigt auf, dass der Betrieb mit E85 die Lebensdauer des Motors verkürzt. Für die Steuerkette als Triboleitsystem erhöht sich die Verschleißrate um 20 %.



1 Einleitung
2 Experimentelle Technik
3 Ergebnisse und Diskussion
4 Zusammenfassung

1 EINLEITUNG

Ethanol wird in zunehmendem Maße Ottokraftstoffen zugesetzt, um durch den Ersatz von fossilen Kraftstoffen durch regenerative Energieträger die CO₂-Bilanz des Kraftverkehrs zu verbessern. Die Auswirkung von ethanolhaltigem Kraftstoff auf die Schmierölalterung ist bisher kaum untersucht. Im Gegensatz zu herkömmlichem Kraftstoff ist Ethanol mit Wasser mischbar und im Schmieröl löslich. Die sehr niedrigen Verschleißgeschwindigkeiten, die mit modernen Schmierstoffen erreicht werden können, beruhen auf komplexen tribochemischen Prozessen unter Beteiligung von Zinkdialkyldithiophosphaten (ZDDP), die im Laborversuch durch sauerstoffhaltige Substanzen beeinträchtigt werden [1, 2]. Potenziell verliert das Öl während des Betriebs durch den Eintrag von Ethanol und Wasser seine verschleißmindernde Wirkung schneller und muss früher ersetzt werden, bevor erhöhter Verschleiß zu irreversiblen Veränderungen an den Oberflächen der Tribosysteme führt. Der Kraftstoffeintrag, der wiederum von der Betriebsweise abhängt, kann zur Hauptursache für die Alterung werden.

Aus Gründen des Umweltschutzes und der Servicefreundlichkeit ist man bestrebt, die Ölwechselintervalle von Kraftfahrzeugen zu optimieren. Wichtige Entwicklungspotenziale liegen in Maßnahmen zur Minderung des Eintrags schädlicher Fremdstoffe in das Motoröl, in einer optimalen Ausnutzung des Schmierstoffs mit Hilfe einer leistungsfähigen Sensorik [3, 4] und in einer Optimierung des Schmierstoffs für den Betrieb mit E85 durch ethanolunempfindlichere Additive. Um diese Potenziale ausschöpfen zu können ist ein fundiertes Verständnis der Wechselwirkungen zwischen dem Kraftstoffeintrag, den Verschleißschutzmechanismen und dem Verschleißverhalten der Tribosysteme unabdingbar. Ziel dieses Beitrags ist, aufzuzeigen

- : welchen Einfluss ethanolhaltiger Kraftstoff E85 auf die Ölalterung hat
- : wie sich E85 auf die Tribosysteme auswirkt
- : wie die Öladditivierung beim Betrieb mit E85 optimiert werden kann
- : wie die Ölsensorik durch E85 beeinflusst wird.

In fünf Prüfstandsversuchen, ❶, mit Serienmotoren werden der Kraftstoff (RON95 und E85) und das Motoröl (Standardöl für E85-Betrieb und Öl mit modifiziertem Additivpaket) bei zwei unterschiedlichen Fahrweisen variiert [10]. Der Heißlauf (CDC, 30 Zyklen von je 8 h) simuliert eine schnelle Autobahnfahrt. Beim Kalt/Heißlauf (WRT) besteht jeder der 45 Zyklen aus 7 h Kaltphase (Stadtverkehr bei tiefen

Temperaturen) und 1 h Heißphase (schnelle Autobahnfahrt). Die Auswirkungen der Schmierstoffalterung auf den Verschleißfortschritt werden mittels Online-Radionuklid-Verschleißmessung verfolgt [5]. Parallel dazu werden mit verschiedenen Sensoren Viskosität, Leitfähigkeit, Kapazität, Permittivität und Temperatur aufgezeichnet.

Während der Testläufe werden in regelmäßigen Abständen Kolben, Pleuel, Pleuellager und Stößel 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 auf der Basis vermessener Oberflächenstrukturen der Zylinderflächen werden die Ursachen für einen Übergang von einem tolerierbaren zu einem hohen Verschleißniveau ermittelt [7]. Der Alterungszustand des Motoröls wird anhand von Ölanalysen wie Basen- und Säurezahl, Viskosität, Gehalt an Verschleiß- und Additivelementen sowie Infrarotspektroskopie bewertet.

2 EXPERIMENTELLE TECHNIK

Die Motorenversuche werden auf einem Prüfstand mit Online-Radionuklid-Verschleißmesstechnik durchgeführt, auf dem Wechselastprogramme einschließlich automatisierter Motorstarts und -stopps rechnergesteuert gefahren werden können. Mit einer Kälteanlage können Kühlmitteltemperaturen bis zu -30 °C realisiert werden. Als Versuchsträger wurde ein Flexfuel-Reihenvierzylinderomotor (Saugrohreinjection, 1,8 l Hubraum, 92 kW bei 6000/min, 164 Nm bei 4500/min) eingesetzt. Einzelheiten zur Prüfstandstechnik und zu den Fahrzyklen CDC und WRT sind in einem früheren Beitrag (MTZ 10, 2008) beschrieben [8, 9, 10].

3 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Im Folgenden werden die Ergebnisse zu Ölalterung, Verschleiß, Vergleich der Heiß- und Kaltläufe und Oberflächenanalytik diskutiert.

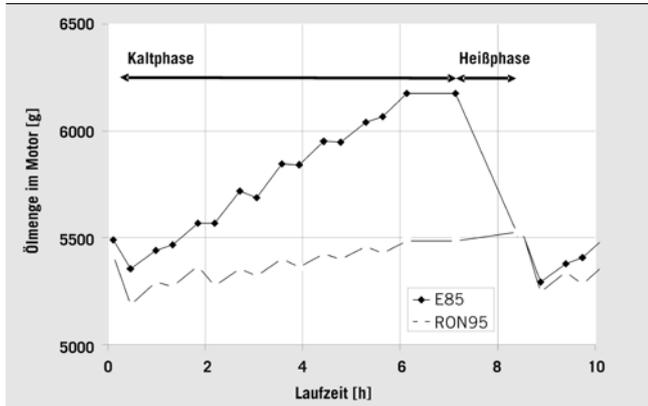
3.1 ÖLALTERUNG

Im kalten Motor können Kraftstoff vor der Verbrennung und Wasser aus dem Abgas im Ansaugtrakt und im Zylinder kondensieren und in den Ölkreislauf gelangen. ❷ zeigt für einen Zyklus eines Kaltlaufs, wie der Füllstand beim Betrieb mit E85 während der Kaltphase kontinuierlich zunimmt, um dann während der Heißphase wieder annähernd auf das Ausgangsniveau zurückzukehren. Im Betrieb mit E85 schwankt die Ölmenge während eines Zyklus um etwa 800 g. Am Ende der Kaltphase enthält das Motoröl etwa 15 % Kraftstoff und Wasser.

