

BOOK OF ABSTRACTS

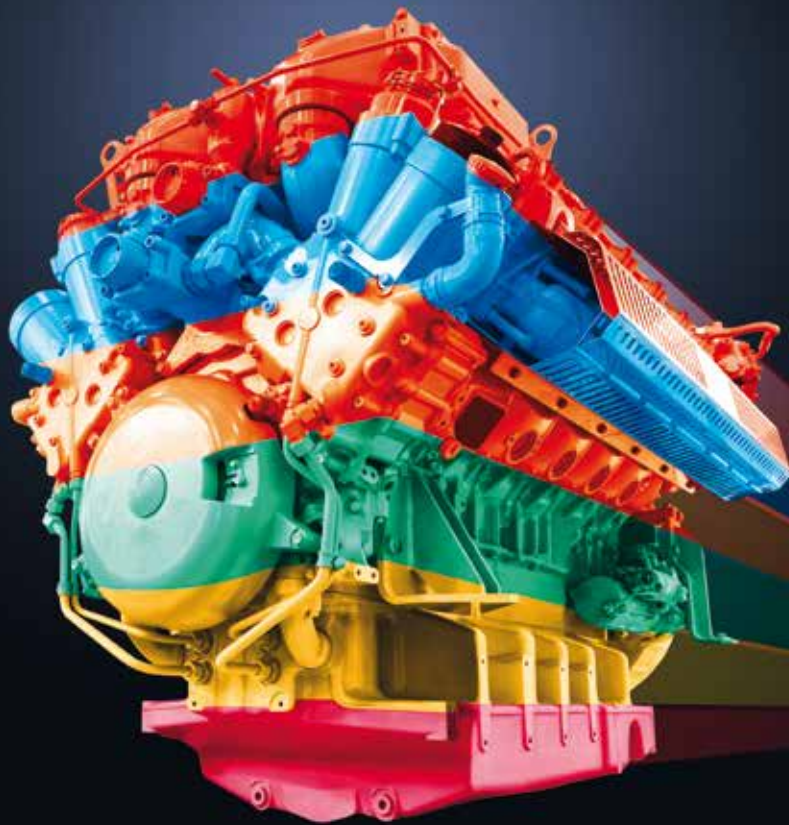
13. Dessauer Gasmotoren-Konferenz

15. /16. Mai 2024, Dessau-Roßlau, Sachsen-Anhalt

13th Dessau Gas Engine Conference

May 15-16, 2024, Dessau-Roßlau, Saxony-Anhalt

Der Veranstalter/The Organizer: WTZ Roßlau gGmbH



13. Dessauer Gasmotoren-Konferenz / 13th Dessau Gas Engine Conference

Der Veranstalter / The Organizer



Tagungsort **Conference Venue**

Veranstaltungszentrum Golfpark Dessau
Junkersstraße 52
06847 Dessau-Roßlau, Germany
www.veranstaltungszentrum-dessau.de

Zwischen den Hotels Radisson Blu Fürst Leopold, DORMERO sowie B&B Hotel Dessau und dem Veranstaltungsort ist ein Busshuttle-Service vorgesehen.
There will be a bus transfer between Hotel Radisson Blu Fürst Leopold, Hotel DORMERO, B&B Hotel Dessau and the venue.

Konferenzsprachen/Conference Languages

Die Konferenzsprachen sind Deutsch und Englisch.
Eine Simultanübersetzung wird angeboten.
Conference languages will be German and English.
Simultaneous interpretation will be arranged.

Konferenzdinner im Technikmuseum „Hugo Junkers“ **Conference Dinner in Technikmuseum „Hugo Junkers“**

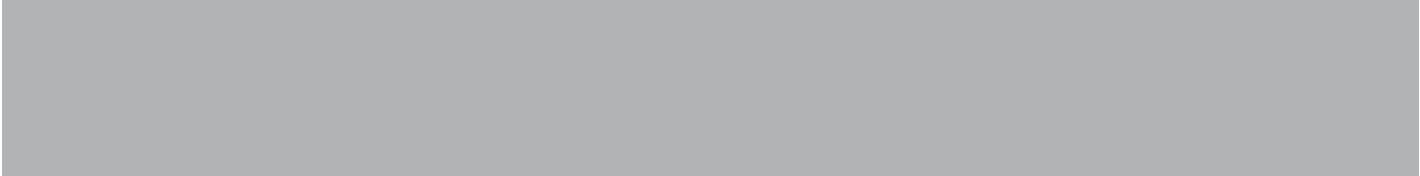
Kühnauer Straße 161a
06846 Dessau-Roßlau
<https://technikmuseum-dessau.org>



Weitere Informationen
www.wtz.de/gasmotorenkonferenz



Further information
www.wtz.de/gasmotorenkonferenz/en/



Der Gasmotor wird bunt!

- # Dual Fuel
- # Fuel Share
- # H₂-Readiness
- # Wasserstoff
- # Ammoniak
- # H₂-Beimischung
- # Retrofit
- # ...und welche Rolle wird Methanol beim Gasmotor der Zukunft spielen?

Der Wasserstoffmotor kommt. Aufgrund der aufwendigen Speicherung von Wasserstoff stellt sich jedoch die Frage nach anderen Kraftstoffen, welche aktuell in Form von Methanol und Ammoniak als synthetische Alternativen diskutiert werden.

Je nach Kraftstoff bestehen vielfältige Fragestellungen zu den verschiedenen Brennverfahren. In Kombination mit der Frage nach der „richtigen“ Applikation, ob Off-Road, On-Road, Marine oder Power, entsteht ein bunter Blumenstrauß an Lösungsmöglichkeiten. Die genannten Konzepte lassen sich noch kombinieren, wenn zukünftig Fuel-Share, Dual-Fuel und Retrofit gefordert sind.

Dabei darf nicht vergessen werden, dass die bisherigen Kraftstoffe wie Erdgas und Biogas noch auf absehbare Zeit eine wichtige Rolle im Energiemix spielen.

Diesen bunten Mix an spannenden Fragestellungen rund um den Gasmotor möchten wir gern gemeinsam mit Ihnen auf der kommenden Gasmotoren-Konferenz diskutieren, aktuelle Trends erörtern sowie die erkennbaren Lösungsansätze präsentieren.

Hierzu lädt Sie das Team des WTZ Roßlau ganz herzlich zur 13. Dessauer Gasmotoren-Konferenz vom 15. bis 16. Mai 2024 nach Dessau-Roßlau ein. Wir freuen uns sehr auf Ihren Besuch!

New Gas engines are like a rainbow - multicoloured!

- # Dual Fuel
- # Fuel Share
- # H₂ -Readiness
- # Hydrogen
- # Ammonia
- # H₂ admixture
- # Retrofit
- # ...and what role will methanol play in the gas engine of the future?

The hydrogen engine is on its way. However, the complex storage of hydrogen leads to the question of other fuels, which are currently being discussed as synthetic alternatives in the form of methanol and ammonia.

The questions surrounding the different combustion processes differ depending on the fuel. In combination with the question of the „right“ application, whether off-road, on-road, marine or power, a colourful bouquet of possible solutions arises.

The above concepts can also be combined if Fuel Share, Dual Fuel and retrofit are requested in the future.

In this context, it is important to remember that current fuels such as natural gas and biogas will continue to have a significant influence on the energy mix in the foreseeable future.

At the 13th Dessau Gas Engine Conference, we would like to discuss with you this colourful mix of exciting questions concerning the gas engine, explore current trends and present the possible solutions.

For this purpose, the team of WTZ Roßlau would like to invite you to the 13th Dessau Gas Engine Conference from 15 to 16 May 2024 in Dessau-Roßlau, Germany.



Dr.-Ing. Christian Reiser
WTZ Roßlau gGmbH



Karsten Stenzel
WTZ Roßlau gGmbH

K1	Defossilierung von Hochleistungs-Anwendungen mit nachhaltigen Kraftstoffen Defossilization of high-power applications with sustainable fuels <i>Dr. D. Chatterjee*, Simon Hettig, Martin Miller ■ Rolls-Royce Power Systems AG</i>	→ 12
S1	Neue Motoren und Entwicklungstrends/ New engines and development trends <i>Moderation: Prof. Ulrich Walther ■ Westsächsische Hochschule Zwickau</i>	→ 14
01	MAN ES - Die 49/60-Motorenfamilie - eine vielseitige Motorenplattform für höchste Leistung und Flexibilität MAN ES - The 49/60 engine family - a versatile engine platform for maximum performance and flexibility <i>Stefan Terbeck*, Michael Baldermann, Dr. Stefan Blodig, Paul Hagl, Michael Werner ■ MAN Energy Solutions SE</i>	→ 14
02	Die Verwendung von Holzgas zur CO ₂ -neutralen Energiegewinnung - Verbesserungen an einem Sondergasmotor Using Wood Gas for CO ₂ Neutral Power Generation - Performance Improvements of a Special Gas Engine <i>Mario Frischmann*, Dr. Robert Böwing, Stefan Schiestl ■ INNIO Jenbacher GmbH & Co. OG</i>	→ 16
S2	Wasserstoff - Stromerzeugung/ Hydrogen - Power generation <i>Moderation: Prof. Thomas Koch ■ Karlsruher Institut für Technologie</i>	→ 18
03	Zertifizierung der H ₂ -Readiness von Gasmotorenkraftwerken H ₂ -Readiness certification of gas engine power plants <i>Dominik Voggenreiter*, Pierre Huck, Dr.-Ing. Thomas Gallinger ■ TÜV SÜD Industrie Service GmbH</i>	→ 18
04	2G Wasserstoff-BHKW in der Praxis und die Entwicklung zum leistungsstarken Serienprodukt 2G hydrogen CHP in practice and the development into a high-performance series product <i>Frank Grewe* ■ 2G Energy AG; Dr. Sven Annas ■ 2G Energietechnik GmbH Rudolf Höß ■ Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden</i>	→ 20
05	Auf dem Weg zum zuverlässigen Betrieb von Gasmotorenaggregaten mit reinem Wasserstoff Towards reliable genset operation with pure hydrogen <i>Dr. Marco Schultze*, Dr. Sebastian Ohler, Darshit Shah ■ Caterpillar Energy Solution GmbH Tom Krüger*, Manuel Cech, Carsten Tietze ■ WTZ Roßlau gGmbH</i>	→ 22
S3	Ammoniak - Schiffsanwendungen/ Ammonia - Marine applications <i>Moderation: Prof. Andreas Wimmer ■ LEC Graz GmbH, Technische Universität Graz</i>	→ 24
06	Auslegung eines Ammoniak-Retrofit-Konzeptes für maritime Antriebseinheiten kleiner 400 kW Design of an ammonia retrofit concept for maritime propulsion units smaller than 400 kW <i>Dr.-Ing. Martin Theile*, Antje Hoppe ■ FVTR GmbH; Dr.-Ing. Sascha Prehn, Till Mante ■ Universität Rostock; Dr.-Ing. Lars Seidel, G. Mwathi ■ LOGE Deutschland GmbH</i>	→ 24
07	Entwicklung eines mittelschnelllaufenden Ammoniakmotors für die Schifffahrt Development of Medium Speed Ammonia Engine for Marine Application <i>Sadao Nakayama*, Shunsuke Kazama, Hiroki Naruse, Yutaka Masuda, Yutaka Mashima ■ IHI Power Systems Co., Ltd. Kenta Miyauchi, Koki Aiba, Takayuki Hirose ■ IHI Corporation</i>	→ 26
08	Entwicklung einer Ammoniak-betriebenen Cracker-Motor-Einheit als Antriebssystem für Binnenschiffe Development of an Ammonia-fueled Cracker-Engine-Unit as Propulsion System for Inland Waterway Vessels <i>Annalena Braun*, Dr.-Ing. Sören Bernhardt, Dr.-Ing. Heiko Kubach ■ Karlsruher Institut für Technologie; Torsten Baufeld ■ Liebherr; Prof. Dr.-Ing. Bert Buchholz, Dr.-Ing. Sascha Prehn ■ Universität Rostock Dr. Lena Engelmeier ■ Zentrum für Brennstoffzellentechnik; Prof. Dr.-Ing. Hinrich Mohr ■ GasKraft Engineering</i>	→ 28
S4	Grundlagenuntersuchungen/ Fundamental studies <i>Moderation: Prof. Friedrich Wirtz ■ Technische Universität Hamburg</i>	→ 30
09	Gleitlager-Performance in Anwendungen unter Verwendung alternativer Treibstoffe Plain Bearing Performance in Applications Utilizing Alternative Fuels <i>A. Zunghammer*, S. Kirchhamer, E. Bakk ■ Miba Gleitlager Austria GmbH, Laakirchen</i>	→ 30
10	Potenziale und Grenzen von unterschiedlichen Wasserstoffverbrennungskonzepten für Power Generation Applikationen Potential and limitations of different hydrogen combustion concepts for power generation applications <i>Dr. Nicole Wermuth*, Prof. Dr. Andreas Wimmer, Dr. Gernot Kammel ■ TLEC GmbH Dr. Nikolaus Spyra, Dr. Michael Url ■ INNIO Jenbacher</i>	→ 32
11	Abgasnachbehandlung für Methanol Dual-Fuel-Motoren Exhaust gas aftertreatment for methanol dual fuel engines <i>Dr. Daniel Peitz*, Dr.-Ing. Enno Eber ■ HUG Engineering AG</i>	→ 34

