



HAUS DER TECHNIK

Außeninstitut der RWTH Aachen
Kooperationspartner der Universitäten Duisburg-Essen
Münster - Bonn - Braunschweig

**Universität
Rostock**



Traditio et Innovatio



**Lehrstuhl für
Kolbenmaschinen und
Verbrennungsmotoren
Rostock**

Kurzfassung der Tagungsbeiträge

Book of Abstracts



3. Rostocker Großmotorentagung

Zukunft der Großmotoren im Spannungsfeld von
Emissionen, Kraftstoffen und Kosten

18.-19. September 2014

Inhalt

<i>Dr.-Ing. Rasmus Cordtz, Technical University of Denmark, Dänemark</i> Theoretical Investigation of SO₃ Formation and Sulfuric Acid Condensation in a Large Two-Stroke Marine Diesel Engine	4
<i>Dr.-Ing. Jan Dreves, Dr.-Ing. Kai Ruschmeyer, Hendrik Lange, Caterpillar Motoren GmbH&CoKG</i> Zukünftige Abgasnachbehandlungskonzepte und Ihre Anforderungen an Großmotoren	5
<i>Dipl.-Ing. Jörg Hess, Andre Rendler, Dominik Andre, Heinzmann GmbH & Co.KG</i> Dual-Fuel für maritime Anwendungen	6
<i>Dipl.-Ing. (FH) Alexander Kaiser, Clemens Senghaas, Horst Ressel, L'Orange GmbH</i> L'Orange Common-Rail ‚Injektorfamilie‘ für Wärtsilä Zweitakt-Großdieselmotoren	8
<i>Dr.-Ing. Christoph Kendelbacher, Martin Bernhaupt, Rene Schimon, Dieter Blatterer, Hagen Sassnick, Robert Bosch AG</i> Das modulare 2200 bar Common Rail System für schnelllaufende und mittelschnelllaufende Dieselmotoren	10
<i>Dr.-Ing. Heinrich Mohr, Dr. Moritz Frobenius, AVL Deutschland GmbH</i> Optimierung von Diesel-/Gas-Großmotoren für unterschiedlichste Anwendungen	12
<i>Dipl.-Ing. Torsten Mundt, DNV / GL SE; Max Kofod, Shell Global Solutions GmbH, Deutschland</i> Well-to-Wake analysis of GHG emission by using LNG as a marine fuel	14
<i>Marcel Ott, Christer Hattar, Dr. German Weisser, Wärtsilä AG</i> Wärtsilä 2-Takt Dual-Fuel Motoren - Die technische Antwort auf veränderte Marktanforderungen	15
<i>Dr.-Ing. Rom Rabe, Prof. Horst Harndorf; Universität Rostock, Dr.-Ing. Maxim Epp; MAN Diesel & Turbo SE</i> Einspritzstrategien zur Verbrennungsführung moderner Großmotoren	16
<i>Dr.-Ing. Udo Schlemmer-Kelling, FEV GmbH, Aachen</i> Cost / Benefit Analysis of IMO III Solutions	19
<i>Dipl.-Ing. Eike Joachim Sixel, Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG</i> Der M46DF: Neue Möglichkeiten für das Motormanagement und der Einfluss auf den Motorbetrieb	20
<i>Prof. Dr.-Ing. Koji Takasaki, Dr.-Ing. Daisuke Tsuru, Kyushu University, Japan; Dr.-Ing. Tatsuo Takaishi, Oshima Shipbuilding Co, Ltd., Japan</i> Verbesserung der Verbrennung von hocharomatischen marinen Kraftstoffen	22

<i>Dipl.-Ing. Gert Taucher, Dr. Gernot Hirsch, Dr. Michael Engelmayer, Prof. Andreas Wimmer; TU Graz</i> Optische Untersuchungen zum besseren Verständnis von Rußbildung- und Oxidationsvorgängen bei Einspritzdrücken größer 2500bar	24
<i>Dipl.-Ing. (FH) Carsten Tietz, Obering. Norbert Krümming, Wissenschaftlich-Technisches Zentrum für Motoren- und Maschinenforschung Roßlau gGmbH</i> Der Kreislaufmotor - Konzept und experimentelle Untersuchungen zur Umsetzung von Wasserstoff und Sauerstoff in einem Kolbentriebwerk	26
<i>Dr. Fridolin Unfug, M.Sc. Dominik Krause, Dr. Ulf Waldenmeier, Dr. Matthias Auer, Dr. Gunnar Stiesch</i> PCCI an einem mittelschnellaufendem Dieselmotor- Simulation, Motorversuche und Anwendungsgrenzen	27
<i>Dipl. Ing. Sebastian Wustl, Dr. Arne Schneemann, Dr. Christina Sauer; MTU Friedrichshafen</i> Die Rolle des Einzylinder-Aggregats im Motorenentwicklungsprozess bei der MTU Friedrichshafen GmbH	29
<i>M.Sc. Sebastian Zauner, Dr. Christian Trapp, Dr. Herbert Kopecek, GE Jenbacher GmbH & CoOHG; Prof. Andreas Wimmer, LEC Graz, Österreich</i> Nutzung von Gichtgas im Großmotor mit Hilfe eines auf Zweigasbetrieb angepassten Regelungskonzeptes	31
<i>Prof. Ralf Zimmermann Rostock University (Analyt. Chem.)&Helmholtz Zentrum München (HMGU/CMA),Germany</i> Aerosol emissions from a ship engine using heavy fuel oil or diesel fuel: Aerosol composition and biological effects on human lung cells	33

Dr.-Ing. Rasmus Cordtz, Technical University of Denmark, Dänemark

Theoretical Investigation of SO₃ Formation and Sulfuric Acid Condensation in a Large Two-Stroke Marine Diesel Engine

This work presents modelled results of in cylinder SO₃(g) formation and H₂SO₄ (sulfuric acid) condensation on the cylinder liner of a large two stroke marine diesel engine that operates on a hydrocarbon fuel including sulfur. Formation of gaseous sulfur compounds are modelled using a multi zone diesel combustion approach including a detailed sulfur reaction mechanism. The major sulfur compound in the gas products is SO₂ from which a few percent is further oxidized to SO₃. The fraction of SO₃ in the exhaust gas depends on the operating conditions as measured experimentally where the presence of SO₃ is shown to decrease with the engine speed and increase with the maximum cylinder pressure. The model reproduces the experimental trends and shows that SO₃ is formed primarily when the hot gas products cools during the expansion stroke. However SO₂ contained in the fresh cylinder gas due to the presence of residual gasses can produce significant amounts of SO₃ when the cylinder pressure is peaking. This involves elevated SO₃ pressures that promote sulfuric acid condensation as SO₃ reacts instantly with water vapor and condenses as sulfuric acid on the liner when the surface temperature is less than the acid dew point temperature. Peak condensation rates are typically modeled in the upper half of the cylinder liner as a result of either residual gasses or SO₃ formation in the present cycle.

Dr.-Ing. Jan Dreves, Dr.-Ing. Kai Ruschmeyer, Hendrik Lange, Caterpillar Motoren GmbH&CoKG

Zukünftige Abgasnachbehandlungskonzepte und Ihre Anforderungen an Großmotoren

Zukünftige Abgasnachbehandlungskonzepte und Ihre Anforderungen an Großmotoren

Mit der Neuregelung der Marpol Annex VI im Jahr 2008 hat die Internationale Maritime Organisation (IMO) die Abgasemissionsrichtlinien für Großmotoren weiter verschärft. Im Jahr 2015 wird der Kraftstoffschwefelgehalt in den sogenannten Emission Control Areas (ECAs) von heute 1% auf 0,1% herabgesetzt. Eine entsprechende Absenkung des Schwefelgehalts im Abgas durch Abgasnachbehandlungssysteme ist ebenfalls zulässig. Die zusätzlich in Kraft tretende IMO Tier III senkt die erlaubten NOx Abgasemissionen in den NOx Emission Control Areas (NECA) im Vergleich zu den heute erlaubten IMO Tier II Richtlinien um ca. 75 %. Außerhalb der NECA gelten weiterhin die IMO Tier II Grenzwerte.

Darüber hinaus ist eine Begrenzung des Partikelausstoßes in küstennahen Gebieten und den ECAs wahrscheinlich. Diskussionen innerhalb der unterschiedlichen abgasgesetzgebenden Behörden über eine Begrenzung des Partikelausstoßes finden derzeit statt. Unter anderem diskutiert die Internationale Maritime Organisation (IMO) die Begrenzung des Rußausstoßes (BC) in arktischen Gewässern. Die EPA hat für Motoren der Kategorie 2 bereits Partikelgrenzwerte (PM) eingeführt und schreibt in der Tier 3 für Großmotoren der Kategorie 3 eine Messung der PM Emission vor. Auch von Seiten der Kunden besteht ein steigendes Interesse an Motoren mit geringem Partikelausstoß. Dies kann neben innermotorischen Maßnahmen zur Verwendung von Partikelfiltern (DPF) führen. Gerade der Einsatz von Partikelfiltern stellt hohe Anforderungen an die Großmotoren. Als Herausforderung für die Großmotoren sind vor allem ein stark erhöhter Abgasgegendruck sowie ein regelbares Abgastemperaturniveau zu nennen.

Um sich diesen Herausforderungen zu stellen, erprobt die Caterpillar Motoren GmbH neue Motorkonzepte, welche eine flexible Regelung des Abgastemperaturniveaus für einen Betrieb mit SCR und DPF zu lassen. Der Vortrag stellt sowohl die Anforderung an Großmotoren als auch mögliche Lösungsstrategien für einen sicheren Betrieb von Motor und Abgasnachbehandlungskonzept dar.