Beim Betrieb mit RON95 ist die Variation mit etwa 200 g deutlich geringer. Das Kondensieren von E85-Kraftstoff führt zu einer Zunahme des Verbrauchs Während einer Kaltphase von 6 h werden dadurch

NR.	KÜRZEL	NAME	KRAFTSTOFF	MOTORÖL	FAHRWEISE	BAUTEILENTNAHMEN
1.	CDC 3	Referenz I	RON95	Standard	Heißlauf 250 h	2
2.	WRT 3	Referenz II	RON95	Standard	Kalt/Heiß-Lauf 400 h	3
3.	CDC 4	PV I	E85	Standard	Heißlauf 250 h	2
4.	WRT 4	PV I	E85	Standard	Kalt/Heiß-Lauf 400 h	3
5.	WRT 5	PV II	E85	modifiziert	Kalt/Heiß-Lauf 400 h	3

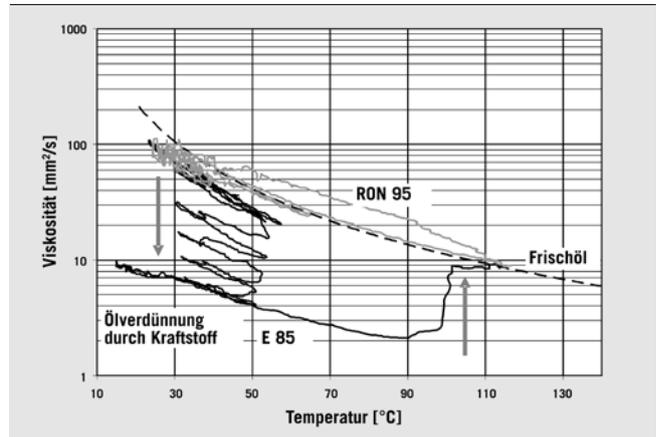
❶ Versuchsprogramm mit fünf Prüfstandsversuchen (PV = Parametervariation)



2 Kraftstoff-Ein- und Austrag während eines Zyklus im Kaltlauf beim Betrieb mit E85 und RON95

17,5 l E85 statt 8,6 l RON95 verbraucht (Der Energieinhalt von 8,6 l RON95 entspricht dem von zirka 13 l E85). Die Differenz findet sich teilweise im Ölkreislauf wieder. An Betriebspunkten mit mäßig hoher Belastung (12 s bei 3800/min, 80 Nm) wird bei einer Absenkung der Kühlmitteltemperatur von 20 auf -10 °C die vierfache Kraftstoffmenge verbraucht, in 12 s werden 0,1 l Kraftstoff eingespritzt und nicht vollständig verbrannt.

Die Dielektrizitätszahlen der Kraftstoffe im Vergleich zum Schmieröl beeinflussen den Verlauf der Permittivität beim Eintrag von Kraftstoff und müssen bei der Bewertung entsprechend berücksichtigt werden. Der Eintrag von E85 führt zu einem Anstieg der relativen Permittivität des Schmieröls von 2,1 auf 4, so dass der Messbereich eines der Sensoren nicht mehr ausreichte. Bei Öltemperaturen unterhalb von etwa 50 °C reichern sich Kraftstoff und Wasser an. Die Permittivität ändert sich auch bei stehendem Motor, wenn das Öl nur durch die Konzentrationsmessanlage umgewälzt wird. Das deutet darauf hin, dass sich aus Kraftstoff, Wasser und Schmieröl temperaturabhängig komplexe Emulsionen unterschiedlicher Zusammenset-

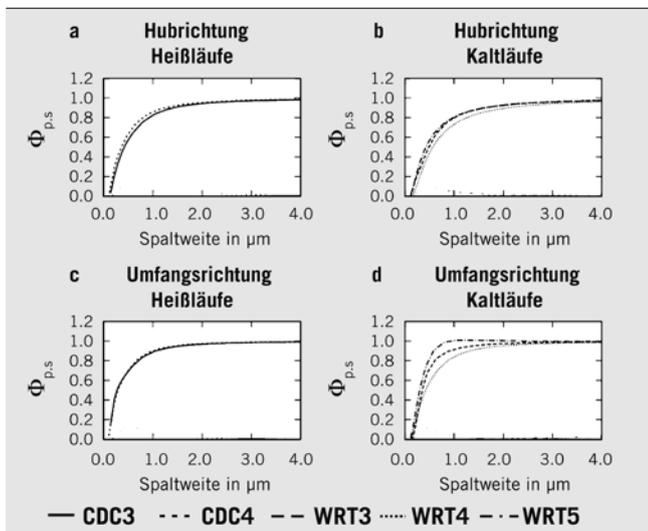


3 Signal des Viskositätssensors während eines Zyklus im Kaltlauf

zung bilden. Ölproben, die am Ende der Kaltphase entnommen werden, sind solche Emulsionen, die sich in eine wässrige Phase und eine Ölphase auftrennen. Bei Temperaturen oberhalb von 50 °C verdampfen Kraftstoff und Wasser, bis bei zirka 100 °C die Permittivität des Motoröls erreicht wird.

Der mit Emulsionsbildung verbundene Betrieb mit E85 beeinträchtigt die Messung der Viskosität beziehungsweise führt zum Ausfall eines der Sensoren nach wenigen Zyklen. 3 zeigt den Viskositätsverlauf im ersten Zyklus des WRT4-Prüflaufs.

Durch den Eintrag von E85-Kraftstoff nimmt die Viskosität des Motoröls bei 40 °C während der Kaltphase von 55 auf 6 mm²/s ab. Wenn die Öltemperatur zu Beginn der Heißphase 90 °C erreicht, fällt die Viskosität auf 2 mm²/s ab, um dann im weiteren Verlauf wieder auf das Ausgangsniveau (10 mm²/s bei 100 °C) zu steigen. Beim Betrieb mit RON95-Kraftstoff sind Viskositätsschwankungen während eines Zyklus deutlich geringer. Dafür fällt die Viskosität, die sich am Ende der Heißphase einstellt, beim herkömmlichen Kraftstoff stärker ab (RON95: 41 mm²/s, E85: 47 mm²/s).



4 Druckfluss- Φ_p und Scherflussfaktoren Φ_s für Zylinderlaufflächen am Ende der Prüfläufe

3.2 VERSCHLEISS

Die Oberflächentopografie der entnommenen Bauteile wurde mit Weißlichtinterferometrie aufgenommen. Bei allen Bauteilen wurde nur ein geringer Verschleiß festgestellt. Es gibt keine Anzeichen für eine irreversible Schädigung der Oberflächen, die zu einer Verschleißprogression führen könnten, was auch durch die Messung der Zylinderprofile bestätigt wird. Im Gegensatz zum zuvor untersuchten Direkteinspritzungsmotor [10] wird bei diesem Motor kein Zwickelverschleiß beobachtet.

