

### **Vorbemerkung:**

Übersetzung aus dem Englischen. - *Übersetzungsunsicherheiten sind kursiv gedruckt*

## Verbesserte Wärmeeffizienz durch die Technologie der Enzymbehandlung des Kraftstoffs bei großen Schiffsdieselmotoren

**Prof. Dr. Roy Douglas**  
Queen's University, Belfast  
**Malcolm Crawford**  
Soltron Ltd.

### **Zusammenfassung**

Das Ziel dieser Abhandlung ist es, die tatsächlichen Vorteile einer alternativen organisch mikrobiologischen Behandlung von Kraftstoff in Gestalt einer komplexen Enzym-*Rezeptierung (formulation)* wissenschaftlich nachzuweisen. Wenn diese Enzyme verflüssigten fossilen Brennstoffen beigemischt werden, ergibt sich eine **signifikante Verbesserung des Kraftstoffverbrauchs** und eine damit verbundene **Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen**. Wenn die Enzymbehandlung im Verhältnis 1 : 10 000 dosiert wird, wirkt sie sich auf die Effizienz des Kraftstoffs, die Abgastemperatur und die Kohlenmonoxyd (CO) - Emissionen von Schiffsdieselmotoren aus, wie an zwei verschiedenen Beispielen von Schiffen gezeigt wird.

Im ersten Fall wurden der Kraftstoffverbrauch und die Emissionen über einen Zeitraum von 65 Tagen, 742 Betriebsstunden beobachtet, und zwar auf einer Kanalfähre der **Stena Line**, die **Marinedieselloil** verbrennt. Diese Tests zeigten die klassischen "*Aufbereitungs-(conditioning)*"-Merkmale, bei denen über 21 Tage, 240 Betriebsstunden, keine Veränderung zu erkennen war. Dann wurde über 7 Tage, 80 Stunden eine "Reinigung" mit verstärkten CO-Emissionen beobachtet, aber ohne Verringerung des Kraftstoffverbrauchs. Schließlich war nach 28 Tagen, 320 Stunden der *Nachbereitung des Verfahrens (operation post treatment)* eine **Verbesserung von 10,8% beim spezifischen Kraftstoffverbrauch** (SFC Abkürzung für: specific fuel consumption) zu sehen. **Diese Ergebnisse wurden ein Jahr später in ungefähr 4 000 Betriebsstunden aufrechterhalten und bestätigt.**

Im zweiten Fall wurden Motorenleistung, Kraftstoffersparnis und Emissionen über einen großen Bereich von *Ladungspunkten (load points)* auf der Insel-*Texel-Fähre* der **Teso** aufgezeichnet. Das bot Gelegenheit zu einer gründlicheren und genaueren Beurteilung der Leistung. Zwei Motoren wurden beobachtet: Einer mit Biodiesel und einer mit enzymbehandeltem Biodiesel, wobei beide unter den gleichen Ladebedingungen zusammenarbeiteten. Diese Tests zeigten einen deutlichen Unterschied in der Wärmeeffizienz zwischen den beiden Motoren bei einer durchschnittlichen **Verbesserung von 7,4% beim Kraftstoffverbrauch (und beim CO<sub>2</sub>)** und einer um **4,7% geringeren Abgastemperatur** bei dem Motor mit enzymbehandeltem Kraftstoff. Bei diesem Schiff wurde auch der Kraftstoffverbrauch über einen Zeitraum von vier Monaten und 1 600 Betriebsstunden beobachtet. Dieser erweiterte Test zeigte einen **Rückgang um 7,9% beim Kraftstoff**, der von den zwei Motoren verbraucht wurde, wenn sie mit enzymbehandeltem **Biodiesel** betrieben wurden im Vergleich zu denen, die mit unbehandeltem Kraftstoff betrieben wurden. In beiden Fällen war die Verbesserung der **Kraftstoffersparnis ganz offensichtlich**, was durch andere Messungen gestützt wurde, die eine verbesserte Wärmeeffizienz anzeigten.

### **Einleitung**

Technologien der Kraftstoffbehandlung oder "chemische Zusatzpakete" sind die Norm und werden von der petrochemischen Industrie in großem Umfang dazu verwendet, um die Eigenschaften des Kraftstoffs zu verändern, um die Leistung zu erhöhen und die Kraftstoffe zu stabilisieren. Zum Beispiel wurde jahrelang Tetraethylblei dem Benzin beigegeben, um die Oktanzahl zu erhöhen und das Klopfen zu unterdrücken, indem die Kontaktstelle zwischen Ventil und Ventilsitz geschmiert wurde [1]\*. Heutzutage ist eine breite Palette an Kraftstoff-Zusatzstoffen mit vielen verschiedenen Eigenschaften verfügbar und findet in großem Umfang Verwendung [2], [3]. \* die Zahlen in eckigen Klammern geben die Literaturverweise an.