K2	Analyse der globalen Wasserstoffversorgungsketten - Transportmöglichkeiten, Kosten und Anwendungen Global Hydrogen Supply Chain Analysis - Transport options, Costs and Applications <i>Robert Szolak</i> ■ <i>Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE</i>	→ 38
S5	Wasserstoff - Mobile Anwendungen/Hydrogen - Mobile applications Moderation: <i>Prof. Hermann Rottengruber</i> ■ <i>Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg</i>	→ 40
12	Moderne H ₂ -Verbrennung am MAN H4576/State-of-the-art H ₂ combustion at the MAN H4576 <i>Peter Albrecht*</i> , <i>Dominik Hyna</i> , <i>Maximilian Weidner</i> , <i>Thomas Malischewski</i> , <i>Florian Lindner</i> ■ <i>MAN Truck & Bus</i>	→ 40
13	Leistungssteigerung von direkteinspritzenden H ₂ -Motoren mit flachem Brennraumdach Performance improvement of direct injection H ₂ ICE with flat cylinder heads <i>Dr.-Ing. Arne Güdden*</i> , <i>Dr.-Ing. Björn Franzke</i> , <i>Aleksandar Boberic</i> ■ <i>FEV Europe GmbH</i> ; <i>Pascal Zimmer</i> , <i>Prof. Dr. Stefan Pischinger</i> ■ <i>RWTH Aachen University</i>	→ 42
S6	Methanol-Schiffsanwendung/Methanol - Marine applications Moderation: <i>Prof. Peter Eilts</i> ■ <i>Technische Universität Braunschweig</i>	→ 44
14	Methanol Retrofits für eine schnelle Netto-CO ₂ -Emissionsreduzierung im maritimen Markt Methanol Retrofits for a fast net-CO ₂ reduction in the Marine Market <i>Christian Kunkel*</i> , <i>Paul Hagl</i> , <i>Dr. Bhuvaneshwar Manickam</i> , <i>Dr. Christopher Gross</i> , <i>Florian Eppler</i> ■ <i>MAN Energy Solutions SE</i>	→ 44
15	ABCs Methanol Zukunft/ABC's methanol future <i>Luc Mattheeuws*</i> , <i>Andreas van Gijzeghem</i> , <i>Rik de Graeve</i> , <i>Dr. Roel Verschaeren</i> ■ <i>Anglo Belgian Corporation</i>	→ 46
16	Entwicklung eines schnelllaufenden Methanol-Marinemotors im Projekt „meOHmare“ Development of a high speed methanol marine engine within the project „meOHmare“ <i>Dr. Patrick Moll*</i> , <i>Dr. Johannes Kech</i> , <i>Steffen Theiß</i> ■ <i>Rolls-Royce Solutions GmbH</i>	→ 48
S7	Gemischbildungskomponenten/Injection components Moderation: <i>Karsten Stenzel</i> ■ <i>WTZ RoBlau gGmbH</i>	→ 50
17	Wasserstoff-Verbrennungsergebnisse unter Niederdruck-Direkteinspritzung für Motoren mit 130 mm Bohrungsdurchmesser Hydrogen combustion results with low-pressure direct injection for 130 mm bore size engines <i>Patrick Send*</i> , <i>Dr. János Csató</i> , <i>Richard Pirkl</i> , <i>Günther Neuhaus</i> ■ <i>Liebherr-Components Deggendorf GmbH</i> <i>Francois Masson</i> ■ <i>Liebherr Machines Bulle SA</i>	→ 50
18	Neue Aspekte zur Gemischaufbereitung bei direkteinspritzenden Wasserstoffverbrennungsmotoren New Mixture Formation Processes in H ₂ Engines <i>Dr.-Ing. Olaf Weber*</i> , <i>Jan Leberwurst</i> , <i>Dr. rer. nat. Jochen Broz</i> , <i>Sebastian Sulzer</i> , <i>Dr. rer. nat. Oliver Hahn</i> ■ <i>Schaeffler Technologies AG & Co. KG</i>	→ 52
19	Herausforderungen für den Umstieg auf erneuerbare Energieträger aus Komponentensicht mit Fokus auf MPI Ventile für das LE-Motoren Segment Challenges for the transition to renewable fuels from component perspective with focus on MPI valves for Large Engines <i>Dr. Peter Christiner*</i> , <i>Dr. Jens Olaf Stein</i> , <i>Claudia Hengstberger</i> , <i>Michael Köhler</i> , <i>Dr. René Schimon</i> ■ <i>Robert Bosch AG</i>	→ 54
S8	Zündtechnologien/Ignition technologies Moderation: <i>Prof. Bert Buchholz</i> ■ <i>Universität Rostock</i>	→ 56
20	Entwicklung intelligenter Zündspulen für H ₂ ICE Anwendungen Smart Ignition Coil Development for H ₂ ICE Application <i>Dr. Stefano Papi*</i> , <i>Dr. Massimo Dal Re</i> , <i>Dr. John Burrows</i> , <i>Simone Daniele</i> ■ <i>Tenneco Powertrain</i> <i>Federico Ricci</i> , <i>Carlo Nazareno Grimaldi</i> ■ <i>University of Perugia</i>	→ 56
21	Zyklusweise Funkensteuerung: Die Zukunft bei Wasserstoffmotoren Same Cycle Spark Control: The Future of Hydrogen Engines <i>Emmanuella Sotiropoulou*</i> , <i>Dr. Luigi Tozzi</i> , <i>Supreeth Narasimhamurthy</i> ■ <i>Prometheus Applied Technologies, LLC</i> ; <i>Luc Mattheeuws</i> , <i>Rik De Graeve</i> ■ <i>Anglo Belgian Corporation NV</i> <i>David Lepley</i> ■ <i>Altronic LLC</i> ; <i>Bernhard Zemann</i> ; ■ <i>Hoerbiger Wien GmbH</i>	→ 58

Mittwoch, 15.05.2024/Wednesday May 15, 2024

- 08:00 Registrierung/Registration
- 08:30 Begrüßung/Welcome
Dr.-Ing. Christian Reiser ■ Geschäftsführer WTZ Roßlau gGmbH
- 08:35 Grußwort/Short welcoming speech
*Stefanie Pöttsch ■ Staatssekretärin im Ministerium für
Wirtschaft, Tourismus, Landwirtschaft und Forsten des Landes Sachsen-Anhalt*

Keynote

- 08:45 Defossilierung von Hochleistungs-Anwendungen mit nachhaltigen Kraftstoffen
Defossilation of high-power applications with sustainable fuels
K1
Dr. D. Chatterjee, Simon Hettig, Martin Miller ■ Rolls-Royce Power Systems AG*

Session 1 Neue Motoren und Entwicklungstrends/New engines and development trends
Moderation: Prof. Ulrich Walther ■ Westsächsische Hochschule Zwickau

- 09:00 MAN ES - Die 49/60-Motorenfamilie - eine vielseitige Motorenplattform für höchste Leistung und Flexibilität
MAN ES - The 49/60 engine family - a versatile engine platform for maximum performance and flexibility
01
Stefan Terbeck, Michael Baldermann, Dr. Stefan Blodig, Paul Hagl, Michael Werner ■ MAN Energy Solutions SE*
- 09:30 Die Verwendung von Holzgas zur CO₂-neutralen Energiegewinnung - Verbesserungen an einem Sondergasmotor
Using Wood Gas for CO₂ Neutral Power Generation - Performance Improvements of a Special Gas Engine
02
Mario Frischmann, Dr. Robert Böwing, Stefan Schiestl ■ INNIO Jenbacher GmbH & Co. OG*
- 10:00 Kaffeepause/Coffeebreak

Session 2 Wasserstoff - Stromerzeugung/Hydrogen - Power generation
Moderation: Prof. Thomas Koch ■ Karlsruher Institut für Technologie

- 10:30 Zertifizierung der H₂-Readyness von Gasmotorenkraftwerken
H₂-Readiness certification of gas engine power plants
03
Dominik Voggenreiter, Pierre Huck, Dr.-Ing. Thomas Gallinger ■ TÜV SÜD Industrie Service GmbH*
- 11:00 2G Wasserstoff-BHKW in der Praxis und die Entwicklung zum leistungsstarken Serienprodukt
2G hydrogen CHP in practice and the development into a high-performance series product
04
Frank Grewe ■ 2G Energy AG; Dr. Sven Annas ■ 2G Energietechnik GmbH;
Rudolf HöB ■ Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden*
- 11:30 Auf dem Weg zum zuverlässigen Betrieb von Gasmotorenaggregaten mit reinem Wasserstoff
Towards reliable genset operation with pure hydrogen
05
Dr. Marco Schultze, Dr. Sebastian Ohler, Darshit Shah ■ Caterpillar Energy Solution GmbH
Tom Krüger*, Manuel Cech, Carsten Tietze ■ WTZ Roßlau gGmbH*
- 12:00 Mittagessen/Lunch

Mittwoch, 15.05.2024/Wednesday May 15, 2024

Session 3

Ammoniak - Schiffsanwendungen/Ammonia - Marine applications

Moderation: Prof. Andreas Wimmer ■ LEC Graz GmbH, Technische Universität Graz

13:30

06

Auslegung eines Ammoniak-Retrofit-Konzeptes für maritime Antriebseinheiten kleiner 400 kW

Design of an ammonia retrofit concept for maritime propulsion units smaller than 400 kW

Dr.-Ing. Martin Theile*, Antje Hoppe ■ FVTR GmbH

Dr.-Ing. Sascha Prehn, Till Mante ■ Universität Rostock

Dr.-Ing. Lars Seidel, G. Mwathi ■ LOGE Deutschland GmbH

14:00

07

Entwicklung eines mittelschnelllaufenden Ammoniakmotors für die Schifffahrt

Development of Medium Speed Ammonia Engine for Marine Application

Sadao Nakayama*, Shunsuke Kazama, Hiroki Naruse, Yutaka Masuda, Yutaka Mashima

■ IHI Power Systems Co., Ltd.

Kenta Miyauchi, Koki Aiba, Takayuki Hirose ■ IHI Corporation

14:30

08

Entwicklung einer Ammoniak-betriebenen Cracker-Motor-Einheit als Antriebssystem für Binnenschiffe

Development of an Ammonia-fueled Cracker-Engine-Unit as Propulsion System for Inland Waterway Vessels

Annalena Braun*, Dr.-Ing. Sören Bernhardt, Dr.-Ing. Heiko Kubach ■ Karlsruher Institut für Technologie

Torsten Baufeld ■ Liebherr

Prof. Dr.-Ing. Bert Buchholz, Dr.-Ing. Sascha Prehn ■ Universität Rostock

Dr. Lena Engelmeier ■ Zentrum für Brennstoffzellentechnik

Prof. Dr.-Ing. Hinrich Mohr ■ GasKraft Engineering

15:00

Kaffeepause/Coffeebreak

Session 4

Grundlagenuntersuchungen/Fundamental studies

Moderation: Prof. Friedrich Wirz ■ Technische Universität Hamburg

15:30

09

Gleitlager-Performance in Anwendungen unter Verwendung alternativer Treibstoffe

Plain Bearing Performance in Applications Utilizing Alternative Fuels

A. Zunghammer*, S. Kirchhamer, E. Bakk ■ Miba Gleitlager Austria GmbH, Laakirchen

16:00

10

Potenziale und Grenzen von unterschiedlichen Wasserstoffverbrennungskonzepten für Power Generation Applikationen

Potential and limitations of different hydrogen combustion concepts for power generation applications

Dr. Nicole Wermuth*, Prof. Dr. Andreas Wimmer, Dr. Gernot Kammel ■ LEC GmbH

Dr. Nikolaus Spyra, Dr. Michael Url ■ INNIO Jenbacher

16:30

11

Abgasnachbehandlung für Methanol Dual-Fuel-Motoren

Exhaust gas aftertreatment for methanol dual fuel engines

Dr. Daniel Peitz*, Dr.-Ing. Enno Eßer ■ HUG Engineering AG

17:00

Rückfahrt der Busse zu den Hotels/Return to the hotels

18:30

Abfahrt der Busse zur Abendveranstaltung/Departure of the busses to the Evening Event

Abendveranstaltung/Evening Event

19:00

Konferenzdinner im Technikmuseum „Hugo Junkers“, Kühnauer Str. 161a, 06846 Dessau-Roßlau

Conference Dinner in Technik Museum „Hugo Junkers“, Kühnauer Str. 161a, 06846 Dessau-Roßlau

Donnerstag, 16.05.2024/Thursday May 16, 2024

Keynote

08:45 **K2** Analyse der globalen Wasserstoffversorgungsketten - Transportmöglichkeiten, Kosten und Anwendungen
Global Hydrogen Supply Chain Analysis - Transport options, Costs and Applications
Robert Szolak ■ Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE

Session 5 Wasserstoff - Mobile Anwendungen/Hydrogen - Mobile applications
Moderation: *Prof. Hermann Rottengruber* ■ Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

09:00 **12** Moderne H₂-Verbrennung am MAN H4576
State-of-the-art H₂ combustion at the MAN H4576
*Peter Albrecht**, *Dominik Hyna*, *Maximilian Weidner*, *Thomas Malischewski*, *Florian Lindner* ■ MAN Truck & Bus

09:30 **13** Leistungssteigerung von direkteinspritzenden H₂-Motoren mit flachem Brennraumdach
Performance improvement of direct injection H₂ICE with flat cylinder heads
*Dr.-Ing. Arne Güdden**, *Dr.-Ing. Björn Franzke*, *Aleksandar Boberic* ■ FEV Europe GmbH
Pascal Zimmer, *Prof. Dr. Stefan Pischinger* ■ RWTH Aachen University

10:00 Kaffeepause/Coffeebreak

Session 6 Methanol-Schiffsanwendung/Methanol - Marine applications
Moderation: *Prof. Peter Eilts* ■ Technische Universität Braunschweig

10:30 **14** Methanol Retrofits für eine schnelle Netto-CO₂-Emissionsreduzierung im maritimen Markt
Methanol Retrofits for a fast net-CO₂ reduction in the Marine Market
*Christian Kunkel**, *Paul Hagl*, *Dr. Bhuvaneshwar Manickam*, *Dr. Christopher Gross*, *Florian Eppler*
■ MAN Energy Solutions SE

