

BOOK OF ABSTRACTS

14. Dessauer Gasmotoren-Konferenz

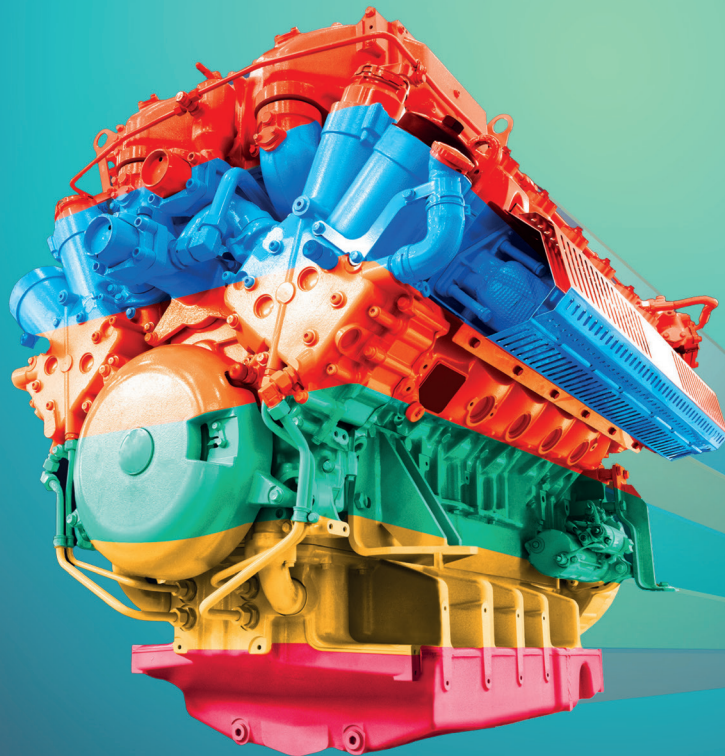
06. /07. Mai 2026, Dessau-Roßlau, Sachsen-Anhalt

14th Dessau Gas Engine Conference

May 06-07, 2026, Dessau-Roßlau, Saxony-Anhalt

Der Veranstalter/The Organizer: WTZ Roßlau gGmbH

*Der Gasmotor bleibt **bunt!***



14. Dessauer Gasmotoren-Konferenz / 14th 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 bleibt bunt.

Die 14. Dessauer Gasmotorenkonferenz 2026 steht unter dem Motto „**Der Gasmotor bleibt bunt**“. Dieses Motto spiegelt die Vielfalt der Technologien und Konzepte wider, die notwendig sind, um den Herausforderungen der Energiewende zu begegnen. Großmotoren sind nach wie vor unverzichtbar, sowohl in der stationären Energieerzeugung als auch in mobilen Anwendungen wie Schifffahrt, Bahnverkehr und Off-Highway-Bereichen.

Die Transformation hin zu kohlenstofffreien und klimaneutralen Kraftstoffen wie Wasserstoff, Methanol, Ammoniak oder E-Fuels erfordert neue Brennverfahren und innovative Verbrennungskonzepte. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an thermodynamische und mechanische Optimierung, Emissionsminderung und Abgasnachbehandlung. Ergänzt wird dies durch Fortschritte in Einspritz-, Zünd- und Steuerungstechnologien sowie durch Retrofit-Lösungen, Dual-Fuel-Konzepte und die Integration in bestehende Systeme.

Darüber hinaus gewinnen Digitalisierung, Simulation und modell-basierte Entwicklung an Bedeutung, um die Komplexität beherrschbar zu machen. Werkstoff- und Komponentenentwicklung, Dauerfestigkeit sowie Betriebserfahrungen und Lebensdauermanagement sind weitere zentrale Themen. Schließlich müssen auch Infrastruktur- und Marktanforderungen für alternative Kraftstoffe berücksichtigt werden.

Die Dessauer Gasmotorenkonferenz bietet eine Plattform, um diese vielfältigen Aspekte entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu diskutieren und gemeinsam Lösungen für eine nachhaltige Zukunft zu entwickeln.

Wir freuen uns auf spannende Vorträge, intensive Diskussionen und den Austausch zwischen Forschung, Industrie und Anwendern. Hierzu lädt Sie das Team des WTZ Roßlau ganz herzlich zur **14. Dessauer Gasmotoren-Konferenz vom 06. bis 07. Mai 2026** nach **Dessau-Roßlau** ein. Wir freuen uns sehr auf Ihren Besuch!

The gas engine remains colorful.

The 14th Dessau Gas Engine Conference 2026 is held under the motto "**The gas engine remains colorful.**" This motto reflects the diversity of technologies and concepts required to meet the challenges of the energy transition. Large engines continue to play a vital role, both in stationary power generation and in mobile applications such as shipping, rail transport and off-highway sectors. The shift toward carbon-free and climate-neutral fuels such as hydrogen, methanol, ammonia or e-fuels demands new combustion processes and innovative concepts. At the same time, requirements for thermodynamic and mechanical optimization, emission reduction and exhaust aftertreatment are increasing. These developments are complemented by advances in injection, ignition and control technologies, as well as retrofit solutions, dual-fuel concepts and integration into existing systems.

Furthermore, digitalization, simulation and model-based development are gaining importance to manage growing complexity. Material and component development, durability, operational experience and lifecycle management remain key topics. Finally, infrastructure and market requirements for alternative fuels must also be addressed.

The Dessau Gas Engine Conference provides a platform to discuss these diverse aspects across the entire value chain and to jointly develop solutions for a sustainable future. We look forward to inspiring presentations, lively discussions and an exchange of ideas between research, industry, and users.

The WTZ Roßlau team warmly invites you to join us for the **14th Dessau Gas Engine Conference on May 6-7, 2026**, in **Dessau-Roßlau**. We are excited to welcome you!