Die Auswirkungen einer strukturierten Topografie auf die hydrodynamischen Eigenschaften der Tribokontakte im Vergleich zu einer ideal glatten Oberfläche lassen sich durch Flussfaktoren beschreiben [7]. Druckflussfaktoren Φ_p und Scherflussfaktoren Φ_s wurden für die vermessenen Oberflächen in Abhängigkeit von der Spaltweite berechnet, 4. In der hydrodynamisch relevanten Hubrichtung zeigen sich keine signifikanten Unterschiede in den Flussfaktoren. Bei den Kaltläufen nehmen die Druckflussfaktoren für die Umfangsrichtung in der Reihenfolge WRT5 > WRT3 > WRT4 ab. Da Querriefen zu niedrigeren Druckflussfaktoren führen, deutet dieser Befund auf Unterschiede im Verschleißverhalten hin, die sich jedoch noch nicht auf die hydrodynamischen Eigenschaften der Zylinderoberfläche auswirken.

Der Betrieb mit E85 führt bei kalter Fahrweise zu erhöhter Riefenbildung auf der Zylinderoberfläche, die sich aber durch eine zusätzliche Additivierung kompensieren lässt. 5 zeigt, wie sich die Änderung der Topografie auf die Festkörperreibung der Hauptlager auswirkt. Der Verlauf des Kontaktdruckes im Hauptlager am Ende der Heißläufe (a) weist darauf hin, dass das Lager weitgehend unter hydrodynamischen Bedingungen mit geringem Verschleiß gelaufen ist. Beim Pleuellager am Ende des Heißläufe (c) sowie bei beiden Lagern unter Kaltlaufbedingungen (b und d) wird ein Kontaktdruckverlauf beobachtet, wie er sich typischer Weise einstellt, wenn durch Mischreibung Rauheiten abgetragen worden sind. Im Gegensatz zu den Pleuellagern wirkt sich der Einfluss der Fahrweise deutlich auf die Kontaktdruckentwicklung der Hauptlager aus. Der Einfluss von Kraftstoff und Additivierung ist gering. Tendenziell verringern die zusätzlichen Additive den Verschleiß im Kaltlauf.

Während durch Bauteilentnahmen nur Momentaufnahmen möglich sind, lässt sich das Verschleißgeschehen mit Hilfe der Radionuklidtechnik bis in die einzelnen Phasen des Prüfprogramms aufgelöst verfolgen. 6 zeigt Auswirkungen der Kraftstoffe auf das Verschleißverhalten der Kettenbolzen in den Heißläufen mit RON95 (CDC3) und E85 (CDC4). Dargestellt sind die Kurven für große, ausgefilterte Partikel, für kleine Partikel, die im Ölkreislauf verbleiben, sowie der Gesamtverschleiß, der zusätzlich durch Probenahme, Montageverluste und Ölverbrauch dem System entnommene Partikel berücksichtigt.

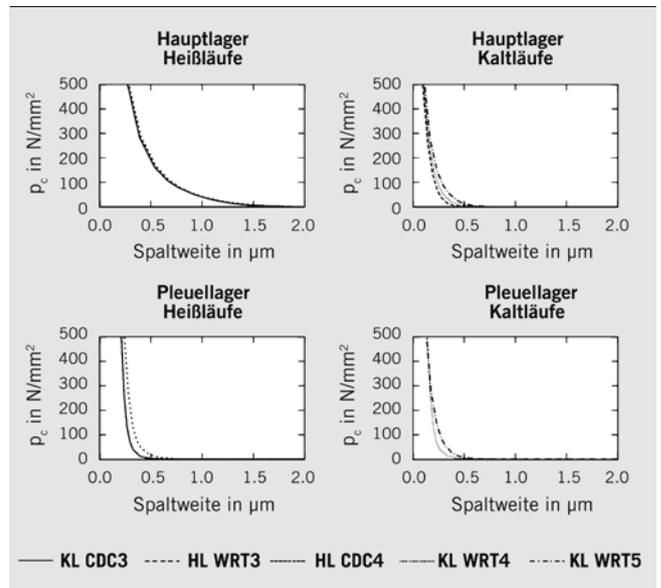
Der erhöhte Einlaufverschleiß geht über in eine konstante Verschleißrate auf niedrigem Niveau. Der Aus- und Einbau der Steuerkette nach 100 h verursacht eine vorübergehende Zunahme der Verschleißrate. Der Betrieb mit E85 führt zu einem verlängerten Einlauf mit höherem Verschleiß und es bilden sich auch nach dem Einlauf große Partikel.

Nachdem bei den Kaltläufen, 7, der Einlauf nach 50 h abgeschlossen ist, stellt sich beim Betrieb mit E85 (WRT4) für den Rest des Prüflaufs eine konstante Verschleißgeschwindigkeit ein, die in den ersten 250 h um etwa 20 % höher ist als beim Betrieb mit RON95 (WRT3). Die zusätzliche Additivierung des Öls in WRT5 bewirkt eine deutliche Verringerung der Verschleißrate während der ersten 250 h. Danach steigt sie auf den Wert an, der beim Standardöl beobachtet wird. Die hohe Verschleißrate beim WRT3 nach 250 h ist wahrscheinlich auf fehlerhafte Kurbelwellenlager zurückzuführen und wird deshalb bei der Bewertung der Ölalterung nicht berücksichtigt.

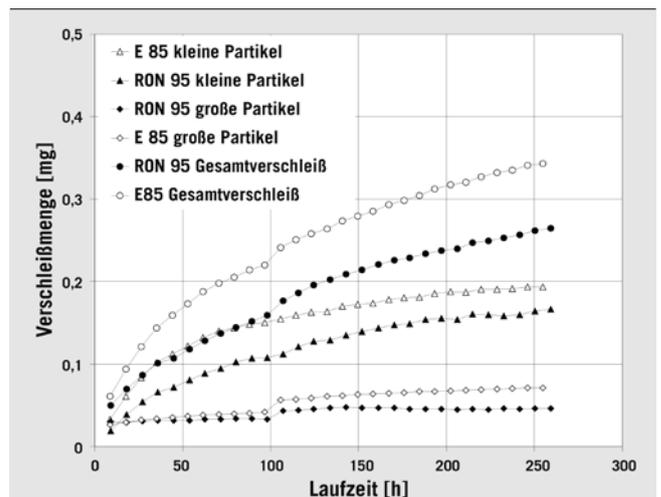
Der hohe Kraftstoffeintrag beim Betrieb mit E85 hat mit einer Zunahme des Verschleißes nach 250 h von 20 % nur einen mäßigen Einfluss auf das Verschleißverhalten. Der Zusatz der Irgalube-Additive (von der Firma Ciba) wirkt sich eindeutig verschleißmindernd aus.