11:00 **15** ABCs Methanol Zukunft
ABC's methanol future
*Luc Mattheeuws**, *Andreas van Gijzeghem*, *Rik de Graeve*, *Dr. Roel Verschaeren* ■ Anglo Belgian Corporation

11:30 **16** Entwicklung eines schnelllaufenden Methanol-Marinemotors im Projekt „meOHmare“
Development of a high speed methanol marine engine within the project „meOHmare“
*Dr. Patrick Moll**, *Dr. Johannes Kech*, *Steffen Theiß* ■ Rolls-Royce Solutions GmbH

12:00 Mittagessen/Lunch

Donnerstag, 16.05.2024/Thursday May 16, 2024**Session 7** Gemischbildungskomponenten/Injection components

Moderation: Karsten Stenzel ■ WTZ RoBlau gGmbH

13:30 Wasserstoff-Verbrennungsergebnisse unter Niederdruck-Direkteinspritzung für Motoren mit 130 mm Bohrungsdurchmesser

17

Hydrogen combustion results with low-pressure direct injection for 130 mm bore size engines
Patrick Send*, Dr. János Csató, Richard Pirkl, Günther Neuhaus ■ Liebherr-Components Deggendorf GmbH
Francois Masson ■ Liebherr Machines Bulle SA

14:00 Neue Aspekte zur Gemischaufbereitung bei direkteinspritzenden Wasserstoffverbrennungsmotoren

18

New Mixture Formation Processes in H₂ Engines
Dr.-Ing. Olaf Weber*, Jan Leberwurst, Dr. rer. nat. Jochen Broz, Sebastian Sulzer, Dr. rer. nat. Oliver Hahn
■ Schaeffler Technologies AG & Co. KG

14:30 Herausforderungen für den Umstieg auf erneuerbare Energieträger aus Komponentensicht mit Fokus auf MPI Ventile für das LE-Motoren Segment

19

Challenges for the transition to renewable fuels from component perspective with focus on MPI valves for Large Engines
Dr. Peter Christiner*, Dr. Jens Olaf Stein, Claudia Hengstberger, Michael Köhler, Dr. René Schimon
■ Robert Bosch AG

15:00 Kaffeepause/Coffeebreak

Session 8 Zündtechnologien/Ignition technologies

Moderation: Prof. Bert Buchholz ■ Universität Rostock

15:30 Entwicklung intelligenter Zündspulen für H₂ ICE Anwendungen

20

Smart Ignition Coil Development for H₂ ICE Application
Dr. Stefano Papi*, Dr. Massimo Dal Re, Dr. John Burrows, Simone Daniele
■ Tenneco Powertrain
Federico Ricci, Carlo Nazareno Grimaldi ■ University of Perugia

16:00 Zyklusweise Funkensteuerung: Die Zukunft bei Wasserstoffmotoren

21

Same Cycle Spark Control: The Future of Hydrogen Engines
Emmanuella Sotiropoulou*, Dr. Luigi Tozzi, Supreeth Narasimhamurthy ■ Prometheus Applied Technologies, LLC
Luc Mattheeuws, Rik De Graeve ■ Anglo Belgian Corporation NV
David Lepley ■ Altronic LLC
Bernhard Zemann ■ Hoerbiger Wien GmbH

16:45 Schlusswort/Closing Remarks

Dr.-Ing. Christian Reiser;
Geschäftsführer WTZ RoBlau gGmbH

WTZ

INNOVATIVE
SCIENCE & RESEARCH

Was treibt uns in Zukunft an?

Methanol
Wasserstoff
Ammoniak

DME

HVO

FAME

OME

synthetisches
Methan

LOHC

SOFC

FT-Diesel



wtz.de

Defossilierung von Hochleistungs-Anwendungen mit nachhaltigen Kraftstoffen **Defossilization of high-power applications with sustainable fuels**

Dr. Daniel Chatterjee, Simon Hettig, Martin Miller;
Rolls-Royce Power Systems AG*

Um eine erneuerbare Energieversorgung für Hochleistungsanwendungen wie Luftfahrt, Bergbau und verschiedene Schiffsanwendungen zu erreichen, sind chemische Energieträger unerlässlich, um den Energie- und Antriebsbedarf an abgelegenen Orten zu decken. Diese Anwendungen sind schwer zu elektrifizieren und Wasserstoff sowie Wasserstoffderivate wie Methanol, Ammoniak und synthetische Kohlenwasserstoffe (E-Fuels) bieten ein großes Potenzial für die Defossilisierung. E-Fuels sind jedoch noch keine wirtschaftlich tragfähige Option, ein Markthochlauf wird nach 2030 erwartet, ausgelöst durch ehrgeizige CO₂-Reduktionsziele und sinkende Preise aufgrund des Ausbaus der Produktionskapazitäten. Darüber hinaus ist die Speicherung von überschüssigem Wind- und Solarstrom ein Schlüsselement für einen erfolgreichen Übergang zu einer zuverlässigen klimaneutralen Energieversorgung, da deren Stromerzeugung Schwankungen unterworfen ist. Anstatt elektrische Energie direkt in Batterien zu speichern, ermöglicht die Umwandlung von elektrischer in chemische Energie wirtschaftlich tragfähige Speicherlösungen.

Sowohl für Hochleistungsanwendungen an abgelegenen Orten als auch für die Speicherung von überschüssigem Strom aus erneuerbaren Energiequellen sind Wasserstoff und seine Derivate, die durch Elektrolyse mit oder ohne nachgeschaltete Brennstoffsynthese hergestellt werden, der wichtigste Energieträger. Die Vorteile des einfachen Transports über große Entfernungen mit geringen Verlusten und der langfristigen Speicherung in großen Mengen ermöglichen eine zeitliche und räumliche Entkopplung von Energieerzeugung und bedarfsgerechter Energieversorgung.

Im Rahmen dieser grundlegenden Bemerkung (Keynote) möchten wir einen Überblick über das H₂-Ökosystem geben und vielversprechende alternative Kraftstoffe mit ihren für den breiten Einsatz vorhandenen Vorteilen und Herausforderungen, wie CO₂-Fußabdruck (well-to-wheel / well-to-wake), die Produktionskosten und die mittelfristige Verfügbarkeit, vorstellen.

To achieve a renewable energy supply for high power applications like aviation, mining and several marine applications, chemical energy carriers are essential to ensure the energy and propulsion demands in remote locations. Those applications are hard to electrify and hydrogen as well as hydrogen derivatives like methanol, ammonia and synthetic hydrocarbons (e-fuels) offers great potential for the defossilization. However, e-fuels are not an economically viable option yet, a market ramp-up is expected after 2030, evoked by ambitious CO₂ reduction targets and decreasing prices due to scale-up of production capacities. Furthermore, the storage of excess wind and solar electric power is a key element for a successful shift to a reliable climate-neutral energy supply, due to its fluctuating nature. Instead of storing electric energy directly in batteries, the conversion of electrical to chemical energy enables economically viable storage solutions.

For both, high power applications and storage of renewable excess electric power, hydrogen and derivatives produced by electrolysis with or without downstreamed fuel synthesis are the most prominent energy carrier in that respect. The advantages of easy transportation over long distances with reduced losses and long-term storage in large quantities enables a temporal and spatial decoupling of energy generation and demand-based energy supply.

Within this Keynote we would like to give an overview of the Ecosystem and showcase promising alternative fuels including their advantages and challenges for adopting them widely like CO₂ footprint (well-to-wheel / well-to-wake), the production costs and mid-term availability.

MAN ES - Die 49/60-Motorenfamilie
- eine vielseitige Motorenplattform für höchste Leistung und Flexibilität
MAN ES - The 49/60 engine family
- a versatile engine platform for maximum performance and flexibility

Stefan Terbeck, Michael Baldermann, Dr. Stefan Blodig, Paul Hagl, Michael Werner;*
 MAN Energy Solutions SE

Im Jahr 2022 stellte MAN Energy Solutions die Dual-Fuel-Variante als nächstes Mitglied der neuen Motorenfamilie 49/60 vor, die auch die Gas (SI) und DF-M (Methanol) Derivate umfasst.

Die neuesten und innovativsten MAN-ES-Viertakttechnologien wie die zweistufige Turboaufladung, die Common-Rail-Einspritzung der zweiten Generation und das neue Automatisierungssystem SaCoS5000 sind Schlüsselemente der Architektur der Motorenfamilie. Basierend auf diesen Genen setzen die 49/60-Varianten in ihren jeweiligen Marktsegmenten Maßstäbe hinsichtlich Leistung, Kraftstoffeffizienz, Emissionen und Kraftstoffflexibilität. Aufgrund ihres modularen Aufbaus können alle Varianten der einzelnen Motortypen mit einem Minimum an Variantenteilen gefertigt werden.

Basis für alle Familienderivate ist der serienmäßige 49/60-Kernmotor. Die modularen Baukästen des Kernmotors und der verbrennungsabhängigen Komponenten sind hinsichtlich der mehrdimensionalen Anforderungen des Varianten- und Konfigurationsmanagements sowie Randbedingungen für effiziente Logistik- und Produktionsprozesse optimiert.

Das Portfolio der 49'-Familie deckt stationäre Anwendungen mit V-Motoren im Leistungsbereich bis 26 MW ab, im maritimen Bereich stehen L- und V-Motoren bis 18,2 MW zur Verfügung. Diese nächste Generation von Mehrstoffmotoren ermöglicht den Betrieb mit künftigen Kraftstoffen und ist auf kommende Emissionsgesetze vorbereitet.

Mit dem neuen, von MAN-ES entwickelten Automatisierungssystem ist die 49/60-Motorenfamilie für die digitale Zukunft gerüstet. Cybersicherheit, Software-as-a-Service und Serviceunterstützung auf Basis von Augmented Reality sind wesentliche Säulen des digitalen Auftritts von MAN-ES und der digitalen Zukunftsstrategie.

Dieser Beitrag präsentiert die Ergebnisse und Erfahrungen der DF- und G-Motorentwicklung und beschreibt die Umsetzung des Familienkonzepts.

In 2022, MAN Energy Solutions presented the Dual fuel variant as the next member of the new engine family 49/60 which includes also the pure gas (SI) and DF-M (Methanol) derivatives.

The most recent and innovative MAN-ES four-stroke technologies such as two-stage turbocharging, second-generation common rail injection and the new SaCoS5000 automation system are key elements of the engine family's architecture. Based on these genes, the 49/60 variants will set benchmarks in their respective market arenas in terms of performance, fuel efficiency, emissions and fuel flexibility. Due to their modular structure, all variants of the individual motor types can be manufactured with a minimum of variant parts.

Basis for all family derivatives is the standard 49/60 core engine. The modular construction kits of the core engine and the combustion-dependent components are optimized with regard to the multi-dimensional requirements of variant and configuration management as well as constraints for efficient logistic and production processes.

The 49' family portfolio covers stationary applications with V-type engines in the power range up to 26 MW, in the maritime sector L- & V-type engines up to 18.2 MW are available. This next generation of multi-fuel-engine foresees the ability to run on future fuels and is prepared for upcoming emission legislations.

With the new MAN-ES own developed automation system the 49/60 engine family is prepared for the digital future. Cyber security, Software-as-a-Service and service support based on augmented reality are key pillars of the MAN-ES digital presence and the digital future strategy.

This paper presents the results and experiences of the DF- and G- engine development and describes the implementation of the family concept.

Die Verwendung von Holzgas zur CO₂-neutralen Energiegewinnung
- Verbesserungen an einem Sondergasmotor
Using Wood Gas for CO₂ Neutral Power Generation
- Performance Improvements of a Special Gas Engine

Mario Frischmann*, Dr. Robert Böwing, Stefan Schiestl;
 INNIO Jenbacher GmbH & Co. OG

Nachhaltig erzeugtes Holzgas ist ein bekannter und bewährter Brennstoff für die CO₂-neutrale Stromerzeugung. Großgasmotoren damit zu betreiben ist jedoch mit einigen Herausforderungen verbunden. Gaseigenschaften wie niedriger Versorgungsdruck, niedriger Heizwert und schwankende Gaszusammensetzung stellen Herausforderungen bei der Gaszuführung und den Gasmischsystem dar. Außerdem machen die große Vielfalt und die Variabilität der verschiedenen Bestandteile in der Gaszusammensetzung wie H₂, CO, CO₂, N₂ und CH₄ Prüfstandaktivitäten an den Entwicklungsprüfständen von INNIO Jenbacher schwierig und teuer. Trotz all dieser Herausforderungen sind hohe elektrische Leistungen, ein hoher Wirkungsgrad und eine maximale Verfügbarkeit des Motors erforderlich, um die Erwartungen der Kunden zu erfüllen. Entwicklungsaktivitäten wurden mit mehreren holzgasbetriebenen Pilotmotoren, ausgestattet mit unterschiedlichen Hardwarekonfigurationen, durchgeführt, um Kundenvorteile weiter zu verbessern. Eine Reihe von Hardware- und Software-Änderungen wurden vorgenommen, um die Leistungsabgabe und die Verfügbarkeit des Motors zu verbessern. Um den anspruchsvollen hohen Gasvolumenstrom bei niedrigem Gasversorgungsdruck zu bewältigen, wurde das Gasmischsystem neu konzipiert. Für eine höhere Leistung in Kombination mit einem höheren Wirkungsgrad, wurde die Kernhardware des Motors verbessert. Die Optimierung der Zylinderkopfkonstruktion, der Nockenwellensteuerung und der Kolben, steigerte die Leistung und den Wirkungsgrad im Vergleich zum Basismotor. Neue Ölformulierungen wurden getestet, um Verbrennungsabnormalitäten und Ablagerungen im Brennraum zu verringern sowie die Öllebensdauer zu verlängern. Unerwünschte Reaktionen des Motors auf schnelle Änderungen der Gasqualität, die durch Stickstoffspülung bei der Holzgaserzeugung verursacht werden, wurden durch eine neu entwickelte Softwarefunktion behoben. Eine Regelungsstrategie zur Verringerung der Motorleistung bei hohem Kondensationsrisiko hinter dem Ladeluftkühler, die auf dem Gesamtwassergehalt des Luft-Kraftstoff-Gemischs basiert, wurde erfolgreich implementiert. Mit diesen Entwicklungsaktivitäten, unterstützt durch Langzeitbeobachtungen von mehr als einem Jahr, konnte gezeigt und nachgewiesen werden, dass die installierten Pilotmotoren eine Leistung von 1 MWe, etwa 14 bar BMEP, mit einem elektrischen Wirkungsgrad von mehr als 40 % erreichen können. Dies entspricht einer Verbesserung von 10 % im BMEP und 1 % pkt im elektrischen Wirkungsgrad zu bestehender Holzgasversion.