Die Arbeitsreihen und die sorgfältige Echtzeitbeobachtung und Echtzeittests, die hier vorgestellt werden, sind bestrebt, zu untersuchen und **wissenschaftlich aufzuzeigen**, wie die Mikrobiologie in Gestalt einer komplexen Enzym-*Rezeptierung (formulation)* im Kraftstoff eine signifikante Rolle spielen kann bei der Aufbereitung von Kraftstoffen für eine **optimale, nachhaltige Verbrennungseffizienz**, wobei die vom Hersteller angegebenen Betriebswerte wieder erreicht oder in einigen Fällen Werte für SFC erreicht werden, die signifikant unter den Herstellerangaben liegen. Während der letzten 15 bis 20 Jahre hat es eine deutliche Verbesserung in der Entwicklung der Dieselmotorentechnologie gegeben, um die Effizienz zu verbessern. Typischen Werte von damals lagen bei über 250 g/kWh [4], was in jüngster Zeit auf Werte von unter 200 g/kWh verbessert wurde [5]. Die beiden Beispiele, die hier beschrieben werden, sind **einer ausgedehnten Forschung entnommen** und wurden ausgewählt, weil sie eine moderne auf dem neuesten Stand der Forschung befindliche Dieselmotorentechnologie vertreten [6].

### Das Schiff "Trader" der Stena Line

Die erste Versuchsreihe, die hier dargestellt wird, wurde auf einer Kanalfähre durchgeführt, die zwischen Hook of Holland und Killingholme in England verkehrt. Eigner und Betreiber ist die Stena Line (7), der Name ist "Trader", zu sehen in Abb.: 1. Es handelt sich um ein Schiff von 212 m Länge und 26,7 Kilotonnen, gebaut bei FMV-Fossen in Norwegen.

Die Hauptantriebskraft liefern zwei B&W MAN Motoren mit einer Gesamtleistung von 21,6 MW.



Abb.: 3. Es handelt sich dabei um Motoren der 3600-er Serie, Achtzylinder-Reihenmotoren, die von Caterpillar Corp. Geliefert wurden und von denen ein jeder mit 2460 kW bei 1000 Umdrehungen pro Minute bewertet wird.



Abb.: 2. Das Schiff besitzt außerdem zwei Hilfsmotoren, die mit Marinedieselöl (MGO, Abk. für Marine Gas Oil) betrieben werden und die die Elektrizität für das Schiff liefern, siehe





Abb.: 4: Texel-Fähre "Dr. Wagemaker" von Teso



Abb.: 5: Hauptmotor Nr. 1 der Teso-Fähre

### Die Texel-Fähre "Dr. Wagemaker" von Teso

Die zweite hier vorgestellte Testreihe wurde auf einer Fähre durchgeführt, die zwischen Den Helder und der Insel Texel in Holland verkehrt und deren Eigner Teso ist (8). Das Schiff, zu sehen in Abb. 4, ist 130 m lang, hat eine Wasserverdrängung von 5,1 Kilotonnen und eine Ladekapazität von 1,8 Kilotonnen. Es wird von vier Achtzylinder-Motoren der 3600-er Serie angetrieben, die von Caterpillar Corp. geliefert wurden, wobei ein jeder eine Leistung von 2460 kW bei 1000 Umdrehungen pro Minute liefert, vgl. Abb. 5.

Die Teso-Fähre verwendet ein *elektrisches Antriebssystem (electrical power drivetrain system)* anstelle eines mechanischen Propellers. Dies stellt in der vorliegenden Studie einen **entscheidenden Vorteil für den Test** dar. An jedem Motor ist ein elektrischer Generator angeschlossen und dient als Drehmomentmesser für den Motor. Spannungs- und Stromstärkemessungen vom Generator berücksichtigen genaue Leistungsmessungen in Echtzeit. Das Antriebssystem ist mit einer computergesteuerten Datenaufzeichnung ausgestattet, um die Leistung und den Kraftstoffverbrauch automatisch aufzuzeichnen, und ist damit ideal für den Test und die Auswertung.

Das Schiff wurde seit Januar 2006 betrieben und hatte bis zum Testzeitpunkt ungefähr 15 000 Betriebsstunden angehäuft. Die Motoren werden im Normalfall paarweise betrieben, um unter normalen Wetterbedingungen die richtige Leistungsmenge zu liefern. Gelegentlich sind bei schwerer See drei oder alle vier Motoren erforderlich und die Motoren werden im Wechsel betrieben, um eine einigermaßen gleiche *Leistung (service)* aller Motoren sicherzustellen. Im Ergebnis hatten diese Motoren ungefähr 8 000 Betriebsstunden.

### Testergebnisse für die "Trader" der Stena Line

Während des Testzeitraums wurden der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch und Stichproben der Abgasemissionen der Motoren der "Trader" bei den Caterpillar 3608 Hilfsmotoren über einen Zeitraum von 65 Tagen täglich aufgezeichnet. Der Verbrauch an Marinediesöl (MGO) - Kraftstoff wurde von den an Bord befindlichen Kraftstoffmessern verbucht und die Emissionen wurden mittels eines Kane 250 Verbrennungsanalysegerätes gemessen. Über die ersten 14 Tage, 160 Stunden des Betriebs wurde eine Basislinie ermittelt. Während dieser Zeit wurde unbehandelter MGO-Kraftstoff verwendet. Der durchschnittliche spezifische Kraftstoffverbrauch (SFC) lag stabil bei 213 +/- 5 g/kWh, Abb. 6, und die spezifischen CO-Emissionen lagen bei 1,07 +/- 0,15 g/kWh, Abb. 7.