Future Exhaust Gas Concepts and its Requirements for Large Medium Speed Engines

Dipl.-Ing. Jörg Hess, Andre Rendler, Dominik Andre, Heinzmann GmbH & Co.KG
Dual-Fuel für maritime Anwendungen

Im Marinesektor steht ein größerer Umbruch bevor. Bisher werden Großmotoren in Frachtschiffen meist mit Schweröl betrieben, in Häfen wird jedoch bereits heute reiner Dieseldieselkraftstoff verwendet, um die örtlich strengeren Emissionsvorschriften einzuhalten. Immer strikere Emissionsgesetze werden in den nächsten Jahren ein Umdenken erfordern, da die geforderten Grenzwerte für Stickstoff- und Schwefeloxide (NO_x und SO_x) mit den derzeitigen, mit Schweröl betriebenen, Dieselmotoren nicht erreicht werden können. Im Zuge dessen nimmt die Bedeutung von Erdgas als Treibstoff zu, da hiermit die geforderten Emissionsvorschriften einfacher erfüllt werden können. Eine große Herausforderung wird hierbei sowohl die Installation von Gastanks auf den Schiffen, als auch die Betankung der Schiffe im Hafen sein. Da Gastankstellen kurzfristig nicht in allen Häfen verfügbar sein werden, wird in der Schiffsindustrie die Anzahl der Dual-Fuel-Motoren, im Vergleich zu reinen Gasmotoren, stärker zunehmen. Dual-Fuel-Motoren sind Dieselmotoren, die sowohl im reinen Dieselbetrieb, als auch mit Diesel und einem gasförmigen Brennstoff betrieben werden können. Die Zündung des Gas-Luft-Gemischs erfolgt dabei über eine Diesel-Piloteinspritzung, bei der eine geringe Menge Diesel in den Brennraum eingespritzt wird. Der Hauptvorteil eines solchen Systems ist die Möglichkeit, den Motor mit reinem Dieseldieselkraftstoff betreiben zu können, sofern kein Gas verfügbar sein sollte. Ein weiterer Vorteil der Entzündung des Gemischs über eine Piloteinspritzung ist der hohe Energiegehalt des Dieseldieselkraftstoffs. Hierdurch können deutlich magere Kraftstoff-Luft-Gemische entzündet werden, als es mit üblichen Zündsystemen möglich ist.

Aus diesem Grund haben ein bekannter Motorenhersteller und der Systemlieferant für Motormanagementsysteme, Heinzmann, gemeinsam einen Dual Fuel Motor für Schiffe mit Direktantrieb entwickelt. Hierbei konnten beide Unternehmen auf ihre umfassenden Erfahrungen im Bereich Dieselmotoren in Schiffsanwendungen und deren Steuerung zurückgreifen.

Für dieses Projekt wurde ein speziell für den Dual Fuel Betrieb optimierter Dieselmotor entwickelt. Bei diesem wurden die Ventilsteuerzeiten angepasst, wodurch Ventilüberschneidungen und damit Spülverluste vermieden werden können. Zudem wurden spezielle Kolben und Ventile eingesetzt, die für höhere Temperaturen optimiert sind. Durch den Einsatz von Spezialpumpen und Einspritzvorrichtungen für kleine Dieseleinspritzmengen kann ein sicherer Betrieb mit stationären Konversionsraten von über 95 % gewährleistet werden.

Für das Motormanagementsystem sind die variable Drehzahl und Last in Verbindung mit der Tatsache, dass das momentane Abtriebsdrehmoment und die abgegebene Leistung des Motors nicht bekannt sind, die größte Herausforderung. Um auch im dynamischen Betrieb hohe Konversionsraten zu gewährleisten, sind komplexe Regelungs- und Steuerungskonzepte notwendig. Zur Vermeidung von Zündaussetzern, die durch eine zu geringe Voreinspritzmenge entstehen können, werden zusätzliche Funktionen, wie das sofortige Rückschalten auf Dieselbetrieb, eingesetzt.

Um ein möglichst homogenes Gas-Luft-Gemisch zu gewährleisten wird ein Venturi-Gasmischer eingesetzt. Zur Gasdosierung wird das Gasdurchflussregelgerät „ELEKTRA“ eingesetzt, welches den Gasdurchfluss anhand physikalischer Berechnungen regelt. Mit dem geregelten Gasvolumenstrom ist ein nahezu linearer Zusammenhang zur abgegeben Leistung, vergleichbar mit der Position der Diesel-Regelstange und der Motordrehzahl, gegeben. Mit diesen Daten kann die kombinierte Diesel- und Gasleistung berechnet und der Motor gegen Überlast geschützt werden.

Dieses System ist daher hervorragend für den Einsatz von Dual Fuel Motoren in Schiffsanwendungen geeignet. Weitere Informationen, Prüfstandmessungen, Meilensteine der Entwicklung und erste Erfahrungen mit Testläufen werden in der folgenden Präsentation aufgezeigt.

Dual-Fuel for maritime application

In the marine sector a major upheaval is impending. Up to now, in cargo ships, large engines are mostly using heavy fuel oil. In some ports with more stringent emission standards, clean diesel is already used to meet local emission regulations. New upcoming emissions laws will force a decision during the next years, as the required limits for nitrogen oxides and sulphur oxides (NO_x and SO_x) are not achievable with the currently used diesel engines running with heavy fuel oil. The use of natural gas (LNG Liquid Natural Gas) becomes more prominent, as the required emission regulations could be achieved more easily. A major challenge will be the installation of gas tanks on the ships as well as the handling of refuelling the ships at the harbour. Gas refuelling stations will not be available at every port, which is one of the reasons dual-fuel engines will initially gain in quantity in the shipping industry instead of pure gas engines. Dual-Fuel implies a diesel engine, which can be operated with diesel and gaseous fuel simultaneously. For ignition, diesel pilot injection is used, whereby a small amount of diesel is injected in the intake air-gas-mixture. The main argument and benefit for such a system is the possibility to operate the engine with pure diesel, if no gas is available. Another advantage of using diesel as an ignition method is the high energy content of this fluid. The physical properties of diesel provide the opportunity to ignite lean air-gas-mixtures where common ignition systems have proven useless.

For this reason a well-known engine manufacturer and the system supplier for engine management systems, Heinzmann, have jointly developed a dual-fuel engine for direct propulsion ships, whereby both companies will benefit from the extensive experience in diesel engines and controls in marine applications.

For this project a diesel engine, specially optimized for dual-fuel operation, is developed. With important features including the optimization of the valve timing, necessary to avoid valve overlapping and therefore flushing losses, special pistons and valves optimized for higher temperatures, special pumps and injectors for small pilot fuel quantities, a safe operation can be ensured with stationary conversion rates of more than 95%.

For the engine management system, the biggest challenge is the variable engine speed and load combined with the fact that the instantaneous engine output torque and power are not known. To ensure high conversion rates, even during dynamic operation, requires complex control concepts. In addition, functionalities like switching immediately back to diesel operation are used to avoid problems, such as an ignition failure caused by the pilot injection being too small.

To provide a homogeneous air-gas-mixture a venturi gas mixer is used. For gas metering, a gas metering control unit is applied, which regulates the gas flow using physical calculations. With the calculated and measured gas volume flow, a similar linear relationship to the gas-produced power is given, as it is with the diesel fuel rack position and the engine speed. With this data, the combined diesel and gas power can be calculated and the engine can be protected from overload.

Hence this promises to be a suitable system for using gas with engines on maritime applications. Further information, test bench measurements, development milestones and initial experience on maritime test runs will be given on the ensuing presentation.

Dipl.-Ing. (FH) Alexander Kaiser, Clemens Senghaas, Horst Ressel, L'Orange GmbH
L'Orange Common-Rail ‚Injektorfamilie‘ für Wärtsilä Zweitakt-Großdieselmotoren

Seit Ende 2008 entwickelt die Firma L'Orange GmbH gemeinsam mit und für Firma Wärtsilä Switzerland Ltd. Common-Rail Einspritzinjektoren und Hochdruckpumpen für Zweitakt-Großdieselmotoren. Die Zweitakt-Großdieselmotoren der Firma Wärtsilä stellen eine Familie von Motoren in der Zylindergröße von 35 bis 72 cm dar, die mit Injektoren der L'Orange- ‚Injektorfamilie‘ ausgestattet sind. Die Herausforderung bei der Entwicklung war, dass für fünf Motorbaureihen unterschiedlicher Zylindergrößen, in einem Leistungsbereich von 870 bis 3.610 kW/Zyl., nur insgesamt zwei verschieden große Einspritzinjektoren eingesetzt werden sollen. Eingespritzt werden hierbei Kraftstoffmengen bei 100 % Last in einem Bereich von 9.000 bis 50.000 mm³/Einspritzung. Diese zwei Einspritzinjektoren zeichnen sich dadurch aus, dass sie schweröltauglich sind, zu rund 80 % aus Gleichteilen bestehen und jeweils an die Einspritzmenge des in ihrem Bereich größten Motors angepasst sind. Für die jeweils kleineren Motoren werden nur die einspritzmengenbestimmenden Düsenkappen verändert. Damit kann auch eine kraftstoffverbrauchsoptimierende Strategie für unterschiedliche Anwendungen des gleichen Motors dargestellt werden.

Begonnen wurde im Jahr 2008 mit der Entwicklung der kleinsten Einspritzkomponenten für den W-X35 Motor, die sich heute bereits mit über 7.000 Bauteilbetriebsstunden bei mehreren Endkunden erfolgreich bewährt haben. Bei dieser Entwicklung floss die langjährige Common-Rail Erfahrung aus dem Viertaktbereich mit ein. Bereits im Jahr 1996 hat die Firma L'Orange das erste elektronisch gesteuerte Common-Rail-System der Welt für Großdieselmotoren auf den Markt gebracht. Für Dieselanwendungen ist aufgrund der ständig steigenden Anforderungen in der Zwischenzeit die dritte Generation auf dem Markt. Für den Betrieb mit Schweröl befinden sich seit 2001 Common-Rail-Systeme der Firma L'Orange im Einsatz. Von dieser langjährigen Erfahrung wurde bei der Entwicklung der Zweitakt-Einspritzkomponenten profitiert. Verschleißresistente Materialien im hochdruckführenden Bereich und validierte Komponenten aus dem Viertaktbereich, wie das Steuerelement, der Magnet und das Pilotventil, sind in das Projekt eingeflossen. Bei der Auslegung und der Konstruktion der Baureihen aus der ‚Injektorfamilie‘ lag ein Hauptaugenmerk auf der Verwendung von Gleichteilen, so dass gerade die entwicklungsintensiven Baugruppen, wie der Magnet, das Steuerelement und das Pilotventil, in beiden unterschiedlich großen Einspritzinjektoren identisch sind.