Sustainably produced wood gas is a valid and proven fuel for CO₂-neutral power generation.

However, the operation of large gas engines with wood gas comes with some challenges.

Gas characteristics such as low supply pressure, low calorific value and fluctuating gas composition lead to challenges regarding the gas supply and gas mixing systems. Furthermore, the high variety and variability of different species in the gas composition like H₂, CO, CO₂, N₂ and CH₄ make test bench activities on INNIO Jenbacher development test benches difficult and expensive. And despite all the challenges mentioned, high power output, high efficiency and maximum engine uptime are required to meet customer expectations.

Various product development activities including multiple field test engines operating on wood gas, each with different hardware configurations, were conducted to further improve customer benefits. A number of hardware and software changes were implemented to improve power output and engine uptime. To handle the challenging high gas volume flow demands with low gas supply pressure, the gas mixing system was redesigned. To achieve higher power output combined with higher efficiency, core engine hardware was optimized including cylinder head design, camshaft timing and pistons which improved performance compared to the baseline J420 engine in INNIO Jenbacher's portfolio. New oil formulations were tested to identify the best oil to minimize abnormal combustion events driven by oil droplets, decrease combustion chamber deposits and increase oil lifetime. Undesired engine response to fast changes in gas quality, caused by nitrogen purging in the wood gas production process, were resolved by a newly developed software function. A control strategy to decrease engine power output at times of high condensation risks downstream of the intercooler, based on total water content of the air-fuel mixture, was successfully implemented.

With these development activities, supported by long-term investigations lasting for more than a year, it could be shown that installed field test engines are able to achieve a high power output of 1 MWe, about 14 bar BMEP, with an electrical efficiency of more

Zertifizierung der H₂-Readiness von Gasmotorenkraftwerken **H₂-Readiness certification of gas engine power plants**

Dominik Voggenreiter, Pierre Huck, Dr.-Ing. Thomas Gallinger;
TÜV SÜD Industrie Service GmbH*

Wasserstoff wird im Energiesystem der Zukunft eine wichtige Rolle einnehmen und die Eignung von Gasmotorenkraftwerken für Wasserstoff gewinnt zunehmend an Bedeutung.

TÜV SÜD hat zusammen mit Partnern eine Guideline zur Bewertung der Wasserstofftauglichkeit von Gasmotorenkraftwerken entwickelt. Diese dient als Grundlage für die Zertifizierung von Konzepten von Erstausrüstern und Engineering-, Beschaffungs- und Bauunternehmen sowie für spezifischen Projekte. Ziel dieses Vortrags ist es, einen Überblick über die neuesten Entwicklungen, Erfahrungen und Herausforderungen auf diesem Gebiet zu geben.

Hydrogen will play an important role in the energy system of the future and the suitability of gas engine power plants for hydrogen is becoming increasingly important.

Together with partners, TÜV SÜD has developed a guideline for assessing the hydrogen-readiness of gas engine power plants. This serves as a basis for the certification of concepts of original equipment manufacturers and engineering, procurement and construction companies as well as for specific projects. The aim of this presentation is to give an overview of the latest developments, experiences and challenges in this field.

2G Wasserstoff- BHKW in der Praxis und die Entwicklung zum leistungsstarken Serienprodukt **2G hydrogen CHP in practice and the development into a high-performance series product**

Frank Grewe*,
 2G Energy AG
 Dr. Sven Annas;
 2G Energietechnik GmbH
 Rudolf Höß;
 Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden

Die 2G Wasserstofftechnologie blickt auf eine fast 15-jährige Entwicklungsgeschichte zurück. Die erste Maschine für reinen Wasserstoff ging im Jahr 2012 in den Probebetrieb, am Berliner Hauptstadtflughafen BER. Seither hat diese Technologie eine steigende Dynamik erfahren. Im Jahr 2018 ging das zweite Wasserstoff BHKW von 2G in Betrieb, beim Stadtwerk Haßfurt. In etwa zu dieser Zeit findet Wasserstoff mehr und mehr in der politischen Debatte um unser Energiesystem der Zukunft statt. Nicht nur in Deutschland, sondern weltweit. So wurde das Wasserstoff BHKW in Haßfurt mit mehreren Preisen prämiert, unter anderem mit dem renommierten Handelsblatt Energy Award.

Im Zeitraum 2018 bis 2020 setzte 2G 7 Wasserstoff- BHKW ab, im Jahr 2021 folgten 7 weitere Maschinen und in 2022 waren es 9 an der Zahl. Diese positive Dynamik setzt sich auch im Jahr 2023 fort.

Waren die ersten Projekte häufig in geförderte Forschungsvorhaben gebettet und sind damit auch kaum in einen regulären Dauerbetrieb übergegangen, so finden sich derzeit mehr und mehr Anwendungen, in denen der Wasserstoff kommerziell zur Strom- und Wärmeproduktion durch ein 2G BHKW genutzt wird.

Im Vortrag werden die Erfahrungen aus mehr als 30 Wasserstoffprojekten beleuchtet. Anwendungsfälle, allgemeine Erfahrungen im Umgang mit dem Medium Wasserstoff, landesspezifische Regularien und Behörden, die Umrüstung eines Erdgas BHKW auf Wasserstoff im Feld bei einer Kundenanlage und nicht zuletzt die allgemeinen Betriebserfahrungen der BHKW aus der Praxis.

Zudem werden der aktuelle Stand der 2G Wasserstofftechnologie und die laufende Weiterentwicklung gezeigt. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Leistungssteigerung auf Erdgasniveau, die Betrachtung unterschiedlicher Gemischbildungsverfahren als auch Strategien zur Emissionsvermeidung.

The 2G hydrogen technology can look back on almost 15 years of development. The first pure hydrogen machine went into trial operation in 2012, at Berlin's capital city airport BER. Since then, this technology has experienced increasing momentum. In 2018, 2G's second hydrogen CHP went into operation, at the Haßfurt municipal utility. At about this time, hydrogen is finding its way more and more into the political debate about our energy system of the future. Not only in Germany, but worldwide. As a result, the hydrogen CHP in Haßfurt has won several awards, including the prestigious Handelsblatt Energy Award.

Between 2018 and 2020, 2G sold 7 hydrogen CHP units, followed by 7 more machines in 2021 and 9 in 2022. This positive momentum continues in 2023.

While the first projects were often embedded in funded research projects and thus hardly transitioned into regular, continuous operation, more and more applications are currently found in which hydrogen is used commercially for electricity and heat production by a 2G CHP.

In the presentation, the experiences from more than 30 hydrogen projects will be highlighted. Application cases, general experiences in dealing with the medium hydrogen, country-specific regulations and authorities, the conversion of a natural gas CHP to hydrogen in the field at a customer plant and last but not least the general operating experiences of the CHP from practice.

In addition, the current status of the 2G hydrogen technology and the ongoing development will be shown. The focus is on increasing performance to natural gas level, the consideration of different mixture formation processes as well as strategies for emission avoidance.

Auf dem Weg zum zuverlässigen Betrieb von Gasmotorenaggregaten mit reinem Wasserstoff ***Towards reliable genset operation with pure hydrogen***

Dr. Marco Schultze, Dr. Sebastian Ohler, Darshit Shah;
Caterpillar Energy Solutions GmbH
Tom Krüger*, Manuel Cech, Carsten Tietze;
WTZ Roßlau gGmbH*

In diesem Artikel stellen wir die Ergebnisse eines gemeinsamen Projekts des WTZ mit Caterpillar zum Betrieb von Gasmotoren mit reinem Wasserstoff vor. Ziel war es, einen hocheffizienten Motor zu entwickeln, der mit reinem Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen betrieben wird, um eine nachhaltige dezentrale Wärme- und Stromerzeugung zu ermöglichen.

Der Betrieb von Motoren mit reinem Wasserstoff bringt im Vergleich zur Nutzung von Erdgas einige zusätzliche Herausforderungen mit sich. In diesem Artikel konzentrieren wir uns auf die wesentlichen Änderungen hinsichtlich Motorkonstruktion und Betriebsstrategie im Vergleich zum herkömmlichen Erdgasbetrieb.

Ein wesentlicher Baustein bei der Entwicklung des Wasserstoffmotors war die Untersuchung und Bewertung verschiedener Gemischbildungsstrategien für reinen Wasserstoff. Der Serien-Erdgasmotor, der als Basis für den Wasserstoffmotor gedient hat, verfügt über einen Gasmischer, der mit dem Venturi-Prinzip arbeitet. Im Rahmen dieser Arbeit ist eine Bewertung des konventionellen Mischsystems für den Betrieb mit reinem Wasserstoff durchgeführt worden. Aufgrund des erhöhten Risikos von Rückzündungen wurde diese Option jedoch zugunsten eines Port-Fuel-Injection-Systems verworfen, dessen Konstruktionsansatz und die Regelstrategie diskutiert werden. Zusätzliche Modifikationen, wie z. B. die Optimierung der Turbolader-Spezifikation für den Betrieb mit reinem Wasserstoff, wurden vorgenommen, werden in diesem Artikel aber nicht im Detail behandelt.

Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme und Validierung der neuen Komponenten sowie der Steuerung für die Wasserstoffeinblasung hat sich das Team auf die Entwicklung einer sicheren und zuverlässigen Betriebsstrategie konzentriert. Das Hauptziel bestand darin, die Fähigkeit zum Betrieb mit reinem Wasserstoff nachzuweisen und die maximale Leistungsabgabe innerhalb der Verbrennungsgrenzen zu bestimmen. Der Artikel gibt einen Überblick über die nachgewiesene Leistung mit 100 % Wasserstoff und geht auf die Herausforderungen ein, die während der Kalibrierung aufgetreten sind.

In this article we will present the achievements of a joint project of the WTZ with Caterpillar on gas engine operation with pure hydrogen. The goal was to develop a highly efficient engine running on pure hydrogen from renewable sources to enable sustainable decentralized heat and power generation.

Engine operation with pure hydrogen imposes a few additional challenges compared to the operation with natural gas. In this article, we will be focusing on major changes to engine design and operation compared to conventional natural gas operation.

A major building block in the development of the hydrogen engine was the review and evaluation of different mixture formation strategies for pure hydrogen. The production natural gas engine that was used as a baseline for the hydrogen engine featured a fumigating system based on the Venturi principle. We performed an evaluation of the conventional mixing system with pure hydrogen. However, due to the higher risk of backfire events this option has been discarded in favor of a port injection system. The design approach and the control strategy of the port injection system will be discussed. Additional modifications e. g. optimizing the turbocharger specification to pure hydrogen operation have been applied but will not be reviewed in detail in this article.

After the commissioning and the validation of the new components and the hydrogen injection controls were completed successfully, the team focused on deploying a safe and reliable operating strategy. The primary goal was to demonstrate capability to run on pure hydrogen and to determine maximum power output within combustion limitations. The article will provide an overview of the demonstrated performance with 100 % hydrogen and review the challenges the team encountered during the calibration optimization process.

A large, empty area of the page filled with horizontal lines, intended for taking notes. The lines are evenly spaced and extend across the width of the page.

Auslegung eines Ammoniak-Retrofit Konzeptes für maritime Antriebseinheiten kleiner 400 kW **Design of an ammonia retrofit concept for maritime propulsion units smaller than 400 kW**

Dr.-Ing. Martin Theile, Antje Hoppe;*

FVTR GmbH

Dr.-Ing. Sascha Prehn, Till Mante;

Universität Rostock

Dr.-Ing. Lars Seidel; G. Mwathi;

LOGE Deutschland GmbH

Der Binnenschifffahrtssektor in Deutschland emittiert ca. 1,6 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr. Um die Dekarbonisierung voranzutreiben, muss die Bestandsflotte technisch umgerüstet werden. Ein Ansatz, der eine hohe CO₂-Reduktion bei geringen Investitionskosten erlaubt, stellt das Retrofit der Antriebsanlagen auf den Einsatz alternativer Kraftstoffe dar.

Ammoniak bietet als Wasserstoffträger auf Stickstoffbasis eine hervorragende Alternative zu den klassischen regenerativen Kraftstoffen, da bei der innermotorischen Verbrennung weder Ruß noch CO₂-Emissionen entstehen und die regenerative Produktion perspektivisch energieeffizienter gegenüber Alternativen wie Methanol sein wird. Die geringe Zündneigung von Ammoniak sowie dessen niedrige Flammgeschwindigkeit stellen die Brennverfahrensentwicklung jedoch vor Herausforderungen.

