

Auswirkungen der Regeneration von Dieselpartikelfiltern auf die Schmierstoffqualität

Mit Partikelfiltern lassen sich die Ruß- und Partikelemissionen eines Dieselmotors deutlich reduzieren. Die Regeneration des Filters durch Oxidation des filtrierte Rußes wird dabei unter anderem durch Nacheinspritzung unterstützt. Die IAV hat experimentelle Ergebnisse zu Funktionalität und Einsatzbereich für zwei typische Schmierstoffformulierungen unter dem Aspekt der Schmierölverdünnung betrachtet. Dabei stehen die Beeinflussung der chemisch-physikalischen Eigenschaften sowie deren funktionale Auswirkungen im Vordergrund.

1 Einleitung

Zur Einhaltung künftiger Abgasvorschriften für die Partikel- sowie die Stickoxidemissionen von Dieselmotoren sind Regenerierungsmaßnahmen notwendig. Diese Verfahren regenerieren als kontinuierlich oder diskontinuierlich arbeitende Systeme. Derzeit kommen dabei vorrangig aktive Systeme zum Einsatz, die eine zusätzliche Wärmezufuhr benötigen, jedoch auch teilweise passive Verfahren, die in der Regel katalytische Effekte nutzen [1].

Neben der Herausforderung, in allen Betriebsbereichen eine ausreichende Regenerierungstemperatur zu besitzen, stellt vor allem die Verdünnung des Schmierstoffes durch Kraftstoffeintrag ein Problem dar. Bild 1 stellt eine Mehrfach-Einspritz-Strategie bis zur vollständigen Oxidation des filtrierte Rußes dar. Die durch die Nacheinspritzung bis zum Rußabbrand kondensierten HC-Fraktionen verdünnen über die Kolbenring-Liner-Gruppe den Schmierstoff im Ölsumpf. Auftretende Schmierstoffverdünnungen bis 10 % entsprechend vorliegendem Regenerierungs-Mode sind bekannt und größtenteils akzeptabel [2].

Über Untersuchungen und Ergebnisse zur Regenerierung von Dieselpartikelfiltern bei unterschiedlichen Schmierstoffqualitäten, die bei der IAV GmbH durchgeführt wurden, wird nachfolgend berichtet.

2 Laboruntersuchungen

Die Auswirkungen der Regeneration werden vorrangig als Veränderung des kinematischen beziehungsweise dynamischen Viskositätsverhaltens angegeben. Zusätzlich bestehen jedoch noch Einflussnahmen auf die Partikelzusammensetzung sowie die sich einstellende Oberflächenspannung des Schmierstoffes.

Es wurden zwei aktuelle Schmierstoffqualitäten der Viskositätsbereiche SAE 10W-40 (Hydrocracköl) sowie SAE 5W-30 (Polyalphaolefin/PAO) geprüft. Beide Qualitäten sind aschearme Öle. Bild 2 zeigt die prozentuale dynamische Viskositätsänderung der beiden Grundöl-Formulierungen infolge Verunreinigungen durch Kraftstoff, Wasser und Ruß. Dabei zeigt sich sowohl für die mineralölbasierte als auch für die synthetische Formulierung ein tendenziell ähnliches Verhalten. Derartige Verhältnisse wurden unter anderem auch in [3] und [4] dokumentiert. Im betriebsrelevanten Temperaturbereich treten Veränderungen der Viskosität von bis zu 20 % je nach Dieseldieselkraftstoffzusammensetzung auf. Dabei nehmen die leichtflüchtigen Fraktionen aus konventionellem Dieseldieselkraftstoff, Bild 2a, stärker Einfluss als Dieseldieselkraftstoff, der thermischen Belastungen ausgesetzt war, Bild 2b. Ähnlich stellt sich dies auch bei Verwendung sauerstoffhaltiger Kraftstoffkomponenten aus Beimischung von bei-

Der Autor



Dipl.-Ing. Klaus Herrmann ist Teamleiter im Bereich Grundmotor/Getriebe im Geschäftsbereich Entwicklung Powertrain der IAV GmbH in Chemnitz.