Enzymbehandelter MGO-Kraftstoff (im Verhältnis 1 : 10 000) wurde beginnend mit dem Tag 14 und für den gesamten restlichen Zeitraum verwendet. Anfangs konnte keine Veränderung festgestellt werden, weder bei der Kraftstoffeinsparung noch bei den CO-Emissionen. Ein ganz leichter Rückgang an SFC auf 212 g/kWh wurde beobachtet, aber dies ist nicht als statistisch signifikant zu betrachten. Die Motorenleistung blieb für die nächsten 20 Tage, 230 Betriebsstunden stabil. Ein Zeitraum, während dem es einen bemerkenswerten Anstieg des spezifischen CO auf 1,36 g/kWh gab. Dieses Niveau wurde für 7 Tage, 80 Betriebsstunden beibehalten, nach denen das spezifische CO-Abgasniveau signifikant auf 0,76 g/kWh fiel.

Zur gleichen Zeit gab es eine merkliche Verbesserung des SFC auf  $190 \pm 3$  g/kWh. **Dies stellt eine Abnahme des Kraftstoffverbrauchs von 10,8% dar.** Diese Verbesserung wurde über den gesamten restlichen Testzeitraum beibehalten, 274 Stunden, mit einer leichten weiteren Verbesserung auf einen SFC von 186 g/kWh, was mit 12,7% beträchtlich weniger ist als die SFC-Werte des Herstellers bei voller Ladung von 200 g/kWh [6].

**Aus dieser Ergebnislage geht eindeutig hervor, dass es eine ganz signifikante Verbesserung des Kraftstoffverbrauchs gibt, wenn die Enzymbehandlung angewandt wird. Ebenso ist es sehr interessant, dass die Veränderungen nicht sofort zu sehen sind, sondern dass eine Art "Reinigungs"-Prozess damit verbunden ist.**

Es gibt offenbar einen Zeitraum von 21 Tagen "Aufbereitung (conditioning)", zwischen Tag 14 und Tag 35, mit 240 Betriebsstunden, wenn die Enzymbehandlung den Motor vorbereitet, während dem es keine Verbesserung der Kraftstoffeinsparung gibt. Darauf folgt der "Reinigungs"-Zeitraum, 80 Betriebsstunden, während dem das spezifische CO höher ist als vorher und in dem es deutlich eine andere Art der Verbrennung im Motor gibt. Man nimmt an, dass es sich hier um die Ablagerungen innerhalb des Motors handelt, die allmählich abbröckeln und dann während der normalen Verbrennung aufgezehrt werden.

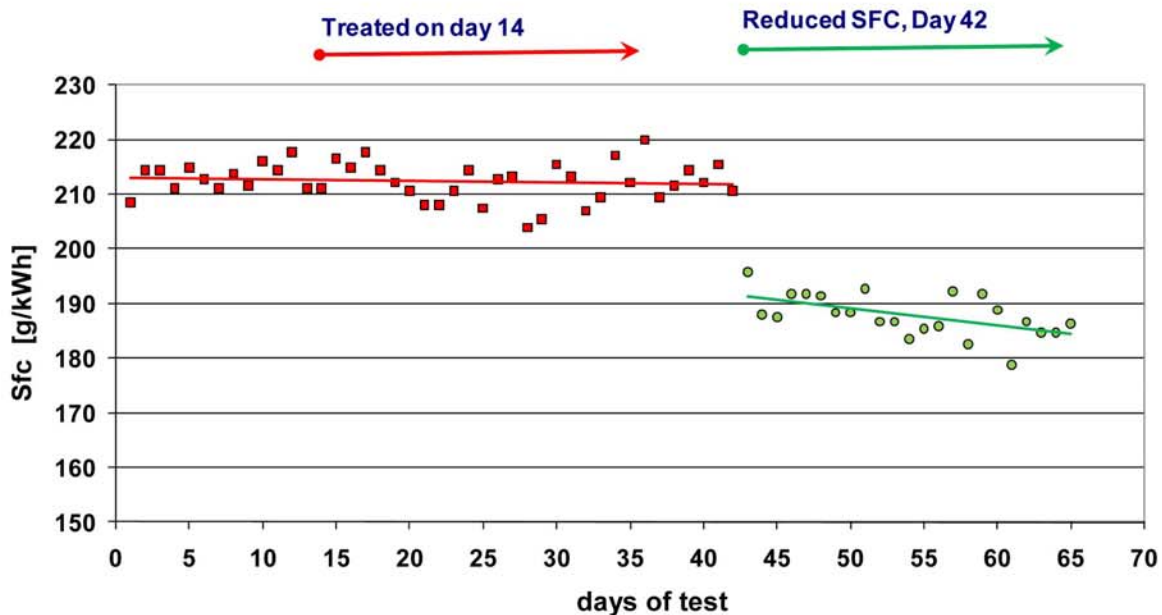
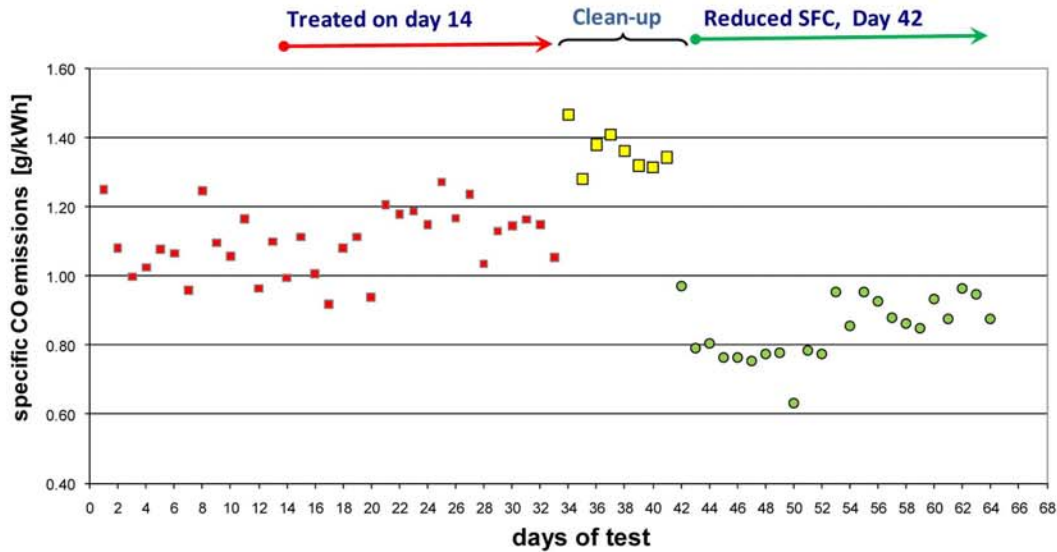


