

# 2-Takt-Öl in Diesel - Eine technische Studie

- *Adrian Velaers* - *Sasol Energy Technology*

## ABSTRAKT

Das Hinzufügen von Zweitaktöl zu Diesel ist ein Thema, das von Dieselfahrzeugbesitzern auf der ganzen Welt enthusiastisch diskutiert und diskutiert wird. Es wird berichtet, dass der Konsens über das ideale Mischungsverhältnis gemäß einigen Internetforen ein 200: 1-Volumengemisch von JASO-FC-Zweitaktöl in schwefelarmem Diesel ist. Die Vorteile davon sollen eine bessere Schmierung der Einspritzdüsen und Kraftstoffpumpen, eine verbesserte Cetanzahl, die zu einer besseren Verbrennung führt, und keine nachteiligen Auswirkungen sein. Da diese Behauptungen auf Einzelfällen beruhen, zielte diese Studie darauf ab, solche Auswirkungen unter wissenschaftlichen Laborbedingungen zu quantifizieren.

Die Motivation des Autofahrers, diesen Ratschlägen zur Selbstmedikation zu folgen, beruht auf der Annahme, dass schwefelarmer Diesel die in modernen Dieselmotoren vorhandenen Hightech-Kraftstoffpumpen und Einspritzzubehörteile nicht ausreichend schmieren kann. Die Basis dafür ist nicht, dass Schwefel selbst als Schmiermittel wirkt, sondern dass Spuren Mengen von polaren Molekülen, die in Rohöl vorhanden sind, Diesel gute Schmierfähigkeitseigenschaften verleihen. Es ist richtig, dass der Raffinerieprozess, der zur Entfernung von Schwefel aus Diesel verwendet wird, auch dazu neigt, diese polaren Moleküle zu entfernen. Es ist jedoch ziemlich einfach, die verlorenen polaren Moleküle durch Zugabe eines Additivs zur Verbesserung der Schmierfähigkeit zu ersetzen, das die universelle Norm für schwefelarmen Diesel ist, die von der Ölindustrie auf der ganzen Welt praktiziert wird.

Diese Studie gibt einen Überblick über die branchenübliche Testmethode für Dieselschmierung, die Teil von SANS 342: 2014 ist, der Norm für den Verkauf von Diesel in Südafrika. Ein Dieselmotorkraftstoff, der diesen Test besteht, weist ein hohes Maß an Schmierfähigkeit und einen angemessenen Schutz moderner Dieseleinspritzanlagen auf. Eine Anzahl von Testkraftstoffen wurde mit und ohne Zweitaktöl gemischt und gemäß dieser Methode getestet. Ein zusätzliches Dieselschmierfähigkeitstestverfahren, von dem bekannt ist, dass es für den Verschleiß der Dieselmotorkraftstoffpumpe repräsentativ ist, wurde ebenfalls verwendet, um die Ergebnisse zu bestätigen. In der Studie wurde auch die Cetanzahl der gleichen Kraftstoffe getestet, um den Nutzen von Cetan aus Zweitaktöl in Dieselmotorkraftstoff zu quantifizieren. Die in der Studie verwendeten 2-Takt-Öle wurden auch auf Metallgehalt analysiert und es wurden hohe Gehalte an Zink und anderen Metallen in den getesteten Ölen gefunden.

Die Studie umfasste auch die Prüfung des Leistungsprüfstands mit einem modernen Common-Rail-Pkw-Dieselmotor. Motorleistung und Emissionen wurden unter Laborbedingungen verglichen. Es wurden auch Common-Rail-Injektor-Verschmutzungstests durchgeführt, um schwefelarmen Dieselmotorkraftstoff mit demselben Kraftstoff zu vergleichen, dem Zweitaktöl dosiert wurde.

Die Ergebnisse der Studie stützen die Ansicht, dass die Dosierung von Diesel mit Zweitaktöl in Bezug auf Schmierfähigkeit und Cetanverbesserungen überraschend ineffektiv ist. Motorleistung, Kraftstoffverbrauch und Emissionen blieben ebenfalls unverändert. Die Verwendung von Zweitaktöl in Dieselmotorkraftstoff ist jedoch für moderne Dieseleinspritzanlagen potenziell schädlich. Es ist allgemein bekannt, dass Spuren Mengen von Zink, einem Element, das in den meisten Zweitaktölen zu finden ist, ein Verschmutzen der Einspritzdüsen verursachen. In der Studie wurde ein hohes Maß an Verschmutzung der Einspritzdüsen festgestellt, als der Testmotor mit Diesel betrieben wurde, dem Zweitaktöl dosiert wurde. Während die Ölindustrie die zusätzlichen Einnahmen aus dem Verkauf von Zweitaktöl mit jedem Dieseltank nicht stört, hat diese Studie gezeigt, dass dies nicht im besten Interesse des Anwenders liegt.

**Schlüsselwörter:** 2-Takt-Öl, 250, Schmierfähigkeit, Diesel, Injektorverschmutzung

## NICHTMENKLATURLISTE

Abkürzung	
ZSO	2-Takt-Öl
DPF	Dieselpartikelfilter
EMA	Verband der Motorenhersteller
EN590	Spezifikation des europäischen Diesels
HFRR	Hochfrequenz-Hubkolbenanlage
IQT <sup>TM</sup>	Zündqualitätsprüfer
IP	Leuchtendes Paraffin
LIA	Additiv zur Verbesserung der Schmierfähigkeit
Mikron	Mikrometer (µm) oder 0,001 mm
NEFZ	Neuer europäischer Fahrzyklus
ppm	Teile pro Million
ppb	Teile pro Milliarde
SAIT	Südafrikanisches Institut für Tribologie
SANS	Südafrikanischer National Standard
SLBOCLE	Fressende Lastkugel am Zylinder-Schmierfähigkeits-Evaluator

## 1. EINLEITUNG

Es ist allgemein bekannt, dass einige Dieselfahrzeugbesitzer beim Tanken Zweitaktöl in ihren Dieseltank füllen. Dieses Thema wird häufig diskutiert und diskutiert, insbesondere in Internetforen. Es wird berichtet, dass der Konsens ein 200: 1-Volumengemisch von JASO-FC-Zweitaktöl in schwefelarmem Diesel ist. Die Vorteile davon sind angeblich eine bessere Schmierung der Einspritzdüsen und Kraftstoffpumpen, eine verbesserte Cetanzahl, die zu einer besseren Verbrennung führt, und keine nachteiligen Auswirkungen - basierend auf Einzelfällen.

Die Motivation, diesen Ratschlägen zur Selbstmedikation zu folgen, stammt aus einer alten städtischen Legende, wonach moderner schwefelarmer Diesel in der High-Tech-Kraftstoffpumpe und in der Kraftstoffeinspritzanlage unzureichende Schmierfähigkeiten aufweist. Es besteht auch die Befürchtung, dass einige Anbieter von Discount-Diesel (und andere) ihre Gewinne durch Einmischen von Paraffin in den Diesel steigern könnten, und es wird argumentiert, dass eine kleine Dosis Zweitaktöl dazu beitragen wird, die durch verursachte Beeinträchtigung der Schmierfähigkeit auszugleichen Beliebige Leuchtparaffindosierung.