Dr.-Ing. Christian Reiser
WTZ Roßlau gGmbH



Karsten Stenzel
WTZ Roßlau gGmbH

K1	Die Rolle des Verbrennungsmotors im zukünftigen deutschen und europäischen Strommarkt The role of the combustion engine in the future German and European power market <i>Dr.-Ing. Matthias Auer*, Christian Kunkel ■ Everllence SE</i>	→ 12
S1	Entwicklungstrends für Gasmotoren/Development Trends for Gas Engines <i>Moderation: Prof. Dr.-Ing. Ulrich Walther ■ Westsächsische Hochschule Zwickau</i>	→ 14
02	Ultraniedrige Emissionstechnologie adaptiert für den Wärtsilä 25NextDF Ultra-low emission technology adapted for Wärtsilä 25DF <i>Kenneth Hellmann*, Tobias Krook, Saad Akram, Diego Delneri, Christer Hattar ■ Wärtsilä Finland Oy</i>	→ 14
03	Entwicklung und Validierung eines systematischen Ansatzes für die Optimierung von Kolbenring- Laufbuchsen-Systemen (PRL) und Brennverfahren Development and Validation of a Systematic Approach for Piston-Ring-Liner (PRL) System and Combustion Recipe Optimization <i>Dr.-Ing. Sebastian Ohler*, Dr.-Ing. Max Magar, Andreas Maurer, Tobias Pletschke, Dr. Marco Schultze ■ Caterpillar Energy Solutions GmbH</i>	→ 16
S2	Ammoniak-Motorkonzepte und Potenziale/Ammonia Engine Concepts and Potentials <i>Moderation: Prof. Dr.-Ing. Bert Buchholz ■ Universität Rostock</i>	→ 18
04	Dual-Fuel-Diesel-Ammoniak-Verbrennung: Machbarkeit und Herausforderungen der flüssigen Ammoniak-Saugrohreinjection Dual Fuel Diesel-Ammonia Combustion: Feasibility and Challenges of Liquid Ammonia Port-Fuel Injection <i>Gilbert Heitz*, Dr.-Ing. Salvatore Collura, Martin Amann ■ Liebherr-Components Colmar SAS; Phillip Thorau, Leon Beckmann, Frederick Schirrmeister ■ WTZ Motorentchnik GmbH</i>	→ 18
05	Untersuchung von Ammoniakbrennverfahren und darauf basierende Ableitung eines grundsätzlichen Motorkonzepts für 4-Takt-Mittelschnellläufer Investigation on Ammonia Combustion and Derivation of a Basic Engine Concept for Four-Stroke Medium-Speed Applications <i>Max Jungemann*, Christian Kunkel, Dr.-Ing. Valentin Scharl ■ Everllence SE; Dr.-Ing. Kay Mahler, Robert Meinert ■ WTZ Roßlau gGmbH; Prof. Dr.-Ing. Bert Buchholz ■ Universität Rostock</i>	→ 20
06	Ammoniakverbrennung der nächsten Generation: Herausforderungen und Lösungsansätze Next-Gen Ammonia Combustion: Challenges and Solutions <i>Dr. techn. Maximilian Malin*, Dr. techn. Marcel Lackner ■ LEC GmbH; Antony Nyongesa ■ TU Graz; Prof. Dr.-Ing. Nicole Wermuth ■ TU Graz/LEC GmbH</i>	→ 22
S3	Ammoniak-Brennverfahren/Ammonia Combustion Processes <i>Moderation: Prof. Dr.-Ing. Peter Eilts ■ Technische Universität Braunschweig</i>	→ 26
07	Dekarbonisierung der Binnenschifffahrt durch Ammoniak-Zündstrategien und Brennverfahrensauslegung Decarbonisation of inland waterway vessels using ammonia-ignition strategies and combustion process development <i>Annalena Braun*, Dr.-Ing. Heiko Kubach ■ Karlsruher Institut für Technologie; Prof. Dr.-Ing. Hinrich Mohr ■ GasKraft Engineering; Torsten Baufeld ■ Liebherr Machines Bulle SA; Dr.-Ing. Sascha Prehn ■ Universität Rostock</i>	→ 26
08	Hocheffizientes Dual-Fuel NH ₃ -Diesel Brennverfahren als schnellen Einstieg in einen CO ₂ -reduzierten Antrieb in Marineanwendungen Highly Efficient Dual-Fuel NH ₃ -Diesel Combustion System as a Fast Entry into a CO ₂ -Reduced Propulsion System for Marine Applications <i>Dr.-Ing. Aleksandar Boberic*, Thomas Körfer, Dr.-Ing. Jaykumar Yadav ■ FEV Europe GmbH; Zhengling Li, Tobias Tietz ■ RWTH Aachen</i>	→ 28
09	Thermodynamische Eigenschaften und Emissionsverhalten der Ammoniakverbrennung bei verschiedenen Einspritzkonzepten für Dieselmotoren Thermodynamic and emission characteristics of ammonia combustion in different injection concepts for high-speed diesel engines <i>Phillip Thorau*, Dr.-Ing. Kay Mahler ■ WTZ Roßlau gGmbH</i>	→ 30
S4	Grundlagenuntersuchungen/Fundamental studies <i>Moderation: Prof. Dr.-Ing. Friedrich Wirz ■ Technische Universität Hamburg</i>	→ 32
10	Vorkammerzündung als Wegbereiter für die funkenunterstützte Kompressionszündung von erneuerbaren Kraftstoffen Turbulent Jet Ignition as an Enabler for Spark-Assisted Compression Ignition of Renewable Fuels <i>Dr. sc. Michelangelo Balmelli*, Patrick Albrecht, Prof. Dr. Kai Herrmann ■ University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland (FNHW)</i>	→ 32
11	Einfluss von Ammoniak (NH ₃) auf das tribologische System in Gleitlagern Influence of Ammonia (NH ₃) on the Tribological System in Plain Bearings <i>Andreas Zunhammer* ■ Miba Gleitlager Austria GmbH</i>	→ 34
12	NO _x -basierte Detektion von Frühzündungen in wasserstoffbetriebenen KWK-Gasmotoren NO _x -Based Detection of Pre-Ignition in Hydrogen-Fueled CHP Gas Engines <i>Rudolf HöB*, Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden; Stefan Knepper ■ 2G Energy AG</i>	→ 36