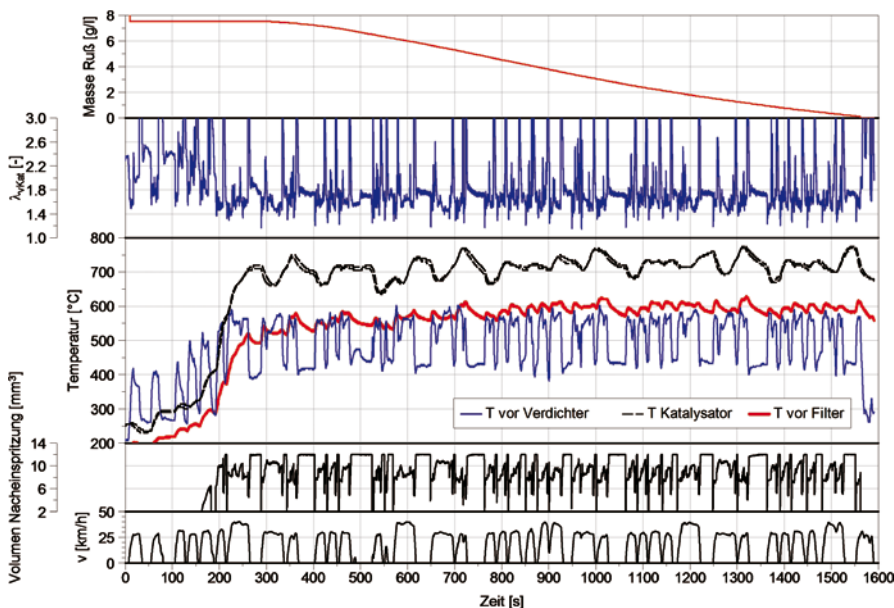


Bild 1: Regeneration mittels Mehrfach-Nacheinspritzungs-Mode

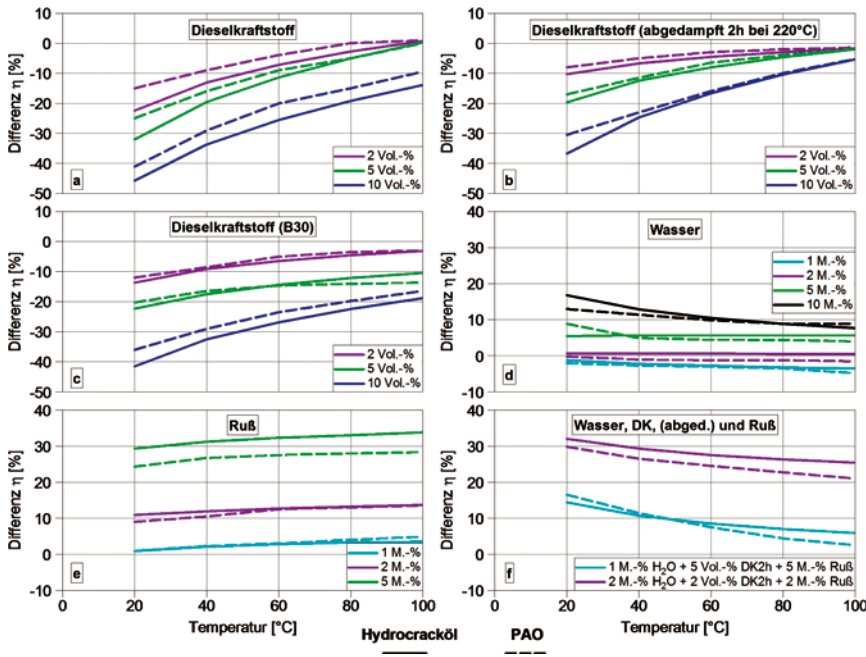


Bild 2: Einfluss von Verunreinigungen auf das Viskositätsverhalten zweier Grundölformulierungen

spielsweise pflanzlichen Ölen dar, Bild 2c. Da jedoch ebenfalls Ruß, unter bestimmten Randbedingungen aber auch Wasserbestandteile den Schmierstoff kontaminieren, Bilder 2d und 2e, ergeben sich im motorischen Betrieb als Langzeitverhalten meist höhere Viskositäten. Im motortypischen Gesamtprofil stellt sich dabei der Betrieb bei niedrigen Temperaturen und erhöhten Wassergehalten gegenüber Hochlastbetrieb als bedeutsamer heraus, Bild 2f. Mineralölbasierte Formulierungen zeigen mit bis zu 25 % höhere Viskositätsänderungen als synthetische Grundölformulierungen.