Abb 6: Spezifischer Kraftstoffverbrauch für einen 65-Tage-Zeitraum auf der "Trader" der Stena Linie. (behandelt am Tag 14 ... verringerter SFC ab Tag 42 ...)



**Abb. 7: Spezifische CO-Emissionen für einen Zeitraum von 65 Tagen auf der "Trader" der Stena Line (behandelt am Tag 14 ... Reinigung ... reduzierter SFC, Tag 42 ... Testtage)**

Darauf folgt der stabile Schlusszeitraum des Betriebs, 274 Stunden, mit verbesserter Effizienz und vermindertem Kraftstoffverbrauch. Während diesem Zeitraum stabilisieren sich ebenso die Emissionen mit einer *Ausgangs (raw)*-CO-Konzentration in den Abgasen, die auf einen Durchschnitt von 116 ppm (*parts per million, Teile pro Million*) zurückgehen, einen Wert, der etwas geringer ist als der ursprüngliche *Basislinienwert (baseline value)* von 123 ppm, die man während der ersten 20 Tage der Beobachtung sehen kann.

### Testergebnisse für die Teso Texel-Fähre

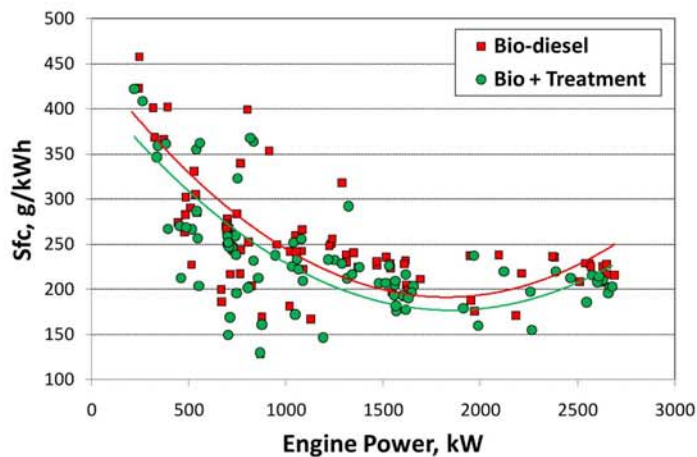
Ein ganz anderer Testansatz wurde auf der Teso-Fähre gemacht, die insgesamt vier getrennte Motoren hat. Diese können in jeder beliebigen Reihenfolge betrieben werden, aber bei Normalbetrieb sind nur zwei Motoren erforderlich, um das Schiff anzutreiben. Die beiden anderen Motoren werden als Reserve verwendet, wobei alle vier Motoren nur bei widrigen Wetterbedingungen benötigt werden. Alle vier Motoren werden im Wechsel betrieben, um einen gleichmäßigen Gebrauch aller vier Motoren sicherzustellen. Dies wurde in der EN 590-Verordnung Diesel festgeschrieben, um sicherzustellen, dass alle Motoren ganz ähnlich sind. Die Motorenleistung war sehr gut angeglichen bei einem größten Unterschied bei voller Betriebsleistung von nur 2% und ähnlich einer Verteilung von 2% beim spezifischen Kraftstoffverbrauch. Man nahm an, dass dies zu Testzwecken angemessen sei und so können alle Unterschiede von mehr als 2% als signifikant betrachtet werden.