Oberflächlich betrachtet scheint es ein vernünftiger Ansatz zu sein, der gut mit der südafrikanischen Tradition übereinstimmt, einen Plan zu erstellen, um Schwierigkeiten zu überwinden. Wenn man jedoch bedenkt, dass die wettbewerbsfähige Automobil- und Kraftstoffindustrie umfangreiche Untersuchungen durchgeführt und sorgfältig formulierte Kraftstoffspezifikationen vereinbart hat, um eine zuverlässige Leistung und eine lange Motorlebensdauer zu gewährleisten, ist es für den Autofahrer ein ziemlich rücksichtsloser Schritt, nur ein wenig mehr hinzuzufügen. “ Zeug “zu dem Kraftstoff in dem Glauben, dass es es noch besser

machen wird. Dies gilt insbesondere dann, wenn man bedenkt, dass Zweitaktöl ein sehr leichtes Öl ist, das die Innenteile eines Zweitaktmotors schmiert, da es Rückstände bildet, die sich ansammeln, nachdem das Benzin verdunstet ist. Dies unterscheidet sich grundlegend von der Situation in der Dieseleinspritzanlage, in der der Diesel nicht verdampft und eine 200: 1-Spur Zweitaktöl im Kraftstoff gelöst bleibt.

Ungeachtet der wiederholten Zusicherungen der Kraftstoffbranche, dass die Kraftstoffspezifikationen für schwefelarmen Diesel strenge Bestimmungen enthalten, um eine angemessene Schmierung der Motorkomponenten zu gewährleisten, sind die Befürworter des Beimischens von Zweitaktöl zu Diesel weiterhin nicht überzeugt, da keine veröffentlichte technische Literatur zu diesem Thema vorliegt Thema. Schwefelarmer Diesel ist ein heikles Thema, da in der Branche auch eine sehr starke Nachfrage nach noch geringeren Schwefelgehalten im Diesel besteht, um effizientere und sauberere Dieseltechnologien einzuführen. (Perverserweise würden solche Technologien sehr wahrscheinlich durch den Zusatz von Zweitaktöl geschädigt, wie später in diesem Artikel gezeigt wird.)

Sasol hat die Ansicht geäußert, dass die Dosierung von Diesel mit 0,5% Zweitaktöl (entsprechend 200: 1) im Hinblick auf die oben beschriebenen Probleme allenfalls unwirksam und im schlimmsten Fall potenziell schädlich für modernen Diesel ist Einspritz- und Abgasnachbehandlungsausrüstung (dh Katalysatoren). Diese Ansicht hat die vernünftige öffentliche Aufforderung ausgelöst, dass Sasol angibt, welche Tests durchgeführt wurden, um die Grundlage für ihre Ansicht zu bilden, und diese technische Veröffentlichung soll diese Aufforderung beantworten.

## 2. TECHNISCHER HINTERGRUND

In diesem Abschnitt wird versucht, einen kurzen und einfachen Überblick über die zugrunde liegenden technischen Prinzipien der Schmierung und der Messung der Dieselschmierfähigkeit zu geben. Dies bildet den Kontext der durchgeführten Kraftstoffprüfung und liefert die Grundlage für die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen.

Die Schmierfähigkeit einer Flüssigkeit kann lose definiert werden als die Fähigkeit, Verschleiß zwischen beweglichen Teilen zu verhindern. Die Art und Weise, wie diese Fähigkeit erreicht wird, hat zwei Facetten. Flüssigkeiten neigen im Allgemeinen dazu, eine Metalloberfläche zu benetzen, was bedeutet, dass die Flüssigkeit tatsächlich an der Materialoberfläche haftet. Die Flüssigkeit haftet auch an sich selbst, sodass jede Bewegung zwischen den sich bewegenden Metallteilen dazu führt, dass die Flüssigkeit in den Kontaktbereich gezogen wird und zwischen die beiden zusammenwirkenden Oberflächen gelangt. Auf diese Weise wirkt das Fluid als Schmiermittel, indem es sich selbst in die Reibgrenzfläche drückt und die beiden Reibflächen voneinander getrennt hält. Dies wird als hydrodynamische Vollschrmerung bezeichnet ( *Stachowiak, 2005* ) und setzt *voraus*, dass zwischen den Teilen eine ausreichende Reibgeschwindigkeit vorhanden ist, um genügend Flüssigkeit aufzunehmen. Eine Erhöhung der Belastung durch Zusammendrücken der Reibflächen wirkt sich negativ aus - die Belastung drückt die Flüssigkeit tendenziell aus. Die zwischenflüssige „Kohäsion“ ist eine flüssige Eigenschaft, die als Viskosität bezeichnet wird. Eine Erhöhung der Viskosität trägt zur Förderung einer vollständigen hydrodynamischen Schmierung bei. Wenn die Flüssigkeit jedoch zu viskos ist, um in den Spalt gezogen zu werden, kann dies die Schmierung behindern. Mechanische Geräte sind daher so konstruiert, dass ein Schmiermittel innerhalb eines bestimmten Viskositätsbereichs verwendet wird, um eine ausreichende Schmierung zu gewährleisten.

Wenn es um die Dieseleinspritzausrüstung moderner Fahrzeuge geht, werden die Dieselpumpe und die Einspritzdüsen intern vom Dieselmkraftstoff selbst geschmiert, und die vollständige hydrodynamische Schmierung ist das Konstruktionsziel. Bei langsamen Motordrehzahlen (wie beim Starten des Motors) kann die Kraftstoffschmierung jedoch geringfügig beeinträchtigt werden. Hier wird eine andere Flüssigkeitseigenschaft kritisch, die Oberflächenbenetzungseigenschaft, die als Randschmierbedingung bezeichnet wird ( *Stachowiak, 2005* ). Es gibt bestimmte Arten von Molekülen (polare Moleküle) ( *Stachowiak, 2005* ), die sehr gut auf einer Metalloberfläche haften und unter Grenzschrmierbedingungen einen Verschleiß sehr wirksam verhindern können. Solche Moleküle sind in Spuren in Rohöl enthalten, aber leider werden durch das Entfernen von Schwefel aus dem Diesel auch die polaren Moleküle entfernt. Auf diese Weise begann das Gerücht von schwefelarmem Diesel mit geringer Schmierfähigkeit. Es ist jedoch recht einfach, die verlorenen polaren Moleküle durch Hinzufügen eines Schmierfähigkeitsverbesserungsadditivs (LIA) zu ersetzen, das die universelle Norm für schwefelarmen Diesel darstellt die Ölindustrie.

## 3. SCHMIERMESSUNG

Die Messung der Dieselmkraftstoffschmierfähigkeit war ein notwendiger Schritt bei der Festlegung einer Kraftstoffspezifikation, die für alle Interessengruppen der Branche akzeptabel war. Zu diesem Zweck mussten repräsentative Testmethoden entwickelt werden und es standen zwei Top-Methoden zur Auswahl. Die Branche war zunächst *uneinig*, welche Methoden am repräsentativsten waren, und in diesem Abschnitt wird etwas *näher darauf eingegangen*, welche Methode für das aktuelle Thema am besten *geeignet ist* ( *Nikanjam, 1999* ).

Die eine Methode war der Scuffing Load Ball-on-Cylinder Lubricity Evaluator (SLOCLE) (ASTM D6078, 1999). Das SLOCLE-Testgerät drückt ein Stahlkugellager gegen einen rotierenden Stahrling, der teilweise in die Schmierflüssigkeit eingetaucht ist. Die Kugel wird belastet und erhöht, bis eine bestimmte Reibungskraft überschritten wird, die dem Auftreten einer "Abrieb" -Markierung am rotierenden Zylinder entspricht. Die Belastung in Gramm, bei der dies geschieht, wird als Testergebnis aufgezeichnet. In den USA empfiehlt die EMA-Richtlinie (Engine Manufacturer's Association) ein SLOCLE-Testergebnis von mehr als 3100 g als Mindestanforderung für einen akzeptablen Kraftstoff. Andere Quellen empfehlen konservativer 3500 g als akzeptablen Benchmark. Da diese Prüfmethode nie Bestandteil einer formalen Spezifikation war, können diese Indikatoren als Richtlinie verwendet werden.