3 Prüfstands- und Fahrzeuguntersuchungen

Entsprechend der Regenerationsstrategie entstehen differente Beeinflussungen infolge des Kraftstoffeintrages. Bild 3 kennzeichnet beispielhaft die Viskositätsänderung bei einer Einfach- gegenüber einer Mehrfach-Nacheinspritzung. Dabei erhöht sich der Kraftstoffeintrag infolge eines niedrigeren Temperaturniveaus im Brennraum bei der Mehrfach-Nacheinspritzung gegenüber einer massегleichen Einfach-Nacheinspritzung [2].

Nachfolgend beschriebene Untersuchungen stellen Ergebnisse bei der Re-

generationsstrategie mit Einfach-Nacheinspritzung für zwei unterschiedliche Schmierstoffqualitäten bei gleichem Schmierstoffvolumen dar. Bei der verwendeten Kraftstoffqualität handelt es sich um konventionelles Dieselöl. Bild 4 dokumentiert hierbei die Ergebnisse eines Fahrprofils, das auf einem Motorprüfstand nachgefahren wurde. Dargestellt sind die Viskosität bei einer be-

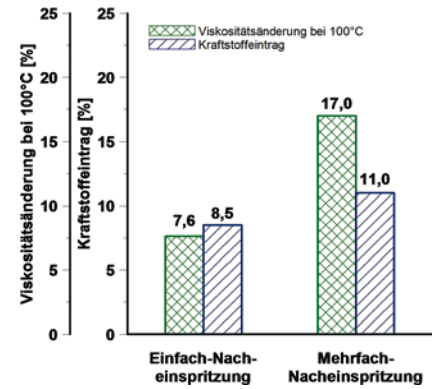


Bild 3: Schmierstoffverdünnung bei unterschiedlichen Regenerierungsstrategien

triebsnahen Temperatur von 100 °C, der basische Restschmierstoffanteil, charakteristische Verschleißelemente mit den ölvolumen-bezogenen Limitwerten sowie die Bewertung des Schmierstoffzustandes. Der Schmierstoff zeigt dabei unabhängig vom Regenerationsverhalten eine Viskositätszunahme mit Korrelation zur Ölalterung. Besonders die prüfstandsbedingte, höhere thermische Belastung lässt die Festlegung von Ölwechselintervallen kritisch erscheinen. Synthetische Öle können infolge ihrer verbesserten thermischen Beständigkeit gegenüber mineralölbasierten Formulierungen ein bis zu 25 % verlängertes Ölwechselin-

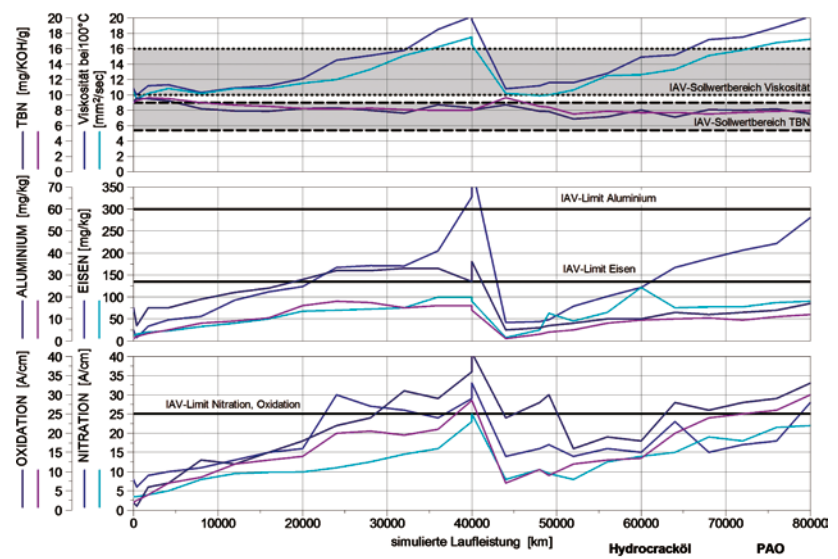


Bild 4: Schmierstoffparameterbeeinflussung in der Motorenprüfung während eines auf dem Motorprüfstand simulierten Fahrprofils

BERU PSG-Glühkerze (mit integriertem Brennraumsensor): zukunftsweisend in der Emissionsreduktion

- Zuverlässige Messung des Brennraumdrucks unter Serienbedingungen
- Hohe Genauigkeit und Langzeitstabilität
- Ermöglicht erstmals den Serieneinsatz von Closed-Loop-Regelungen im Dieselmotor
- Druckmesselemente ohne direkten Brennraumkontakt
- Trägt zur Einhaltung der Emissionsvorschriften Euro IV, Euro V, Tier II und LEV II bei
- Mit piezoresistivem Drucksensor
- Messbereich bis zu 200 bar



Die innovative BERU Drucksensor-Glühkerze PSG (Pressure Sensor Glowplug).

www.beru.com

Diese Glühkerze reagiert auf Druck. Prompt.