* Speaker/Referent

K2	Anforderungen und Entwicklungstrends bei Passagierschiffen: Fokus auf alternative Energiequellen und Systeme Requirements and Development Trends for Passenger Ships: Emphasizing Alternative Energy Sources and Systems <i>Daniel Sahren*, Kurt Sommer, Klaus Brand ■ MEYER WERFT GmbH</i>	→ 40
S5	Steuerungskonzepte für Verbrennungsmotoren/Control Concepts for Internal Combustion Engines Moderation: Prof. Dr.-Ing. Maximilian Brauer ■ Technische Universität Berlin	→ 42
14	Entwicklung einer neuen Motorsteuerung für heutige und zukünftige Stationärmotoren Development of a new engine control system for today's and future stationary engines <i>Michael Renk* ■ Bosch Engineering GmbH</i>	→ 42
15	Fortgeschrittene Systemsimulationen zur Optimierung von Schnellstart, Lastmanagement und Drehzahlregelung schnelllaufender Großgasmotoren für die Stromversorgung in Rechenzentren Advanced System Simulations for Optimizing Fast Start, Load Management, and Speed Control in High Speed, Large Bore Natural Gas Engines for Power Generation in Data Centers <i>Zach Tiver*, Henry Knutzen*, Nolan Polley, Chris Ohlsen ■ Woodward Inc.</i>	→ 44
S6	Methanol/Methanol Moderation: Prof. Dr.-Ing. Frank Atzler ■ Technische Universität Dresden	→ 46
16	Der weltweit erste schnelllaufende Otto-Methanol-Marinemotor The world's first high-speed methanol marine single-fuel engine <i>Steffen Theiß*, Dr.-Ing. Patrick Moll, Dr.-Ing. Julian Eder, Dr.-Ing. Johannes Kech ■ Rolls-Royce Solutions GmbH</i>	→ 48
17	Methanolmotoren im Retrofit: Der 51/60R-DF-M als Technologieträger Methanol engines in retrofit: The 51/60 R-DF-M as a technology carrier <i>Florian Eppler*, Dr. techn. Harald Schlick, Ludwig Eder, Dr. techn. Jianguo Zhu, Simon Bregulla ■ Everllence SE</i>	→ 50
18	Dieselmotoren/Methanol-Emulsionen als Retrofitlösung für Großdieselmotoren Diesel Fuel/Methanol-Emulsions as Retrofit Concept for Large-bore Diesel engines <i>Prof. Dr.-Ing. Leander Marquardt*, Dr.-Ing. Heiner-Joachim Katke, Maik Habeck ■ Hochschule Stralsund; Benjamin Weisse ■ GenSys GmbH; Prof. Dr.-Ing. Hinrich Mohr ■ GasKraft Engineering Beckdorf-Nindorf</i>	→ 52
S7	Wasserstoff/Hydrogen Moderation: Prof. Dr.-Ing. Hermann Rottengruber ■ Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg	→ 52
19	Betriebserfahrungen mit Dual-Fuel-Gasmotoren für Wasserstoff- und Erdgasbetrieb in KWK-Anwendungen Operational Experiences With Hydrogen & Natural Gas Dual Fuel Engines for Combined Heat and Power Generation <i>Dr.-Ing. Christoph Kraus*, Alexander Zuschnig, Simona Zecca, Zita Baumann ■ INNIO Jenbacher GmbH & Co. OG; Dr. Peter Christiner, Dominik Gruber ■ Robert Bosch GmbH</i>	→ 54
20	Minderung ölbedingter Frühzündungsphänomene in Wasserstoffmotoren durch Optimierung von Verbrennungsparametern Mitigating Lube Oil Ignition and Related Flame Propagation through Combustion Parameter Optimization in Hydrogen Engines <i>Dr. techn. Gottfried Lurf*, Shinsuke Murakami, Bernhard Joacham, Martin Wieser, Christian Fuchs ■ AVL List GmbH; Hanna Crump, Yekuan Shentu, Richard Butcher ■ BP Castrol</i>	→ 56
21	Wasserstoffmotoren neu gedacht: Innovatives Betriebskonzept für Energieversorgung der Zukunft Rethinking Hydrogen Engines: A New Operating Concept for Future Energy Systems <i>Rüdiger Herdin*, Andreas Herdin ■ PGES GmbH; Thomas Lange ■ Numerica GmbH; Prof. Dr. techn. Lukas Möltner ■ MCI</i>	→ 60
S8	Emissionsminderung bei Ammoniakmotoren/Emission Reduction Strategies for Ammonia Engines Moderation: Karsten Stenzel ■ WTZ Roßlau gGmbH	→ 60
22	Abgasnachbehandlung für NH₃-Verbrennungsmotoren/ Exhaust gas aftertreatment for NH₃ combustion engines <i>Dr. D. Peitz*, Dr.-Ing. E. Eßer ■ Hug Engineering AG, Elsau, Switzerland F. Wenig, Dr.-Ing. S. Prehn ■ Universität Rostock, Rostock, Germany Dr. techn. R. Mehrabian Bardar ■ LEC GmbH, Graz, Austria</i>	→ 62
23	CO₂-freier und emissionsarmer Motorbetrieb durch dezentrale Ammoniakspaltung CO ₂ -free and low-emission engine operation through decentralized ammonia cracking <i>Christian Hermle*, Dr.-Ing. Gerhard Wannemacher ■ Ammonig GmbH; Dr.-Ing. Steven Wagner ■ TU Darmstadt; Dr.-Ing. Konrad Krois ■ Heraeus Precious Metals</i>	→ 64
24	Minderung der Abgasemissionen an einem NH₃-Diesel-Einzylindermotor durch gekoppelte Optimierung von Verbrennungsstrategie und Abgasnachbehandlung Achieving low emissions in an NH ₃ -diesel single-cylinder engine through coupled optimization of combustion strategy and exhaust aftertreatment <i>M.Sc. Felix Wenig*, Dr.-Ing. Sascha Prehn, Prof. Dr.-Ing. Bert Buchholz ■ University of Rostock, Chair of Piston Machines and Internal Combustion Engines [LKV], Rostock/Germany; Dr. Richt Sieteke van Alten, Dr. Alain Ristori ■ Umicore AG & Co. KG, Hanau/Germany</i>	→ 66

Mittwoch, 06.05.2026 / Wednesday May 06, 2026

- 08:00 Registrierung/Registration
 08:20 Begrüßung/Welcome
Dr.-Ing. Christian Reiser ■ Geschäftsführer WTZ Roßlau gGmbH

Keynote

- 08:30 Die Rolle des Verbrennungsmotors im zukünftigen deutschen und europäischen Strommarkt
 The role of the combustion engine in the future German and European power market
K1 *Dr.-Ing. Matthias Auer*, Christian Kunkel ■ Everllence SE*

- Session 1** Entwicklungstrends für Gasmotoren/Development Trends for Gas Engines
 Moderation: *Prof. Dr.-Ing. Ulrich Walther ■ Westsächsische Hochschule Zwickau*

- 09:00 Ultraniedrige Emissionstechnologie adaptiert für den Wärtsilä 25NextDF
 Ultra-low emission technology adapted for Wärtsilä 25DF
02 *Kenneth Hellmann*, Tobias Krook, Saad Akram, Diego Delneri, Christer Hattar ■ Wärtsilä Finland Oy*

- 09:30 Entwicklung und Validierung eines systematischen Ansatzes für die Optimierung von
 Kolbenring-Laufbuchsen-Systemen (PRL) und Brennverfahren
 Development and Validation of a Systematic Approach for Piston-Ring-Liner (PRL) System
 and Combustion Recipe Optimization
03 *Dr.-Ing. Sebastian Ohler*, Dr.-Ing. Max Magar, Andreas Maurer, Tobias Pletschke, Dr. Marco Schultze ■ Caterpillar Energy Solutions GmbH*

- 10:00 Kaffeepause/Coffeebreak

- Session 2** Ammoniak-Motorkonzepte und Potenziale/Ammonia Engine Concepts and Potentials
 Moderation: *Prof. Dr.-Ing. Bert Buchholz ■ Universität Rostock*

- 10:30 Dual-Fuel-Diesel-Ammoniak-Verbrennung: Machbarkeit und Herausforderungen der flüssigen
 Ammoniak-Saugrohreinjection
 Dual Fuel Diesel-Ammonia Combustion: Feasibility and Challenges of Liquid Ammonia Port-Fuel Injection
04 *Gilbert Heitz*, Dr.-Ing. Salvatore Collura, Martin Amann ■ Liebherr-Components Colmar SAS;
 Phillip Thorau, Leon Beckmann, Frederick Schirrmeyer ■ WTZ Motorentechnik GmbH*