Die Konkurrenzmethode war das Hochfrequenz-Hubgerät (HFRR) (ASTM D6079, 1999), das aus einer Stahlkugel besteht, die mit einer festen Last von 200 g gegen eine ebene Oberfläche gedrückt wird. Die Kugel wird dann mit einem Hub von 1 mm schnell hin- und herbewegt. Nach 75 Minuten wird der flache Fleck (Abnarbe), der auf der Stahlkugel getragen wurde, mit einem Mikroskop gemessen. Die Größe der Verschleißnarbe (in Mikrometern) hängt direkt von den Schmiereigenschaften des zu prüfenden Kraftstoffs ab. Auf der Grundlage von Pumpenverschleißtests besteht eine allgemeine Übereinstimmung dahingehend, dass der Kraftstoff in einem Motor zufriedenstellend funktioniert, wenn der HFRR-Verschleißnarbendurchmesser weniger als 460 Mikrometer beträgt. Europäische Motorenhersteller und Hersteller von Einspritzpumpen entwickelten ein Ringversuchsprogramm, um diese beiden Testverfahren zu bewerten, und kamen zu dem Schluss, dass das HFRR ein besserer Prädiktor für die Kraftstoffschmierfähigkeit in einer Motorumgebung sein könnte.

In Bezug auf diese vereinfachte Beschreibung der Schmierprinzipien kann man erkennen, dass die SLOCLE- und HFRR-Methoden nicht tatsächlich dasselbe messen.Die SLOCLE-Methode beginnt mit einer leichten Belastung des Balls und zeigt zunächst eine vollständige hydrodynamische Schmierung, die mit zunehmender Belastung eine Herausforderung darstellt. Der Prozess geht in Grenzschrmerungszustände über, wenn die Last weiter ansteigt, und der Test endet schließlich, wenn die Grenzen der Grenzschrmerung erreicht sind und die Kugel die Zylinderoberfläche abreibt. Beim HFRR-Test hingegen liegen die Anfangsbedingungen deutlich außerhalb der Grenzschrmerzone, da immer Verschleiß auftritt. Mit zunehmender Größe des flachen Punkts auf der Kugel wird jedoch der Punkt erreicht, an dem die aufgebrachte Last auf eine ausreichend große Kontaktreibfläche verteilt wird, damit die Grenzflächenschmierung wirksam wird. Da sich die Bewegung jedoch hin- und herbewegt (Stopp - Start - Stopp), wächst der verschlissene flache Fleck weiter, bis die Metalloberflächen durch die vollständige hydrodynamische Schmierung voneinander getrennt sind. Vereinfacht ausgedrückt kann man sagen, dass der SLOCLE-Test den Punkt misst, an dem die Grenzflächenschmierung versagt, während der HFRR-Test den Grad misst, in dem die vollständige hydrodynamische Schmierung erreicht wird. Tatsächlich zeigt der SLOCLE-Test daher hauptsächlich die Wandbenetzungseigenschaften des Kraftstoffs an und ist ein relevantes Testverfahren für den Anfallsschutz und das Vorhandensein polarer Moleküle, während der HFRR-Test eher die Kraftstoffviskosität anzeigt und ein relevanter Test ist Verfahren für den Verschleiß. Da die Methoden unterschiedliche Schmierzustände messen, ist es nicht verwunderlich, dass eine geringe Korrelation zwischen den Methoden besteht ( *Nikanjam, 1999* ). Im Allgemeinen würden die meisten Kraftstoffe, die die HFRR-Spezifikation erfüllen, auch einen ausreichenden Anfallsschutz bieten, obwohl dies nicht garantiert ist Für ausreichende Schmierfähigkeit ist es wichtig, beides zu berücksichtigen.

Für die 2-Takt-Öluntersuchung war klar, dass Ergebnisse sowohl von SLOCLE- als auch von HFRR-Tests erforderlich wären. Der erste Schritt bestand in der Beurteilung, ob die Spurenmenge von Zweitaktöl die Grenzschrmerungssituation verbessern würde (dh die hypothetischen schwefelarmen Probleme), und der zweite in der Beurteilung, ob dies die Situation der vollständigen hydrodynamischen Schmierung verbessern würde (dh niedrigviskose IP) Dosierungsprobleme).

## 4. VERSUCHSVVERFAHREN

Die folgenden Brennstoffe wurden gemischt und in den aufgeführten Testmethoden verwendet:

**Tabelle 1:** Prüfkraftstoffe

Probenname	Kraftstoff Beschreibung	2-Takt-Öl	<u>LIA</u> *
EN590	Schwefelarmer Diesel europäischer Qualität	Nein	Ja
EN590 + 2SO	Schwefelarmer Diesel in europäischer Qualität + Zweitaktöl	200: 1	Ja
Markt Diesel	Südafrikanischer schwefelarmer Diesel vom Vorplatz in Johannesburg	Nein	Ja

Probenname	Kraftstoff Beschreibung	2-Takt-Öl	LIA *
Markt Diesel + 250	Südafrikanischer schwefelarmer Diesel + 2-Takt-Öl	200: 1	Ja
Raffinerie Diesel	Schwefelarmer, unadditierter Raffineriediesel	Nein	Nein
Raffinerie Diesel + 250	Schwefelarmer, nicht zudosierter Raffineriediesel + 2-Takt-Öl	200: 1	Nein
250	2-Takt-Öl gemäß JASO FC / API TC / ISO GD	-	-

\* LIA: Additiv zur Verbesserung der Schmierfähigkeit

Bei dieser Untersuchung wurden die folgenden Prüfmethode angewendet:

- Schmierfähigkeit:**
  - HFRR (Hochfrequenz-Hubgerät) - ASTM D6079
  - SLBOCLE (Ball-on-Cylinder-Abriebprüfgerät) - ASTM D6078
- Cetan-Zahl:**
  - Abgeleitete Cetanzahl mit dem IQT™ (Ignition Quality Tester) - ASTM 6890
- Zinkgehalt:**
  - Mit ICP-AES analysierte Zinkspuren. Erkennungsgrenze von 15ppb
- Abgas Emissionen:**
  - Motor test gemessen über den New European Drive Cycle (NEZF) auf einem Motorprüfstand
- Injektorverschmutzung:**
  - Motor test gemessen mit dem Sasol Common Rail Injector Fouling-Test an einem Motorprüfstand: Motorentests wurden im Sasol Automotive Lab in Kapstadt unter Verwendung anerkannter Testverfahren nach Industriestandard durchgeführt. Der in diesem Fall verwendete Motor war ein 1,6-Liter-4-Zylinder-Turbodieselmotor mit piezoelektrischer Common-Rail-Kraftstoffeinspritzung eines in Südafrika verkauften beliebten Personenkraftwagens.

## 5. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der verschiedenen Testverfahren werden in den folgenden Abschnitten mit kurzen Beschreibungen angegeben.