Diese Glühkerze ist mit einem Drucksensor ausgestattet. So kann sie – neben ihrer Aufgabe des Vor-, Nach- oder Zwischenglühens – den realen Brennraumdruck ermitteln. Ermöglicht wird dies durch einen im Glühkerzenkörper elastisch gelagerten, beweglichen Heizstab, der den Druck auf eine Metallmembran mit einer Messbrücke überträgt. Diese Signale werden von einem eigens hierfür entwickelten ASIC ausgewertet. Wenn auch Sie an intelligenten Glühkerzen interessiert sind und wissen wollen, wie innovative Dieselkaltstarttechnologie die Schadstoffemission Ihrer Motoren optimieren kann, rufen Sie uns an: **+49(0)7141 132 235**. Oder senden Sie uns eine Mail: technology@beru.de.

Der Spezialist für
Zündungstechnik,
Dieselkaltstarttechnologie,
Elektronik und Sensorik



tervall bei gleichartigem Belastungsprofil ertragen. Der Rußeintrag überlagert dabei die Auswirkungen der Kraftstoffverdünnung innerhalb eines Ölwechsels zunehmend. Analog hierzu stellt sich das Verschleißverhalten dar.

Generell findet während der regenerativen Phase eine Polymerisation beziehungsweise Koagulation des Schmierstoffs statt. Besonders durch die HC-Fractionen des Kraftstoffs sowie höhermolekulare Schmierstoffverbindungen bilden sich deutlich größere Partikel aus. Diese wurden unter anderem auch von [1] in Partikelfiltern festgestellt und durch transmissionselektronenmikroskopische Aufnahmen sowie thermogravimetrischer Analysen bestätigt. Mineralölbasierte Verbindungen neigen auf Grund ihrer Struktur, insbesondere der aromatischen Verbindungen, gegenüber synthetischen Formulierungen stärker zu Koagulationen.

Während im Motorbetrieb auf dem Prüfstand infolge der thermischen Randbedingungen Kraftstoffeinträge für niedrige und mittlere Motorlasten bis zu 10 % betragen können, liegen die Werte im Fahrzeug meist deutlich darunter. Dies ist vorrangig durch den gemischten Betrieb aus Adsorptions- und Regenerationszyklen zu begründen [2]. **Bild 5** stellt beispielhaft die Änderung der Schmierstoffeigenschaften über eine Gesamtlaufstrecke von 140.000 km dar. Die schmierstoffspezifischen Kenngrößen sowie der daraus resultierende Verschleiß zeigen ein lineares Verhalten über die Schmierstoffwechselintervalle und im Langzeiteffekt eine leicht degressive Tendenz. Dabei zeigt die synthetische Formulierung sowohl bei der Kenngrößenänderung als auch bei den Auswirkungen ein günstigeres Verhalten als die mineralölbasierte Variante. Entscheidender als der Kraftstoffanteil stellt sich die Viskositätsabhängigkeit auf das triebwerkspezifische Verhalten dar. Innerstädtische Streckenzyklen sind dabei kritischer als Überland- und Autobahnzyklen, Bild 2f.