- 11:00 Untersuchung von Ammoniakbrennverfahren und darauf basierende Ableitung eines
 grundsätzlichen Motorkonzepts für 4-Takt-Mittelschnellläufer
 Investigation on Ammonia Combustion and Derivation of a Basic Engine Concept for
 Four-Stroke Medium-Speed Applications
05 *Max Jungemann*, Christian Kunkel, Dr. Valentin Scharl ■ Everllence SE;
 Dr. Kay Mahler, Robert Meinert ■ WTZ Roßlau gGmbH;
 Prof. Dr.-Ing. Bert Buchholz ■ Universität Rostock*

- 11:30 Ammoniakverbrennung der nächsten Generation: Herausforderungen und Lösungsansätze
 Next-Gen Ammonia Combustion: Challenges and Solutions
06 *Dr. techn. Maximilian Malin*, Dr. techn. Marcel Lackner ■ LEC GmbH;
 Antony Nyongesa ■ TU Graz;
 Prof. Dr.-Ing. Nicole Wermuth ■ TU Graz/LEC GmbH*

- 12:00 Mittagessen/Lunch

Mittwoch, 06.05.2026 / Wednesday May 06, 2026

Session 3

Ammoniak - Brennverfahren / Ammonia Combustion Processes

Moderation: Prof. Dr.-Ing. Peter Eilts ■ Technische Universität Braunschweig

13:30
07 Dekarbonisierung der Binnenschifffahrt durch Ammoniak-Zündstrategien und Brennvorgangsauslegung
Decarbonisation of inland waterway vessels using ammonia-ignition strategies and combustion process development

Annalena Braun*, Dr. Heiko Kubach ■ Karlsruher Institut für Technologie;

Prof. Dr. Hinrich Mohr ■ GasKraft Engineering;

Torsten Baufeld ■ Liebherr Machines Bulle SA;

Dr.-Ing. Sascha Prehn ■ Universität Rostock

14:00
08 Hocheffizientes Dual-Fuel NH₃-Diesel Brennvorgang als schnellen Einstieg
in einen CO₂-reduzierten Antrieb in Marineanwendungen

Highly Efficient Dual-Fuel NH₃-Diesel Combustion System as a Fast Entry

into a CO₂-Reduced Propulsion System for Marine Applications

Dr.-Ing. Aleksandar Boberic*, Thomas Körfer, Dr.-Ing. Jaykumar Yadav ■ FEV Europe GmbH;

Zhengling Li, Tobias Tietz ■ RWTH Aachen

14:30
09 Thermodynamische Eigenschaften und Emissionsverhalten der Ammoniakverbrennung bei verschiedenen
Einspritzkonzepten für Dieselmotoren

Thermodynamic and emission characteristics of ammonia combustion in different injection concepts for high-speed diesel engines

Phillip Thorau*, Dr.-Ing. Kay Mahler ■ WTZ Roßlau gGmbH

15:00 Kaffeepause / Coffeebreak

Session 4

Grundlagenuntersuchungen / Fundamental studies

Moderation: Prof. Dr.-Ing. Friedrich Wirz ■ Technische Universität Hamburg

15:30
10 Vorkammerzündung als Wegbereiter für die funkenunterstützte Kompressionszündung von
erneuerbaren Kraftstoffen

Turbulent Jet Ignition as an Enabler for Spark-Assisted Compression Ignition of Renewable Fuels

Dr. sc. Michelangelo Balmelli*, Patrick Albrecht, Prof. Dr. Kai Herrmann ■

University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland (FNHW)

16:00
11 Einfluss von Ammoniak (NH₃) auf das tribologische System in Gleitlagern

Influence of Ammonia (NH₃) on the Tribological System in Plain Bearings

Andreas Zunghammer* ■ Miba Gleitlager Austria GmbH

16:30
12 NO_x-basierte Detektion von Frühzündungen in wasserstoffbetriebenen KWK-Gasmotoren

NO_x-Based Detection of Pre-Ignition in Hydrogen-Fueled CHP Gas Engines

Rudolf Höß* ■ Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden;

Stefan Knepper ■ ZG Energy AG

17:00 Rückfahrt der Busse zu den Hotels / Return to the hotels

18:30 Abfahrt der Busse von den Hotels zur Abendveranstaltung / of the busses from the hotels 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, 07.05.2026/Thursday May 07, 2026

Keynote

08:30 Anforderungen und Entwicklungstrends bei Passagierschiffen:
Fokus auf alternative Energiequellen und Systeme
K2 Requirements and Development Trends for Passenger Ships:
Emphasizing Alternative Energy Sources and Systems
Daniel Sahren*, Kurt Sommer, Klaus Brand ■ MEYER WERFT GmbH

Session 5 Steuerungskonzepte für Verbrennungsmotoren/Control Concepts for Internal Combustion Engines
Moderation: Prof. Dr.-Ing. Maximilian Brauer ■ Technische Universität Berlin

09:00 Entwicklung einer neuen Motorsteuerung für heutige und zukünftige Stationärmotoren
14 Development of a new engine control system for today's and future stationary engines
Michael Renk* ■ Bosch Engineering GmbH

09:30 Fortgeschrittene Systemsimulationen zur Optimierung von Schnellstart, Lastmanagement und
Drehzahlregelung schnelllaufender Großgasmotoren für die Stromversorgung in Rechenzentren
15 Advanced System Simulations for Optimizing Fast Start, Load Management, and Speed Control in
High Speed, Large Bore Natural Gas Engines for Power Generation in Data Centers
Zach Tiver*, Henry Knutzen*, Nolan Polley, Chris Ohlsen ■ Woodward Inc.

10:00 Kaffeepause/Coffeebreak

Session 6 Methanol/Methanol
Moderation: Prof. Dr.-Ing. Frank Atzler ■ Technische Universität Dresden

10:30 Der weltweit erste schnelllaufende Otto-Methanol-Marinemotor
16 The world's first high-speed methanol marine single-fuel engine
Steffen Theiß*, Dr.-Ing. Patrick Moll, Dr.-Ing. Julian Eder, Dr.-Ing. Johannes Kech ■ Rolls-Royce Solutions GmbH

11:00 Methanolmotoren im Retrofit: Der 51/60R-DF-M als Technologieträger
17 Methanol engines in retrofit: The 51/60 R-DF-M as a technology carrier
Florian Eppler*, Dr. techn. Harald Schlick, Ludwig Eder, Dr. techn. Jianguo Zhu, Simon Bregulla ■ Everllence SE

11:30 Dieseldieselkraftstoff/Methanol-Emulsionen als Retrofitlösung für Großdieselmotoren
18 Diesel Fuel/Methanol-Emulsions as Retrofit Concept for Large-bore Diesel engines
Prof. Dr.-Ing. Leander Marquardt*, Dr.-Ing. Heiner-Joachim Katke, Maik Habeck ■ Hochschule Stralsund;
Benjamin Weisse ■ GenSys GmbH;
Prof. Dr.-Ing. Hinrich Mohr ■ GasKraft Engineering