Die Motoren wurden über einen ausgedehnten Zeitraum mit Diesel betrieben, wobei zwei Motoren mit Diesel liefen, das im Verhältnis 1 : 10 000 mit enzymbehandeltem Diesel versetzt war. Während dieser Tests wurde nur der gesamte Kraftstoffverbrauch gemessen, indem beim Betanken die Kraftstoffmenge aufgezeichnet wurde. Dabei zeigte sich in signifikanter Unterschied über einen Zeitraum von neun Monaten und ungefähr 3 000 Betriebsstunden. Die beiden Motoren, die mit normalem Diesel liefen, verbrauchten über 10% mehr Kraftstoff als die Motoren, die mit enzymbehandeltem Diesel betrieben wurden. An dieser Stelle entschied man sich, eine gründlichere Studie durch genaue Beobachtung über einen typischen ganzen Betriebstag durchzuführen. Jedoch hatte zu diesem Zeitpunkt die Teso Company sich dazu entschlossen, auf Biodiesel umzusteigen (EN 14214-Verordnung), in dem Bestreben, die CO<sub>2</sub>-Emissionen weiter zu verringern, und so wurden die Versuche unter Verwendung von Biodiesel durchgeführt. Bevor mit den Versuchen begonnen wurde, wurde eine Stabilisierungsphase von einem Monat (ungefähr 300 Stunden) Betrieb *eingeschoben (employed)*, um sicherzustellen, dass die Ergebnisse signifikant und genau würden.

Weil immer zwei Motoren im Doppelbetrieb laufen, entschied man sich, zwei Motoren mit unbehandeltem Biodieselmotoren zu betreiben, und zwei mit enzymbehandeltem Biodieselmotoren und die Ergebnisse unmittelbar zu vergleichen.

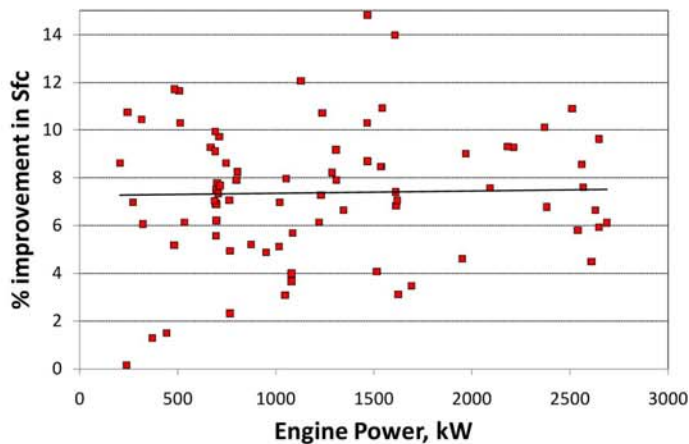
Die Kraftstofftanks für zwei der Motoren wurden direkt während der Betankung mit der Enzymbehandlung versehen, in einem Verhältnis von 1 : 10 000. Die Fähre verkehrt in Intervallen von einer Stunde in jede Richtung mit einer Überquerungszeit von ungefähr 15 min. und 15 min. Wendezeit. Während sie vom Liegeplatz ablegt, ist nahezu volle Leistung erforderlich, um das Schiff auf Reisegeschwindigkeit zu beschleunigen: Dies sind die hohen Leistungsspitzen, über 2 000 kW. Während der Kanalüberquerung fällt der Leistungsbedarf zurück in einen Bereich zwischen 1 200 bis 1 500 kW. Während der Anlegezeit arbeiten die Motoren in einem Bereich von bis zu 750 kW, abhängig von den betrieblichen Erfordernissen auf dem Schiff. Dadurch erhält man die gesamte Leistungsspannweite von 10% Ladung bis zur vollen Ladung und somit eine Bandbreite des Kraftstoffverbrauchs.

Abb. 8 zeigt einen Vergleich des spezifischen Kraftstoffverbrauchs der Motoren Nr. 2 und Nr. 4 während eines typischen Betriebstages. Die Ergebnisse bewegen sich in einem Bereich zwischen 150 bis 450 g/kWh, wobei die besten Ergebnisse bei dreiviertelvoller Ladung zu sehen sind. Bei voller Ladung häufen sich die Werte um 200 g/kWh, was nahe an die vom Hersteller für diese Motoren veröffentlichten Werte heranreicht [6]. Es besteht eine signifikante Streuung bei den Ergebnissen, so dass es einer tieferen Analyse bedarf, um die Unterschiede zu verdeutlichen und die Bedeutung der Ergebnisse aufzuzeigen.



Eine Kurvenanpassung der Ergebnisse in Abb.: 8 zeigt deutlich einen Unterschied zwischen den SFC-Werten für jeden Motor, aber die Streuung macht es schwierig, dies zu sehen. Abb. 9 zeigt einen Vergleich des SFC-Unterschiedes zwischen den beiden Motoren unter gleichen Betriebsumständen. Motor Nr. 2 der mit behandeltem Kraftstoff betrieben wird, zeigt immer einen besseren SFC mit einer durchschnittlichen Verbesserung von 7,4% und einer Standardabweichung von 4.3%.

Abb. 8: SFC-Vergleich für Teso-Motoren



Diese verbesserte Effizienz wird weiterhin bestätigt durch den Vergleich der aufgezeichneten Abgastemperatur. Und, wie in Abb. 10 gezeigt, sind die Abgase immer bei dem Motor geringer, der mit behandeltem Kraftstoff betrieben wird, was eindeutig eine bessere Wärmeeffizienz anzeigt. Der Unterschied in der Abgastemperatur ist in Abb. 11 aufgezeigt, mit einer durchschnittlichen Verbesserung von 4,7% und einer Standardabweichung von 1,4%.