In dieser Studie werden Ergebnisse eines neu entwickelten Dual-Fuel Ammoniak-Diesel Brennverfahrens vorgestellt, welches als Retrofit-Option für die Binnenschifffahrt konzipiert wurde. Durch eine geeignete Einspritzstrategie des Zündbeschleunigers wurde eine GHG-Reduktion von bis zu 70 % erreicht. Die Schadstoffemissionen wie Ammoniak und Lachgas liegen dabei auf einem sehr niedrigen Niveau. Unter Einsatz eines SCR-Katalysators und einer angenommenen Umsatzrate von 90 % ist es zudem möglich, den aktuellen IMO-Grenzwert für NOx einzuhalten.

Neben den Ergebnissen der Brennverfahrensuntersuchungen werden auch Resultate aus der Entwicklung von Simulationsmodellen präsentiert. Die Modellierung dieses Dual-Fuel-Brennverfahrens ist durch die Wechselwirkung zwischen der Niedertemperaturverbrennung von Kohlenwasserstoffen und dem Ammoniakgehalt eine Herausforderung. Die entwickelten Modelle zeigen eine gute Übereinstimmung mit den experimentellen Druck- und Brennverläufen, während die Ammoniak- und CO-Emissionen nur leicht unterschätzt werden.

The inland shipping sector in Germany emits around 1.6 million tons of CO₂ per year. To drive decarbonization forward, the existing fleet must be technically updated. In order to achieve a high CO₂ reduction at low investment costs, one approach is to retrofit the propulsion systems to make them capable of using alternative fuels.

Ammonia, as a nitrogen-based hydrogen carrier, offers an excellent alternative to the classic regenerative fuels, since neither soot nor CO₂ emissions are produced during internal combustion and, in perspective, regenerative production will be more energy-efficient than that for alternatives such as methanol. However, complex ignition characteristics as well as low flame speed of ammonia pose challenges for combustion process development.

In this study, results of a new developed dual-fuel ammonia-diesel combustion process are presented, which is considered as a retrofit option for inland shipping vessels. A GHG reduction of up to 70 % was achieved by a suitable injection strategy of the pilot fuel. The pollutant emissions such as ammonia and nitrous oxide are at a very low level. With the use of an SCR catalyst and an assumed conversion rate of 90 %, it is also possible to remain below the current IMO limit value for NOx.

In addition to the results of the combustion process investigations, results from the development of simulation models are also presented. The modeling of this combustion process is challenging due to the interaction between the low temperature combustion of hydrocarbons and the ammonia amount. The developed models show good agreement with the experimental combustion and cylinder pressure curves, while ammonia and carbon monoxide emissions are only slightly underestimated.

Entwicklung eines mittelschnellaufenden Ammoniakmotors für die Schifffahrt **Development of Medium Speede Ammonia Engine for Marine Application**

Sadao Nakayama*, Shunsuke Kazama, Hiroki Naruse, Yutaka Masuda, Yutaka Mashima;
 IHI Power Systems Co., Ltd
 Kenta Miyauchi, Koki Aiba, Takayuki Hirose;
 IHI Corporation

Neben Wasserstoff, Methanol, synthetischem Methan und anderen flüssigen Kraftstoffen wie Biokraftstoffen gewinnt Ammoniak als einer der neuen alternativen Kraftstoffe in der maritimen Industrie an Beachtung, um den Ausstoß von Treibhausgasen (THG) zu verringern. Allerdings lässt sich Ammoniak in Verbrennungsmotoren aufgrund der geringeren Zündfähigkeit und der langsameren Verbrennungsgeschwindigkeit nicht einfach verwenden. Daher wurden Tests mit der Rapid Compression Expansion Machine (RCEM) durchgeführt, um die Verbrennungseigenschaften eines Ammoniak-Luft-Vorgemischs zu untersuchen. Auf den Einzylindermotor-Test (SCE) folgten RCEM-Tests, um die optimalen Motorbetriebsparameter usw. für den Betrieb mit Ammoniakkraftstoff zu klären. Nach dem SCE-Test wurden verschiedene Tests mit einem neu konstruierten Motor in Originalgröße durchgeführt, in denen die Betriebsbedingungen (Verdichtungstemperatur, Äquivalenzverhältnis usw.) für den Ammoniak Einsatz angepasst wurden. Als Ergebnis wurde ein stabiler Betrieb mit Ammoniak-Luft-Vormischung mit einem Kraftstoffgemischverhältnis von über 90 % nachgewiesen. In Kombination mit einem nachgeschalteten Katalysator betragen Ammoniakemission und N_2O -Ausstoß aus dem Auspuffrohr jeweils 0 ppm bzw. weniger als 25 ppm. Das THG-Reduktionsverhältnis unter Einbeziehung der N_2O -Emissionen im Ammoniakmodus im Vergleich zum Dieselmotor lag bei über 85 %, was dem IMO-THG-Ziel für das Jahr 2040 entspricht. Auch die IMO NO_x Tier III-Emissionsvorschriften können durch die Verwendung des Katalysators im Ammoniakmodus eingehalten werden. In dieser Arbeit werden Entwicklungsprozess und Leistung sowie die Ergebnisse der Teileinspektion nach einem 500-stündigen Testbetrieb beschrieben.

Dieses Projekt wurde vom Projekt des Grünen Innovationsfonds von NEDO genehmigt.
 (NEDO: Neue Organisation für die Entwicklung von Energie- und Industrietechnologien)

As well as hydrogen, methanol, synthetic methane and other liquid fuels like biofuels, ammonia is attracting attention as one of a new alternative fuel in maritime industry to decrease Green House Gas (GHG) emission. However, ammonia is difficult to adapt in internal combustion engines due to low ignitability and low burning velocity. Therefore, a test was conducted with Rapid Compression Expansion Machine (RCEM) to investigate the combustion characteristics of ammonia/air pre-mixture. Single Cylinder Engine (SCE) test was followed by RCEM test to clarify optimum engine operating parameters and so on for ammonia fuel operation. After the SCE test, various tests were carried out by adapting the operating conditions (compression temperature, equivalence ratio, etc.) with newly designed full-scale dual-fuel engine for ammonia use. As a result, stable operation with ammonia/air pre-mixture with a fuel mixture ratio of over 90 % was verified. Combining with catalyst, ammonia emission and N_2O in the exhaust gas after the catalyst were 0 ppm and less than 25 ppm respectively. GHG reduction ratio with including N_2O emission in ammonia mode compared to diesel mode was over 80 % which satisfies with IMO GHG target for year 2040. Also, IMO NO_x Tier III emission regulation can be complied with ammonia mode by using the catalyst. This paper describes the development process and performance, parts inspection results after 500-hour test operation.

This project is approved by NEDO as part of the Green Innovation Fund project.
 (NEDO: New Energy and Industrial Technology Development Organization)

**Entwicklung einer Ammoniak-betriebenen Cracker-Motor-Einheit
als Antriebssystem für Binnenschiffe**
**Development of an Ammonia-fueled Cracker-Engine-Unit
as Propulsion System for Inland Waterway Vessels**

Annalena Braun, Dr.-Ing. Sören Bernhardt, Dr.-Ing. Heiko Kubach;
Karlsruher Institut für Technologie*

Torsten Baufeld;

Liebherr

Prof. Dr.-Ing. Bert Buchholz, Dr.-Ing. Sascha Prehn;

Universität Rostock

Dr. Lena Engelmeier;

Zentrum für Brennstoffzellentechnik

Prof. Dr.-Ing. Hinrich Mohr;

GasKraft Engineering

Schiffe sind ein wesentlicher Bestandteil der weltweiten Transportsysteme für Güter und Personen. Dabei stellen sie die effizienteste und klimafreundlichste Beförderungsmethode dar. Eine weitere Reduzierung der Emissionen, insbesondere von CO₂, ist aber notwendig. Da eine reine Elektrifizierung mittels Batterien aufgrund der erforderlichen Reichweiten in den meisten Fällen keine Lösung darstellt, ist der Einsatz von alternativen Kraftstoffen auf Basis erneuerbarer Energien zielführend.

Im CAMPFIRE Partnerbündnis wird deshalb intensiv an der Nutzung von regenerativ erzeugtem Ammoniak als maritimer Kraftstoff und Energiespeicher gearbeitet. Unter anderem wird hier von einem Projektkonsortium ein Antriebssystem für Binnenschiffe entwickelt und erprobt, das ausschließlich mit Ammoniak betrieben wird. Das Herzstück dieses Projektes stellt dabei eine Cracker-Motor-Einheit dar. Bei den Arbeiten wird der Ammoniak-Cracker entwickelt und gebaut, die Charakteristika und Herausforderungen der Ammoniak-Verbrennung im Motor systematisch untersucht, das Gesamtsystem ausgelegt, das Vollmotorenaggregat mit Generator containerisiert und zum Schluss gesamtheitlich getestet. Zusätzlich werden die besonderen Sicherheitsaspekte bei der Nutzung von Ammoniak im maritimen Umfeld analysiert. Durch die Kombination der eingesetzten Technologien soll ein vollständig klimaneutraler Schiffsbetrieb ermöglicht werden.

Der Vortrag beschäftigt sich mit einer Übersicht der aktuellen Arbeiten. Dies beinhaltet Beispiele aus den Ergebnissen der systematischen Verbrennungsuntersuchungen am Einzylindermotor und der erforderlichen Injektor-Technologie. Die verschiedenen Konfigurationen werden hinsichtlich Leistung und Emissionen für eine maritime Anwendung bewertet und dann als Grundlage für die Konfiguration des Vollmotors verwendet. Weiterhin werden die Entwicklungsarbeiten am Cracker, der einen Teilstrom des Ammoniaks in Wasserstoff und Stickstoff aufspaltet und damit den Zündkraftstoff für den Motor liefert, vorgestellt. Ziel der Entwicklungen ist eine optimierte Wärmeintegration und damit ein hoher Wirkungsgrad. Auf Basis der Einzelbetrachtungen von Cracker und Motor wird das Gesamtsystem simuliert und Ergebnisse präsentiert. Im abschließenden Ausblick wird das weitere Vorgehen definiert und die praktische Umsetzung im Campfire Open Innovation Lab (COIL) in der Nähe von Rostock sowie die Installation im Pilotschiff vorgestellt.

Ships are an essential part of the global transport systems for goods and people. They represent the most efficient and climate-friendly transport method. However, a further reduction in emissions, especially CO₂, is necessary. Since pure electrification by using batteries is not a solution in most cases due to the required operation range, the use of alternative fuels based on renewable energies is expedient.

The CAMPFIRE partner alliance is therefore working intensively on the use of regeneratively produced ammonia as a maritime fuel and energy storage. Among other things, a project consortium is developing and testing a propulsion system for inland vessels that runs exclusively on ammonia. The heart of this project is a cracker-engine-unit. During the work, the ammonia cracker is developed and built, the characteristics and challenges of ammonia combustion in the engine are systematically examined, the entire system is designed, the full engine unit with generator is containerized and finally tested holistically. In addition, the special safety aspects when using ammonia in the maritime environment are analysed. The combination of the technologies used is intended to enable

completely climate-neutral ship operations.

The paper and presentation deal with an overview of the current work. This includes examples from the results of systematic combustion studies on the single-cylinder engine and the required injector technology. The various configurations are evaluated for performance and emissions for a maritime application and then used as a basis for the full engine configuration. Furthermore, the development work on the cracker, which splits a partial stream of ammonia into hydrogen and nitrogen and thus supplies the ignition fuel for the engine, will be presented. The aim of the developments is an optimized heat integration and thus high efficiency. Based on the individual considerations of the cracker and engine, the entire system is simulated and the results are presented. In the final outlook, the next steps are defined and the practical implementation in the Campfire Open Innovation Lab (COIL) near to Rostock as well as the installation in the pilot ship are presented.

Gleitlager-Performance in Anwendungen unter Verwendung alternativer Treibstoffe ***Plain Bearing Performance in Applications Utilizing Alternative Fuels***

Andreas Zunghammer, Emil-Sándor Bakk, Sebastian Kirchhamer;
Miba Gleitlager Austria GmbH*

Die steigende Nachfrage nach umweltverträglichen und nachhaltigen Verkehrslösungen hat zur Entstehung von Motoren mit alternativen Kraftstoffen geführt. Diese Motoren setzen auf unkonventionelle Treibstoffe wie Methanol, Wasserstoff und Ammoniak, die dazu beitragen können, die Emission von Treibhausgasen zu senken und die ökologischen Auswirkungen von Verbrennungsmotoren zu mindern.

In dieser Studie wird die Leistungsfähigkeit von Gleitlagern in Motoren mit alternativen Kraftstoffen untersucht, wobei der Fokus auf tribologischen Eigenschaften, Materialkompatibilität und konstruktiven Aspekten liegt. Eine vergleichende Analyse der Gleitlagerperformance in Motoren, die unterschiedliche alternative Kraftstoffe einsetzen, wird vorgestellt und zeigt die Herausforderungen und Möglichkeiten im Zusammenhang mit den verschiedenen Kraftstoffarten auf.

Zudem betrachtet die Arbeit die besonderen Schwierigkeiten, mit denen Gleitlager in Verbrennungsmotoren konfrontiert sind, die mit Ammoniak, Wasserstoff und Methanol betrieben werden. Obwohl diese Kraftstoffe erhebliche Umweltvorteile bieten, ergeben sich daraus spezielle Betriebsbedingungen, die die Leistung und Lebensdauer der Lager beeinträchtigen können. Um diesen neuen Herausforderungen entgegenzuwirken, behandelt die Studie die Entwicklung neuer Testverfahren, die speziell auf die Anforderungen von Motoren abgestimmt sind, die alternative Kraftstoffe nutzen. Durch die Verbesserung der Lagerleistung in Motoren, die mit Ammoniak, Wasserstoff und Methanol betrieben werden, soll diese Forschung die breite Akzeptanz dieser Kraftstoffe fördern und den Wandel hin zu nachhaltigeren Verkehrssystemen unterstützen.