12:00 Mittagessen/Lunch

Donnerstag, 07.05.2026/Thursday May 07, 2026**Session 7****Wasserstoff/Hydrogen**

Moderation: Prof. Dr.-Ing. Hermann Rottengruber ■ Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

13:30

19

Betriebserfahrungen mit Dual-Fuel-Gasmotoren für Wasserstoff- und Erdgasbetrieb in KWK-Anwendungen

Operational Experiences With Hydrogen & Natural Gas Dual Fuel Engines for Combined Heat and Power Generation

Dr. Christoph Kraus*, Alexander Zuschnig, Simona Zecca, Zita Baumann ■ INNIO Jenbacher GmbH & Co. OG;

Dr. Peter Christiner, Dominik Gruber ■ Robert Bosch GmbH

14:00

20

Minderung ölbedingter Frühzündungsphänomene in Wasserstoffmotoren durch Optimierung von Verbrennungsparametern

Mitigating Lube Oil Ignition and Related Flame Propagation through Combustion Parameter Optimization in Hydrogen Engines

Dr. techn. Gottfried Lurf*, Shinsuke Murakami, Bernhard Joacham, Martin Wieser, Christian Fuchs ■ AVL List GmbH;

Hanna Crump, Yekuan Shentu, Richard Butcher ■ BP Castrol

14:30

21

Wasserstoffmotoren neu gedacht: Innovatives Betriebskonzept für Energieversorgung der Zukunft

Rethinking Hydrogen Engines: A New Operating Concept for Future Energy Systems

Rüdiger Herdin*, Andreas Herdin ■ PGES GmbH;

Thomas Lange ■ Numerica GmbH;

Prof. Dr. Lukas Möltner ■ MCI

15:00

Kaffeepause/Coffeebreak**Session 8****Emissionsminderung bei Ammoniakmotoren/Emission Reduction Strategies for Ammonia Engines**

Moderation: Karsten Stenzel ■ WTZ RoBlau gGmbH

15:30

22

Abgasnachbehandlung für NH₃ VerbrennungsmotorenExhaust gas aftertreatment for NH₃ combustion engines

Dr. D. Peitz*, Dr.-Ing. E. Eßer ■ Hug Engineering AG, Elsau, Switzerland;

F. Wenig, Dr.-Ing. S. Prehn ■ Universität Rostock, Rostock, Germany;

Dr. techn. R. Mehrabian Bardar ■ LEC GmbH, Graz, Austria

16:00

23

CO₂-freier und emissionsarmer Motorbetrieb durch dezentrale AmmoniakspaltungCO₂-free and low-emission engine operation through decentralized ammonia cracking

Christian Hermle*, Dr.-Ing. Gerhard Wannemacher ■ Ammonigy GmbH;

Dr.-Ing. Steven Wagner ■ TU Darmstadt;

Dr.-Ing. Konrad Krois ■ Heraeus Precious Metals

16:30

24

Minderung der Abgasemissionen an einem NH₃-Diesel-Einzylindermotor durch gekoppelte Optimierung von Verbrennungsstrategie und AbgasnachbehandlungAchieving low emissions in an NH₃-diesel single-cylinder engine through coupled optimization of combustion strategy and exhaust aftertreatment

M.Sc. Felix Wenig*, Dr.-Ing. Sascha Prehn, Prof. Dr.-Ing. Bert Buchholz ■

University of Rostock, Chair of Piston Machines and Internal Combustion Engines [LKV], Rostock/Germany;

Dr. Richt Sieteke van Alten, Dr. Alain Ristori ■ Umicore AG & Co. KG, Hanau/Germany

17:00

Schlusswort/Closing Remarks

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

WTZ

INNOVATIVE SCIENCE & RESEARCH



Was hat eine
Ketchup-Flasche
mit der **Entwicklung** von
Einspritzsystemen zu tun?

Karsten Stenzel

E-Mail: stenzel@wtz.de

Telefon: +49 (34901) 883 218

www.wtz.de



Wasserstoff

- Speicherung: gasförmig
- Speichermenge: 1200 kg
- Druckbereich: 10 bis 100 bar

Wasserstoff-Injektor-Prüfstand

Technische Spezifikation:

- Physik. Zustand: gasförmig (Wasserstoff)
- H₂ Druck: bis zu 70 bar
- H₂, max.: ca. 45 kg/h
- Gegendruck: 5 bis 20 bar

Design und Technik aus dem Hause WTZ Roßlau:

- Dauerlauferprobung von H₂-Einspritzkomponenten (Wasserstoff-Rezirkulation für bis zu 5 kg/h)
- Dichtheitsprüfung für Wasserstoff-Injektoren
- Messung von H₂-Einspritzraten (*in Planung)
- Ventilhubmessung (Laser-Doppler-Vibrometrie)



Methanol

- Speicherung: flüssig
- Speichermenge: 7.900 kg
- Druckbereich: 5 bis 1.000 bar

Methanol-Injektor-Prüfstand

Technische Spezifikation:

- Physik. Zustand: flüssig (Methanol)
- Methanoldruck: bis zu 1.000 bar
- \dot{V} MeOH, max.: 1.200 l/h
- Gegendruck: bis zu 50 bar

Design und Technik aus dem Hause WTZ Roßlau:

- Dauerlauferprobung von MeOH-Injektoren/-Pumpen (unbemannter Betrieb 24/7)
- Freiprogrammierbares Motorsteuergerät
- Variation verschiedener Parameter möglich
- Betrieb in inertisierter Zelle inkl. umfassendes Sicherheits- und Anlagenkonzept

Der Einsatz von grünen Kraftstoffen wie Wasserstoff, Ammoniak und Methanol verspricht eine nachhaltige Zukunft. Das Ganze hat jedoch einen gewaltigen Haken:

Keiner kann sagen, wann der Markthochlauf für die alternativen Kraftstoffe kommt. Die Frage nach dem Markthochlauf gleicht einem Schuss ins Dunkle oder eben dem Drücken auf eine Ketchup-Flasche – man weiß nie genau, was passiert.