Für die Firma Wärtsilä brachte der Schritt der Einführung der Einspritzkomponenten der L'Orange neue Freiheitsgrade bei der Einspritzratengestaltung und damit ein maßgebliches Werkzeug zur Erreichung der bestehenden und zukünftigen gesetzlichen Emissionsvorgaben. Darüber hinaus bietet die Verwendung der modernen Einspritztechnik auch für Zweitaktmotoren Vorteile im Kraftstoffverbrauch, der einen beträchtlichen Anteil der Betriebskosten eines Motors darstellt.

L'Orange common-rail 'injector family' for Wärtsilä large two-stroke engines

The company L'Orange GmbH developed together with and for the company Wärtsilä Switzerland Ltd. since the end of the year 2008 common rail injectors and high pressure pumps for large two-stroke engines. The two-stroke engines of the company Wärtsilä are a family of engines in a cylinder size between 35 until 72 cm. This engines are equipped with injectors of the L'Orange 'injector family'. The challenge of the development was, that for five types of engines with a different cylinder sizes, in a power range from 870 until 3,610 kW/cyl., are adapted only two injectors with different sizes. Fuel quantities in a range between 9,000 until 50,000 mm³/injection are injected at 100 % load. These two injectors are suitable for heavy fuel oil, consist of ca. 80 % common parts and adapted to the injection quantity of the largest engine. Only the nozzle tip, which determinative the injection quantity, will be changed for the smaller engines. The variation of the nozzle tip is also a strategy for saving fuel for different applications of the same engine.

The development of the smallest injection components for the W-X35 engine was started in 2008. These injection components have today more than 7,000 successful operating hours at different end costumers. The longtime common-rail experience from the four-stroke sector was integrated while this development. The company L'Orange had brought the first electronic controlled common-rail-system of the world for large Diesel engines already since 1996 to the market. In the interim the third generation of Diesel applications is at the market, because of permanent increasing requirements. Common-rail-systems for heavy fuel operating of the company L'Orange are since 2001 in operation. The development of the two-stroke injection components had profited by this longtime experience. Wear resistant materials in the high pressure leading region and validated components of the four-stroke sector, like the control element, the solenoid and the pilot valve were integrated in this project. The use of common parts was a main focus at the layout and the design of the type series of the 'injector family', so that the intensive developing assembly group, like the solenoid, the control element and the pilot valve in the both different sized injectors are identical.

New degree of freedom of the configuration of the injection rate was given for company Wärtsilä by the introduction of the injection components of the company L'Orange. The configuration of the injection rate is a significant tool to reach the given and future legal regulation of emissions. In addition the application of the modern injection technic also at the two-stroke engines provides advantages at the fuel consumption. The fuel consumption is a considerable part of the costs of operation of the engine.

Dr.-Ing. Christoph Kendelbacher, Martin Bernhaupt, Rene Schimon, Dieter Blatterer, Hagen Sassnick, Robert Bosch AG

Das modulare 2200 bar Common Rail System für schnelllaufende und mittelschnelllaufende Dieselmotoren

EPA Tier4, IMO Tie3 und EU3b Emissionslimits erfordern Einspritzsysteme mit voller Flexibilität in den Einspritzparametern als auch ausgezeichnete Gemischbildung. Das gilt sowohl für schnelllaufende als auch mittelschnelllaufende Dieselmotoren. Die NOx Grenzwerte können entweder über gekühltes hoch AGR im Brennraum oder über Stickoxidreduktion im Abgastrakt (SCR) erreicht werden. AGR Applikationen erfordern ausgezeichnete Kraftstoffzerstäubung und Gemischbildung um Rußbildung während der Verbrennung zu vermeiden. Bei SCR Applikationen ergeben sich zusätzliche Kosten für AdBlue (Harnstoff). Dies muss über signifikante Kraftstoffverbrauchsverbesserungen kompensiert werden. Eine Kraftstoffverbrauchsverbesserung kann nur über neue Brennverfahren und volle Flexibilität des Einspritzzeitpunktes, der Möglichkeit von Mehrfacheinspritzungen und hervorragender Gemischbildung erreicht werden. Beide Ansätze machen ein Common Rail Einspritzsystem mit ausgezeichneter Gemischbildung zwingend erforderlich. Der Artikel stellt das MCRS-22 (Modular Common Rail System für 2200 bar) Systeme und seine Komponenten für schnelllaufende und mittelschnelllaufende Dieselmotoren als auch für mittelschnelllaufende Schwerölmotoren vor. Das MCRS-22 deckt spezifische Motorenleistungen von 100 bis 350 kW/Zyl für Dieselmotoren von L4 bis V20 Konfigurationen ab. Die Markteinführung startet in 2013 bei schnelllaufenden Motoren und folgt in 2015 mit mittelschnelllaufenden Motoren. Es werden alle Applikationsfelder von Lokomotiven, Marine, C&I und Gen-set abgedeckt. Das MCRS-22-HFO umfasst sogar einen Leistungsbereich von 200 bis 1200 kW/Zyl.

Maßnahmen zu Steigerung von Effizienz, Funktion, Druckschwellfestigkeit, Dauerhaltbarkeit, Robustheit, Kavitationsresistenz und Zerstäubungsqualität werden gezeigt. Dabei wird auf die Kernkomponenten Hochdruckpumpe und Injektor fokussiert.

The modular 2200bar Common Rail System for high- and medium speed Diesel engines.

EPA Tier4, IMO Tie3 and EU3b emission limits require injection systems which enable full application flexibility and excellent mixture preparation. This applies to high speed as well as medium speed engines.

NOx emission limits can either be reached by high EGR rates in the combustion chamber or by SCR after treatment of the exhaust gases. EGR applications require excellent mixture preparation and distribution to prevent soot formation during the combustion. Applications with SCR after treatment have a penalty due to additional AdBlue costs during engine operation. They have to compensate the AdBlue (urea) costs by significant improvement of fuel economy. This can only be achieved by full flexibility of injection timing, the capability of multiple injections and excellent mixture preparation. Both approaches lead to the need of common rail injection systems with optimized mixture preparation. The papers presents system and component designs of the Modular Common Rail System for high and medium speed Diesel and medium speed HFO engines up to 2200 bar fuel pressure. These injection systems cover the full range

from 100 to 350 kW/Cyl and have full system lay out flexibility for engines from L4 to V20 engines. The production roll out for the Diesel injection systems starts in 2013 for high speed- and will be completed for medium speed engines in 2015. It is covering marine, C&I, locomotive and gen set applications. Measures to improve the performance, durability and robustness of the injection system down to component level are presented, focusing on the key components high pressure pump and injector. Optimizations of the high pressure injection components for fatigue stress, wear, cavitation and fuel atomization as well as the contribution of simulation tools are shown.

Dr.-Ing. Heinrich Mohr, Dr. Moritz Frobenius, AVL Deutschland GmbH

Optimierung von Diesel-/Gas-Großmotoren für unterschiedlichste Anwendungen

Heutzutage ist eine starke Renaissance der Diesel-/Gasmotoren im gesamten Großmotorenanwendungsbereich festzustellen. Zusätzlich zur ursprünglich alleinigen Verwendung im Stationärbereich eröffnen sich nun verschiedene mobile Anwendungen für große Diesel-/Gasmotoren. Dies sind Schiffshauptantriebe (z. B. für LNG-Tanker und Kreuzfahrtschiffe), Hilfsantriebe (z. B. für Containerschiffe) und auch Schienenfahrzeugantriebe (z. B. für Langstrecken-Lokomotiven).

Die Haupttreiber für dieses steigenden Interesse an Diesel-/Gasmotoren sind einerseits die niedrigeren Kraftstoffkosten im Vergleich zum mittlerweile teuren Schweröl oder Dieselmotorkraftstoff und andererseits die Möglichkeit zur Reduzierung der Stickoxidemissionen, um zukünftige Emissionsgrenzwerte erfüllen zu können. Weiterhin eröffnet Erdgas als Kraftstoff mit sehr niedrigen Schwefelanteilen große Potentiale zur Erfüllung bald aufkommender niedriger Grenzwerte für verschiedene mobile Anwendungen. Der typische flüssige Sekundärkraftstoff ermöglicht als Back-up-Kraftstoff einen sehr zuverlässigen mobilen Betrieb unter allen möglichen Randbedingungen.

Die Herausforderungen der mobilen Anwendungen sind häufig der Betrieb mit variablen Drehzahlen, schnelle Lastanforderungen, wechselnde Gasqualitäten und ein zuverlässiger Motorbetrieb selbst unter schwierigsten Bedingungen. Zusätzlich verlangen die beiden Betriebsarten gewisse Kompromisse bei der Motorkonstruktion, was zu Nachteilen bei Wirkungsgrad und Leistungsdichte im Vergleich zu reinen Diesel- oder Gasmotoren führen kann.

In den letzten Jahren hat AVL die Diesel-/Gasmotorentechnik sehr systematisch untersucht, in dem verstärkt Versuche an mittelschnellaufenden Einzylinder-Versuchsmotoren durchgeführt und verschiedene CAE-Werkzeuge zur Verfahrensoptimierung eingesetzt wurden. Die Kombination dieser internen Forschungstätigkeiten in Verbindungen mit verschiedenen Entwicklungsprojekten tragen damit zum sehr umfassenden Erfahrungsschatz für Diesel-/Gasmotoren von AVL bei.

Die hier vorliegende Veröffentlichung zeigt verschiedene Ergebnisse und beispielhafte Erfahrungen aus dem AVL-typischen und sehr effizienten Entwicklungsprozess für Diesel-/Gasmotoren. Dabei wird spezieller Bezug zu den neuen mobilen Anwendungen und den dafür spezifischen Betriebs- und Emissionsbedingungen genommen.