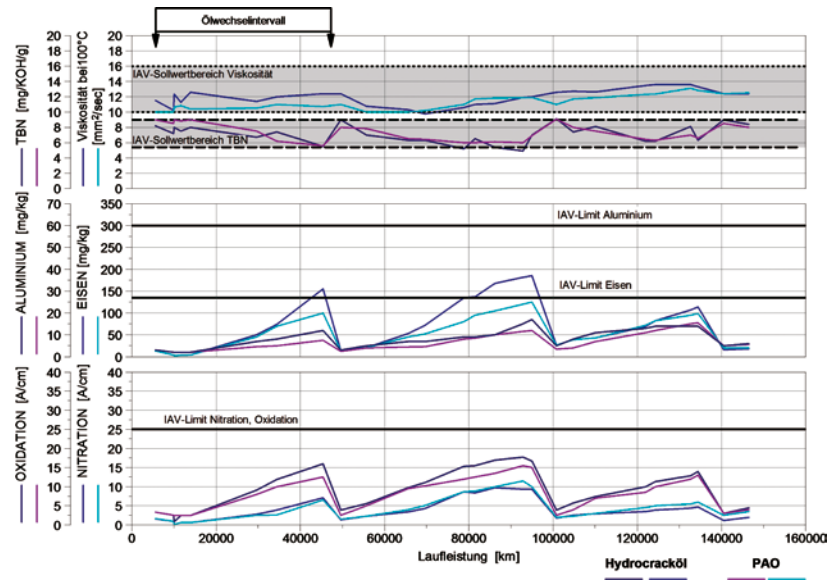


Bild 5: Schmierstoffparameterbeeinflussung im Fahrzeugtest

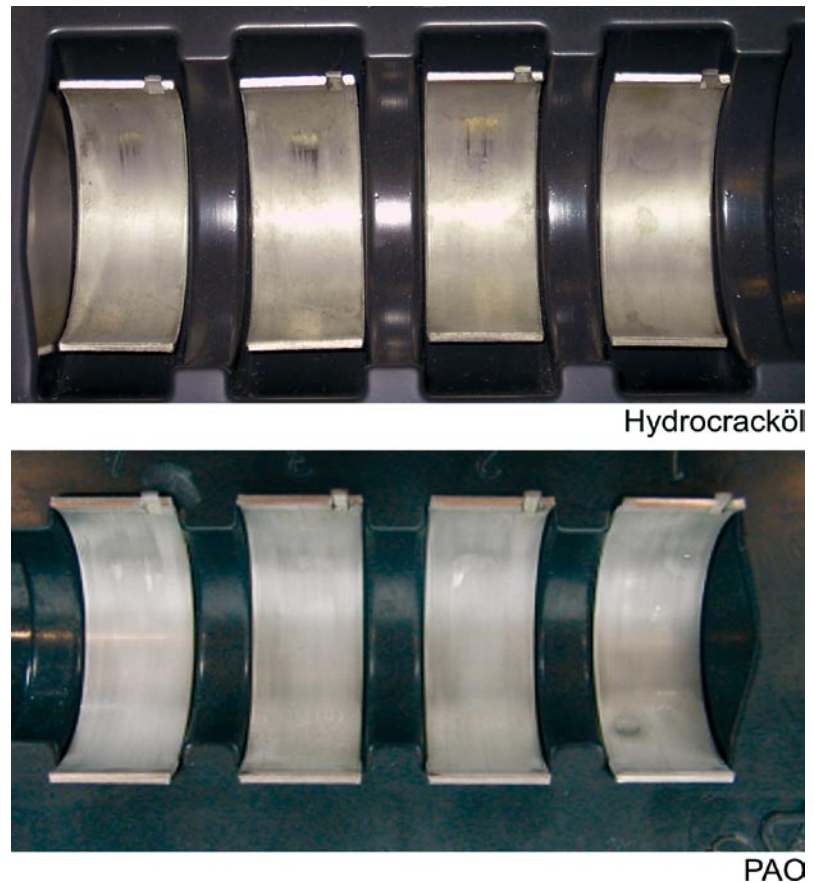


Bild 6: Visuelles Erscheinungsbild der Pleuellager auf der Deckelseite

4 Auswirkungen

Während der regenerativen Phasen lagern sich in zunehmendem Maße HC-Fractionen des Kraftstoffs am Kohlenstoff beziehungsweise Ruß an. Zusammen

men mit den Verschleiß- und Schmierstoffverbindungen führt dies zu Koagulationen, die die auftretenden Kennwerte, insbesondere die Viskosität, beeinflussen. Damit sind triebwerkspezifische

Auswirkungen zu verzeichnen. **Bild 6** verdeutlicht für beide Schmierstoffqualitäten exemplarisch am Pleuellagererscheinungsbild der Deckelseite ein Indiz für erhöhten Mischreibungsanteil infol-

Tabelle: Schmierstoffspezifische IAV-Sollwertbereiche und Prognose für die betrachtete Motorengröße