Ammoniak

- Speicherung: flüssig
- Speichermenge: 8.000 kg
- Druckbereich: 10 bis 550 bar

Ammoniak-Einspritzsystem-Prüfstand

Technische Spezifikation:

- Physik. Zustand: flüssig
- Ammoniakdruck: bis zu 700 bar
- Ammoniaktemperatur: -33°C
- \dot{m} NH₃, max.: ca. 1.750 kg/h

Design und Technik aus dem Hause WTZ Roßlau:

- Dauerlauferprobung und Charakterisierung von HD-Ammoniak-Injektoren mit kryogenem NH₃
- Steuer-/ Sperrölsystem inkl. NH₃-Öl-Abscheidung
- Ausarbeitung und Umsetzung eines Ammoniak-Sicherheitskonzepts
- Prüfstand verfügbar ab Q4/2026



Erdgas

- Speicherung: gasförmig
- Versorgung: über lokales Gasnetz
- Druckbereich: bis 16 bar
- Verschiedenste Gaszusammensetzungen realisierbar

Gasinjektor-Prüfstand

Technische Spezifikation:

- Physik. Zustand: gasförmig (Stickstoff)
- N₂ Druck: bis zu 350 bar
- \dot{V} N₂, max.: 50 Nm³/h
- Gegendruck: bis zu 200 bar

Design und Technik aus dem Hause WTZ Roßlau:

- Messung von Einspritzraten (Injection analyzer)
- Hydraulische sowie elektrische Ansteuerung von Injektoren verfügbar
- Variation verschiedener Parameter möglich
- Entwicklung eines Sicherheits-, Regelungs- und Kontrollkonzepts



Die Rolle des Verbrennungsmotors im zukünftigen deutschen und europäischen Strommarkt **The role of the combustion engine in the future German and European power market**

*Dr. Matthias Auer**; *Christian Kunkel*;
Everllence SE

Der Ausbau der erneuerbaren Energien bedeutet gleichzeitig auch eine steigende Fluktuation der Strombereitstellung und ist mit fundamental geänderten Anforderungen an den zukünftigen Strommarkt verbunden. Aus diesem Grund werden Technologien zum Puffern von Dunkelflauten, sogenannte Regelenergien, zukünftig eine wichtige Rolle spielen. In Form von grünen chemischen Energieträgern wie Wasserstoff oder Ammoniak lassen sich große Energiemengen speichern und durch deren Rückverstromung in stationären Turbinen und Großmotoren können auch längere Dunkelflauten überbrückt werden. Verbrennungsmotoren haben kurze Hochfahrzeiten, kurze Synchronisierungsdauern und ein hohes Lastaufschaltpotenzial sowie sehr hohe Wirkungsgrade. Daher sind diese für die zukünftigen Herausforderungen im Strommarkt sehr gut geeignet.

Laut Bundesnetzagentur konnten aufgrund von negativen Börsenstrompreisen allein im Jahr 2024 9400 GWh regenerativ erzeugte Energien (-2% des ges. Strombedarfs) nicht in das deutsche Stromnetz eingespeist werden. Ein Teil dieser Stromüberschüsse ist für die Umwandlung in Wasserstoff und dessen Derivate prädestiniert und kann zum Puffern von Flauten verwendet werden. Zusätzlich werden Importe erneuerbarer Energieträger künftig einen wichtigen Baustein zur Dekarbonisierung des deutschen und europäischen Energiesystems darstellen. Während die Erzeugung, Speicherung und Rückverstromung von Wasserstoff innerhalb der EU Kostenvorteile gegenüber entsprechenden Prozessen mit Ammoniak aufweist, ermöglicht Ammoniak den wirtschaftlicheren Import von Energie aus Drittstaaten.

Somit stellen die beiden Energieträger Wasserstoff und Ammoniak zwei wichtige Säulen unserer zukünftigen Energieversorgung dar.

Der Weg zur Klimaneutralität ist ein Transitionsprozess und wird daher gleitend und nicht digital erfolgen. Daher werden der Kraftstoffflexibilität der Energiewandler und flexiblen Umrüstlösungen eine entscheidende Rolle zukommen.

Im Rahmen dieser Keynote möchten wir einen Überblick über die Relevanz der Kraftstoffe Wasserstoff und Ammoniak für die deutsche und europäische Stromerzeugung geben.

The expansion of renewable energy also means an increasing fluctuation in electricity supply and is associated with fundamentally changed requirements for the future electricity market. For this reason, technologies for buffering, so-called balancing energies, will play an important role in the future. Large amounts of energy can be stored in the form of green chemical energy carriers such as hydrogen or ammonia, and by converting them back into electricity in stationary turbines and large engines, even longer periods of low wind and solar power generation can be bridged. Combustion engines have short startup times, short synchronization durations, high load acceptance potential, and very high efficiencies. Therefore, they are very well suited to the future challenges of the electricity market.

According to the Bundesnetzagentur, negative electricity market prices alone prevented 9,400 GWh of renewable energy (-2% of total electricity demand) from being fed into the German grid in 2024. Part of this surplus electricity is ideal for conversion into hydrogen and its derivatives and can be used to buffer periods of low generation. Additionally, imports of renewable energy carriers will become an important component for decarbonizing the German and European energy systems in the future. While the production, storage, and reconversion of hydrogen within the EU offer cost advantages compared to equivalent processes with ammonia, ammonia enables more economical energy imports from third countries. Thus, the two energy carriers, hydrogen and ammonia, represent key pillars of our future energy supply.

The path to climate neutrality is a transitional process and will therefore occur gradually, not digitally. Thus, the fuel flexibility of energy converters and flexible retrofit solutions will play a crucial role.

In this keynote speech, we would like to provide an overview of the relevance of hydrogen and ammonia as fuels for electricity generation in Germany and Europe.

Ultraniedrige Emissionstechnologie adaptiert für den Wärtsilä 25NextDF **Ultra-low emission technology adapted for Wärtsilä 25NextDF**

Kenneth Hellmann, Tobias Krook, Saad Akram, Diego Delneri, Christer Hattar;
 Wärtsilä Finland Oy*

Vor dem Hintergrund zunehmender Umweltbedenken und behördlicher Anforderungen hat Wärtsilä seine Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen zur Entwicklung von Magergasmotoren mit Dual-Fuel-Technologie (NextDF) der nächsten Generation intensiviert. Lokale Emissionen und regulatorische Rahmenbedingungen spielen bei der Motorenentwicklung eine wesentliche Rolle. In den letzten Jahren hat sich der Schwerpunkt jedoch auf globale Emissionen verlagert, die durch die CO₂-Neutralität der Schifffahrtsindustrie bis oder um 2050 verursacht werden. Dieses ehrgeizige Ziel unterstützt eine starke Betonung der Dekarbonisierung und der langfristigen Nachhaltigkeit des Schifffahrtssektors.

Wärtsiläs Engagement für Innovation hat zu erheblichen Fortschritten bei der Bekämpfung von Methanemissionen und der betrieblichen Effizienz geführt, die maßgeblich zum CO₂-Fußabdruck beitragen. Das Ergebnis ist eine Reihe von Technologien, die eine deutliche Verbesserung der Emissionen im Vergleich zu den derzeit auf dem Markt erhältlichen Otto-Magergasmotoren ermöglichen. Der Wärtsilä 25DF-Motor stellt einen Durchbruch dar, da er der erste Magergasmotor in seinem Leistungsbereich ist, der einen durchschnittlichen Methan-Schlupfzyklus von weniger als 1 % ohne Verwendung einer Abgasnachbehandlung erreicht. Dies ist ein bedeutender Erfolg, insbesondere im Vergleich zum EU-Standardwert für Kraftstoffe von 3,1 %. Der Wärtsilä 25 NextDF-Motor erfüllt nicht nur die FuelEU-Vorgaben bis 2035, sondern ist auch von Natur aus für die Verwendung CO₂-neutraler Kraftstoffe ausgelegt, was eine langfristige Einhaltung und Nachhaltigkeit gewährleistet.