Optimization of Dual-Fuel Large-Bore Engines for various Applications

Today a strong renaissance of dual-fuel engines can be observed in the large-bore engine markets. In addition to the previous sole land-based usage several mobile applications are now opening further markets for large-bore dual-fuel engines. These applications are marine main propulsion (e. g. for LNG carriers, cruise liners) and auxiliary usage (e. g. for container vessels) as well as rail traction purposes (e. g. for long-haul locomotives).

The main drivers for the increased interest in DF engines are lower fuel costs in comparison to the expensive HFO or Diesel fuel and the opportunity to reduce especially the NOx emissions enabling a fulfillment of upcoming emission legislations. Further on natural gas could be a high-potential low-sulphur fuel as requested for a lot of mobile engine applications very soon. The typical secondary liquid fuel besides the natural gas enables as back-up fuel a very reliable mobile operation under all circumstances.

The challenges of the mobile applications are often variable speed operation, fast load response requirements, changing gas qualities and reliable engine operation even under difficult operating conditions. Further on both operational modes require some compromises in engine design, which can lead to disadvantages in efficiency and power density compared to pure Diesel or gas engines.

In the last years AVL investigated the dual-fuel engine technology systematically by consequent use of medium-speed single cylinder engine testing as well as the utilization of different CAE tools for process optimization. The combination of this in-house R&D with several development projects leads to the broad DF-engine expertise of AVL.

The current paper show different results and exemplary experiences out of AVL's typical and very efficient DF-engine development process with special regard to the new mobile applications and its specific operation and emission requirements.

*Dipl.-Ing. Torsten Mundt, DNV / GL SE; Max Kofod, Shell Global Solutions GmbH,
Deutschland*

Well-to-Wake analysis of GHG emission by using LNG as a marine fuel

The use of LNG is getting increased attention in respect of being used as a marine fuel. This interest is supported by climbing energy price differentials between natural gas and crude oil and furthermore by stricter emission limits for sulfur, NOx and Particulate Matter (PM). Potentially LNG also enables reductions in greenhouse gas emission. TNO/ECN (May 2013) carried out a study about environmental benefits of natural gas in transport for the Dutch government and came in their analysis to the conclusion that 0 to 20% reduction of greenhouse gas emissions are possible by using LNG instead of conventional marine fuels. Our contribution reviews the recent results of the TNO/ECN report and adds interesting aspects that should be included while producing a comprehensive WtW analysis of LNG. One aspect is the differences between potentially available LNG fuelled propulsion systems and their impact on greenhouse gas emission performance are analyzed.

By this our contribution supports an up to date evaluation of greenhouse gas benefits of LNG in marine.

Marcel Ott, Christer Hattar, Dr. German Weisser, Wärtsilä AG

Wärtsilä 2-Takt Dual-Fuel Motoren - Die technische Antwort auf veränderte Marktanforderungen

Die internationale Schifffahrt sieht sich zunehmenden Veränderungen der Marktbedingungen gegenüber, die bedeutende Anstrengungen seitens der Motorenentwicklung erfordern, um den damit verbundenen Herausforderungen gerecht zu werden. Zum einen betrifft dies die Einführung neuer Technologien, um die künftigen Emissionsgrenzwerte erfüllen zu können. Zum anderen bedeutet die steigende Verfügbarkeit von gasförmigen Brennstoffen, in Kombination mit der zuletzt beobachteten Entkoppelung der Preisentwicklung gasförmiger und flüssiger Brennstoffe, dass selbige zunehmend auch für andere Anwendungen als Erdgastanker attraktiv werden.

Vor diesem Hintergrund hat Wärtsilä entschieden, die langjährige Erfahrung im Bereich der Dual-Fuel Technologie bei Viertaktmotoren für stationäre wie Marine-Anwendungen zu nutzen, um mit den Zweitakt Dual-Fuel Motoren eine komplett neue Produktreihe zu entwickeln. Diese Motoren ermöglichen nicht nur die Nutzung gasförmiger Brennstoffe, sondern zeichnen sich ausserdem dadurch aus, dass sie ohne zusätzliche Massnahmen die Erfüllung auch der strengsten künftigen Emissionsgrenzwerte sowohl hinsichtlich Stickoxidausstoss als auch in Bezug auf Schwefeloxid- und Partikelemissionen ermöglichen. Dies erfordert neben der Entwicklung der Motorentechnologie die Berücksichtigung der mit der Verwendung dieses Brennstoffs verbundenen Aspekte im Hinblick auf dessen Speicherung und generelle Handhabung an Bord um maximale Betriebssicherheit zu gewährleisten. Im Folgenden wird anhand von Beispielen demonstriert, wie die damit verbundenen Herausforderungen gemeistert wurden und es werden die ersten kommerziellen Anwendungen dieser neuen Produktreihe vorgestellt.

Wärtsilä 2-Stroke Dual-Fuel Engines - Technology responding to changing market needs

International shipping is facing substantial changes in market conditions, which in turn require considerable efforts from engine developers in order to cope with the associated challenges. On the one hand, the development of new technologies is required for achieving compliance with future emissions standards. On the other hand, the increased availability of gaseous fuels in combination with the fact that their price has gradually been decoupled from the price of liquid fuels makes them more and more attractive for application in the marine sector, even beyond the LNG carrier sector.

On this basis, Wärtsilä has decided to utilise their long-standing experience in the field of dual-fuel technology on 4-stroke engines for stationary as well as marine applications for developing a completely new product range of 2-stroke dual-fuel engines. These engines do not only enable the use of gaseous fuels but are moreover characterised by the fact that they are inherently compliant with the most stringent future emissions standards, not only in terms of nitric oxide, but also sulphur oxide and particulate matter emissions. Such development involves, besides the adaptation of engine technology, proper consideration of all aspects related to the storage and handling of the gaseous fuel on board, in order to ensure maximum operational safety. In the following, a couple of examples are given for illustrating how the associated challenges have been mastered and the first commercial applications of this new product range are briefly presented.

Dr.-Ing. Rom Rabe, Prof. Horst Harndorf; Universität Rostock, Dr.-Ing. Maxim Epp; MAN Diesel & Turbo SE

Einspritzstrategien zur Verbrennungsführung moderner Großmotoren

Der Einsatz von Rückstandsölen¹ und Mitteldestillaten² in Großdieselmotoren führt zu Brennverläufen, die sich von denen bei Betrieb mit Dieseldieselkraftstoff unterscheiden. Ohne eine geeignete Anpassung der Verbrennungsführung kann dies in erhöhten Schadstoffemissionen und stärkeren zyklischen Schwankungen resultieren. Für die Reduzierung der Stickoxidemission vorteilhafte späte Einspritzzeitpunkte gehen mit einer weniger intensiven Verbrennung und damit höheren Rußemissionen einher. Besonders beim Einsatz hochviskoser Rückstandsöle kommt bei einer Verlagerung des Zündzeitpunktes aus verbrauchsoptimaler Lage in Richtung spät eine Verschlechterung des Zündverhaltens hinzu. Ein bekannter Ansatz zur Stabilisierung des Zündzeitpunktes ist der Einsatz einer Voreinspritzung.

Vor diesem Hintergrund wurden die Einflüsse verschiedener Voreinspritz-Strategien auf Gemischbildung, Zündung, Verbrennung und Schadstoffbildung in mittelschnelllaufenden 4-Takt-Dieselmotoren analysiert.

Es wurde untersucht, ob mit aktuell verfügbaren schweröläuglichen Common-Rail-Einspritzsystemen Voreinspritzungen möglich sind die eine Minderung der Nachteile bei Einsatz von Rückstandsbrennstoffen bewirken. Die Bewertung der VE-Strategien erfolgt hinsichtlich ihres Potenzials zur Beeinflussung der Verbrennungsstabilität sowie der Stickoxid- und Rußemission.

In dem Vortrag wird ein Ansatz vorgestellt, durch eine Verbesserung der Zünd- und Brennbedingungen unerwünschte Effekte beim Einsatz von Rückstandsölen mit aktuell verfügbaren Mitteln zu reduzieren.

Die Versuche fanden an einem schweröläuglichen Ein-Zylinder-Forschungsmotor mit einem zeit-hub-gesteuerten Einkreis-Common-Rail-System und einem optischen Brennraum-Zugang statt. Einspritzraten, minimale Einspritzmengen und kleinste Einspritzpausen HFO-tauglicher CR-Injektoren wurden mittels eines Einspritzverlaufsindikators bestimmt. Einspritztiefe und Zündung von VE-Mengen wurden in einer Hochdruck-/Hochtemperatur-Einspritzkammer und einem Forschungsmotor analysiert.

Es wird auf Methoden der thermodynamischen Auswertung sowie deren Anpassung an die verwendeten Einspritzstrategien und die Untersuchungsziele eingegangen. Zur Bewertung des Brennverhaltens wurden ergänzend zu den Zylinderdruckverläufen und den daraus berechneten Temperatur- und Brennverläufen Parameter gebildet, mit denen sich sowohl die Besonderheiten bei der Verbrennung hochviskoser Rückstandsöle als auch die Effekte einer Beeinflussung der Einspritzparameter quantifizieren lassen.

Mit den Erkenntnissen aus diesen Untersuchungen konnte der theoretische Ansatz für eine frühe Voreinspritzung konkretisiert und eine entsprechende VE-Strategie am Einzylinder-Forschungsmotor validiert werden.

Die Diskussion der Ergebnisse erfolgt anhand von Zylinderdruckverläufen, berechneten Temperatur- und Brennverläufen sowie der daraus gebildeten Parameter „Standardabweichung der Zylinderdruckverläufe“ und „Intensität der Diffusionsphase“. Diese

¹ Bezeichnung entsprechend DIN ISO 8217 – Synonym: Schweröle bzw. HFO (Heavy Fuel Oil).

² Bezeichnung entsprechend DIN ISO 8217 – Synonym: MDO (Marine Diesel Oil).

dienen neben den Ruß- und NO_x-Emissionen auch dem Vergleich zu anderen untersuchten VE-Strategien.