Abb. 9: Verbesserter SFC bei Teso-Motoren

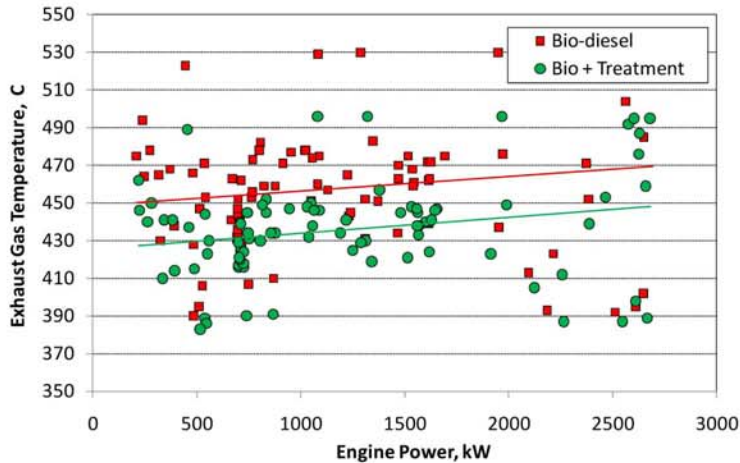


Abb. 10: Abgastemperaturvergleich für Teso-Motoren

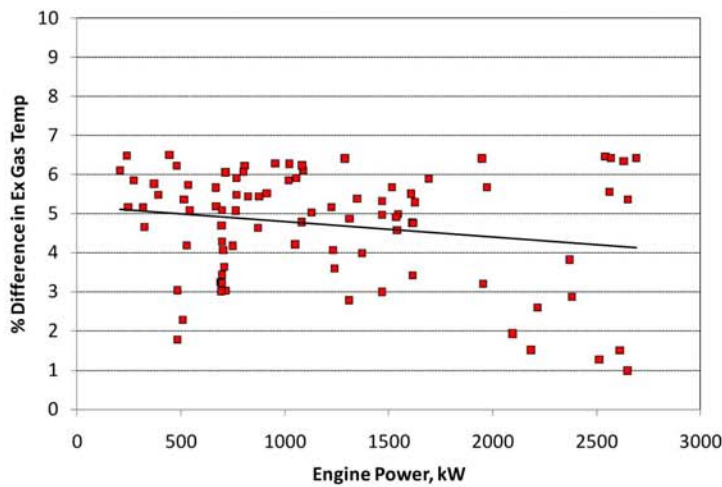


Abb. 11: Unterschied der Abgastemperaturen bei Teso-Motoren

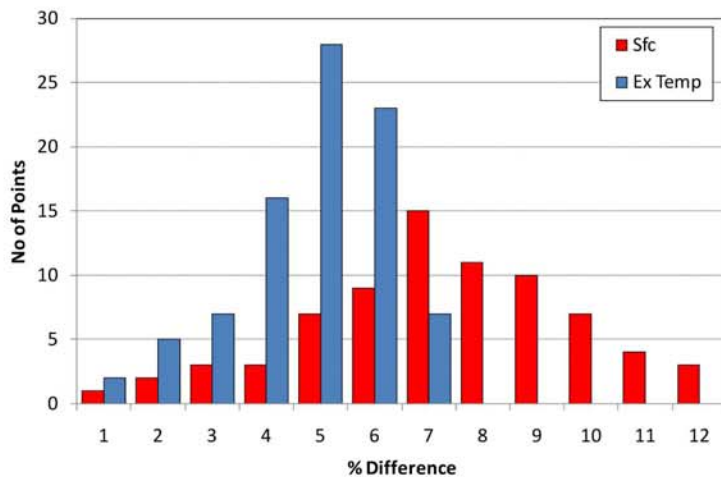


Abb. 12: Verteilung der Unterschiede von SFC und Abgastemperaturen

Diese Verbesserungen werden weiterhin bestätigt, wenn man die Ergebnisse unter statistischen Gesichtspunkten betrachtet.

Abb. 12 zeigt die Verteilung der Ergebnisse für beides, SFC und Abgastemperatur, indem die Verteilung der Anzahl der Punkte im Verhältnis zu der prozentualen Verbesserung graphisch dargestellt wird. Die SFC Ergebnisse zeigen eine einigermaßen normale Verteilung um den Durchschnittswert von 7.4% herum.

Die Abgastemperatur zeigt eine asymmetrische Verteilung, wird aber als eine gute Verteilung angesehen, weil die größte Häufigkeit (*peak frequency*) nahe dem Durchschnittswert auftritt.

Weil diese beiden Werte eine einigermaßen normale Verteilung um einen zentralen Durchschnittswert mit signifikanten Verbesserungen zeigen, geht man davon aus, dass diese Verbesserungen echt und statistisch signifikant sind. Dies ist ein entscheidender Punkt (*key point*) und unterstreicht die Wichtigkeit eines genauen

Testplanes, um die Unterschiede aufzuzeigen. Zum Beispiel zeigen, verursacht durch die statistische Streuung der Ergebnisse, etwa 4% der Messpunkte 2% Verbesserung oder weniger. Wenn diese also die einzigen aufgezeichneten Punkte wären, hätte man keine Verbesserung sehen können. Auf der anderen Seite zeigen 8% der Punkte Verbesserungen von 10% oder darüber.