| Untersuchungsparameter | Limitwerte | | Prognose für zukünftige Ölintervalle |
|---------------------------|--------------------|--|--------------------------------------|
| | Einheit | Grenzwert | |
| Verschleißelemente | | | |
| Eisen | mg/kg | 90-135 | <100 |
| Chrom | mg/kg | 12-18 | |
| Zinn | mg/kg | 10-25 | |
| Aluminium | mg/kg | 15-60 | <40 |
| Nickel | mg/kg | 2-4 | |
| Kupfer | mg/kg | 30-60 | 40 |
| Blei | mg/kg | 20-30 | 15 |
| Molybdän | mg/kg | 4-16 | |
| Verunreinigung | | | |
| Silizium / Staub | mg/kg | 25-40 | |
| Natrium | mg/kg | Frischöl +25 | |
| Kalium | mg/kg | 25 | |
| Kraftstoff | M % | 10 | 10 |
| Ruß | M % | 5,0 (2,0) | 2 |
| Wasser | M % | 0,2 | |
| Glykol | ppm | 500 (positiv) | |
| Gesamtverschmutzung | M % | 6 | 4 |
| Ölqualität | | | |
| Viskosität bei 100 °C | mm ² /s | 10-16 Zunahme max. 3 | 12 |
| Oxidation | A/cm | 25 | 20 |
| Nitration | A/cm | 25 | 20 |
| Additivelemente | | | |
| Kalzium | mg/kg | 2000-4000 | 2500 |
| Magnesium | mg/kg | 100-1500 | 1000 |
| Bor | mg/kg | 20-500 | |
| Zink | mg/kg | 800-1800 | 800 |
| Phosphor | mg/kg | 750-1900 | 750 |
| Barium | mg/kg | 0-80 | |
| Sonstiges | | | |
| TBN | mgKOH/g | >60% Frischöl, aber >7,0 (für 10W-40) | >5 |

ge Viskositätsänderung bei gleichem Belastungsprofil. Dabei bilden sich Verschleißspuren bei Verwendung von Hydrocracköl deutlicher heraus. Daraus resultierend ist in der **Tabelle** die IAV-Prognose für Grenzwerte zur Definition von verlängerten Ölwechselrhythmen bei aktuellen Regenerationsstrategien dargestellt. Hierfür sind sowohl konstruktive

Maßnahmen zur Reduzierung von Verschleißpartikeln als auch die Weiterentwicklung der Schmierstoffformulierung – insbesondere der Reduzierung aschebildender Additive – notwendig. Die Beibehaltung des vorliegenden Viskositätsverhaltens bei gleichzeitiger Reduzierung der Ölalterung sowie des Rußeintrages sind Voraussetzung für ein be-

anstandungsfreies Triebwerksverhalten. Hydrocracköle werden diesen Anforderungen nicht mehr gerecht.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Bei der Dieselmotorenentwicklung wird zunehmend die Reduzierung der Ölverdünnung im Regenerationsprozess für Dieselpartikelfilter von Bedeutung sein, um die mit der Adsorption verbundenen negativen Folgeerscheinungen auf die tribologischen Kontakte zu reduzieren. Temporäre Verdünnungen von bis zu 8 % durch Einfach- oder Mehrfach-Nacheinspritzungen lassen einen beanstandungsfreien motorischen Betrieb zu. Mit aufwändigen Entlüftungskonzepten sowie effektiven Warmlaufstrategien kann die Schmierstoffverdünnung reduziert werden. Einflussnehmender stellt sich jedoch auch weiterhin die laufzeitspezifische Viskositätssteigerung durch den Ruß- und Wassereintrag dar. Zukünftig werden nur synthetische Formulierungen dem gewünschten Anforderungsprofil gerecht. Zur Absicherung der erforderlichen Ölqualität wird auch der Motorenölkennzeichnung, wie sie in [5] dargestellt wurde, Bedeutung zukommen.

Literaturhinweise

- [1] Pischinger, S.; et. al.: Konzeptansätze für einen integrierten Regenerationsbetrieb mit Dieselpartikelfilter und NO_x-Speicherkatalysator, 27. Internationales Wiener Motorensymposium 2006, Wien, S. 286 ff
- [2] Krüger, M.; et. al.: Regenerationsbetrieb und motorische Langzeiteffekte beim Dieselmotor, 13. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik 2004, Aachen, S. 1179 ff
- [3] Bleimschein, G.: Lubricant Base Oil effects on Regulated EURO II Heavy-duty Diesel Engine Emissions and Fuel Economy, Mineralöltechnik, 5/2003
- [4] Luther, R.: Alternative Kraftstoffe aus der Sicht der Motorenschmierung, S. 167 ff, In: Kraft- und Schmierstoffe – ATZ/MTZ-Konferenz Motor 2007, Hamburg
- [5] Luther, R.: Identifikation von Schmierstoffen, In: MTZ 69 (2008), Nr. 1, S. 34 ff

Download des Beitrags unter
www.ATZonline.de

ATZ
online

MTZ

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