Das besonders bei ungünstigen Zünd- und Verbrennungsbedingungen relevante Potenzial der frühen Voreinspritzung zur Stabilisierung von Zündzeitpunkt und Verbrennung sowie einer NO_x-neutralen Rußminderung wird an einem seriennahen Vollmotor durch Einsatz sehr später Brennlagen und einer Abgasrückführung bestätigt.

Injection strategies for optimized combustion management for large engine

Operating large diesel engines on Marine Residual Fuel Oil ^[1] or middle distillates ^[2] leads to rates of heat release which are different from those for engine operation on diesel fuel. This causes increased emissions of harmful substances and stronger cyclical variations if the combustion process is not adequately adjusted to these fuel types. Delayed ignition and combustion result in less intense combustion processes, which come along with lower NO_x-emission but increased particulate emission. Especially for engine operation points with late injection timings the use of residual fuels with high viscosity can lead to inefficient and instable combustion processes. A known approach to reduce ignition delay and to stabilise ignition timing is the application of pre- injections.

In that regard the effects of different pre-injection strategies on fuel mixing, ignition, combustion and emission generation processes in medium-speed 4-stroke diesel engines were investigated. The research is based on currently available HFO-capable common-rail-injection-systems. It is analysed, whether these injection systems allow pre-injections which improve fuel mixing, stabilise the ignition timing as well as the combustion process and lead to a reduction of harmful emissions. Different pre-injection strategies, which are applicable for diesel fuel as well as for residual oils with high viscosity, are evaluated.

An approach was formed to reduce the disadvantages at HFO-operation by improving the conditions for ignition and combustion.

The tests are carried out at the HFO-capable single-cylinder research engine with time-lift controlled, single circuit CR injectors. To allow the analysis of the engine internal processes during fuel injection, fuel mixture preparation and ignition optical windows were fitted to the combustion chamber of the test engine. As a tool for the evaluation of the measurement data, different thermodynamic analyses are presented and their adaptation to multiple injection strategies is discussed.

To assess and quantify the differences in the combustion characteristics, different parameters are discussed and tested. The combustion-characteristics of typical marine fuels are discussed and compared based on top-hat cylinder pressure measurements, calculated rates of heat release and combustion temperatures. New parameters are introduced which can be used for reliable online on-board evaluation of the combustion processes at a real marine diesel engine operated with variable fuels.

It was investigated, what PI-strategies are feasible at CR-Systems, which are available for medium-speed 4-stroke diesel engines. HFO-capable common-rail- (CR-) injectors were systematically investigated at an injection rate analyser regarding injection rates, minimum injection quantities and minimum dwell times between injection events. Penetration lengths and ignition delays of pre-injection amounts were analysed at a high-pressure/high-temperature chamber and inside the combustion chamber of a real research engine.

Adapted from these researches the theoretical approach of an early pre-injection was substantiated and validated by realising a corresponding PI-strategy at the single-cylinder research engine. The discussion of the results are based on top-hat cylinder pressure measurements, calculated rates of heat release and combustion temperatures as well as on the introduced parameters “standard deviation of cylinder pressure curves” and “Intensity of the Diffusions-Phase”. They are used for comparison with the other tested PI-strategies besides the particulate- and NO_x-emissions.

The early pre-injection’s high potential for stabilising ignition as well as improving the combustion and the Soot- and NO_x- emissions under unfavourable ignition- and combustion-conditions was confirmed at a near-series full engine. The corresponding test procedure included delayed combustion and, as a further measure, the application of exhaust gas recirculation.

Dr.-Ing. Udo Schlemmer-Kelling, FEV GmbH, Aachen

Cost / Benefit Analysis of IMO III Solutions

For 2015/16 time frame more stringent emission regulations will come into force for the maritime business. Emission species like NO_x, PM (via sulfur reduction) and CO₂ as part of the EEDI Index will be reduced at decided introduction dates. Also BC (Black Carbon) limitation is in discussion. Points of view from regulatory authorities, customer and OEM will be compared. R&D efforts from OEM's have been started recently and simulation or test results have published already. For example: For Diesel Operation SCR and EGR solutions are investigated and HFO engines need scrubbers for SO_x Reduction. Also LNG as fuel is coming up more and more as a clean fuel. Dual Fuel and pure Gas engines can be suitable solution to replace liquid fuel more and more in the future. Pros and Cons of different technologies in R&D efforts and customer operational issues will be compared.

Beside the technical challenges also a financial aspects of these solutions are very important. In this publication the different emission reduction features are considered. Inside the engine technology and after treatment are possible way to cope with requirements from legislation and customer. Total Cost of Ownership, availability of needed infrastructure and robustness of the solutions are checked and evaluated. Different operation regimes (load factor, operation time in ECA) have a huge influence cost effective solutions.

This presentation will give guidelines for OEM's and customers as well to understand critical issues in the definition phase for future projects. The given advices are based on extensive simulation work and single cylinder engine test results.

Dipl.-Ing. Eike Joachim Sixel, Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG

Der M46DF: Neue Möglichkeiten für das Motormanagement und der Einfluss auf den Motorbetrieb

Der weltweit steigende Bedarf an Alternativen zu Diesel und Schweröl als Kraftstoff und verstärkte Anforderung an die Emissionen führen zu Überlegungen vermehrt auch Erdgas als Kraftstoff auf Schiffen einzusetzen. Dabei eignen sich Dual Fuel Motoren hervorragend für diese Anwendung. Sie stellen einen sehr flexibel einsetzbaren Antrieb dar, der die Betriebssicherheit und mögliche Reichweite eines Dieselmotors mit dem kostengünstigen Betrieb in Bereichen mit hohen Anforderungen an die Umweltverträglichkeit verbindet.

In dem Vortrag „Der M46DF: Neue Möglichkeiten für das Motormanagement und der Einfluss auf den Motorbetrieb“ wird vor allem auf neue Regelungsstrategien, die sich durch den Einsatz unterschiedlicher Kraftstoffsysteme und neuer Sensoren in einem Dual Fuel Motor ergeben, eingegangen. Die von einem gemeinsamen Steuergerät teilweise zylinderindividuell geregelten Systeme ermöglichen, in Kombination mit zylinderindividuell erfassten Messgrößen, sowohl eine globale Optimierung des Motorbetriebs auf die Anforderungen Stabilität und Lastaufnahmefähigkeit, als auch eine zylinderselektive Motorabstimmung. Ein Beispiel ist die Zuhilfenahme des Diesel-Hauptespritzsystems zur Realisierung von Lastsprüngen und -rampen, die für einen Gasmotor eine besondere Herausforderung darstellen. Durch das zylinderindividuelle Einstellen von Leistung, Zündenergie und Zündzeitpunkt kann der Motor sowohl effizient eingeregelt, als auch vor Schäden bewahrt werden. Die einzelnen Zylinder lassen sich aufeinander abzustimmen. So kann für alle gemeinsam ein optimaler Betriebspunkt eingestellt werden. Gleichzeitig können vielfältige Sicherheitssysteme den Motor vor Schäden, z.B. durch exzessive Spitzendrücke, schützen. Im Steuergerät des M46DF sind unter Anderem Algorithmen hinterlegt, die auf unterschiedliche unerwünschte Zustände bei der ottomotorischen Verbrennung reagieren können.

Durch ein zentrales Motormanagementsystem, das alle Messgrößen aufnimmt und alle Systeme regelt, ist es gelungen einen verlässlichen und sicheren Motorbetrieb mit optimierten Betriebsparametern für alle auftretenden äußeren Einflüsse darzustellen.

The M46DF: New Control Concepts for the Operation of a Dual Fuel Engine

The global increasing demand for alternative fuels to Diesel and HFO drives the use of LNG as a marine fuel. LNG is an environment friendly and in addition relative cheap fuel. A Dual Fuel engine is the perfect answer for this kind of applications. It is a flexible engine to provide power. It combines the economic possibility to run an engine in environmental critic regions with the reliability and range of a Diesel engine.

New control strategies for the operation of the three fuel systems of a Dual fuel engine with new sensed values (i.e. cylinder pressure) will be presented in the paper "The M46DF: New Control Concepts for the Operation of a Dual Fuel Engine". The design of the controller as a single engine control unit allows an optimization concerning performance, stability and load acceptance. The cylinder individual control and sensing of major parts of the combustion system allows the balancing of the each cylinder and thus an optimization closer to thermodynamic limits of the engine with a higher efficiency. One example for the global optimization possibilities of the system is the use of the main Diesel injection system to support fast load ramps and load steps in gas operation. A load acceptance far beyond normal gas engine operation is possible. Safety systems are integrated into the controller to avoid the operation at unstable conditions. The control system is able to react to the beginning of undesired combustion effects during gas operation. It will stabilize the engine and brings the effected cylinder back to normal operation.

The central engine control system is able to collect all operation parameters and control all devices on the engine. It will react to environmental influences as well as wear or hardware failures. Thus the new system is able to provide a reliable and safe operation of a Dual fuel engine with optimized operating parameters.

Prof. Dr.-Ing. Koji Takasaki, Dr.-Ing. Daisuke Tsuru, Kyushu University, Japan; Dr.-Ing. Tatsuo Takaishi, Oshima Shipbuilding Co, Ltd., Japan

Verbesserung der Verbrennung von hocharomatischen marinen Kraftstoffen

An der ersten (2010) und zweiten Großmotorentagung (2012) präsentierte der Autor Visualisierungen der Verbrennung von hocharomatischen Kraftstoffen in Schiffsmotoren, dargestellt in einem optischen Versuchsmotor. Im Rahmen der dritten Großmotorentagung werden neueste Erkenntnisse vorgestellt, die auf den Resultaten einer neu entwickelten schnellen Kompressionsmaschine basieren.