3.3 VERGLEICH DER HEISS- UND KALT-LÄUFE

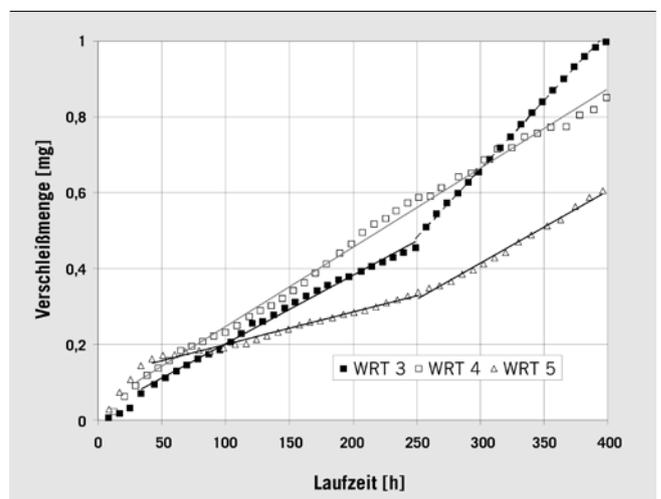
In den Heißläufen ist mit einer auf die Anzahl der Kurbelwellenumdrehungen (KWU) bezogenen Verschleißrate von $2,0 \mu\text{g}/10^6 \text{ KWU}$ (RON95) beziehungsweise $2,4 \mu\text{g}/10^6 \text{ KWU}$ (E85) nach dem Einlauf gerade der Beharrungszustand erreicht, 6. Für die Kaltläufe sind sie um einen Faktor 4 bis 10 größer. Beim Referenzlauf mit RON95 (WRT3) ist nach dem Einlauf vorübergehend eine relativ niedrige Rate von $18,3 \mu\text{g}/10^6 \text{ KWU}$ zu beobachten, die nach 250 Betriebsstunden (= 22 Mio. KWU) deutlich ansteigt. Diese vorübergehende Absenkung stellt sich beim Betrieb mit E85 nicht ein. Nach dem Einlauf wird sofort ein Beharrungszustand mit einer annähernd konstanten Rate von $27,0 \mu\text{g}/10^6 \text{ KWU}$ erreicht. Die zusätzliche Additivierung des Motoröls mit Irgalube TPPT und Irgalube 349 verstärkt die vorübergehende Absenkung der Verschleißrate auf $10,7 \mu\text{g}/10^6 \text{ KWU}$,



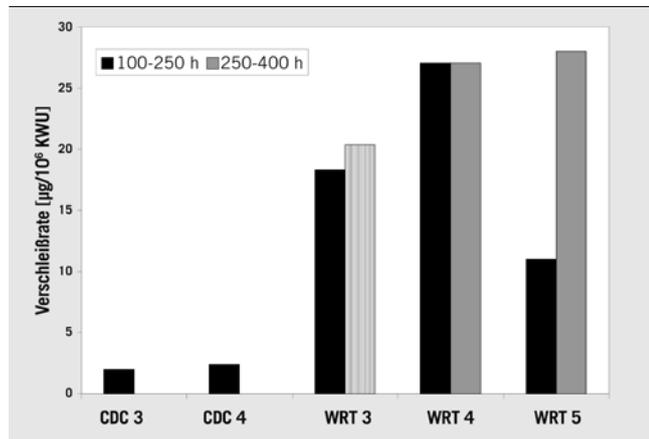
5 Kontaktdrücke p_c für die Haupt- und Pleuellager am Ende der Prüfläufe a bis d



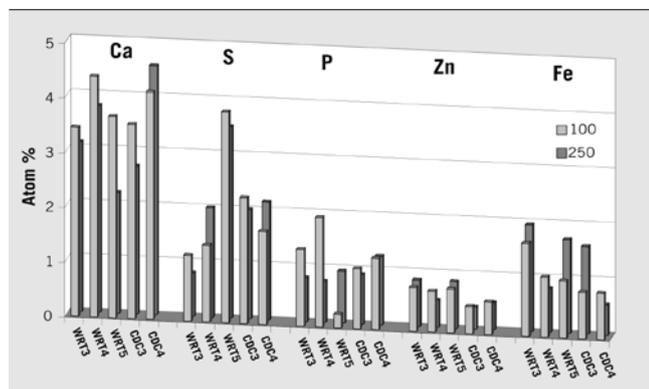
6 Verschleiß der Kettenbolzen beim Heißlauf



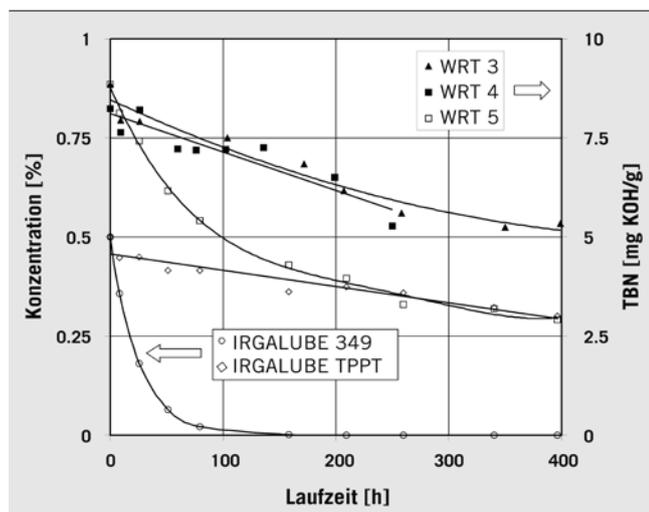
7 Verschleiß der Kettenbolzen beim Kaltlauf



8 Spezifische Verschleißrate



9 Konzentrationen ausgewählter Elemente an der Oberfläche von Kettenbolzen aus Kalt- und Warmläufen mit verschiedenen Kraftstoffen



10 Entwicklung der Basenzahl (TBN) und der Konzentration der Irgalube-Additive während der drei Kaltläufe

bis sie dann am Ende des Prüflaufs auf 29,0 µg/10⁶ KWU ansteigt und etwa den Wert aus dem Lauf mit Standardöl erreicht.

Innerhalb eines Zyklus des Kaltlaufs ist die Verschleißrate am höchsten, wenn zu Beginn der Heißphase die Öltemperatur auf über

80 °C steigt und Kraftstoff verdampft. Unter diesen Bedingungen kann es im Tribokontakt zu erhöhtem Verschleiß durch Kavitationerscheinungen kommen.