## Abgasergebnisse für die Teso-Texel-Fähre

Als Haupt-Testplan wurden auf der Teso-Fähre auch über denselben Zeitraum die Abgasemissionen aufgezeichnet. Die Testmethode brachte eine manuelle Aufnahme von Testwerten mit sich, wobei ein handbetriebenes, tragbares Analysegerät (*Kane 250*) verwendet wurde, weil eine online-Aufzeichnung der Emissionen nicht zur Verfügung stand. Infolgedessen wurden viel weniger Ergebnisse aufgezeichnet und so sind sie weniger verlässlich als die gründlicheren Kraftstoffverbrauchsergebnisse.

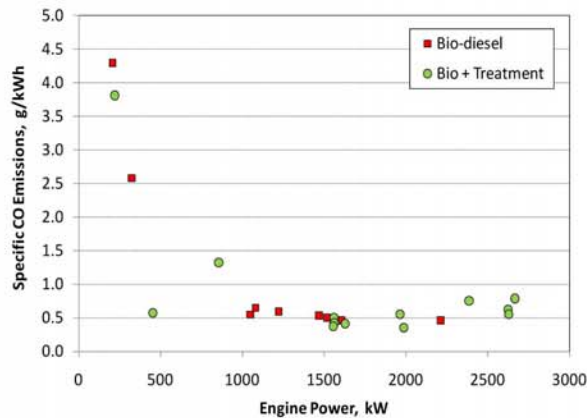


Abb. 13: Spezifische CO-Emissionen für Teso

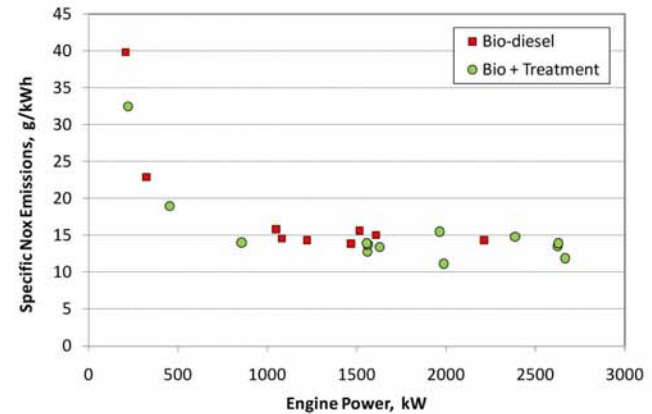


Abb. 14: Spezifische NOX -Emissionen für Teso

Abb. 13 und 14 zeigen die spezifischen CO- und NOX-Werte über einen Messbereich der Motorlast (engine load) bei Normalbetrieb. Als erstes ist anzumerken, dass es zwischen den beiden Motoren unter Testbedingungen keinen bemerkenswerten Unterschied bei den Emissionen gab. Der spezifische CO-Wert, Abb. 13, liegt sehr niedrig, bei rund 0,5% g/kWh, gemessen über den größten Teil der Bandbreite der Motorlast (load range), mit einer Ausgangs (*raw volumetric*)-Volumenkonzentration um 60 ppm.

Das spezifische NOX, Abb. 14, liegt viel höher, bei ungefähr 15 g/kWh mit einer Ausgangs (*raw*)-Konzentration um 1100. Man beachte, dass der Unterschied bei spezifischen Emissionen mehr betont ist für NOX, was an dessen höherem Molekulargewicht liegt.

## Beobachtung des Kraftstoffs auf der Teso über einen längeren Zeitraum

Der letzte Teil der Studie betrachtete, wie oben erwähnt, den tatsächlichen Kraftstoffverbrauch des Teso-Schiffs über einen Zeitraum von vier Monaten, 1 600 Betriebsstunden. Jeder Motor besitzt einen getrennten Kraftstofftank, und so konnte der Kraftstoffverbrauch beobachtet werden, indem man den Biodieselmotorkraftstoff während der Betankung verbuchte. Tabelle 1 zeigt die Betankungsaufzeichnungen für jeden Motor, zusammen mit den Betriebsstunden und der Gesamtleistung während dieses Zeitraums. Die Motoren Nr. 1 und 2 wurden mit dem behandelten Biodieselmotorkraftstoff betrieben.

Tabelle 1:

Engine Number	Operating Hours	Output MWh	Fuel litres	SFC g/kWh
#1	972	912	251	236
#2	656	585	159	234
#3	1034	937	273	251
#4	879	801	244	262



Auf den ersten Blick scheint der Unterschied bei den Betriebsstunden untypisch zu sein, aber dies ist leicht zu erklären. Obwohl die Motoren paarweise betrieben werden, werden sie auch in verschiedenen Kombinationen betrieben, so dass keine zwei Motoren genau die gleiche Betriebszeit haben. Das Betriebspersonal wählt aus, welchen Motor sie laufen lassen und gleicht nicht immer die Betriebszeiten aus, abhängig von den täglichen Betriebserfordernissen.

Wie zu sehen ist, zeigen die Motoren Nr. 1 und Nr. 2 viel geringere SFC als die Motoren Nr. 3 und Nr. 4. Motor Nr. 1 ist 6% besser als Motor Nr. 3 und 10% besser als Motor Nr. 4. Motor Nr. 2 ist 6,8% besser als Motor Nr. 3 und 10,7% besser als Motor Nr. 4. Dies ergibt einen Durchschnittswert für die Motoren Nr. 1 und Nr. 2 von 7,9% weniger verbrauchtem Kraftstoff als Motor Nr. 3 und Nr. 4. Dies ist ein entscheidendes Ergebnis, das voll und ganz das Niveau der Verbesserungen stützt, die aus dem detaillierten Test, der oben beschrieben wurde, ersichtlich sind.