### 5.1 Schmierfähigkeit

HFRR Testergebnisse:

Das HFRR (High Frequency Reciprocating Rig) wurde verwendet, um die Dieselschmierfähigkeit durch Reiben einer Stahlkugel auf einer Platte in einem Kraftstoffbad zu messen. Die Kugel bildet im Verlauf des Tests einen flachen Fleck, der als Verschleißnarbe bezeichnet wird und dessen Durchmesser das Maß für die Dieselschmierfähigkeit ist. Jeder in Südafrika verkaufte Diesel muss diesen Test mit einer maximalen Verschleißnarbe von 460 Mikrometern bestehen, was eine ausreichende Schmierfähigkeit für alle Dieselmotorsysteme gewährleistet. Dies ist die gleiche Spezifikation wie in Europa und vielen anderen Teilen der Welt. Die Ergebnisse in 1 stellen die Kraftstoffe dar, die gemäß Tabelle 1 getestet wurden.

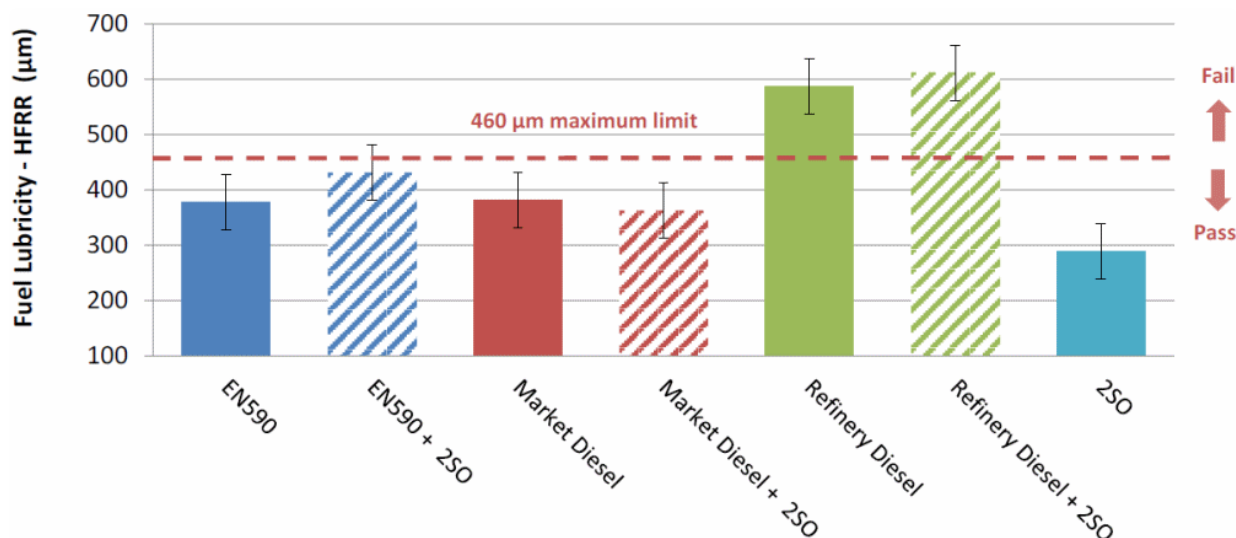


Abbildung 1: Ergebnisse der HFRR-Schmierfähigkeit

Die Testmethode hat ein Unsicherheitsband, das durch die Fehlerbalken in der Grafik angezeigt wird. Nur Unterschiede, die diese Wiederholbarkeitsgrenzen überschreiten, können als signifikant angesehen werden. Ergebnisse, die innerhalb des Wiederholbarkeitsbereichs der Methode liegen, werden als gleich angesehen. Das reine Zweitaktöl selbst wurde ebenfalls getestet, und es ist interessant festzustellen, dass die Schmierfähigkeit des Öls nicht wesentlich besser ist als bei einem Diesel auf dem Endmarkt. Daher ist es nicht verwunderlich, keinen signifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen Kraftstoffen und den dosierten Kraftstoffen festzustellen 200: 1 mit 2-Takt-Öl. Flüssigtreibstoffeigenschaften wie die Viskosität waren bei einer 2-Takt-Öldosis von 200: 1 in den Dieseln identisch.

Beachten Sie, dass Dieselmotorsystem laut Gesetz in Südafrika die Schmierfähigkeitsspezifikationen gemäß SANS 342: 2014 erfüllen muss, bevor er auf den Markt gebracht wird. In Fällen, in denen die Schmierfähigkeit nicht der HFRR-Spezifikation entspricht, wird in der Raffinerie oder im Depot ein Additiv zur Verbesserung der Schmierfähigkeit dosiert und der Tank für Massenbrennstoffe wird auf Übereinstimmung geprüft. Die Raffineriedieselergebnisse aus 1 sind nicht ungewöhnlich für entschwefelten Diesel, der kein Additiv zur Verbesserung der Schmierfähigkeit enthält. Der Unterschied zwischen Raffinerie- und Marktdiesel in Abbildung 1 zeigt die Effizienz des Schmierfähigkeitsverbesserungsadditivs selbst und relativiert die minimale Wirkung von Zweitaktöl.

SLBOCLE Testergebnisse:

Die andere in dieser Studie verwendete Testmethode für die Dieselschmierfähigkeit war SLBOCLE (Scuffing Load Ball-on-Cylinder Lubricity Evaluator). Diese Methode misst die Anfallslast. Obwohl es in keiner gesetzlichen Spezifikation für Diesel enthalten ist, wurde es verwendet, um die Schmierwirkung von Zweitaktöl in Diesel besser zu verstehen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2 unter Verwendung der gleichen Testtreibstoffe dargestellt.

Ähnlich wie bei der HFRR weist die Methode ein gewisses Maß an Unsicherheit auf, das durch die Fehlerbalken angezeigt wird. Hier wurde auch sauberes Zweitaktöl getestet. Die Ergebnisse sind dem HFRR in Bezug auf den vernachlässigbaren Schmiervorteil von Zweitaktöl in einer Dieselmotorsystemanwendung sehr ähnlich.

Beachten Sie, dass das Verdünnen von Diesel mit Paraffin (IP) illegal ist und sich nachteilig auf die Schmierfähigkeit auswirkt. Wie aus den Ergebnissen in Abbildung 1 und Abbildung 2 hervorgeht, hilft Zweitaktöl nicht, dies in die Spezifikation zu bringen. Ein zusätzliches Additiv zur Verbesserung der Schmierfähigkeit könnte dagegen in der Lage sein. Nach südafrikanischem Recht muss IP einen Tracer-Zusatz enthalten, der den einfachen Nachweis von IP-haltigem Diesel ermöglicht. Ergebnisse von Diesel-IP-Gemischen werden hier nicht veröffentlicht, da diese Praxis in keiner Weise durch eine technische Veröffentlichung bestätigt werden sollte, es kann jedoch gezeigt werden, dass die Wirkung von Zweitaktöl ähnlich vernachlässigbar war.