Der Verschleiß der Steuerkette ist beim hier eingesetzten Motor mit Saugrohreinspritzung deutlich geringer als beim vergleichbaren Direkteinspritzungsmotor [10]. Ursache dafür kann neben der unterschiedlichen Einspritztechnik auch der Einsatz qualitativ unterschiedlicher Schmieröle sein.

3.4 OBERFLÄCHENANALYTIK

Zur Beurteilung der Auswirkung der Parametervariationen auf das Tribosystem Steuerkette werden verschiedene Oberflächeneigenschaften in tribologisch belasteten Bereichen innerhalb des Kontaktes und tribologisch unbelasteten Bereichen außerhalb der Belastungszonen des Kettenbolzen verglichen. Innerhalb der Verschleißspur zeigen sich Indizien für die Bildung von Reaktionsschichten wie ein höherer elektrischer Übergangswiderstand, größere Härte sowie eine Anreicherung von Elementen wie Calcium Zink, Phosphor und Schwefel im Vergleich mit tribologisch unbelasteten Bereichen in unmittelbarer Nähe.

Im Detail hängen die Oberflächeneigenschaften von der Laufzeit und den Betriebsbedingungen ab. Auf rauen Oberflächen bilden sich Triboschichten nur in den Kontaktzonen der lokalen Festkörperkontakte aus Phosphor, Zink, Schwefel und Calcium, während in den Vertiefungen dazwischen Kohlenstoff (aus dem Schmieröl) angereichert ist. Unter Berücksichtigung einer solchen Strukturierung der Tribokontakte lassen sich für komplexe Verhältnisse wie im Verbrennungsmotor Rückschlüsse über den Aufbau der Verschleißschutzschichten ziehen.

Die charakteristische Zusammensetzung der Tribofilme für Kalt- und Heißlauf, mit RON95 und E85 ist in 9 für Laufzeiten zwischen 100 und 250 h zusammengestellt. Aus dem Vergleich der entsprechenden Fe-Konzentrationen erkennt man, dass die Triboschichten beim Heißlauf stets dicker als beim entsprechenden Kaltlauf sind (Abnahme der Eisenkonzentration entspricht Zunahme der Schichtdicke). Charakteristisch für die mit E85 betriebenen Motorläufe ist, dass verstärkt schwefelhaltige Triboschichten aufgebaut werden, die einen Verschleißschutz gewährleisten können und deren Dicke über die Laufzeit zunimmt.

Die Phosphorkonzentrationen als Indikator für die Polyphosphat-schicht liegen nach 250 h Laufzeit im Kaltbetrieb mit E85 stets unter den entsprechenden Werten für die Prüfläufe mit RON95. Offenbar beeinflusst der Alkohol im Kraftstoff also die Art der gebildeten Tribofilme und bevorzugt mit zunehmender Laufzeit die Bildung von Sulfid- oder Schwefeloxidschichten, die aber weniger verschleißfest als die Polyphosphatschichten sind, 10, die durch triboinduzierte Prozesse aus den ZDDP-Additivzusätzen des Motoröls gebildet werden. Hohe Calciumkonzentrationen in den Prüfläufen mit E85 wirken sich vergleichsweise negativ auf die Verschleißbeständigkeit aus, weil bekanntermaßen Calcium Zink in der Polyphosphatstruktur substituiert [11].

Quelle für Phosphor, Zink und Schwefel sind Zinkdialkyldithiophosphate (ZDDP), die sich über verschiedene Zwischenstufen im Tribokontakt in Polyphosphate umformen. Es ist bekannt, dass sauerstoffhaltige Verbindungen (Ethanol, Wasser) diesen Prozess beeinträchtigen. Ansatzpunkt für eine Optimierung war deshalb, Phosphor und Schwefel durch andere Substanzen zur Verfügung zu stellen, die weniger empfindlich auf Alkohol und Wasser reagieren. Ausgewählt wurden Irgalube TPPT und Irgalube 349, die in verschiedenen Tests eine verschleißmindernde Wirkung und in der Kombination einen Synergieeffekt gezeigt haben.

Technisch-wissenschaftliche Zeitschrift für das Gesamtgebiet der Verbrennungskraftmaschinen

Gegründet 1939 von Prof. Dr.-Ing. E. h. Heinrich Buschmann und Dr.-Ing. E. h. Prosper L'Orange

Organ des Fachverbands Motoren und Systeme im VDMA, Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V., Frankfurt/Main, für die Fachgebiete Verbrennungsmotoren und Gasturbinen
Organ der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e. V. (FVV)
Organ der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Kraftfahrzeug- und Motorentechnik e. V. (WKM)
Organ des Österreichischen Vereins für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK)
Zusammenarbeit mit der STG, Schiffbautechnischen Gesellschaft e. V., Hamburg, auf dem Gebiet der Schiffsantriebe durch Verbrennungskraftmaschinen

04 | 2010 – April 2010 – 71. Jahrgang

Springer Automotive Media | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Postfach 15 46 · 65173 Wiesbaden · Abraham-Lincoln-Straße 46 · 65189 Wiesbaden
Amtsgericht Wiesbaden, HRB 9754, USt-IdNr. DE811148419

Geschäftsführer Dr. Ralf Birkelbach (Vors.), Armin Gross, Albrecht Schirmacher | **Gesamtleitung Anzeigen und Märkte** Armin Gross
Gesamtleitung Marketing Rolf-Günther Hobbeling | **Gesamtleitung Produktion** Christian Staral | **Gesamtleitung Vertrieb** Gabriel Göttinger



ISSN 0024-8525

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT

Prof. Dr.-Ing. Michael Bargende
Universität Stuttgart

Prof. Dr. techn. Christian Beidl
TU Darmstadt

Dr.-Ing. Ulrich Dohle
Tognum AG

Dipl.-Ing. Wolfgang Dürheimer
Dr. Ing. h. c. F. Porsche AG

Dr. Klaus Egger

Dipl.-Ing. Dietmar Goericke
Forschungsvereinigung
Verbrennungskraftmaschinen e.V.