## Schlussfolgerungen

Aufbauend auf den hier vorgestellten Ergebnissen kann man den Schluss ziehen, dass die Behandlung von Marinedieselöl und Biodiesel mittels Enzymbehandlung bei diesen Schiffen eine signifikante Verbesserung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs und daher der gesamten Wärmeeffizienz dieser Motoren bewirkt, sowie eine damit verbundene Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Auf dem **Schiff "Trader" der Stena Line** war während einem Langzeit-Testlauf auf See und 742 Betriebsstunden bei Verwendung von Marinedieselöl eine **Verbesserung von 10,8% beim Kraftstoffverbrauch** und damit der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu sehen. Bezeichnenderweise wurde dies nach weiteren ungefähr 4.000 Betriebsstunden aufrechterhalten. Also ist dies als signifikante und nachhaltige Verringerung des SFC gegenüber den ursprünglichen Bedingungen ohne Behandlung zu betrachten. Ebenso zeigt dieses Leistungsniveau 7% geringere Werte als die vom Hersteller für den spezifischen Kraftstoffverbrauch bei Verwendung von **Marinedieselöl** veröffentlichten.

Auf der **Teso Texel-Fähre** war beim Vergleich zwischen zwei identischen Motoren, die im Doppelbetrieb liefen und ziemlich ähnliche Leistungsniveaus lieferten, eine **Verbesserung von 7,4%** zu beobachten. Dies wurde ferner gestützt durch eine Langzeitbeobachtung des Kraftstoffverbrauchs, aufgezeichnet über einen Zeitraum von vier Monaten und eine durchschnittliche Betriebszeit von 885 Stunden bei jedem Motor. Eine **durchschnittliche Verbesserung von 7,9%** konnte bei den beiden Motoren beobachtet werden, wenn sie mit **enzymbehandeltem Biodieselmotorkraftstoff** liefen, verglichen mit denen mit unbehandeltem Biodieselmotorkraftstoff. Die Bedeutung dieser Ergebnisse war, dass der enzymbehandelte Biodieselmotorkraftstoff die Herstellerangaben für die spezifischen Kraftstoffverbrauchswerte erreichte (*reinstated*), die ursprünglich für die Verwendung von Marinedieselöl berechnet worden waren.

## Danksagungen

Die Autoren möchten sich für die großzügige Unterstützung bedanken, die sie von den folgenden Personen erhielten, die zu dieser Arbeit beitrugen:

- Marius Overbeeke, Direktor, Xmile
- Dick van der Ent, Energiespar-Ingenieur, Stena Line BV
- Willem Weitevrede, Cheffingenieur, Stena Line Trader
- Cees de Waal, Director, Teso

## Literaturverweise

- 1 Bill Kovarik, "Charles F. Kettering und die Entdeckung des Tetraethylbleis im Jahre 1921 im Kontext technologischer Alternativen". Ursprünglich vorgelegt bei der Fahrzeug Ingenieurs-, Kraftstoff- und Schmiermittelkonferenz, Baltimore, Md. 1994.  
<http://www.runet.edu/~wkovarik/papers/kettering.html>
- 2 Joseph W. Roos, Doni G. Grande, Don P. Hollrah und Larry J. Cunningham, "Neurezeptierung (*reformulating*) von Benzin für niedrigere Emissionen durch den Gebrauch des Kraftstoffzusatzes MMT (*Methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl*)", SAE-Papier 2002-01-2893, Oktober 2002.
- 3 W. Rocco Pistillo, Darryl T. Grundle und Tara M. Kirschner-Jean, "Wie schädlichen EGR Effekten (EGR = exhaust gas recirculation, Abgasrückführung AGR) mittels Diesel-Kraftstoff-Zusätzen entgegengewirkt werden kann", SAE Papier 2003-01-1915, Mai 2003.
- 4 A. Govert, "Charakteristische Elemente der Kraftstoffeinsparung bei Dieselmotoren, SAE Papier 941730, September 1994, Hajime Muto, Hiroto Nakagawa, Takeo Yahagi und Tatusya Suzuki.
- 5 Kiyoshi Suginuma, "Für die US-Verordnung von 2004 entwickelte Hino Dieselmotoren der J-Serie mit höherer Kraftstoffersparnis", SAE Papier 2004-01-1314, März 2004.
- 6 Website der Caterpillar Marine: <http://marine.cat.com/propulsion>
- 7 Website der Stena Line: <http://www.stenalinefreight.com/>
- 8 Website der Teso company: <http://www.teso.nl>



**Prof. Dr. Roy Douglas**  
Queen's University, Belfast  
**Malcolm Crawford**  
Soltron Ltd.

**Website:**

<http://www.qub.ac.uk/schools/SchoolofMechanicalandAerospaceEngineering/Staff/AcademicStaff/DouglasRoy/>

Prof. Dr. Roy Douglas ist seit vielen Jahren ein International anerkannter Kraftstoff Experte.

**Weitere Informationen zu den im Test verwendeten Enzymen erhalten Sie unter:**

Auf Anfrage kann auch das Original in englischer Sprache zur Verfügung gestellt werden.