Der Wärtsilä 25 NextDF führt ein neuartiges Verbrennungskonzept ein, das auf Kälte ausgelegt ist und dadurch auch eine deutliche NO_x-Reduktion erreicht. Sein vollständiger und schneller Verbrennungsprozess reduziert die Methanemissionen und erhöht gleichzeitig die betriebliche Effizienz.

Der Konzeptnachweis wurde im letzten Jahrzehnt zunächst mit einem Wärtsilä 20-Forschungsmotor entwickelt und die Skalierbarkeit an verschiedenen Einzylindermotoren überprüft. Die Feldtests begannen im September 2022 auf dem RoPax-Schiff Aurora Botnia unter Verwendung eines Nachrüstsatzes. Der Wärtsilä 25 NextDF-Motor entspricht vollständig allen geltenden Normen und Zertifizierungen, einschließlich EIAPP-Emissionszertifizierung, FAT und Typgenehmigung. Der erste Wärtsilä 25 NextDF-Motor wurde im August 2025 der FAT unterzogen und wird Ende 2026 im Feld eingesetzt.

Die Fortschritte unterstreichen Wärtsiläs proaktive Rolle bei der Förderung technologischer Lösungen, die strenge Umweltstandards erfüllen und gleichzeitig Effizienz und Zuverlässigkeit im Schiffsbetrieb gewährleisten.

Abkürzungen: DF: Dual Fuel, EIAPP: Engine International Air Pollution Prevention, FAT: Factory Acceptance Tests

In the context of increasing environmental concerns and regulatory demands, Wärtsilä has intensified its R&D efforts to develop next-generation dual-fuel (NextDF) lean-burn gas engines. Local emissions and regulatory frameworks play a significant role in engine development. However, in recent years, the focus has shifted towards global emissions driven by the marine industry's CO₂ neutrality by or around 2050. This ambitious goal supports a strong emphasis on decarbonization and the long-term sustainability of the marine sector.

Wärtsilä's commitment to innovation has led to significant advancements in addressing methane emissions and operational efficiency, key contributors to the carbon footprint. The outcome is a set of technologies that provide a significant improvement in emissions compared to the Otto lean-burn gas engine currently available in the market.

The Wärtsilä 25DF engine represents a breakthrough, being the first lean-burn gas engine in its power range to achieve a methane slip cycle average of less than 1% without using exhaust gas aftertreatment. This is a significant achievement, particularly when benchmarked against the fuel EU default value of 3.1%. The Wärtsilä 25 NextDF engine not only meets the FuelEU regulatory targets until 2035 but is also inherently designed to accommodate carbon-neutral fuels, ensuring long-term compliance and sustainability. The Wärtsilä 25 NextDF introduces a novel combustion concept designed to be cold, thereby also achieving a significant NO_x reduction. Its complete and fast combustion process cuts methane emissions while simultaneously enhances the operational efficiency. The proof of concept was initially developed using a Wärtsilä 20 research engine during last decade, with scalability verified on various single-cylinder engines. Field testing began in September 2022 on the Aurora Botnia RoPax vessel, utilizing a retrofit kit. The Wärtsilä 25 NextDF engine is fully compliant with all applicable standards and certifications, including EIAPP emission certification, FAT, and type approval. The first Wärtsilä 25 NextDF engine underwent FAT in August 2025 and will be taken into use in field in the

* Speaker/Referent

Entwicklung und Validierung eines systematischen Ansatzes für die Optimierung von Kolbenring-Laufbuchsen-Systemen (PRL) und Brennverfahren **Development and Validation of a Systematic Approach for Piston-Ring-Liner (PRL) System and Combustion Recipe Optimization**

Dr.-Ing. Sebastian Ohler, Dr.-Ing. Max Magar, Andreas Maurer, Tobias Pletschke, Dr. Marco Schultze; Caterpillar Energy Solutions GmbH*

Im Streben nach optimierter Leistung unter Einhaltung der Emissionen von großen Gasmotoren spielt das System aus Kolbenringen und Laufbuchse (piston-ring-liner, PRL) eine wesentliche Rolle für die Verbrennung und das Verhalten des Motors. Die vorliegende Arbeit präsentiert eine Methodik zur Bewertung und Optimierung des PRL-Systems und seiner Wechselwirkung mit Verbrennungsprozessen. Der Ansatz basiert auf einem übergreifenden Modell aus Prozessen und Werkzeugen, wodurch eine systematische Analyse sowohl für Einzylinder- (SCTE) als auch für Mehrzylinder- (MCTE) Testmotoren ermöglicht wird. Die Methodik umfasst mehrere Stufen: Zunächst wurden die thermodynamischen Bedingungen und die Gasdynamik innerhalb des PRL-Systems in einem SCTE analysiert. Zur Erfassung der Bedingungen an mehreren Stellen im PRL-System wurden fortschrittliche Messinstrumente eingesetzt, darunter eine kontinuierliche Datenerfassung über eine Messschwinde. Die zweite Stufe umfasste eine PRL-Designstudie im SCTE. Im Rahmen der durchgeführten parametrischen Untersuchung wurde der Einfluss der Kolbenringgestaltung, Feuersteghöhe und Kolbenmantelgeometrien auf die Verbrennungsstabilität, das Blow-by-Gas und die Emissionen bewertet. In der dritten Phase wurden Verbrennungsphänomene unter produktionsrelevanten Bedingungen mit einer Hochgeschwindigkeits-Verbrennungsvisualisierung mit einem Bild pro Kurbelwinkelgrad untersucht. Zu den wichtigsten Schwerpunktbereichen gehörten das Verhalten des Ölfilms, die Flugbahnen glühender Partikel und abnormale Verbrennungseignisse. In der finalen Phase erfolgte die Validierung der aus den SCTE-Experimenten gewonnenen Erkenntnisse in einem MCTE, mit dem Ziel, die Konsistenz und Anwendbarkeit unter realen Motorbedingungen sicherzustellen. Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass der Einsatz spezieller Messgeräte die Identifizierung kritischer PRL-Systemzustände effektiv erleichtert und die Machbarkeit einer kontinuierlichen Datenerfassung für die Ringsteganalyse bestätigt hat. Der Einsatz optischer Geräte wurde erfolgreich durchgeführt und lieferte wertvolle Erkenntnisse, die in zukünftige Studien einfließen werden. Die am SCTE durchgeführten PRL-Studien ergaben signifikante Diskrepanzen in der Leistung zwischen den verschiedenen Konfigurationen, insbesondere in Bezug auf die Verbrennungsstabilität. Die gewonnenen Daten werden zur Entwicklung und Kalibrierung eines prädiktiven PRL-Simulationsmodells verwendet.