Des Weiteren analysiert die Studie den Einfluss von Schmierstoffen und Oberflächenbehandlung auf die Lagerleistung und unterstreicht die Bedeutung von hochentwickelten Materialien und Beschichtungen, um einen zuverlässigen Betrieb unter variierenden Betriebsbedingungen sicherzustellen. Abschließend werden in der Arbeit Richtlinien und Empfehlungen für die Optimierung der Gleitlagerleistung in Motoren mit alternativen Kraftstoffen vorgeschlagen, um den Weg für effizientere und umweltschonendere Verkehrssysteme zu ebnen.

The increasing demand for sustainable and eco-friendly transportation solutions has led to the development of alternative-fueled engines. These engines utilize non-conventional fuels such as methanol, hydrogen, and ammonia, which have the potential to reduce greenhouse gas emissions and mitigate the environmental impact of internal combustion engines.

This paper investigates the performance of plain bearings in alternative-fueled engines, focusing on the tribological behavior, material compatibility, and design considerations. A comparative analysis of plain bearing performance in engines using different alternative fuels is presented, highlighting the challenges and opportunities associated with each fuel type.

Furthermore, the paper examines the specific challenges faced by plain bearings in internal combustion engines fueled by ammonia, hydrogen, and methanol. These fuels, while offering significant environmental benefits, introduce unique operating conditions that can affect bearing performance and longevity. To address these new challenges, the paper explores the development of new test methods tailored to the unique requirements of engines using these alternative fuels. By optimizing bearing performance in ammonia, hydrogen, and methanol-fueled engines, this research aims to facilitate the widespread adoption of these fuels and support the transition towards more sustainable transportation systems.

The study also explores the influence of lubrication and surface engineering on bearing performance, emphasizing the need for advanced materials and coatings to ensure reliable operation under varying operating conditions. Finally, the paper proposes design guidelines and recommendations for optimizing plain bearing performance in alternative-fueled engines, paving the way for more efficient and environmentally friendly transportation systems.

Potenziale und Grenzen von unterschiedlichen Wasserstoffverbrennungskonzepten für Power Generation Applikationen
Potential and limitations of different hydrogen combustion concepts for power generation applications

Dr. Nicole Wermuth, Prof. Dr. Andreas Wimmer, Dr. Gernot Kammel;
LEC GmbH
Dr. Nikolaus Spyra, Dr. Michael Url,
INNIO Jenbacher*

Die globale Erwärmung ist eine der größten Herausforderungen, vor denen die Welt im 21. Jahrhundert steht. Die globale CO₂-Konzentration in der Atmosphäre steigt kontinuierlich um 2 bis 3 ppm pro Jahr und hat bereits die 420-ppm-Marke überschritten. Die Strom- und Wärmeerzeugung ist weltweit für etwa ein Viertel der Treibhausgasemissionen verantwortlich. Während die weltweite Stromnachfrage bis 2050 voraussichtlich um das Zwei- bis Dreifache ansteigen wird, hat sich die Europäische Union verpflichtet, die Treibhausgasemissionen in der gleichen Zeit auf Null zu senken. Das Schlüsselement zur Erreichung dieses ehrgeizigen Ziels ist ein weltweiter Übergang von einem auf fossilen Brennstoffen basierenden Energiesystem zu einem System, das auf erneuerbaren Energiequellen beruht. Die fluktuierende Natur der erneuerbaren Energien macht es erforderlich, dass für den Netzausgleich und die Absicherung von Spitzenlastzeiten beliebig zuschaltbare Stromerzeugungskapazitäten eingesetzt werden. Wasserstoff kann in Zeiten eines Überangebots an Strom leicht aus erneuerbaren Energiequellen durch Elektrolyse hergestellt und zur Stromerzeugung in einem Verbrennungsmotor verwendet werden, wenn die Stromnachfrage das Angebot übersteigt.

Dedizierte Wasserstoffmotoren, die für wasserstoffspezifische Anforderungen wie hohe Ladungsverdünnung und hohen Ladedruck ausgelegt sind, haben das Potenzial, eine ähnliche Leistung wie mit Erdgas betriebene Kraftwerke zu erreichen. In diesem Beitrag werden verschiedene Wasserstoffmotorkonzepte beschrieben, die unterschiedliche Maßnahmen zur Erreichung einer hohen Leistungsdichte nutzen, insbesondere die Wasserstoff-Direkteinspritzung oder die Abgasrückführung. Anhand der experimentellen Bewertung der verschiedenen Konzepte an Einzylinder-Forschungsmotoren werden die Kompromisse zwischen Leistungsdichte, Wirkungsgrad und NO_x-Emissionen verglichen und die begrenzenden Faktoren ermittelt. Für jedes Konzept werden die wichtigsten Betriebsparameter ermittelt. Schließlich wird das Leistungsdichtepotenzial aller Varianten anhand von 1D-Simulationen eines Mehrzylindermotors bewertet.

Global warming is one of the biggest challenges the world faces in the 21st century. The global CO₂ concentration in the atmosphere is continuously rising by 2 - 3 ppm per year and has already passed the 420-ppm mark. Power and heat generation is responsible for about a quarter of GHG emissions globally. While the global demand for electricity is projected to increase two to threefold until 2050, the European Union made a commitment to decrease greenhouse gas emissions in the same time to net-zero. The key element to achieving this ambitious goal is a global transition from a fossil fuel-based energy system to a system that is built on renewable energy sources. The fluctuating nature of renewables makes it necessary to deploy dispatchable power generation capability for grid balancing and peak shaving. Hydrogen can be produced easily from renewable energy sources via electrolysis during times with an oversupply of electricity and be used for power generation in an internal combustion engine when electricity demand exceeds the supply.

Dedicated hydrogen engines that are designed for hydrogen-specific requirements such as high charge dilution and high boost pressure have the potential to achieve similar power output as natural gas fueled power plants. This paper describes various hydrogen engine concepts that use different measures to achieve high power density, in particular hydrogen direct injection or exhaust gas recirculation. Based on the experimental evaluation of the different concepts on single cylinder research engines the trade-offs between power density, efficiency and NO_x emissions are compared and the limiting factors are identified. Key operating parameters for each concept are established. Finally, the power density potential of all variants is assessed using performance simulations of a multicylinder engine.

Abgasnachbehandlung für Methanol Dual-Fuel-Motoren **Exhaust gas aftertreatment for methanol dual fuel engines**

Dr. Daniel Peitz, Dr.-Ing. Enno Eßer;
HUG Engineering AG*

Methanol als Kraftstoff für Verbrennungsmotoren gilt als vielversprechende Option zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen - vorausgesetzt, der Alkohol wird mit einem geringen CO₂-Fußabdruck hergestellt. Die Verbrennung in Dual-Fuel-Motoren kann entweder im Diffusions- oder im Vormischbrennverfahren erfolgen. Beide Wege bringen spezifische Herausforderungen und Chancen mit sich, dieser Beitrag konzentriert sich dabei auf die Emissionsaspekte und die Konsequenzen für die Abgasnachbehandlung. Aufgrund der unterschiedlichen Verbrennungsmodi werden unterschiedliche Abgasbedingungen und Schadstoffkonzentrationen beobachtet, während die Emissionsziele und -ambitionen identisch sind.

Bei der Abgasnachbehandlung erfordern die unterschiedlichen Emissionen im Vergleich zur Verbrennung von Diesel oder Erdgas je nach Abänderungen auch entsprechende Anpassungen. Beispielsweise können bei Saugrohreinspritzung mit möglicherweise höheren Konzentrationen an unverbrannten (CH₃OH) oder teilweise verbrannten (z. B. HCHO) Kraftstoffkomponenten Nebenreaktionen am für die NO_x-Reduzierung verwendeten SCR-Katalysator relevant werden. Diese Nebenreaktionen wirken sich nicht nur auf den NO_x-Reduktionsprozess aus, sondern führen auch zu unerwünschten Sekundäremissionen. Die relevanten Haupt- und Nebenreaktionen werden vorgestellt und aufgezeigt, bei welchen Abgasbedingungen sich letztere nachteilig auf aktuelle SCR-Systemkonstruktionen auswirken können. Es werden jedoch auch Hinweise gegeben, wie Verbrennungskonzepte optimiert werden könnten, um den Bedarf an aufwendiger Nachbehandlung zu reduzieren. Darüber hinaus werden für die verschiedenen Motorkonzepte konzipierte Abgasnachbehandlungssystemarchitekturen und deren Charakteristika vorgestellt. Dadurch ist ein Vergleich unterschiedlicher Verbrennungskonzepte hinsichtlich der Endemissionen möglich.

Allgemein erfordert die Erzielung einer geringeren Treibhauswirkung durch den Umstieg auf alternative Kraftstoffe wie Methanol auch eine sorgfältige Abwägung der damit verbundenen Änderungen für die Abgasnachbehandlung. Die enge Zusammenarbeit zwischen Motorenentwicklung und Abgasnachbehandlungssystemkonstruktion bei diesem Thema stellt sicher, dass die gesetzlichen Schadstoffanforderungen erfüllt werden und gleichzeitig die Emissionen unerwünschter, nicht regulierter Stoffe niedrig gehalten werden.

Methanol as a combustion fuel is considered to be a promising option for reducing greenhouse gas emissions - provided the alcohol is produced with a low carbon footprint. Combustion in dual fuel engines may be achieved via different pathways, either in a diffusive or premix principle. Both routes come with specific challenges and opportunities, this contribution focuses on the emission aspects and consequences on the exhaust gas aftertreatment. Due to the different combustion modes different exhaust conditions and pollutant concentrations are observed, while emission targets and ambitions remain identical.

In terms of exhaust gas aftertreatment the different emissions compared to combustion of diesel or natural gas require adaptations, depending on the specific deviations. For instance, in case of port fuel injection concepts with potentially higher concentrations of unburnt (CH₃OH) or partially burnt (e.g. HCHO) fuel components side reactions on the SCR catalyst used for NO_x reduction become significant. These side reactions not only impact the NO_x removal process but also give rise to undesired secondary emissions. The relevant main and side reactions are briefly introduced, pointing out at which exhaust conditions the latter may detrimentally impact current SCR system designs. However, also guidance is provided how combustion concepts could be optimized to reduce requirements for additional aftertreatment. Additionally, exhaust gas aftertreatment system architectures designed for the various engine concepts are presented and their specific operation characteristics are highlighted. As a result, a comparison of different engine combustion concepts with regards to final emissions can be made.

Overall, achieving lower greenhouse impact by switching to alternative fuels such as methanol also requires careful consideration of the associated changes for exhaust gas aftertreatment. Close collaboration on this topic between engine development and exhaust gas aftertreatment system design ensures to meet legal pollutant requirements while maintaining low emissions of undesired non-regulated substances.

We invite you to the
Evening Event
Conference Dinner on
Wednesday May 15th, 2024 - 07:00 pm

The conference fee includes attendance at the evening event of the congress.



Technikmuseum „Hugo Junkers“

Kühnauer Str. 161a, 06846 Dessau-Roßlau

Photo © WTZ Roßlau

**Analyse der globalen Wasserstoffversorgungsketten
- Transportmöglichkeiten, Kosten und Anwendungen**
Global Hydrogen Supply Chain Analysis - Transport options, Costs and Applications

Robert Szolak;
Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE

Climate protection and energy security are moving more and more into the center of societal awareness and behavior. The 'net-zero emissions' targets to be met by a vast number of countries by mid-century define a paradigm shift towards the strict limitation of the global temperature increase to 1.5°C. It becomes obvious that the regulatory framework and the financial backing as well as the trackable, tradeable, transparent and trustworthy guarantees of origins for the sustainable energy carriers. Huge amounts of Hydrogen will be needed across several sectors to achieve carbon neutrality, with an expected demand of approx. 600 million tons by 2050. Therefore, different trade flow patterns of hydrogen could emerge.

Green molecules in the form of renewable hydrogen and hydrogen-based energy carriers will play a key role in the defossilisation of the global energy system. Green energy molecules complement the ongoing expansion of renewable electricity and provide solutions for applications that are hard to electrify, such as seasonal energy storage, global energy trading, aviation, ship and heavy-duty mobility, and industrial applications.

This presentation shows the production, transport, and supply costs of key Power-to-X products for the year 2030. A total of 39 globally distributed regions in developing and emerging countries were therefore analyzed in terms of their renewables and Power-to-X production and supply cost potential. ¹ The presentation will also show promising derivatives like ammonia, dimethyl ether and methanol as point-to-point transport options of renewable hydrogen over long distance.

¹ Hank et. al, Site-specific, comparative analysis for suitable Power-to-X pathways and products in developing and emerging countries

² DOI: 10.1039/d3ee00228d

Moderne H₂-Verbrennung am MAN H4576 **State-of-the-art H₂ combustion at the MAN H4576**

Peter Albrecht, Dominik Hyna, Maximilian Weidner, Thomas Malischewski, Florian Lindner;
MAN Truck & Bus SE*

Vor dem Hintergrund der bereits beschlossenen CO₂-Flottenziele für schwere Nutzfahrzeuge in der EU sowie deren diskutierter Verschärfung ist eine Abkehr vom Dieselmotor unabdingbar und der Übergang auf CO₂-neutrale Antriebskonzepte gefordert. Außer dem rein elektrischen Antrieb (BEV) bietet sich aus verschiedenen Gründen der Antrieb mit Wasserstoff an, der insbesondere im Bereich hoher geforderter Reichweiten derzeit Vorteile bietet. Für den Hochlauf der Wasserstoffkette im Transportwesen sind vor allem preiswerte und robuste Lösungen gefordert, die mit hoher Nutzungsverfügbarkeit und vergleichbaren Eigenschaften wie beim herkömmlichen Diesel-Nutzfahrzeug für gute Kundenakzeptanz sorgen und damit die Hemmschwelle für eine frühe Marktdurchdringung möglichst gering setzen. Hierfür ist der H₂-Verbrennungsmotor die geeignete Lösung. Der MAN H4576 ist im Rahmen eines Forschungsprojekts als direkteinspritzender H₂-Motor für den Fernverkehr entstanden, wobei er als Zero-Emission-Antrieb seinen Diesel-Pendants hinsichtlich der kundenrelevanten Eigenschaften sehr nahekommt. In diesem Betrag werden die aktuellen Entwicklungsschritte zur Serienfähigkeit beschrieben.