Die Publikation umfasst folgende Inhalte:

1. Die Autoren haben die weltgrößte schnelle Kompressionsmaschine mit einem optischen Zugang mit Durchmesser 240mm entwickelt. Die schnelle Kompressionsmaschine ist mit einem elektronisch gesteuerten Einspritzsystem ausgerüstet und erlaubt neben der Dieselmotorischen Verbrennung auch Untersuchungen der PCCI (Premixed Charge Compression Ignition) Verbrennung. Jedes Experiment besteht aus einem einzelnen Kreisprozess mit Einspritzung. Danach werden die verbrannten Gase zu einem Abgasanalysegerät geleitet und die Bestandteile NO_x, CO und THC gemessen.
2. Bei den Studien mit hocharomatischen Kraftstoffen wurde zusätzlich zu den an der ersten und zweiten Großmotorentagung vorgestellten LCO (Light Cycle Oil = Cracked gas oil) Proben auch Kraftstoffe bestehend aus CLO (CLarified Oil = Heavy cycle oil) untersucht. LCO und CLO sind hocharomatische Nebenprodukte katalytischer Crack Anlagen und bestehen vorwiegend aus ein- und zweiringigen Aromaten (LCO), beziehungsweise zwei- und dreiringigen Aromaten (CLO).
3. Hocharomatische Kraftstoffe weisen einen langen Zündverzug auf. Wie bereits an der 2. Großmotorentagung gezeigt, lässt sich der Zündverzug durch eine Piloteinspritzung deutlich reduzieren. Die letzten Resultate der Verbrennung von hocharomatischen Kraftstoffen mit Piloteinspritzung werden in diesem Beitrag aufgezeigt.
4. Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung des Zündverzugs besteht durch die Beimischung einer Komponente mit hoher Cetanzahl, wie Diesel (GO = automotive gas oil) oder GTL (Gas To Liquid). Die Resultate zeigen, dass GTL zu deutlich besseren Resultaten führt als Diesel.
5. Hocharomatische Kraftstoffe brennen schlechter und weisen eine lange Phase des Nachbrennens auf. Der Einfluss des Einspritzdruckes auf die Verbrennung hocharomatischer Kraftstoffe wird aufgezeigt.
6. Ein neuartiger Ansatz stellt die Verwendung der PCCI (Premixed Charge Compression Ignition) Verbrennung für hocharomatische Kraftstoffe dar. Bei der Diesel PCCI Verbrennung führt der kurze Zündverzug zu abnormaler Verbrennung, während der lange Zündverzug von LCO hier einen Vorteil bietet. Resultate optischer Untersuchungen der LCO PCCI Verbrennung werden aufgezeigt.

Improvement in combustion of high aromatic marine fuel

The author presented at the first (2010) and second Tagung (2012) on the visual studies of high aromatic fuel combustion using a visual test engine simulating a marine diesel engine. For the present third Tagung, some results from experiments by a newly developed large-sized RCEM (Rapid Compression and Expansion Machine) are demonstrated.

Contents of this paper are as follows:

1. A world largest class RCEM with 240 mm dia. window has been designed and built by the authors. RCEM is equipped with EFI (Electronically-controlled Fuel Injection) systems, and not only diesel spray combustion but also PCCI (Premixed Charge Compression Ignition) combustion can be analyzed applying some laser optical techniques. After one shot burning of the fuel, all the combustion gas is sent from RCEM to a gas analyzer and NO_x, CO, and THC are measured.
2. As high aromatic fuel samples, not only LCO (Light Cycle Oil = Cracked gas oil) referred at the first and second Tagung, but also CLO (CLarified Oil = Heavy cycle oil) are tested. Both are the rest of FCC (Fluid Catalytic Cracking) process in the oil refinery and the latter is mainly composed of 2-3 rings aromatics, while the former is of 1-2 rings.
3. Higher aromatic fuel has longer ignition delay. As a measure to solve this problem, effect of "pilot injection" that was shown at the second Tagung is confirmed again.
4. As another measure to improve the ignition quality, high CN (Cetane Number) component like GO (Gas Oil for automobile) or GTL (Gas To Liquid) are mixed to LCO and CLO. As a result, GTL is much more effective than GO as an ignition improver.
5. Higher aromatic fuel is harder to burn-up and shows longer after-burning. Effect of fuel injection pressure to improve this problem is examined.
6. As one way to utilize the high aromatic fuels, PCCI combustion is tried. For PCCI, shorter ignition delay of GO is rather inconvenient as ignition occurs too early before TDC. On the other hand, LCO is suitable for PCCI because of the longer ignition delay. Some visual data on it will be demonstrated.

Dipl.-Ing. Gert Taucher, Dr. Gernot Hirsch, Dr. Michael Engelmayer, Prof. Andreas Wimmer;
TU Graz

Optische Untersuchungen zum besseren Verständnis von Rußbildungs- und Oxidationsvorgängen bei Einspritzdrücken größer 2500bar.

Großdieselmotoren werden in einer großen Vielzahl für verschiedene Anwendungen eingesetzt wie Lokomotive, Schiffe, Bergbau-LKW und Generatoren, die jeweils unterschiedlichen Emissionslimits erfüllen müssen. Die zulässigen Emissionen für Großmotoren wurden in der Vergangenheit drastisch verschärft, eine weitere Reduktion wird 2020 erwartet.

Um die oben genannten Emissionslimits zu erfüllen, werden abhängig von der Erfüllungsstrategie, ob man auf Innermotorische- oder auf Abgasnachbehandlungsstrategie setzt verschieden hohe Rohemissionen benötigt.

Die simulatorische Vorausberechnung der Rußemission aus der dieselmotorischen Verbrennung stellt für den Entwicklungsingenieur eine große Herausforderung dar. Die zahlreichen Einflussgrößen, welche die Rußentstehung beeinflussen erschweren es allgemeingültige Aussagen zu treffen. In der Brennverfahrensentwicklung wäre ein einfacher Modellansatz mit dem man nicht nur die Trends sondern auch Absolutwerte der Rußemission zuverlässig berechnet werden können hilfreich.

Um diese Berechnungstools optimal verwenden zu können sind natürlich experimentelle Messungen von Nöten. Dies kann durch die sogenannte Sondermesstechnik bzw. optische Messtechnik abgedeckt werden. Zur Validierung bzw. Kalibrierung verschiedener Modelle wurden optische Untersuchungen am Einzylinder-Forschungsmotor durchgeführt. Der Versuchsträger am LEC an der Technischen Universität Graz ist ausgestattet mit zwei Bohrungen für den optischen Zugang zum Brennraum. Messungen wurden mit konventioneller und mittels HighSpeed-Technologie durchgeführt.

Mit diesen Messungen wurden Sprayuntersuchungen mit Einspritzdrücken bis 2800bar und Rußbildung und Oxidation bei verschiedenen Parametervariationen wie Luftverhältnis und Einspritzzeitpunkt untersucht, um Modelle abzugleichen und das Vorrausrechnen von Rohemissionen zu optimieren und Phänomene besser zu verstehen.

Abschließend kann festgehalten werden, dass die vorliegenden Ergebnisse vielversprechend für mittelschnelllaufender Dieselmotoren sind mit dem Ziel die Vorgänge bei der Rußentstehung u. -abbrand durch den Einsatz optischer Messtechnik zu erfassen.

Optical Investigations with Injection Pressures Higher than 2500bar to Better Understand Soot Formation and Oxidation

Large diesel engines are used in a large variety of applications subject to different emission limits such as locomotives, ships, mining trucks and generators. The allowable emissions for large engines have been drastically limited, and a further reduction is expected in 2020.

To meet these emission limits, high levels of engine-out emissions are necessary. The choice of a combustion concept depends on whether measures within the engine or exhaust gas aftertreatment is employed.

Research and development engineers are faced with the challenge of using simulation to predict soot emissions from diesel engine combustion. The numerous parameters that influence soot formation make it difficult to make general statements. It would be easier to develop combustion concepts if a simple model were available with which trends and the absolute values of soot emissions could be calculated reliably.

For optimal use of these calculation tools, experimental measurements are clearly necessary. They can be made using special measuring equipment or optical measuring technology. Optical investigations were made on a single-cylinder research engine to validate and calibrate several models. The LEC test engine at Graz University of Technology is equipped with two bores that provide optical access to the combustion chamber. Measurements were made using conventional as well as high speed technology.

Sprays with injection pressures up to 2800bar, soot formation and soot oxidation were investigated by varying parameters such as air-fuel ratio and injection timing to compare models, optimize prediction of engine-out emissions and better understand phenomena.

In conclusion, these results appear promising because the use of optical measuring technology allows a better description of the processes of soot formation and oxidation in medium-speed diesel engines.

Dipl.-Ing. (FH) Carsten Tietz, Obering. Norbert Krümming, Wissenschaftlich-Technisches Zentrum für Motoren- und Maschinenforschung Roßlau gGmbH

Der Kreislaufmotor - Konzept und experimentelle Untersuchungen zur Umsetzung von Wasserstoff und Sauerstoff in einem Kolbentriebwerk

Der Bedarf an regenerativ erzeugter Elektroenergie steigt weltweit an, bedingt durch die Endlichkeit fossiler Energieträger und die Anfälligkeit von atomarer Energie. Aufgrund der diskontinuierlichen Erzeugung der regenerativen Energien ist das Verlangen nach einer Möglichkeit der Energiespeicherung, um Schwankungen im Stromnetz auszugleichen, größer denn je. Ein Ansatz ist die Herstellung von Wasserstoff und Sauerstoff durch das Elektrolyseverfahren aus überschüssiger Elektroenergie mit anschließender Rückverstromung durch einen Verbrennungsmotor.

Der Beitrag stellt das Konzept eines Verbrennungsmotors mit einer ungeschmierten Kolben/Zylinder-Paarung vor, in dem ein direkt eingeblasenes Wasserstoff-Sauerstoffgemisch zur Zündung gebracht wird. Bedingt durch die hohen Temperatur- und Druckspitzen wird zusätzlich Wasser eingespritzt, um den Brennraum von innen zu kühlen bzw. zu inertisieren. Der dabei entstehende Wasserdampf wird über einen Kondensator gekühlt und das Wasser dem Elektrolyseprozess und dem Kühlsystem wieder zugeführt. Mit diesem Kreislaufmotor wäre es möglich, über gespeicherten Wasser- und Sauerstoff, welcher aus regenerativer Überschussenergie erzeugt wurde, in Form einer Insellösung wieder Elektroenergie zu erzeugen.