Prof. Dr.-Ing. Uwe-Dieter Grebe
GM Powertrain

Dipl.-Ing. Thorsten Herdan
VDMA-Fachverband Motoren
und Systeme

Prof. Dr.-Ing. Heinz K. Junker
Mahle GmbH

Prof. Dr. Hans Peter Lenz
ÖVK

Prof. Dr. h. c. Helmut List
AVL List GmbH

Prof. Dr.-Ing. Stefan Pischinger
FEV Motorentechnik GmbH

Prof. Dr. Hans-Peter Schmalz
APC – Advanced Propulsion
Concepts Mannheim GmbH

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert
TU Braunschweig

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Spicher
WKM

HERAUSGEBER

Dr.-Ing. E. h. Richard van Basshuysen
Wolfgang Siebenpfeiffer

REDAKTION

CHEFREDAKTEUR

Johannes Winterhagen (win)
tel +49 611 7878-342 · fax +49 611 7878-462
johannes.winterhagen@springer.com

STELLVERTRETENDER CHEFREDAKTEUR

Dipl.-Ing. Michael Reichenbach (rei)
tel +49 611 7878-341 · fax +49 611 7878-462
michael.reichenbach@springer.com

CHEFIN VOM DIENST

Kirsten Beckmann M. A. (kb)
tel +49 611 7878-343 · fax +49 611 7878-462
kirsten.beckmann@springer.com

RESSORTS

Elektrik, Elektronik
Markus Schöttle (scho)
tel +49 611 7878-257 · fax +49 611 7878-462
markus.schoettle@springer.com

Getriebe, Forschung
Dipl.-Ing. Michael Reichenbach (rei)
tel +49 611 7878-341 · fax +49 611 7878-462
michael.reichenbach@springer.com

Motor
Dipl.-Ing. (FH) Moritz-York von Hohenthal (mvh)
tel +49 611 7878-278 · fax +49 611 7878-462
moritz.von.hohenthal@springer.com

Nutzfahrzeugtechnik
Ruben Danisch (rd)
tel +49 611 7878-393 · fax +49 611 7878-462
ruben.danisch@springer.com

Online
Dipl.-Ing. (FH) Caterina Schröder (cs)
tel +49 611 7878-190 · fax +49 611 7878-462
caterina.schroeder@springer.com

Produktion, Werkstoffe
Stefan Schlott (hlo)
tel +49 8191 70845 · fax +49 8191 66002
Redaktion_Schlott@gmx.net

Service, Veranstaltungskalender
Martina Schraad (mas)
tel +49 611 7878-276 · fax +49 611 7878-462
martina.schraad@springer.com

STÄNDIGE MITARBEITER

Richard Backhaus (rb), Christian Bartsch (cb),
Dipl.-Reg.-Wiss. Caroline Behle (beh), Prof. Dr.-Ing.
Peter Boy (bo), Prof. Dr.-Ing. Stefan Breuer (sb),
Jörg Christoffel (jc), Jürgen Grandel (gl),
Ulrich Knorra (kno), Prof. Dr.-Ing. Fred Schäfer (fs),
Roland Schedel (rs), Bettina Seehawer (bs)

REDAKTIONSANSCHRIFT

Abraham-Lincoln-Straße 46 · 65189 Wiesbaden,
redaktion@ATZonline.de

ABONNEMENTS

VVA-Zeitschriftenservice, Abt. D6 F6, MTZ
Postfach 77 77, 33310 Gütersloh
Renate Vies
tel +49 5241 80-1692 · fax +49 5241 80-9620
SpringerAutomotive@abo-service.info

MARKETING | SONDERDRUCKE

PRODUKTMANAGEMENT AUTOMEDIEN

Sabrina Brokopp
tel +49 611 7878-192 · fax +49 611 7878-407
sabrana.brokopp@springer.com

SONDERDRUCKE

Martin Leopold
tel +49 2642 9075-96 · fax +49 2642 9075-97
leopold@medien-kontor.de

ANZEIGEN

ANZEIGENLEITUNG

Britta Dolch
tel +49 611 7878-323 · fax +49 611 7878-140
britta.dolch@gwv-media.de

KEY ACCOUNT MANAGEMENT

Elisabeth Maßfeller
tel +49 611 7878-399 · fax +49 611 7878-140
elisabeth.massfeller@gwv-media.de

ANZEIGENVERKAUFSLEITUNG

Sabine Röck
tel +49 611 7878-269 · fax +49 611 7878-140
sabine.roeck@gwv-media.de

ANZEIGENVERKAUF

Frank Nagel
tel +49 611 7878-395 · fax +49 611 7878-140
frank.nagel@gwv-media.de

ANZEIGENDISPOSITION

Susanne Bretschneider
tel +49 611 7878-153 · fax +49 611 7878-443
susanne.bretschneider@gwv-media.de

ANZEIGENPREISE

Es gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 53 (10/2009)

PRODUKTION | LAYOUT

Heiko Köllner
tel +49 611 7878-177 · fax +49 611 7878-464
heiko.koellner@springer.com

DRUCK UND VERARBEITUNG

Kliemo, Eupen/Belgien.
Gedruckt auf säurefreiem und chlorarm
gebleichten Papier.
Printed in Europe.

IHR DIREKTER DRAHT ZUR MTZ

Redaktion
☎ +49 611 7878-278
Leserservice
☎ +49 611 7878-151
Anzeigen
☎ +49 611 7878-395

BEZUGSBEDINGUNGEN

Die Zeitschrift erscheint 11 Mal jährlich (zuzüglich mindestens fünf Sonderhefte) zum Jahresabonnementspreis von 224 €. Studentenvorzugspreis bei Nachweis durch aktuelle Immatrikulationsbescheinigung 85 €. Vorzugspreis für VDI/ÖVK/VKS-Mitglieder bei Nachweis durch aktuelle Mitgliedsbescheinigung 160 €. Vorzugspreis für studierende VDI/ÖVK/VKS-Mitglieder durch aktuelle Immatrikulations- und Mitgliedsbescheinigung 49 €. Einzelbezugspreis 26 €. Alle Preise gelten zuzüglich Versandkosten (Jahresabonnement: Inland 23 €; Ausland 38 €; AirMail 116 €). Der Bezug des Abonnements kann jederzeit zur nächst erreichbaren Ausgabe schriftlich mit Nennung der Kundennummer abbestellt werden.

HINWEISE FÜR AUTOREN

Alle Manuskripte sind direkt an die Redaktion zu richten. Durch das Einsenden von Fotografien und Zeichnungen stellt der Absender den Verlag von Ansprüchen Dritter frei. Grundsätzlich werden nur solche Arbeiten angenommen, die vorher weder im Inland noch im Ausland veröffentlicht worden sind. Die Manuskripte dürfen auch nicht gleichzeitig anderen Blättern zum Abdruck angeboten werden. Mit der Annahme des Manuskripts erwirbt der Verlag das Recht der honorarfreien Anfertigung von Sonderdrucken. Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages vervielfältigt oder verbreitet werden. Unter dieses Verbot fällt insbesondere die gewerbliche Vervielfältigung per Kopie, die Aufnahme in elektronische Datenbanken und die Vervielfältigung auf CD-ROM und allen anderen elektronischen Datenträgern.

