

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 filtrierten 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-Fractionen verdünnen über die Kolben-Ring-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 Dieselpartikelstoffzusammensetzung auf. Dabei nehmen die leichtflüchtigen Fraktionen aus konventionellem Dieselpartikelstoff, **Bild 2a**, stärker Einfluss als Dieselpartikelstoff, der thermischen Belastungen ausgesetzt war, **Bild 2b**. Ähnlich stellt sich dies auch bei Verwendung sauerstoffhaltiger Kraftstoffkomponenten aus Beimischung von bei-

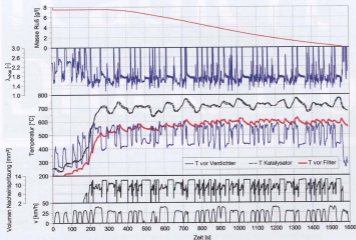


Bild 1: Regeneration mittels Mehrfach-Nacheinspritzungs-Mode

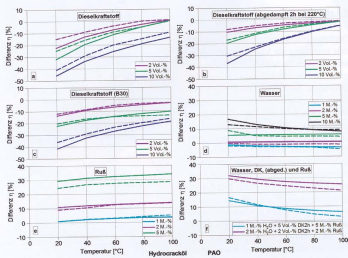


Bild 2: Einfluss von Verunreinigungen auf das Viskositätsverhalten zweier Grundölformulierungen

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 Kraftstoffeintrags. **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 masselgleichen 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 nachgeführt wurde. Dargestellt sind die Viskosität bei einer be-

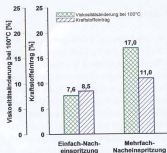


Bild 3: Schmierstoffverdünnung bei unterschiedlichen Regenerationsstrategien

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 Ölwechsel-

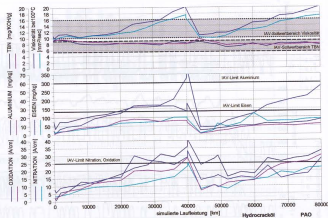


Bild 4: Schmierstoffparameterbeeinflussung in der Motorenprüfung während eines auf dem Motorprüfstand simulierten Fahrprofils

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.

4 Auswirkungen

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

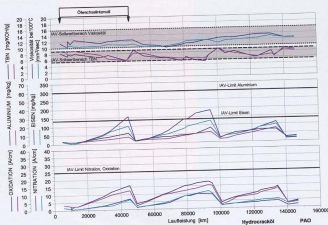


Bild 5: Schmierstoffparameterbeeinflussung im Fahrzeugtest



Bild 6: Visuelles Erscheinungsbild der Pleuellager auf der Deckelseite

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			
Kalium	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 Ölwechselfristen bei aktuellen Regenerierungsstrategien 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-Nachspritzungen 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.