An einem modifizierten Einzylinder-Versuchsmotor wurde das erarbeitete Konzept realisiert und erste Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse ebenfalls Inhalt des Beitrages sind.

The circulation engine - concept and experimental tests for the chemical reaction of hydrogen and oxygen in a piston engine

The demand for renewable electrical energy is increasing worldwide. The reasons are the finite fossil fuel supply and the known issues of atomic energy. Because of the discontinuous generation of renewable energy a solution to store the renewable energy is needed to adjust variability in the power supply system.

One approach is to produce oxygen and hydrogen with an electrolysis process using excess energy. Subsequently the oxygen and hydrogen are reconverted into electrical energy by using a combustion engine. This paper represents a concept of a combustion engine with an unlubricated piston and cylinder liner where a directly injected hydrogen-oxygen mixture is ignited. Because of the high temperature and combustion peaks, water injection in the combustion chamber is needed. The injected water is cooling and inerting the combustion chamber from inside. The steam is cooled by a heat exchanging device. Therefore it is possible to use the water in the electrolysis-process again.

With the circulation engine enables the production of electrical energy by using stored hydrogen and oxygen, which have been produced by the excess energy. This concept has been developed and tested on a modified single cylinder research engine. The test and measurement results are shown in the paper.

Dr. Fridolin Unfug, M.Sc. Dominik Krause, Dr. Ulf Waldenmeier, Dr. Matthias Auer, Dr. Gunnar Stiesch

PCCI an einem mittelschnelllaufendem Dieselmotor- Simulation, Motorversuche und Anwendungsgrenzen

Vor dem Hintergrund des Inkrafttretens der IMO Tier 111 Abgasgesetzgebung wurden alternative Brennverfahren gesucht, die im Stande sind, niedrigste Stickoxid-Rohemissionen zu erreichen und dabei auch der Forderung nach geringem Kraftstoffverbrauch gerecht zu werden. Unter den "Niedertemperatur-Dieselmotoren" wurde die sogenannte "Premixed Charge Compression Ignition" (PCCI) auf einem Einzylinder-Forschungsaggregat untersucht. Es handelte sich dabei um einen mittelschnelllaufenden Motor, ausgestattet mit Common-Rail Direkteinspritzung und elektromagnetisch angesteuertem Einspritzventil.

Das Brennverfahren basiert auf folgender Idee: Während bei der konventionellen (diffusiven) Dieselerverbrennung stark heterogene Luft-Kraftstoff-Verhältnisse am Einspritzstrahl vorliegen, ist es grundsätzlich schwierig, niedrigste Emissionen an Stickoxiden und Ruß zu vereinen. Die vorgemischte Dieselerverbrennung dagegen bietet die Möglichkeit zur rechtzeitigen Ausmagerung von Luftmangelbereichen bis zur Kompressionszündung. Damit lassen sich Rußemissionen bis zur Nachweisbarkeitsgrenze reduzieren. Zudem gelingt es weite Bereiche der Kraftstoffwolke mit Luftüberschuss darzustellen. Durch die damit einhergehende Absenkung der Flammentemperaturen kann auch die Bildung von thermischem Stickoxid deutlich reduziert werden. Außerdem bietet die charakteristische, schnelle Kraftstoffumsetzung (Gleichraumverbrennung) die Chance, gerade in der Teillast Wirkungsgradvorteile zu erzielen.

Eine Simulationsstudie wurde durchgeführt um für dieses Brennverfahren eine optimale Einspritzstrategie zu finden und best-geeignetste Bauteilkonfigurationen zu identifizieren: Es wurden dabei für verschiedene Kolbenmulden, Einspritzdüsen und Drallzahlen Spritzbeginnvariationen simuliert. Diese wurden dann zum einen im Hinblick auf Wandkontakt und die Verteilung des eingespritzten Kraftstoffs im Brennraum ausgewertet. Zum anderen wurden die zum Erreichen der Zündbedingungen vorliegenden lokalen Luft-Kraftstoffverhältnisse betrachtet um daraus auf Zündverhalten und Emissionen zu schließen.

Als Ergebnis der Simulationsstudie konnte der Versuchsträger nun mit bereits optimierter Bauteilkonfiguration für das "Premixed Charge Compression Ignition" Verfahren betrieben werden. Die Motorversuche wurden genutzt um den Einfluss von Einspritzdruck, Ladeluftkonditionierung und Abgasrückführung zu klären. Daraus zeigte sich, dass unter günstigen Bedingungen geringste Stickoxid-Emissionen bei kaum messbaren Ruß-Schwärzungszahlen erreicht werden können. Jedoch wurde anstelle des klassischen Ruß-NO_x Konflikts ein HC/CO-NO_x Konflikt nachgewiesen. Die PCCI Verbrennung konnte nur für einen niedrigen Lastbereich des Motors sinnvoll appliziert werden. Eine Lastanhebung resultierte entweder in einem starken Anstieg an Emissionen der unvollständigen Verbrennung (HC, CO) oder in einer sehr harten Verbrennung mit entsprechend hohem Geräuschniveau. Die entscheidende Rolle spielt hierbei die Fähigkeit zur Ausmagerung der Kraftstoffwolke ohne dabei Kraftstoff in muldenferne Brennraumzonen zu verlieren.

PCCI on a medium-speed diesel engine- simulation, engine tests and limitations

Faced with the upcoming IMO Tier III legislation which is mainly limiting nitrogen oxide emissions from seagoing vessels, research was done on alternative combustion techniques that are capable to meet these requirements without exhaust gas aftertreatment. In particular, the "Premixed Charge Compression Ignition" (PCCI) was investigated on a single-cylinder test engine at MAN Diesel & Turbo in Augsburg. The engine runs at medium speed and is equipped with a Common-Rail solenoid-actuated injector.

The investigated combustion technique refers to the idea: while conventional (diffusive) diesel combustion is characterised by highly heterogeneous air-fuel mixing within the spray, it is difficult to overcome the emission problem. Premixed combustion instead, gives the opportunity to realize a combustion process with lowest soot and NO_x emissions caused by a leaner mixture formation at the ignition timing.

The compression-ignition of a lean premixed charge is generally capable to decrease flame temperatures to suppress the thermal formation of nitrogen oxide. At the same time soot can be significantly reduced as a consequence of lean mixing. Moreover, the characteristic fast throughput of air-fuel mixture offers the potential to increase the combustion efficiency.

A simulation study was carried out to identify a suitable injection strategy: The distribution and mixing of injected fuel in the combustion chamber was investigated by visualizing local air-fuel ratios for changes in injection parameters, different bowls and nozzle designs and various intensity of in-cylinder charge movement (swirl).

As a result of the simulation study, PCCI could be applied to a test engine with a yet optimized hardware configuration. Engine tests were done with the intention to investigate the influence of injection pressure, intake air conditioning and exhaust gas recirculation. It proves that near-zero NO_x emission is possible without any soot being detected. But FSN-NO_x tradeoff has been replaced by a HC- NO_x tradeoff. PCCI operations were limited to low engine loads. An increase in load either resulted in higher HC emissions or loud Diesel knocking. The challenging factor was the ability to further dilute charge with still gratifying fuel vapor distribution to prevent an increase in unburnt fuel emissions.

The study also points out appropriate modifications to overcome the NO_x - HC tradeoff which is one key to increase the engine load.

Dipl. Ing. Sebastian Wustl, Dr. Arne Schneemann, Dr. Christina Sauer; MTU Friedrichshafen
Die Rolle des Einzylinder-Aggregats im Motorenentwicklungsprozess bei der MTU Friedrichshafen GmbH

Motoren der MTU Friedrichshafen werden in unterschiedlichsten Off-Highway- Anwendungen vom Schiff bis zur Stromerzeugung weltweit eingesetzt. Die große Bandbreite an Applikationen führt zu einer hohen Variantenvielfalt innerhalb der einzelnen Motorenbaureihen. In jedem der Anwendungsbereiche wird hohe Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit erwartet. Zudem gilt es die aktuellen und zukünftigen Emissionsgrenzwerte in den einzelnen Regionen bei gleichzeitig geringem Kraftstoffverbrauch einzuhalten.

Um vor diesem Hintergrund den Aufwand und die Kosten in Grenzen zu halten, ist ein schlanker Entwicklungsprozess nötig, der bereits in einer frühen Entwicklungsphase ein umfassendes Bild über mögliche Lösungen liefert. Hier spielt die Verbrennungsentwicklung am Einzylinder-Aggregat in Verbindung mit der Auslegung der Aufladung eine Schlüsselrolle. Neben der reinen Optimierung des Verbrennungsprozesses muss die Robustheit der Verbrennung unter veränderlichen Randbedingungen sichergestellt werden. Außerdem sind bereits sehr früh Aussagen zur Dauerhaltbarkeit der verbrennungsrelevanten Bauteile erforderlich, die ebenfalls der Einzylinder liefert.

Dieser Beitrag stellt die Bedeutung des Einzylinder-Aggregats im Entwicklungsprozess bei der MTU Friedrichshafen GmbH vor und liefert einen Einblick in die einzelnen Entwicklungsphasen.

Als Beispiel dient die Entwicklung eines Brennverfahrens für einen Marinemotor der MTU Baureihe 4000, der die Emissionsvorschriften der EPA Tier 3 Abgasnorm innermotorisch und ohne Abgasrückführung einhalten soll.

Im Rahmen dieser Entwicklung war der Einzylinder von der Konzepterstellung bis zur Bauteilerprobung beteiligt. Nach einer umfassenden Untersuchung verschiedener Bauteilvarianten (Kolbenmulde, Einspritzdüse, Zylinderkopf) gelang es in allen Prüfzyklen (D2, E2, E3) die geforderten Emissionsvorschriften einzuhalten. Die Übertragung der Verbrennungsentwicklung auf den Vollmotor zeigte gute Übereinstimmung der Emissions- und Verbrauchswerte. Somit wurden alle geforderten Entwicklungsziele erreicht.

The role of the single-cylinder engine in the development process at MTU Friedrichshafen GmbH

Engines from MTU Friedrichshafen are used worldwide in various off-highway applications from ship to power generation. The wide range of applications results in a high number of variants within each engine series. Common to all applications is the demand for high cost-effectiveness and reliability. In addition, current and future emission limits must be met in the various regions and low fuel consumption must be maintained at the same time.