© Springer Automotive Media | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden 2010

Springer Automotive Media ist eine Marke von Springer Fachmedien. Springer Fachmedien ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

Die Zugabe der Additive bewirkt im Kaltlauf beim Betrieb mit E85 eine Absenkung des Calciumgehalts etwa auf das Niveau von WRT3. Der Schwefelanteil ist höher als bei allen anderen Prüfläufen. Der Phosphorgehalt bleibt deutlich geringer solange Irgalube 349 vorhanden ist, dass innerhalb von 100 h vermutlich durch basische (Total base number (TBN) aktive) Calciumverbindungen abgebaut wird, während Irgalube TPPT nur auf 65 % der Ausgangskonzentration abnimmt. Entsprechend fällt die TBN zu Beginn dieses Prüflaufs stärker als in den anderen beiden Kaltläufen, 10. Offenbar besteht die Wirkung von Irgalube 349 darin, dass es mit basischen Calciumverbindungen reagiert und dabei die basische Reserve des Öls abbaut.

Der Calciumgehalt in der belasteten Oberfläche ist beim Prüflauf mit modifiziertem Schmieröl deutlich reduziert, obwohl er außerhalb der Belastungszone in allen drei Läufen gleich ist. Der negative Einfluss von Calcium auf die Verschleißbeständigkeit der Polyphosphatstruktur kommt weniger zum Tragen. Die zusätzliche Additivierung sollte sich deshalb auch beim Betrieb mit herkömmlichen Kraftstoffen verschleißmindernd auswirken. Da sich offenbar basische Calciumverbindungen und Irgalube 349 in ihrer Wirkung neutralisieren, ist eine Verlängerung der Lebensdauer nur bei relativ kurzen Ölwechselintervallen zu erwarten.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Nach den hier von der Technische Universität Clausthal, der Universität Kassel und IFOS Kaiserslautern vorgestellten Untersuchungen ist damit zu rechnen, dass der Betrieb mit E85 die Lebensdauer des Motors verkürzt. Für die Steuerkette als Triboleitsystem erhöht sich die Verschleißrate um 20 %. Dies ist das Resultat von Einzelmessungen; eine statistische Absicherung war nicht vorgesehen und hätte den Rahmen des Projekts gesprengt.

Am Beginn der Wirkkette, die zu erhöhtem Verschleiß führt, steht der Eintrag von Kraftstoff in das Schmieröl mit folgenden Konsequenzen:

- : Aus Schmieröl, Kraftstoff und Wasser bildet sich eine komplexe Emulsion, in der verstärkt Wirkstoffe aus dem Öl ausgewaschen und Schadstoffe in das Öl übergehen können.
- : Ein hoher Kraftstoffgehalt im Motoröl führt zu einer extrem niedrigen Viskosität. Bei dadurch bedingt ohnehin dünnen Schmierfilmen kann es zusätzlich zu Kavitation durch schnell verdampfenden Kraftstoff kommen.
- : Der Eintrag sauerstoffhaltiger Substanzen beeinträchtigt den Aufbau von Verschleißschutzschichten. Zwar sind Phosphor, Schwefel und Zink an der Oberfläche vorhanden, aber offenbar nicht in der Form, dass sie sich im Tribokontakt in ausreichendem Maße in Polyphosphatschichten umwandeln können.
- : Die eingesetzte Ölsensorik wird durch den Eintrag von Ethanol und Wasser sowie durch die Emulsionsbildung beeinträchtigt. Wenn unter solchen Bedingungen die Ölsensoren nicht völlig versagen, müssen zumindest die Signale beim Betrieb mit Ethanol neu interpretiert werden.

Die Untersuchung identifiziert die Betriebspunkte mit hohem Kraftstoffeintrag einerseits und für erhöhten Verschleiß andererseits und zeigt damit Ansatzpunkte für Abhilfemaßnahmen durch konstruktive Änderungen, Motormanagement oder Fahrweise auf. Auf Basis der Befunde der Öl- und Oberflächenanalytik wurde die Formulierung des Schmieröls mit einer Kombination von zwei synergetisch wirkenden AW/EP-Additiven ergänzt. Durch sie kann der Verschleiß deut-

DANKE

Die Autoren bedanken sich bei der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e. V. (FVV) für die finanzielle Förderung und bei dem Arbeitskreis „Ölwechseloptimierter Ottomotor“ und ihrem Obmann Dr.-Ing. Ulrich Müller-Frank, APL Prüftechnik Landau, für die beratende Unterstützung.

lich reduziert werden. Wegen unerwünschter Wechselwirkungen mit basischen Inhaltsstoffen ist es allerdings nicht unproblematisch, diese Additive in eine Formulierung zu integrieren. Wenn dies gelingt, ist ein vorzeitiger Ölwechsel aufgrund des Betriebs mit E85 nicht mehr notwendig.

Der Verschleiß der Steuerkette ist zu gering, als dass er sich innerhalb der Laufzeit der Prüfstandsversuche kritisch auf die Steuerzeiten auswirken würde. Mit Hilfe von radioaktiv markierten Bauteilen und hochempfindlicher Oberflächenanalytik können Veränderungen im Verschleißverhalten erfasst werden, lange bevor sie sich auf die Performance des Motors auswirken. Ergebnisse zur Bildung von Reaktionsschichten aus Laborversuchen unter wohl definierten Bedingungen findet man im Ansatz auch unter den komplexen Verhältnissen im Motor bestätigt.

LITERATURHINWEISE

- [1] Canning, G. W.; Suominen Fuller, M. L.; Bancroft, G. M.; Kasrai, M.; Cutler, J. N.; De Stasio, G.; Gilbert, B.: Spectromicroscopy of Tribological Film from Engine Oil Additives. Part I: Films from ZDDP's. In: Tribology Letters (1999), No. 6, p. 159
- [2] Hu, X.: Study of Friction and Wear Performance of Zinc Dialkyldithiophosphate in the Presence of Trace Ketone. In: Tribology Letters (2002), No. 12, p. 67
- [3] Warnecke, W.; et al.: Belastungsgerechte Ölwartung mit Assyst. In: MTZ 59 (1988), Nr. 7/8, S. 414
- [4] Kaden, H.; Fichtner, W.; Ahlborn, K.: Sensorik zur Online-Messung von Schmieröleigenschaften. In: MTZ 61 (2000), Nr. 3, S. 164
- [5] Scherge, M.; Kehrwald, B.; Gervé, A.: Tribologie und Motormechanik. In: MTZ 63 (2002), Nr. 3, S. 202-210
- [6] Kopnarski, M.: Application of Microbeam Techniques to Materials Problems in a Service Laboratory. In: Mikrochim. Acta 132 (2000), pp. 401-410
- [7] Knoll, G.; Lagemann, V.; Lechtape-Grüter, R.; Radtke, A.: Simulationsverfahren zum Festkörperkontakt und zur Mikrohydrodynamik rauher Oberflächen. In: Tagungsband, Band II, Tribologie-Fachtagung der GIT/DGMK, 1997
- [8] Schwarze, H.; Knoll, G.; Kopnarski, M.; Brouwer, L.; Wolf, M. Schlerege, F.; Emrich, S.: Untersuchung des Einflusses der Schmierstoffalterung auf das Verschleißverhalten der Tribosysteme im Ottomotor bei verlängerten Ölwechselintervallen. Heft 837, Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e. V. (FVV), Frankfurt am Main, 2007
- [9] Wolf, M.: Der Einfluss der Schmierstoffalterung auf das Verschleißverhalten der Tribosysteme im Verbrennungsmotor. Dissertation, TU Clausthal, 2007
- [10] Schwarze, H.; Müller-Frank, U.; Brouwer, L.; Kopnarski, M.; Knoll, G.; Emrich, S.; Schlerege, F.: Ölalterung und Verschleiß im Ottomotor. In: MTZ 69 (2008), Nr. 10, S. 878-886
- [11] Wan, Y.; Kasrai, M.; Bancroft, G. M.: X-ray Absorption Study of Tribofilms from ZDDP and Overbased Salicylate Detergents. In: Chinese Chemical Letters 20 (2009), pp. 119-122