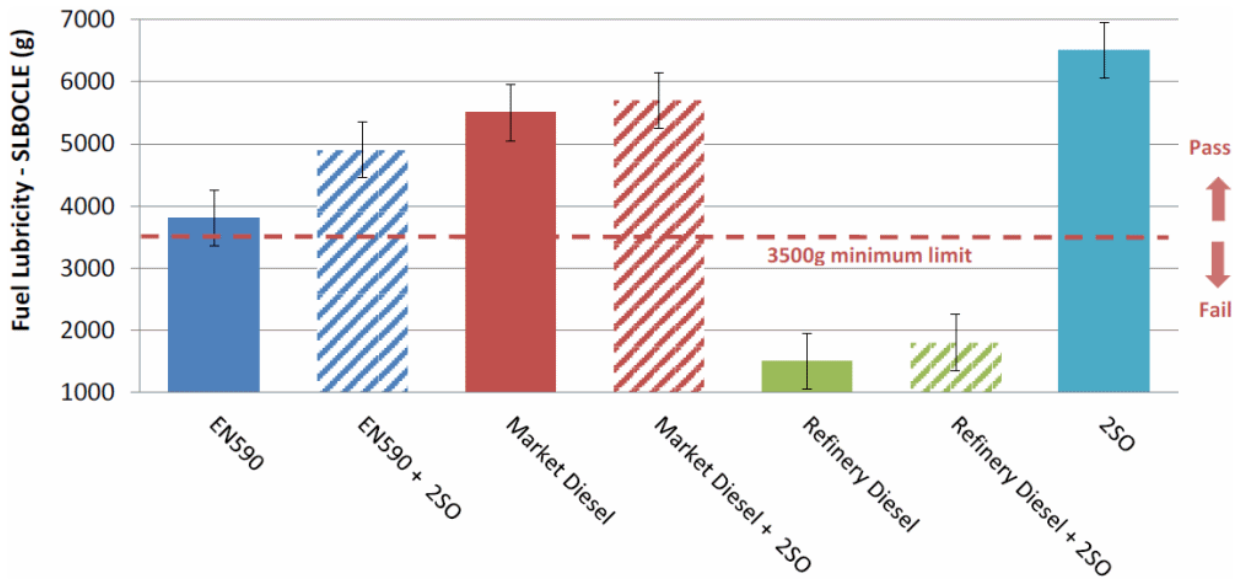


Abbildung 2: SLBOCLE-Schmierergebnisse

## 5.2 Cetanzahl

Gemäß dem abgeleiteten Cetanzahl-Testverfahren ASTM 6890 werden Kraftstoffproben in einer Brennkammer bei erhöhter Temperatur und erhöhtem Druck gezündet. Die Zündverzögerung wird gemessen und mit der Cetanzahlskala korreliert. Die Ergebnisse in Abbildung 3 repräsentieren die relevanten getesteten Kraftstoffe.

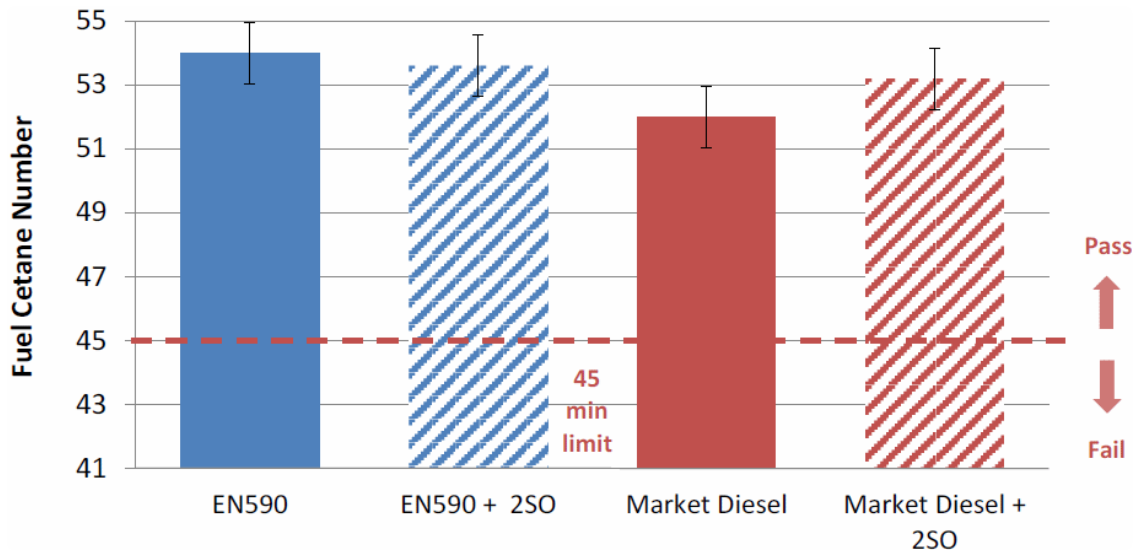


Abbildung 3: Testergebnisse für die Cetanzahl

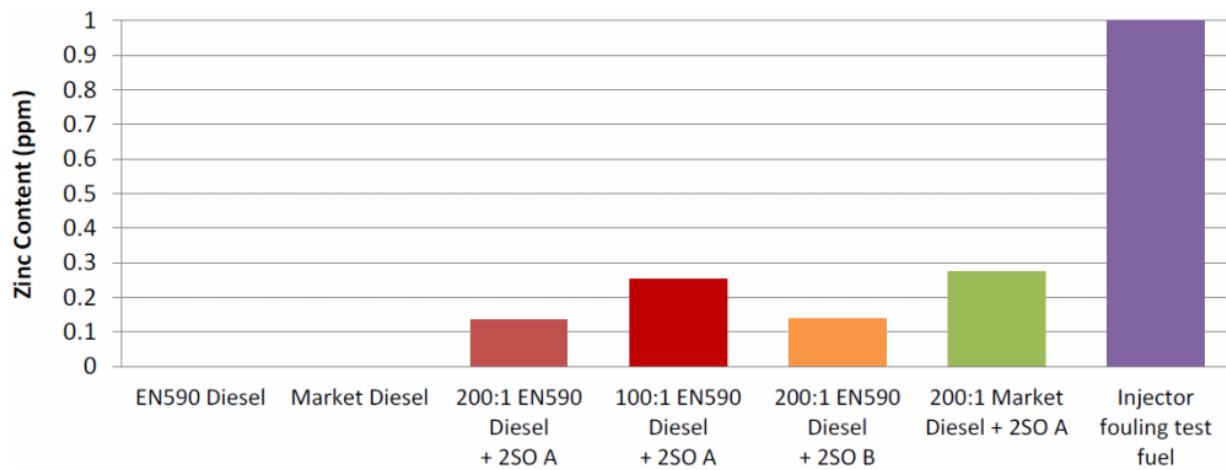
Es gibt keinen technischen Grund für Spuren eines Leichtschmieröls, das das Zündverhalten von Diesel wesentlich verändern. Die Ergebnisse zeigen vernachlässigbare Unterschiede in der Cetanzahl, wenn dem Diesel 2-Takt-Öl mit 200: 1 zugesetzt wird. Die Wiederholbarkeit der Testmethode wird durch die Fehlerbalken angezeigt, und die Ergebnisse innerhalb dieser Wiederholbarkeit werden als gleich angesehen.