To keep the effort and costs within limits, a lean design process is necessary which provides a comprehensive picture of possible solutions at an early stage of development. Here combustion development on the single-cylinder engine plays a key role in conjunction with the dimensioning of the turbocharger. Besides the optimization of the combustion process, the robustness of the combustion must be ensured under variable operating conditions. Furthermore, information about the durability of all components relevant to combustion is required very early. This information is also provided by the single-cylinder.

This paper presents the importance of the single-cylinder engine in the development process at MTU Friedrichshafen and provides an insight into the various stages of development.

Combustion development for a MTU Series 4000 marine engine is presented as an example. This engine must comply with EPA Tier 3 emission standard without using exhaust aftertreatment or exhaust gas recirculation. The single-cylinder engine was involved in this development process from the conceptual design phase to component testing. After extensive investigation of different combustion components (piston bowl, injection nozzle, cylinder head) the required emission limits were met in all test cycles (D2, E2, E3). Applied to the full-size engine, the combustion process showed comparable performance and emissions so that all the required development objectives were achieved.

M.Sc. Sebastian Zauner, Dr. Christian Trapp, Dr. Herbert Kopecek, GE Jenbacher GmbH & CoOHG; Prof. Andreas Wimmer, LEC Graz, Österreich

Nutzung von Gichtgas im Großmotor mit Hilfe eines auf Zweigasbetrieb angepassten Regelungskonzeptes

Aufgrund der stetigen Verknappung fossiler Brennstoffe gewinnen alternative Brennstoffe immer mehr an Bedeutung. Bei der Stahlherstellung fallen drei für die gasmotorische Verstromung nutzbare Gase an, Koksgas, Gichtgas und Konvertergas. Koksgas und Konvertergas werden bereits seit vielen Jahren erfolgreich in Jenbacher Gasmotoren zur Strom- und Wärme Gewinnung eingesetzt. Gichtgas ist das Heizwert-schwächste Gas mit nur geringen Anteilen an CO, H₂ und CH₄. Tabelle 1 zeigt den typischen Zusammensetzungsbereich von Gichtgasen.

Tabelle 1: Zusammensetzung Gichtgas

	LSL [%vol]	USL [%vol]
CO	18	25
H₂	1	5
CH₄	0	1
N₂	45	60
CO₂	20	25

Der Heizwert schwankt in einem Bereich von 0.7 kWh/Nm³ bis 1.1 kWh/Nm³ bei einem stöchiometrischen

Luftbedarf von 0.45 Nm³/Nm³ bis 0.81 Nm³/Nm³.

Für die motorische Nutzung ist Gichtgas aufgrund des geringen Heizwertes und der großen Schwankungsbreite der Zusammensetzung besonders herausfordernd. Zusammen mit dem Large Engine Competence Center (LEC) in Graz wurde an einem Jenbacher Baureihe 6 Einzylindermotor ein Mager-Brennverfahren für diese Gasklasse entwickelt. Bei der Brennverfahrensentwicklung wurden unter anderem verschiedene Gaszusammensetzungen, Kolbenformen, Vorkammerkonzepte, Turbulenz-Niveaus sowie eine Steuerzeitenvariation untersucht. Das finale Brennverfahren wird durch ein Hochdrallkonzept mit offenem Brennraum charakterisiert.

Bei der Motorregelung wurde besonderes Augenmerk auf die Robustheit in Verbindung mit einem Zumischgas gelegt. Als Zumischgas kann sowohl das in der Kokerei anfallende Koksgas als auch Erdgas verwendet werden. Mit Hilfe des neu entwickelten Konzeptes kann ein stabiler Gichtgas-Motorbetrieb mit hohem Wirkungsgrad und hohem effektivem Mitteldruck auch bei schwankender Gaszusammensetzung erreicht werden.

Utilization of Blast Furnace Gas in a large Bore Engine with a Control Concept optimized for Auxiliary Fuel Gas

Due to the increasing shortage of fossil fuels alternative fuels for energy production are gaining more importance. In the steel production process three major gases are produced which can be used for generating electricity in a reciprocating gas engines, these are Cokegas, Blast Furnace Gas (BFG), and Convertergas. Cokegas and Convertergas are already successfully used in GE Jenbacher gas engines. BFG has the lowest heating value with low fractions of CO, H₂, and CH₄. Table 1 shows a typical range for the composition of BFG.

Table 1: Typical Range of Blast Furnace Gas Composition

	LSL [%vol]	USL [%vol]
CO	18	25
H₂	1	5
CH₄	0	1
N₂	45	60
CO₂	20	25

The lower heating value (LHV) varies in a range from 0.7 kWh/Nm³ to 1.1 kWh/Nm³ with a stoichiometric air demand from 0.45 Nm³/Nm³ to 0.81 Nm³/Nm³.

From a gas engine perspective the use of Blast Furnace Gas is very challenging due to low LHV and large variations in gas composition. In collaboration with the Large Engine Competence Center (LEC) in Graz, a lean burn combustion concept based on a GE Jenbacher type 6 single cylinder engine was developed. The major parameters investigated during this combustion concept evaluation were gas composition, piston geometry, prechamber configuration, turbulence level, and valve timing. The outcome was a combustion concept comprised of a high swirl cylinder head with a direct ignition setup.

The main focus for the engine control concept was on controller stability in combination with a blending second fuel gas. Either Cokegas or Natural Gas can be blended as a second fuel gas.

With this new development, a stable BFG operation with high efficiency and a high break mean effective pressure at varying gas compositions could be achieved.

R.Zimmermann ^{1,11}, T.G.Dittmar ^{2,11}, T.Kanashova ^{2,11}, J.Buters^{3,11}, S. Öder ^{3,11}, H.Paur ^{4,11}, C.Schlager⁴, S.Mülhopt⁴, M.Dilger^{4,11}, C.Weiß ^{4,11}, S.Diabate ⁴, H.Harndorf^{5,11}, B.Stengel ^{5,11}, R. Rabe ⁵, M.-R.Hirvonen ^{6,11}, J.Jokiniemi ^{6,11}, T.Torvela ⁶, K.Hiller ^{7,11}, S.C.Sapccariu ^{7,11}, K.A.BeruBe ^{8,11}, A.J.Wlodarczyk ^{8,11}, O.Sippula ^{1,6,11}, B.Michalke ⁹, T.Krebs ^{10,11}, M.Kelbg ^{5,11}, J.Tiggesbäumker^{5,11}, T.Streibel ¹, E.Karg ¹, S.Scholtes ^{1,11}, J.Schnelle-Kreis ¹, J.Lintelmann ¹, G.Matuschek ¹, M.Sklorz ¹, M.Arteaga Salas ^{1,11}, S.Klingbeil ^{1,11}, J.Orasche ¹, P.Richthammer ¹, L. Müller ^{1,11}, M. Elsasser ¹, A.Rheda ¹, J.Passig ^{1,11}, T.Gröger ¹, G.Abbaszade ¹, C.Radischat ^{1,11}; ¹Joint Mass Spectrometry Centre, Rostock University (Analyt. Chem.)&Helmholtz Zentrum München (HMGU/CMA), Germany, D; ²MDC, Berlin, D; ³ZAUM, Technical University Munich, D; ⁴KIT (ITC/ITG), Karlsruhe, D; ⁵ University of Rostock (Inst. of Piston Machines & Int. Combust. Engines and Inst. of Physics), D; ⁶University Eastern Finland-Kuopio; ⁷Uni Luxemburg; ⁸Cardiff University, UK; ⁹HMGU, D; ¹⁰Vitrocell GmbH, Waldkirch, D; ¹¹HICE – Helmholtz Virtual Institute of Complex Molecular Systems in Environmental Health-Aerosols and Health, www.hice-vi.eu

Prof. Ralf Zimmermann Rostock University (Analyt. Chem.)&Helmholtz Zentrum München (HMGU/CMA), Germany

Aerosol emissions from a ship engine using heavy fuel oil or diesel fuel: Aerosol composition and biological effects on human lung cells

In the framework of the virtual Helmholtz Institute HICE, health effects of emissions from ships are addressed. A ship diesel engine was operated either with heavy fuel oil (HFO) or diesel fuel (DF). The emissions were comprehensively characterized (chemical composition and physical properties). Simultaneously human lung cell-cultures (human alveolar basal epithelial cells, A549 and BEAS2B) were exposed at the air-liquid-interface (ALI) using a special ALI mobile exposure system and a custom-built transportable S2-biological laboratory-container. The fresh ship engine aerosols were diluted (DF~1:40, HFO ~ 1:100) before exposure. The 4 h exposed cells subsequently were toxicologically and molecular-biologically characterized (transcriptomics, proteomics and metabolomics). Although the HFO-exhaust was more diluted, the deposited PM-dose on the cell layer was still higher for HFO- than for DF-exposure. Stable isotope labeling technologies (¹³C-Glucose/metabolomics; ²H-Lysine/SILAC-proteomics) were applied for high detection sensitivity and accuracy for molecular-biological effect at sub-acute toxicity dose levels. The chemical analysis results on HFO- and DF-ship diesel PM depict much more particle mass, organic mass, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and oxidized-PAH, aliphatic compounds and transition metals (V, Ni, Fe) for the HFO case. DF-PM in the contrary contained more elemental carbon (EC) and black carbon (BC). The comprehensive investigation of the biological effects of DF- and HFO-ship emissions on the human lung cells gave a surprising result: Although for HFO-experiments the PM-dose was higher and the concentration of known air toxics as PAH and transition metals were much higher, the PM DF-experiments induced broader toxic- and biological-effects in the cells. Monitoring of the cellular response for HFO-emission revealed biological effects such as inflammation and oxidative stress, DF-emission particles induced a broader general reaction including basic cellular pathways. This is suggesting that both, DF- and HFO-PM emission can evoke harmful health effects. In conclusion the currently promoted switching from HFO to DF without precipitation of elemental carbon-emissions may be insufficient from a public-health perspective.