DOWNLOAD DES BEITRAGS
www.MTZonline.de



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

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



HAW HAMBURG Wissen fürs Leben

Die Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg ist die größte praxisorientierte Hochschule im Norden mit vier Fakultäten: Design, Medien und Information; Life Sciences; Technik und Informatik; Wirtschaft und Soziales. Wir bieten zukunftsorientierte Hochschulausbildung auf hohem Niveau, Interdisziplinarität in Lehre und anwendungsorientierter Forschung, ausgeprägten Bezug zur Praxis, gelebte Internationalität: HAW Hamburg – Wissen fürs Leben.

An der HAW Hamburg ist an der Fakultät Technik und Informatik im Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau folgende Stelle zu besetzen:

Professur W2: „Konstruktion und Berechnung in der Motorentwicklung“

Kennziffer: 1604-06

Wir suchen eine Persönlichkeit, die das Gebiet „Konstruktion und Berechnung in der Motorenentwicklung“ in Lehre und Forschung kompetent vertreten kann. Die Bewerberin/der Bewerber hat im 1. Studienabschnitt der Bachelorstudiengänge Fahrzeugbau und Flugzeugbau Technische Mechanik zu lehren. Im 2. Studienabschnitt sollen die Gebiete der Finite-Elemente-Methode, Motorkonstruktion und -berechnung vertreten werden. Diese Lehrgebiete sollen im konsekutiven Masterstudium vertieft werden.

Von der Bewerberin/dem Bewerber wird erwartet, dass sie/er über praktische Berufserfahrungen auf dem Gebiet der Motorkonstruktion verfügt.

Weitere Informationen zur fachlichen Ausrichtung der Stelle gibt Ihnen Prof. Dr. Hanno Ihme-Schramm (Tel.: +49.173.2379286, E-Mail: hanno.ihme-schramm@haw-hamburg.de).

Hinweise:

Alle Bewerberinnen und Bewerber werden gebeten, ihren Unterlagen eine Kurzübersicht der persönlichen Daten beizufügen. Hierfür finden Sie unter: <http://www.haw-hamburg.de/stellenmarkt.html> ein ausfüllbares Formular und ein Muster.

Von unseren Professorinnen und Professoren erwarten wir

- die Bereitschaft, im Zuge künftiger Entwicklung der HAW Hamburg, ihr Fachgebiet auch in anderen Fakultäten/Einrichtungen der Hochschule zu vertreten,
- die Bereitschaft und die Fähigkeit, Lehre auch in englischer Sprache anzubieten,
- profunde praktische Berufserfahrung auf den genannten Fachgebieten,
- die besondere Befähigung zu wissenschaftlicher Arbeit (in der Regel nachgewiesen durch eine qualifizierte Promotion),
- die Mitwirkung bei der Ausarbeitung und Durchführung von Weiterbildungsangeboten,
- die Beteiligung an anwendungsbezogenen Forschungs- und Entwicklungsaufgaben,
- die Mitwirkung am Austausch mit unseren internationalen Partnerhochschulen,
- die Bereitschaft zur Mitarbeit in den Selbstverwaltungsgremien der HAW Hamburg,
- eine hochschulnahe Wahl des Wohnsitzes.

Für die Einstellung als Professorin/Professor gelten neben den allgemeinen dienstrechtlichen Voraussetzungen die Einstellungsbedingungen nach § 15 Abs. 1–6 des Hamburgischen Hochschulgesetzes (HmbHG), nachzulesen auf unserer Internetseite unter www.haw-hamburg.de/stellenmarkt.html.

Neben dem Grundgehalt der Besoldungsgruppe W2 ist eine Gewährung von Leistungsbezügen nach der Leistungsbezüge-Richtlinie der HAW Hamburg (als Download unter www.haw-hamburg.de/stellenmarkt.html) möglich, die mit dem Präsidenten ausgehandelt werden kann. Weiterhin besteht die Möglichkeit der Gewährung einer Zulage über Drittmittelerwerbungen.

In das Beamtenverhältnis kann berufen werden, wer das 50. Lebensjahr zum Zeitpunkt der Berufung noch nicht vollendet hat, ansonsten erfolgt die Beschäftigung im Angestelltenverhältnis.

Die HAW Hamburg trifft Personalentscheidungen nach Eignung, Befähigung und fachlicher Leistung. Schwerbehinderte Bewerber/innen haben gesetzlichen Vorrang und werden bei gleicher Qualifikation bevorzugt behandelt.

Die HAW Hamburg strebt die Erhöhung des Frauenanteils an und fordert daher Wissenschaftlerinnen ausdrücklich zur Bewerbung auf. Für Rückfragen wenden Sie sich bitte unter Tel.: +49.40.428 75-9060 an die Gleichstellungsbeauftragte der HAW Hamburg.

Dienstrechtliche Informationen erhalten Sie vom Personalservice unter Tel. +49.40.428 75-9056/-9066 bzw. -9084.

Die HAW Hamburg legt besonderen Wert auf die Qualität der Lehre. Bewerberinnen und Bewerber werden gebeten, aussagefähige Unterlagen zur Lehrerfahrung ihrer Bewerbung beizufügen.

Ihre Bewerbungsunterlagen senden wir Ihnen gerne zurück, wenn Sie einen frankierten Rückumschlag beilegen.

Bitte senden Sie Ihre Bewerbung bis zum **12. April 2010** unter Nennung der Kennziffer an:

**Hochschule für Angewandte
Wissenschaften Hamburg
Der Präsident
Kennziffer: 1604-06
Berliner Tor 5
20099 Hamburg**



Fotos: A. Gabriel-Jürgens