## 5.3 Zinkgehalt

Moderne Dieselmotoren benötigen sauberen Diesel, dh Diesel, der frei von schädlichen Verunreinigungen wie Schwefel und Metallen ist. Es ist bekannt, dass Schwefel die mit Platin beschichteten Katalysatoren und Sauerstoffsensoren vergiften und auch eine Ansammlung von Schwefelsäure im Öl verursachen kann. Es ist natürlich vorteilhaft, den niedrigsten Schwefel zu verwenden, der beschafft werden kann, und jeder Dieselmotor ist mit schwefelfreiem Diesel kompatibel. Es ist weniger bekannt, dass Spuren von weichen Metallen wie Zink und Kupfer in Dieselmotoren gelöst werden können und hartnäckige Ablagerungen an den Einspritzdüsen verursachen. Diese Ablagerungen verengen die Düsenlöcher von Dieseleinspritzdüsen, was mit der Zeit zu einer geringeren Kraftstoffzufuhr und einem geringeren Motorleistungsverlust führt. Zweitaktöl enthält wie die meisten Motorenöle Zink. In dieser Studie wurden zwei verschiedene Marken von Zweitaktöl, die hier als 2SO A und 2SO B bezeichnet werden, analysiert, und es wurde festgestellt, dass sie hohe Zinkgehalte enthalten:

- 2SO A: 15,8 ppm Zn
- 2SO B: 16,9 ppm Zn

Zinkgehalte von nur 1 ppm in Diesel können zu starker Verschmutzung der Einspritzdüsen führen, und solche Kraftstoffe werden für die Prüfung von Motoren zur Verschmutzung der Einspritzdüsen verwendet, um die Verschmutzung zu Forschungszwecken zu beschleunigen. Niedrige Zinkgehalte wurden unter Verwendung der ICP-AES-Methode gemessen, die speziell für Dieselmessungen kalibriert und auf 15 ppb genau war. In Abbildung 4 sind die verschiedenen Kraftstoffe und Zweitakt-Ölmischungen angegeben, die getestet wurden. In dieser Abbildung ist der Kraftstoff für den Injektorverschmutzungstest enthalten, der in Abschnitt 5.5 näher erläutert wird.



**Abbildung 4:** Zinkanalyse von Testbrennstoffen

Der in Lösung befindliche Zinkgehalt hängt stark von der Löslichkeit des jeweiligen Kraftstoffs ab, weshalb verschiedene Kraftstoffe bei gleichem *Zinkzusatz* unterschiedliche Zinkgehalte aufweisen können (Velaers, 2013).

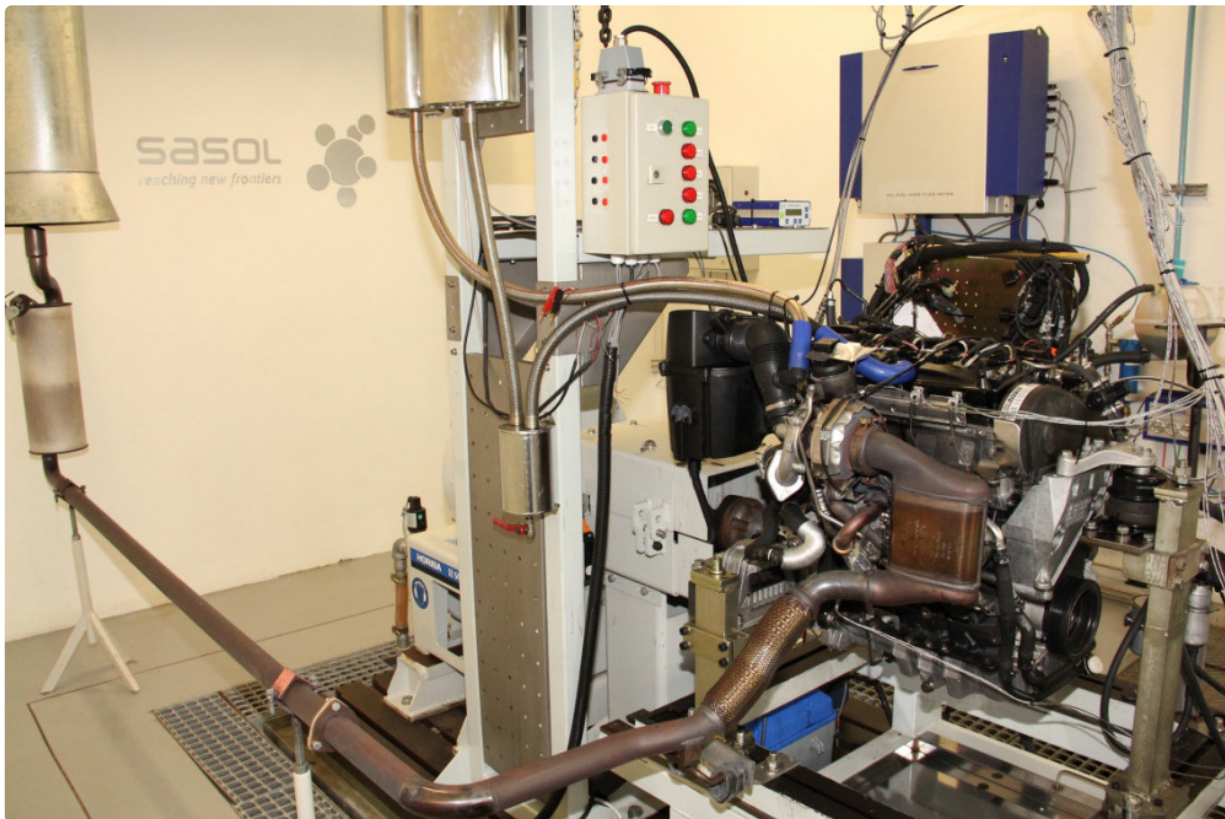
## 5.4 Abgasemissionen

2-Takt-Benzinmotoren sind mit übermäßigen Abgasemissionen und sichtbarem blauem Rauch verbunden. Um die Auswirkung von Zweitaktöl auf die Abgasemissionen eines Dieselmotors zu quantifizieren, wurden im Sasol Automotive Lab Abgasemissionstests nach NEFZ (New European Drive Cycle) an einem instationären Motorprüfstand durchgeführt. Der verwendete Motor war derselbe 4-Zylinder-Common-Rail-Turbodiesel wie in Abschnitt 4 beschrieben.

Die Abgasemissionen des Market Diesel wurden mit einer 200:1-Mischung aus Market Diesel und Zweitaktöl verglichen. Der Test wurde dreimal für jeden Kraftstoff wiederholt und die Durchschnittsergebnisse verglichen. Die Ergebnisse zeigten, dass das Zweitaktöl einen vernachlässigbaren Einfluss auf alle gesetzlich vorgeschriebenen Emissionen (Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe, Stickoxide und Partikel (schwarzer Rauch)) hatte. Es gab auch keine Hinweise auf sichtbaren Rauch. Der Kraftstoffverbrauch über den Testzyklus blieb ebenfalls unverändert. Dies entspricht den Erwartungen, da Zweitaktöl ein Leichtöl wie Diesel ist und daher geringe Mengen keinen wesentlichen Einfluss auf die Emissionen eines Dieselmotors haben sollten. Jeder daraus resultierende Schaden an Abgasnachbehandlungssystemen kann jedoch die Emissionen erhöhen.

## 5.5 Injektorverschmutzung

Die Sasol Common Rail Injector Fouling-Testmethode basiert auf einem weltweiten Industriestandardtest für Injektor-Fouling. Die Entwicklung dieses Testverfahrens und nachfolgender Ergebnisse wurden in einer Reihe von internationalen Fachpublikationen (Velaers, 2012/2013) untersucht. In dieser Studie wurden Kraftstoffe ohne Waschmittelzusätze oder künstlichen Zinkzusatz getestet. In diesem Testverfahren wurde derselbe 4-Zylinder-Common-Rail-Turbodiesel wie in Abschnitt 4 beschrieben auf einem Prüfstandsprüfstand im Sasol Automotive Lab verwendet.