Facing the existing EU CO₂ limits for the heavy duty fleet and also their discussed decrease, the transition from diesel to CO₂-neutral propulsion is necessary. Beside the pure electric propulsion (BEV) for different reasons there are also hydrogen driven vehicles which have actual advantages especially when it comes to long-haul operation. For the ramp-up of the hydrogen chain in European transport business, market needs after all robust and economic solutions, offering high uptime and high equality in properties - compared to the diesel driven vehicles - to lower the inhibition threshold for an early usage at the customers. For that purpose the hydrogen combustion engine is the preferable solution. The MAN H4576 which was developed in an research project as direct-injecting hydrogen engine, certified as Zero-Emission for longhaul application. This paper is dealing with the further development steps leading the engine to market maturity.

Leistungssteigerung von direkteinspritzenden H_2 -Motoren mit flachem Brennraumdach **Performance improvement of direct injection H_2 -ICE with flat cylinder heads**

Dr.-Ing. Arne Güdden, Dr.-Ing. Björn Franzke, Aleksandar Boberic;
 FEV Europe GmbH
 Pascal Zimmer, Prof. Dr. Stefan Pischinger;
 RWTH Aachen University*

Wasserstoffverbrennungsmotoren bieten vor allem im Nutzfahrzeug- und Baumaschinensektor großes Potential für eine kosteneffiziente Dekarbonisierung der Antriebe in Kombination mit einem zeitnahen Markteintritt.

Ein wichtiges Ziel der Wasserstoffmotorentwicklung ist die Steigerung der Leistungsdichte auf das Niveau äquivalenter Dieselmotoren. Vorgemischte Brennverfahren sind jedoch durch Verbrennungsanomalien wie Vorentflammungen und Klopfen in ihrer maximalen Last limitiert. Das Auftreten dieser unerwünschten Verbrennungsvorgänge wird durch die Stoffeigenschaften von Wasserstoff begünstigt. Heiße Oberflächen, glühende Ölrückstände und lokale Restgasnester sind als potenzielle Quellen für unkontrollierte Verbrennungen zu nennen. Da die Zündwilligkeit des Wasserstoff-Luft Gemischs maßgeblich von der lokalen Zusammensetzung beeinflusst wird, ist die Optimierung der Gemischbildung ein Ziel in der Brennverfahrensentwicklung.

In diesem Beitrag wird der Einfluss der Ladungsbewegung auf die Gemischhomogenisierung und das Leistungspotential untersucht. Dafür wird zunächst eine Studie durchgeführt, in der mittels 3D-CFD Simulationen der Strömung im Zylinder der Einfluss von Drall- und Tumble-Bewegung auf die Gemischbildung für einen Motor mit flachem Brennraumdach analysiert wird. Anschließend werden verschiedene Konfigurationen anhand von experimentellen Untersuchungen an einem Einzylindermotor gegenübergestellt. Die Ergebnisse der simulativen Studie zeigen, dass mittels einer Tumble-Ladungsbewegung eine Verbesserung des Variationskoeffizienten des Äquivalenzverhältnisses, welches als Maß für die Homogenität des Gemischs dient, um 28 % ermöglicht werden kann. Dieses simulative Ergebnis sowie die Bedeutung der Gemischhomogenisierung werden durch die Reduktion der lastabhängigen Eintrittswahrscheinlichkeit von Verbrennungsanomalien bei den experimentellen Untersuchungen mit dem Einzylindermotor bestätigt. Mit der optimierten Ladungsbewegung und Gemischbildung konnte im Vergleich zur Ausgangsvariante ohne Tumble-Ladungsbewegung eine Steigerung des Mitteldrucks um 5 bar erzielt werden.

Hydrogen internal combustion engines offer great potential for cost-effective decarbonization in combination with a short-term market entry, especially in the commercial vehicle and construction machinery sectors.

An important goal of hydrogen engine development is to increase power density to the level of equivalent diesel engines. However, premixed combustion systems are limited in their maximum load by combustion anomalies such as pre-ignition and knock. The occurrence of these undesirable combustion processes is favored by the properties of hydrogen. Hotspots, glowing oil residue, and local residual gas pockets are potential sources of uncontrolled combustion. Since the ignitability of the hydrogen-air mixture is significantly influenced by the local composition, the optimization of mixture formation is a goal of combustion system development. In this paper, the influence of charge motion on mixture homogenization and engine power potential is investigated. To this end, a study is first conducted, using 3D-CFD simulations of in-cylinder flow to analyze the influence of swirl and tumble motion on mixture formation for an engine with a flat combustion chamber roof. Subsequently, different configurations are compared on the basis of experimental investigations on a single-cylinder engine.

The results of the simulative study show that a tumble charge motion can improve the coefficient of variation of the equivalence ratio, which serves as a measure of the homogeneity of the mixture, by 28%. This simulative result and the importance of mixture homogenization are confirmed by the reduction in the load-dependent frequency of combustion anomalies in the experimental investigations with the single-cylinder engine. With the optimized charge movement and mixture formation, an increase in the mean effective pressure of 5 bar was achieved compared with the initial variant without tumble charge motion.

Methanol Retrofits für eine schnelle Netto-CO₂-Emissionsreduzierung im maritimen Markt **Methanol Retrofits for a fast net-CO₂ reduction in the Marine Market**

Christian Kunkel, Paul Hagl, Dr. Bhuvaneshwaran Manickam, Dr. Christopher Gross, Florian Eppler;
MAN Energy Solutions SE*

2021 kündigte die IMO (International Maritime Organization) an, die Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 40 % und bis 2050 um 70 % gegenüber 2008 zu reduzieren. Im Juli 2023 hat die IMO dieses Ziel verschärft und hat sich zum Ziel gesetzt, im Jahr 2050 klimaneutral zu sein. Während Sektoren wie Strom oder gewerbliche Heizung relativ einfach zu dekarbonisieren sind, sind andere Sektoren immer noch stark auf Kohlenwasserstoffe mit hoher Energiedichte als Energiequelle angewiesen. Dazu gehören die Luftfahrt über große Distanzen und die Hochseeschifffahrt. Darüber hinaus sind Schiffe und die verbauten Motoren mehrere Jahrzehnte in Betrieb. Daher sind Retrofit-

Lösungen eine attraktive und ökonomische Möglichkeit, einen schnellen Einfluss auf die Netto CO₂-Emissionen der maritimen Industrie zu nehmen. In diesem Paper werden verschiedene Retrofit-Lösungen für unterschiedliche Kraftstoffe diskutiert und hinsichtlich des Netto-THG Reduktionspotenzials aus allgemeiner Sicht und unter Berücksichtigung des Aspekts "Time to Market" bewertet. Darauf aufbauend wird die favorisierte MAN-Lösung für Methanol unter Berücksichtigung des Verbrennungsprinzips und der Thermodynamik beschrieben. Die Beschreibung umfasst die CFD-Simulation zur Vorauslegung des Motors und die Untersuchungen am Einzylindermotor. Der Vortrag schließt mit einem Ausblick in die Zukunft bezüglich der nächsten Schritte von MAN Energy Solution hinsichtlich der Markteinführung der beschriebenen Retrofit-Lösungen für Methanol.

In 2021 the IMO (International Maritime Organization) announced its new GHG-emissions regulations stating a required reduction of at least 40 % by 2030 and 70 % by 2050 compared to 2008. These targets were even further tightened in July 2023, where the IMO now aims to be climate neutral in the year 2050. However, while sectors such as electric power or commercial heating are relatively easy to decarbonize, others still rely heavily on energy-dense hydrocarbon fuels. Among those sectors are long-distance aviation and deep-sea shipping. Furthermore, ships and the installed engines are in operation for several decades. Thus, retrofit solutions are an attractive and economic way to have a very fast impact on the net-GHG-emissions of the maritime industry. In this paper, different retrofit solutions for different fuels are discussed and assessed concerning their reduction potential from a general point of view and with respect to the "time to market"-aspect.

Furthermore, the favored MAN-solution for Methanol will be highlighted with focus on the combustion and thermodynamic principle. CFD-simulation results to determine the preliminary design of the engine and the testing results on the single cylinder engine regarding combustion and emission performance are included accordingly. The paper is concluded with an outlook to MAN Energy Solution's upcoming steps for market introduction of the described retrofit solutions for Methanol.

ABCs Methanol-Zukunft **ABC's methanol future**

Luc Mattheeuws, Andreas Van Gijzeghem, Rik De Graeve, Dr. Roel Verschaeren;
Anglo Belgian Corporation*

Die Entwicklung von Methanol-Verbrennungsmotoren bei ABC begann mit einer Technologie-Bewertung für unsere DZ-Motorenfamilie. Auf die Entwurfsphase folgte schnell die Erprobung von Motorenteilen und schließlich Vollmotorenuntersuchungen auf unserem Prüfstand, der für Methanol angepasst wurde. Das erste Pilotprojekt, ein Nachrüstungsprojekt, wurde schon früh im Vorhaben identifiziert sowie die Entwicklungsarbeit ausgeweitet und inzwischen ist die Serienproduktion angelaufen.

Dieses Projekt war mit zahlreichen Herausforderungen verbunden, die verschiedene Aspekte umfassten. Erstens die technischen Gesichtspunkte: Wie kann man Methanol einspritzen, verdichten und verbrennen? Zweitens: Wie lässt sich ein kommerziell wettbewerbsfähiges Design mit marktkonformer Effizienz und Leistungsdichte entwickeln? Drittens muss die Motorkonstruktion verschiedene Regeln und Vorschriften einhalten: Schiffszulassung und Emissionsstandards. Dies war eine besondere Herausforderung, denn zu Beginn des Projekts gab es auf dem Markt nur wenig Wissen zu diesen Fragestellungen. Außerdem waren methanolfähige Komponenten Mangelware.

In diesem Beitrag wird ein Überblick zur aktuellen Motorkonstruktion und zum Einbau des Motors in die ersten Schiffe gegeben. Darüber hinaus werden die Herausforderungen beleuchtet: Ist der Markt jetzt für Methanol bereit? Müssen die Regeln und Vorschriften für Methanol als Kraftstoff weiter verbessert werden, um für die Zukunft gerüstet zu sein? Gibt es Grenzen für die Motorenkonstruktion mit Methanol? Und nicht zuletzt: Welche Herausforderungen gibt es beim Betrieb von Motoren mit reinem Methanol? Forschung und Entwicklung sind kontinuierliche Prozesse, die nie aufhören, aber wir sind stolz darauf, eine Methanol-Motorenplattform auf dem Markt anbieten zu können. Und natürlich arbeiten wir weiterhin an weiteren Verbesserungen mit großem Potenzial.

The development of methanol combustion engines at ABC started with a technology scouting exercise for our DZ engine family. Design was quickly followed by testing engine parts and finally full engine testing on our testbench, adapted for methanol. The first pilot project, a retrofit project, was identified early in the project, and development work was scaled-up. And as of today, serial production is running.

Along with this project came multiple challenges, with diverse aspects. Firstly the technical aspect: how to inject, compress and combust methanol? Secondly: how to make a commercially competitive design with market conform efficiency and power density? Thirdly, the engine design needs to adhere to various rules and regulations: marine approval and emissions standards. This was especially a challenge, because at the start of the project there was little knowledge in the market about these aspects. Besides, methanol ready components were scarce.

A review of the current engine design and the installation of the engine on first vessels will be discussed. Challenges going even further will be highlighted as well: is the market methanol ready now? Do rules and regulation need further improvement for methanol as a fuel to be ready for the future? Is there a limit on the engine design on methanol? And last but not least: what are the challenges to run engines on pure methanol?

Research and development is an ongoing process and never stops, but we are proud to have a methanol engine platform commercially available in the market. And of course, we continue to work on further improvements with big potential.

Blank lined area for notes.

Entwicklung eines schnellaufenden Methanol-Marinemotors im Projekt „meOHmare“ **Development of a high speed methanol marine engine within the project „meOHmare“**

Dr. Patrick Moll, Dr. Johannes Kech, Steffen Theiß;
Rolls-Royce Solutions GmbH*

Um auch die kommerzielle Schifffahrt sukzessive CO₂-neutral aufzustellen, hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz zusammen mit der Rolls-Royce Solutions GmbH, der Woodward L'Orange GmbH und dem WTZ Roßlau das geförderte Projekt „meOHmare“ initiiert. Ziel ist es, einen fremdgezündeten schnellaufenden Otto-Methanolmotor auf Basis der Baureihe 4000 für den maritimen Einsatz zu entwickeln, um so die bilanziellen verbrennungsmotorischen CO₂-Emissionen um mehr als 90 % zu reduzieren. Im folgenden Vortrag wird auf die Herausforderungen, die im Zusammenhang mit Methanol stehen, eingegangen und erste Ergebnisse des Projektes vorgestellt. Im Rahmen des Projektes wird der fremdgezündete Verbrennungsprozess von Methanol durch Simulation (CFD) und Einzylinderexperimenten untersucht. Verschiedene Injektortypen und Einspritzpositionen für die Saugrohreinspritzung werden getestet und verglichen. Ziel ist es hier, die Strahlausrichtung zu optimieren und Wandbenetzung zu vermeiden. Die Ergebnisse zeigen einen starken Einfluss der Kanalfüllung auf die Verbrennungsqualität, insbesondere auf HC-Emissionen. Darüber hinaus werden das Luftmanagement mit zwei Turboladern, das Kraftstoffsystem inklusive Kraftstoffpumpe und das Motormanagement untersucht. Als Ergebnis dieser Themengebiete wird ein Vollmotor mit 16 Zylindern in V-Anordnung und 76 Litern Hubraum konzeptionell aufgebaut. Dieser Motor wird in der kommenden Projektlaufzeit bis 2026 aufgebaut und getestet. Das Projekt startete im Januar auf Technologie Readiness Level 3 (TRL 3) mit der Erprobung von Einspritzkomponenten am Einzylinderaggregat. Die Entwicklungsaktivitäten sollen bis TRL 6 im Jahr 2025 vorangetrieben werden.