**Abbildung 5:** Das im Sasol Automotive Lab verwendete Motortestgerät

Der Motortest wurde mit neuen Einspritzdüsen gestartet und über einen Testzyklus mit sehr hoher Last 16 Stunden lang durchgeführt. Alle 30 Minuten wurde die volle Motorleistung und der zugehörige Kraftstoffdurchfluss bei 4400 U / min gemessen (Nennleistung und maximaler Raildruckpunkt des Motors). Ein Abfall der Leistung und des Kraftstoffstroms während der Testlaufzeit deutet darauf hin, dass die Einspritzdüsen verschmutzt sind und den Kraftstoffstrom durch die



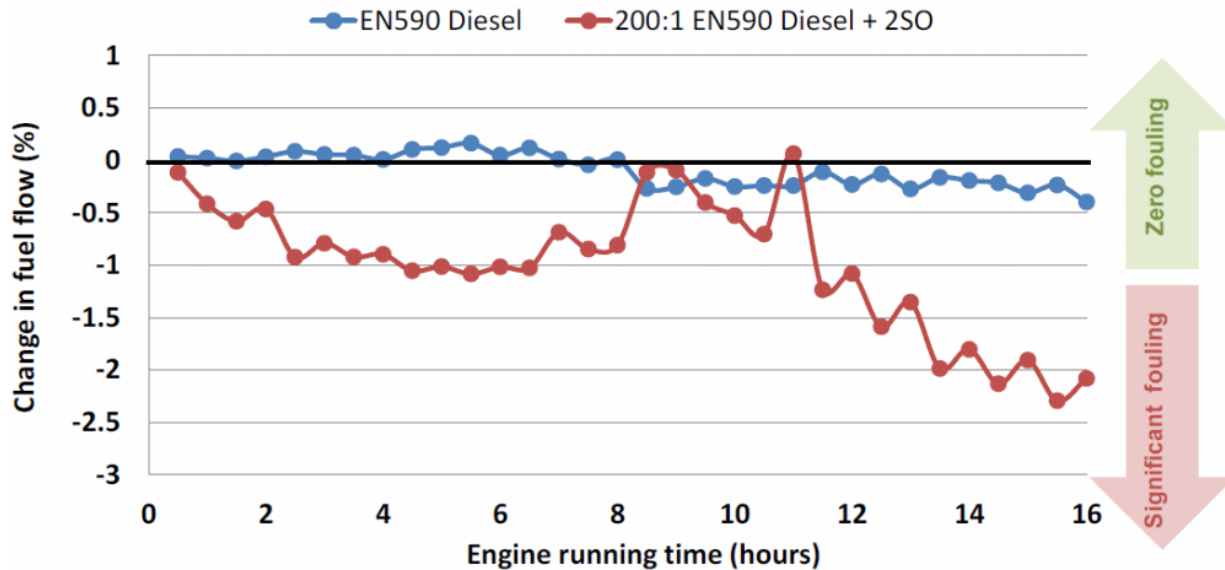


Abbildung 6: Ergebnisse des Sasol Common Rail Injector Fouling-Tests

Der verwendete Dieselmotorkraftstoff EN590 ist der Standard-Bezugskraftstoff für diesen Test. Dies wurde mit dem gleichen EN590-Diesel verglichen, der mit 2-Takt-Öl bei 200: 1 dosiert wurde. Abbildung 4 zeigt, dass der Zinkgehalt für diesen Kraftstoff 0,135 ppm betrug und EN590-Diesel kein Zink enthält. Fig. 6 zeigt die Ergebnisse des Injektorverschmutzungstests. Normaler Diesel enthält kein Zink und verursacht im Test nahezu keinen Durchflussverlust. Der Kraftstoff für den Injektorverschmutzungstest, der wie in Abbildung 4 dargestellt künstlich mit 1 ppm Zink dosiert wird, führt im gleichen Test typischerweise zu einem Durchflussverlust von ca. 6%. Die Ergebnisse zeigen, dass sich der Kraftstoffdurchsatz im 16-Stunden-Motortest um 2% verringert, wenn Zweitaktöl mit Diesel gemischt wird.

Dies führt auch zu einem Motorleistungsverlust von 2%. Dieses Ergebnis ist daher nicht überraschend, da selbst Spuren Mengen von Zink in modernen Motoren eine Verschmutzung der Einspritzdüsen verursachen können ( Leedham, 2004 ).

Im Laufe der Zeit bilden sich allmählich Injektorablagerungen. Wenn sie sich nicht fest mit dem Injektor verbinden, können sie unter den Kräften des Kraftstoffstroms und der thermischen Kontraktion des Injektors abbrechen. Aus diesem Grund wird bei diesem Testverfahren der Motor nach 8 Stunden abgestellt und abkühlen gelassen, bevor er erneut gestartet wird. Dies erklärt die Zunahme des Kraftstoffdurchflusses am 8-Stunden-Mittelpunkt des Tests. Ablagerungen auf Metallbasis, wie sie beispielsweise durch Zink verursacht werden, verbinden sich sehr stark mit der Einspritzdüse und bauen sich kontinuierlich auf. Diese sind permanent und werden durch Kaltstart nicht entfernt. Daraus folgt, dass die regelmäßige Verwendung von Zweitaktöl in Dieselmotoren zu einer erheblichen Verschmutzung der Einspritzdüsen über die Lebensdauer eines Dieselmotors führen kann. Darüber hinaus sammeln sich in modernen Fahrzeugen mit Abgasnachbehandlungssystemen Zink und andere Metallverunreinigungen im Dieselpartikelfilter (DPF) an und verbrennen nicht, wenn sie neu erzeugt werden, wodurch sie im Laufe der Zeit blockiert werden.

## 6. Diskussion

2-Takt-Öl ist ein Produkt, das speziell entwickelt wurde, um sich homogen in Benzin aufzulösen und Teile eines 2-Takt-Motors zu schmieren, sobald das Benzin von der Metalloberfläche verdunstet ist. 2-Takt-Motoren sind so konstruiert, dass sie nur eine minimale Schmierung erfordern, da alle rotierenden Teile mit Rollenlagern versehen sind und nur einen Kolbenring haben. Die Wirksamkeit dieses Produkts als Schmierfähigkeitsverbesserer für Dieselmotoren ist äußerst begrenzt, und diese Studie belegt, dass es keine messbaren Auswirkungen auf die Verbesserung der Dieselschmierfähigkeit hat. Es wird jedoch gezeigt, dass die Schmierfähigkeit von schwefelarmen Raffineriedieseln durch Schmierfähigkeitsverbesserungsadditive, die speziell für den Einsatz in Diesel- und Dieselmotoren entwickelt wurden, wesentlich verbessert werden kann. Diese Additive werden von Ölfirmen auf der ganzen Welt routinemäßig verwendet, um sicherzustellen, dass Dieselmotoren die strengen Schmierfähigkeitsspezifikationen in jedem Land erfüllen.

Die Verdünnung von Diesel mit IP, Benzin oder Verunreinigungen durch Wasser sind Risiken, denen sich alle Dieselmotorenbetreiber gegenübersehen. Jeder dieser Aspekte kann zum endgültigen Ausfall von Dieseleinspritzdüsen und Kraftstoffpumpen führen. Leider lindert keine Menge Zweitaktöl das Problem, wenn diese Substanzen in den Dieseltank gelangen, und selbst ein Additiv zur Verbesserung der Schmierfähigkeit ist bei Verunreinigungen mit Benzin und Wasser unwirksam. Der beste Weg, um sich vor einer solchen Kontamination zu schützen, ist die Verwendung einer seriösen Kraftstoffmarke aus einer seriösen Verkaufsstelle. Im unwahrscheinlichen Fall eines kraftstoffbedingten Ausfalls ist ein Haftungsanspruch gegen den jeweiligen Händler durch die konsequente Verwendung derselben Tankstelle oder Marke viel leichter nachzuweisen. Bei Verdacht auf Kraftstoffverschmutzung sollte immer eine Kraftstoffprobenanalyse einer aus dem Fahrzeugtank entnommenen Kraftstoffprobe und nicht des Kraftstofffilters durchgeführt werden. Bei Expeditionen in entlegene Gebiete wäre es günstiger, eine Wasserfalle mit höherem Fassungsvermögen am Fahrzeug anzubringen und den Kraftstofffilter häufiger auszutauschen, als in Zweitaktöl als Dieselmotorschutz zu investieren.