To achieve IMO targets to reduce emissions in global shipping, the industry has to switch to green fuels among which methanol is a promising solution. Therefore the Federal Ministry for Economics and Climate Action together with Rolls-Royce Solutions and partners Woodward L'Orange and WTZ Roßlau develops a CO₂ neutral single-fuel methanol high-speed marine engine on the basis of its successful series 4000 within the publicly funded project "meOHmare". The aim is, to reduce the integral CO₂ emissions by 90 %. In this lecture the challenges are highlighted and first results of the project are shown.

Within the scope of the project a spark-ignited methanol combustion process is investigated by simulation (CFD) and single-cylinder experiments. Different injector types and injection positions for port-fuel injection are tested and compared with the aim of optimizing spray targeting and avoidance of wall film. The results show a strong influence of port filling on the combustion quality, especially HC emissions.

Furthermore the air management with two single-stage turbochargers, fuel system (inclusive fuel pump) and engine management are being investigated. As a synthesis of this work a concept for a full engine with 16 cylinders in V-configuration with 76 liter displacement is conceived. This engine will be built up and tested in the ongoing project duration until 2026.

The project began in January at Technology Readiness Level 3 (TRL 3) with testing injection components in the single-cylinder engine. The development activities are to be advanced until TRL 6 in 2025.

**Wasserstoff-Verbrennungsergebnisse unter Niederdruck-Direkteinspritzung
für Motoren mit 130 mm Bohrungsdurchmesser**
Hydrogen combustion results with low-pressure direct injection for 130 mm bore size engines

Patrick Send, Dr. János Csató, Richard Pirkl, Günther Neuhaus;
Liebherr-Components Deggendorf GmbH
Francois Masson;
Liebherr Machines Bulle SA*

Zur Reduktion der Treibhausgase wird zukünftig auch der Wasserstoffmotor seinen Beitrag leisten. Die Schlüssel-Technologie bei dieser Art Motor ist das Einspritzsystem mit seinem Kernkomponenten, Injektor. Liebherr-Components Deggendorf GmbH hat sein Diesel-Produktportfolio hierzu mit einem neuen direkt-angesteuerten Konzept erweitert, um die Wasserstoff-Einblasung im Saugrohr, als auch unter Niederdruck direkt in dem Zylinder zu gewährleisten.

Dieser Beitrag fokussiert sich hierbei auf einzelne Verbrennungsuntersuchungen mit Wasserstoff und der Direkteinblasung bis zu Drücken von 30 bar für Heavy-Duty-Motorengrößen.

The hydrogen engine will also make its contribution to reducing greenhouse gases in the future. The key technology in this type of engine is the injection system with its core component, the injector. Liebherr-Components Deggendorf GmbH has expanded its diesel product portfolio with a new direct-actuating concept to ensure hydrogen injection both in the intake manifold and under low pressure directly into the cylinder.

This article focuses on individual combustion studies with hydrogen and direct injection up to pressures of 30 bar for heavy-duty engine sizes.

**Neue Aspekte zur Gemischaufbereitung bei
direkteinspritzenden Wasserstoffverbrennungsmotoren**
New Mixture Formation Processes in H₂ Engines

Dr.-Ing. Olaf Weber, Jan Leberwurst, Dr. rer. nat. Jochen Broz, Sebastian Sulzer,
Dr. rer. nat. Oliver Hahn;
Schaeffler Technologies AG & Co. KG*

Erste Wasserstoffverbrennungsmotoren werden mit einer Saugrohreinspritzung in Serie gehen. Es ist bereits jedoch heute absehbar, dass weitere Verbesserungen sich mit der Gemischbildung bei direkteinspritzenden Wasserstoffmotoren beschäftigen werden. Dabei kommt es auf Druckverhältnisse, Strömungsformen und Gemischgleichverteilungen an. Diese sind entscheidend für die Stickoxyd Emission. Es ist denkbar, dass bei deutlich weniger heterogenen Gemischen bei gleichem globalen Luftverhältnis wesentlich geringere NO_x Emissionen entstehen. Das Papier zeigt Möglichkeiten auf, diesen Prozess zu folgen.

First hydrogen combustion engines will go into production with port-fuel injection, based on Diesel engine hardware. It is already clear that direct injection concepts will represent the second generation of mixture formation systems. Challenges like injection nozzle design and mixture formation for highest levels of homogeneity are already well known. Market participants are improving these kind of product properties. The presentation will discuss several opportunities to increase the homogeneity index of direction direct injection concepts with a consequence of lower NO_x and/or higher torque output at the borderline air/fuel/ratio of app. 2.4.

Herausforderungen für den Umstieg auf erneuerbare Energieträger aus Komponentensicht mit Fokus auf MPI-Ventile für das LE-Motoren-Segment
Challenges for the transition to renewable fuels from component perspective with focus on MPI valves for Large Engines

Dr. Peter Christiner, Dr. Jens Olaf Stein, Claudia Hengstberger, Michael Köhler, Dr. René Schimon; Robert Bosch AG*

Während der vergangenen Jahrzehnte konnte der Gasmotor seinen Anteil im globalen Industriemotorensegment deutlich steigern. Der ständig steigende Bedarf an robusten und effizienten Motorkonzepten für die dezentrale Energieversorgung und mobile Anwendungen führt zu einer zunehmenden Bedeutung von Gasmotoren im Marine-Bereich ebenso wie im kommerziellen und industriellen Anwendungsbereich. Zusätzlich führt der klare Markt-Trend zu CO₂-neutralen oder CO₂-freien Kraftstoffen zu weiteren Herausforderungen für die Entwicklung von Gasmotoren.

Während der Entwicklungsphase von Gaseinblaseventilen müssen verschieden Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Kundenanforderungen, gesetzliche Anforderungen und wirtschaftliche Zielsetzungen stellen eine Herausforderung dar. Darüber hinaus führt der Wandel im Kraftstoff-Mix zu CO₂-freien Kraftstoffen, zu weiteren Schlüssel-Anforderungen, die während der Entwicklungsphase des Produkts Eingang finden müssen, um das Ziel eines robusten Produkts mit guten Marktaussichten erreichen zu können.

Im vorliegenden Paper zeigen die Autoren, wie durch die Anwendung eines integrierten Entwicklungsprozesses für die Optimierung von PFI-Ventilen für großmotorische Anwendung die unterschiedlichen Anforderungen erreicht werden können. Dabei wird insbesondere auf die aktuellen Anforderungen vom Markt und die erreichten Produktvorteile für den motorischen Betrieb eingegangen. Besonderes Augenmerk wird dabei auf Erfahrungen mit alternativen Kraftstoffen wie Wasserstoff und Ammoniak gelegt. Besondere Herausforderungen in der Entwicklung werden ebenso vorgestellt wie verwendete Prüf-Infrastruktur zur Erreichung der Entwicklungsziele. Die erreichten Ergebnisse werden im Detail beschrieben und ein Ausblick auf weitere Entwicklungsschritte und die damit verbunden Herausforderungen wird gegeben.

Einige der jüngsten Herausforderungen für den Betrieb von MPI-Ventilen sollten schon in einer frühen Entwicklungs- und Validierungsphase Berücksichtigung finden. Ansätze für eine Berücksichtigung zur Erreichung der Entwicklungsziele werden im Paper beschrieben.

During the last decades, gas engines have gained additional share on the global industrial engine market. As the demand for efficient and robust engine solutions is growing, gas engines have become increasingly important to provide reliable solutions for decentral power supply as well as for mobile applications in the marine, commercial and industrial market segment.

The recent trend towards zero-impact fuels poses challenges for the development of gas engines.

Different factors must be considered during the development of ported fuel injection valves. Customer specifications as well as legal requirements and economical goals pose a challenge during the development process. In addition, due to the increasing demand for usage of non-carbon fuels additional key requirements must be taken in consideration in order to achieve robust components, that are capable to meet the market requirements.

In this paper the authors present aspects of an integrated approach for the optimization of ported fuel injection valves for large bore engines to meet those requirements with special focus given on current challenges from the market and the achieved benefits for engine operation.

Special focus is given on the experience with alternative fuels and the resulting challenges during development. Used testing facilities and derived results are explained and an outlook of upcoming challenges is given.

Some of the challenges occurring during operation of MPI valves are important to be considered early during development and validation process of the valve concept but are difficult to be covered by pure component testing. Changing gas qualities and composition (Methane, Hydrogen, Ammonia), different gas-accompanying materials as well as abrasive particles lead to impairment and abrasive wear, difficult to consider in early development phases. Those challenges and measures to achieve the development targets are outlined in the paper.

Entwicklung intelligenter Zündspulen für H₂ ICE-Anwendungen **Smart Ignition Coil Development for H₂ ICE Application**

*Dr. Stefano Papi**; *Dr. Massimo Dal Re*, *Dr. John Burrows*, *Simone Daniele*;
Tenneco Powertrain
Federico Ricci, *Carlo Nazareno Grimaldi*;
University of Perugia

Currently, considering the rapid advancement of alternative fuels for internal combustion engines to achieve decarbonization targets, hydrogen and hydrogen blends have garnered fresh attention, particularly within the heavy-duty internal combustion engine field.

The evolution of internal combustion engines to work with hydrogen as an alternative fuel source is facing a multitude of challenges. Several components need adaptation and evolution to overcome current issues and meet the ambitious benchmarks. Within these components, ignition systems must also undergo adaptation to effectively address these progressively demanding thermal, mechanical, and electrical challenges.

This paper describes the necessary evolution of the ignition systems to achieve the combustion challenges associated with H₂ ICE. A typical "backfire" issue associated with PFI H₂ engines, known as the "ghost spark," has been investigated. A technical solution through coil features has been realized using analytical and experimental results from pressure bomb N₂, air bench tests and engine tests.

A new strategy for diagnostic coil features has been reviewed, with a particular focus on "waterbridge," "oil bridge," and main coil failures detection. Analytical models, experimental bench test data and H₂ engine tests data have been analyzed to correlate phenomena with diagnostic signal characteristics.

A pressure bomb calorimeter with N₂ and air has been used to analyze the influence of in-cylinder pressure on diagnostic signal characteristics.

Additionally, in this work, the strategy of using a diagnostic signal has been analyzed on a single-cylinder optical engine fueled with H₂. The impact of combustion quality on diagnostic signal characteristics has been investigated, with a focus on stability at stoichiometric conditions.

Preliminary results have been reviewed in combination with specific spark plug designs to demonstrate a positive impact on H₂ ICE issues, resulting in significant improvements in combustion stability and control.

Zyklenweise Funkensteuerung: Die Zukunft bei Wasserstoffmotoren
Same Cycle Spark Control: The Future of Hydrogen Engines

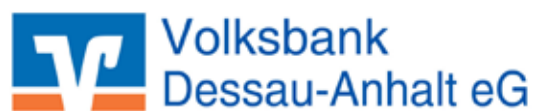
*Emmanuella Sotiropoulou**; *Dr. Luigi Tozzi*; *Supreeth Narasimhamurthy*;
Prometheus Applied Technologies LLC
Luc Mattheeuws, *Rik De Graeve*;
Anglo Belgian Corporation NV
David Lepley;
Altronic LLC
Bernhard Zemann;
Hoerbiger Wien GmbH

Global decarbonization necessitates the use of sophisticated technologies to take the current internal combustion engine (ICE) to the next level. One approach is burning green hydrogen (H₂) and having engine power density and efficiency comparable to those of advanced diesel engines (i.e., "diesel like performance") but with zero emissions. Achieving this objective requires burning H₂ at ultra-lean conditions preventing high thermal load on in-cylinder components and enabling reliable, durable, and cost effective solutions. This scenario has created the motivation to develop new technologies in the areas of hydrogen prechamber combustion, ignition and fuel injection defining a holistic solution. In particular, the prechamber must operate with very lean lambda to prevent preignition and the ignition system must be able to deliver an adaptive spark energy/power that assures proper ignition of the ultra-lean hydrogen mixture while preventing the formation of hot spots on the electrodes leading to combustion instabilities like backfire, knock and preignition. Similarly, the hydrogen injection & mixing system must prevent the formation of rich pockets resulting in combustion abnormalities caused by lube oil preignition (LOP). This paper dives deeper, than previous publications by the authors, and illustrates in detail the performance potential of hydrogen engine combustion enabled by a holistic combustion solution. An understanding of the fundamentals that is applied to advanced state-of-the-art technologies is confirmed with engine test results. Moreover, the need for an Advanced Turbocharging System together with a Staged Development Approach are discussed for mitigating the technical and commercial risks associated with the introduction of competitive hydrogen engine technology in the market.

Ruled page for notes with horizontal lines.

Horizontal lines for writing notes.





WTZ Roßlau
Mühlenreihe 2a
06862 Dessau-Roßlau
Germany
www.wtz.de

Technikmuseum „Hugo Junkers“, Dessau-Roßlau, Foto: WTZ Roßlau / Technik Museum „Hugo Junkers“, Dessau-Roßlau, Photo: WTZ Roßlau