Während diese Studie zeigt, dass durch die Beimischung von Zweitaktöl zum Diesel keine nachteiligen Auswirkungen auf die Schmierfähigkeit oder die Abgasemissionen verursacht werden, ist die Verschmutzung der Einspritzdüsen ein mögliches Risiko. Die Spuren von Metallen wie Zink, die in den meisten Schmierölen, einschließlich Zweitaktöl, enthalten sind, können zu einer raschen Verschmutzung der Einspritzdüsen führen. Während einige hochwertige Dieselmotorkraftstoffe auf dem Markt, wie Sasol Turbodiesel™ ULS, Reinigungszusätze enthalten, die diese Art von Ablagerungen beseitigen können, können Metallverunreinigungen immer noch schädlich sein. Der Dieselpartikelfilter (DPF), der in den meisten modernen Dieselfahrzeugen verbaut ist, fängt sehr effektiv Ruß (Kohlenstoff) auf, der bei Verstopfung leicht abgebrannt (regeneriert) werden kann. Andere in Ölen wie Zink enthaltene Verunreinigungen führen zur Aschebildung im DPF, was schließlich zu einer dauerhaften Verstopfung und einem vorzeitigen Ausfall dieser kostspieligen Komponente führt.

Es wäre daher unverantwortlich, die Verwendung von Zweitaktöl in Dieselmotoren zu empfehlen oder zu dulden, und diese Vorgehensweise wird nicht empfohlen.

## 7. SCHLUSSFOLGERUNG

Basierend auf den Ergebnissen dieser Studie werden die folgenden Schlussfolgerungen gezogen:

- Bei einem volumetrischen Mischungsverhältnis von 200: 1 hat Zweitaktöl einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Dieselschmierfähigkeit.
- Sämtlicher in Südafrika verkaufter Dieselmotorkraftstoff muss die Schmierfähigkeitsspezifikation SANS 342: 2014 erfüllen, um den ordnungsgemäßen Schutz von Dieselpumpen und Einspritzsystemen zu gewährleisten.
- Die von Sasol vertriebenen schwefelarmen Dieselprodukte enthalten Additive zur Verbesserung der Schmierfähigkeit, die weitaus wirksamer sind als Zweitaktöl.
- Bei einem volumetrischen Mischungsverhältnis von 200: 1 hat Zweitaktöl einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Diesel-Cetanzahl.
- Bei einer 200: 1-Dosis Zweitaktöl in Diesel wurde kein messbarer Effekt auf alle anderen geregelten Dieseleigenschaften gemessen.
- 2-Takt-Öl kann je nach Formulierung und Charge etwa 16 ppm Zink oder mehr enthalten.
- Es ist bekannt, dass Spuren Mengen von Zink in Diesel die Ablagerungen der Einspritzdüsen schnell beschleunigen.
- Motorentestergebnisse zeigen, dass eine 200: 1-Mischung von Zweitaktöl in Dieselmotorkraftstoff in einem 16-Stunden-Test zu einem 2% igen Leistungsverlust aufgrund von Injektorverschmutzung führt, ein Risiko, das bei allen Common-Rail-Dieselmotoren bestehen könnte verschlechtern auch die Verschmutzung in

älteren Motoren.

- Fahrzeuge, die mit einem Dieselpartikelfilter (DPF) im Abgassystem ausgestattet sind, können aufgrund der Ansammlung von Asche und metallischen Verunreinigungen im Filter im Laufe der Zeit bei fortgesetzter Verwendung von Zweitaktöl eine verkürzte Lebensdauer des DPF erfahren.

Die oben genannten Ergebnisse sollten hoffentlich viele der öffentlichen Missverständnisse in Bezug auf die Verwendung von Zweitaktöl in Diesel aufklären und aufzeigen, warum sowohl die Ölfirmen als auch die Motorenhersteller die Zugabe von Nachrüstungen nicht empfehlen, d. H. 2-Takt-Öl zum Kraftstofftank. Es ist auch ratsam, Kraftstoffe von seriösen Händlern zu verwenden, die vom technischen Support eines kompetenten Kraftstoffherstellers unterstützt werden, um die beste Motorleistung und Haltbarkeit zu erzielen.

## WISSEN

Sasol Southern Africa Energy ist für die Finanzierung dieser Arbeit und die Bereitstellung der erforderlichen technischen Forschungseinrichtungen anerkannt. Der Autor dankt auch den Kollegen Andy Yates, Renier Nel und Belinda Harker für ihren wertvollen Beitrag.

## VERWEISE

ASTM D6079-11, Standardprüfverfahren zur Bewertung der Schmierfähigkeit von Dieseldieselkraftstoffen mit dem Hochfrequenz-Kolbenbohrgerät (HFRR), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011 (erste Version 1999), [www.astm.org](http://www.astm.org) .

ASTM D6078-04, Standardprüfverfahren zur Bewertung der Schmierfähigkeit von Dieseldieselkraftstoffen mit dem Schmierfähigkeitsprüfgerät (SLBOCLE), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010 (erste Version 1999), [www.astm.org](http://www.astm.org) .

ASTM D6890-13, Standardprüfverfahren zur Bestimmung der Zündverzögerung und der abgeleiteten Cetanzahl (DCN) von Dieseldieselkraftstoffen durch Verbrennung in einer Kammer mit konstantem Volumen, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013 (erste Version 2003), [www.astm.org](http://www.astm.org) .

EN590-2010, Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Diesel - Anforderungen und Prüfverfahren, Europäisches Komitee für Normung, Brüssel, 2010.

Leedham A., Caprotti R., Graupner O., Klaua T., Auswirkungen auf Additive auf Dieselinjektorablagerungen, 2004, SAE Technical Paper 2004-01-2935.

Nikanjam M, Dieseldieselkraftstoff-Schmierfähigkeit: Auf dem Weg zu Spezifikationen, 1999, SAE Technical Paper 1999-01-1479.

Stachowiak GW, Batchelor AW, Engineering Tribology 3. Auflage, 2005, Elsevier Butterworth Heinemann.

Velaers A, de Goede S, Eigenschaften und Injector Fouling Performance von sauberen GTL- und EN590-Dieselmischungen in verschiedenen Dieselmotoren, 2012, SAE Technical Paper 2012-01-1692.

Velaers A, Woolard C, de Goede S., Injector Fouling Performance und Löslichkeit von mit Zink dosiertem GTL-Diesel, 2013, SAE Technical Paper 2013-01-1697.

Copyright © 2015 von SAIT2015

Wiedergabe mit Genehmigung

Papier-ID: SAIT2015-011

Präsentiert auf der 11. Internationalen Tribologie-Konferenz

SAIT TRIBOLOGY 2015

10.-12. März 2015, Pretoria, Südafrika