In the pursuit of enhanced performance and emissions control in large natural gas engines, the piston-ring-liner (PRL) system plays a critical role in shaping combustion dynamics and overall engine behavior. The present work sets out a structured methodology for evaluating and optimizing PRL system design features and their interaction with combustion processes. The approach is based on a comprehensive tool chain and process framework, thereby enabling systematic analysis and validation across both single-cylinder (SCTE) and multi-cylinder (MCTE) test engines. The methodology comprises several stages: In the first stage, thermodynamic conditions and gas dynamics inside the PRL system have been analyzed in a SCTE. Advanced instrumentation, including continuous data acquisition via grasshopper linkage, was employed to capture the conditions at multiple locations in the PRL system. The second stage covered a PRL Design Study in the SCTE. A parametric investigation was conducted to assess the effect of ring properties, top land heights, and piston skirt geometries on combustion stability, blow-by, and emissions. In the third stage, combustion phenomena have been studied under production-relevant conditions applying high-speed combustion visualization at one frame per crank angle degree (CAD). Key focus areas included the behavior of the oil film, the trajectories of glowing particles, and abnormal combustion events. In the final stage, trends and insights derived from SCTE experiments were validated in an MCTE setup, ensuring consistency and applicability under real-world engine conditions. This work has demonstrated that the implementation of specialized measurement equipment effectively facilitated the identification of critical PRL system conditions, validating the feasibility of continuous data acquisition for ring land analysis. The deployment of optical equipment was successfully executed, yielding valuable insights that will inform future studies. The PRL design studies conducted on the SCTE revealed significant performance differences across configurations, particularly in terms of combustion stability. Subsequent studies will center on augmenting the high-speed visualization capacities with an enhanced field of view capturing processes occurring within the piston bowl. The data that has been generated will be used to develop and calibrate a predictive PRL simulation model.

Dual-Fuel-Diesel-Ammoniak-Verbrennung: Machbarkeit und Herausforderungen der flüssigen Ammoniak-Saugrohreinspritzung
Dual Fuel Diesel-Ammonia Combustion: Feasibility and Challenges of Liquid Ammonia Port-Fuel Injection

Gilbert Heitz, Dr.-Ing. Salvatore Collura, Martin Amann;
 Liebherr-Components Colmar SAS;
 Phillip Thorau, Leon Beckmann, Frederick Schirrmeister;
 WTZ Motorenteknik GmbH*

Liebherr verpflichtet sich als Hersteller von Verbrennungsmotoren zu Nachhaltigkeit und zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen. Im Rahmen der reThink- & reFuel-Initiative, einem offenen Ansatz für Antriebstechnologien, werden derzeit mehrere Entwicklungswege evaluiert.

Diese Studie untersucht, wie Ammoniak in das bestehende Liebherr-Dieselmotorenportfolio integriert werden kann. Die gewählte technische Lösung basiert auf einer Saugrohreinspritzung von flüssigem Ammoniak. Die Nutzung von flüssigem Ammoniak ermöglicht die Maximierung vorhandener Tankvolumina, legitimiert mobile Anwendungen und nutzt bestehende Infrastrukturen. Die Saugrohreinspritzung stellt den kürzesten Entwicklungsweg hin zu einer Dual-Fuel-Motorplattform dar.

Die Untersuchungen wurden an einem Einzylinder-Forschungsmotor durchgeführt, was effiziente Hardware- und Softwareanpassungen sowie hohe Flexibilität bei der Variation zentraler Parameter ermöglichte. Modellierungen unterstützten die experimentelle Arbeit, indem sie die Entwicklung steuerten, aufgetretene Probleme bestätigten und technische Bewertungen erweiterten - insbesondere hinsichtlich der Ammoniakverdampfung und der Gemischbildung.

Die evidenzbasierten Ergebnisse ermöglichen ein besseres Verständnis der Integration der Saugrohreinspritzung. Ein erheblicher Teil der Zeit wurde für die Bewertung der Verbrennungsstabilität, der Motorsteuerbarkeit und der Systemrobustheit aufgewendet. Diese Arbeit ermöglichte zudem Erkenntnisse zur Motorhaltbarkeit, einer der größten Herausforderungen im Zusammenhang mit Ammoniak. Abschließend vertieft die Machbarkeitsstudie das Wissen über Emissionen und definiert Anforderungen an die Abgasnachbehandlung. Dadurch können Motoren von einem Betrieb mit 100 % fossilen Kraftstoffen zu Dual-Fuel-Konzepten weiterentwickelt werden, was ihre Emissionen deutlich reduziert.

Liebherr, as an internal combustion engine manufacturer, is committed to sustainability and greenhouse gas emissions reduction. Through its reThink & reFuel initiative, an open approach for powertrain technology, multiple development paths are presently undergoing evaluation.

This paper explores how ammonia can be integrated within the existing Liebherr diesel engine portfolio. The selected technical solution relies on a liquid port-fuel injection of anhydrous ammonia. This maximizes existing tank volumes, legitimizes mobile use and leverages existing infrastructure. Port-fuel injection is the shortest pathway towards a dual fuel engine platform.

The investigations were conducted on a single-cylinder research engine, allowing efficient hardware and software changes, and full flexibility for varying key parameters. Modeling supported the experimental study by guiding development, confirming observed issues and extending technical assessments, especially regarding ammonia evaporation and mixing with air.

The evidence-based findings give a better understanding of the port-fuel injection integration. Extensive time was spent assessing combustion stability, engine controllability and system robustness. This phase also revealed insights into engine durability, a known challenge of ammonia use. Finally, the feasibility evaluation deepens knowledge on engine-out emissions and conceptualize exhaust aftertreatment prerequisites, thereby enabling engines to evolve from 100% fossil fuel to dual fuel mode and to significantly reduce their emissions.

Untersuchung von Ammoniakbrennverfahren und darauf basierende Ableitung eines grundsätzlichen Motorkonzepts für 4-Takt Mittelschnellläufer
Investigation on Ammonia Combustion and Derivation of a Basic Engine Concept for Four-Stroke Medium-Speed Applications

Max Jungemann*, Christian Kunkel, Dr.-Ing. Valentin Scharl;
 Everllence SE;
 Dr.-Ing. Kay Mahler, Robert Meinert;
 WTZ Roßlau gGmbH ;
 Prof. Dr.-Ing. Bert Buchholz;
 Universität Rostock

Die Dekarbonisierung der Schifffahrt rückt die Verwendung erneuerbarer Kraftstoffe in Großmotoren in den Fokus. Im Vergleich zu anderen CO₂-neutralen Kraftstoffen bietet Ammoniak Vorteile in Bezug auf die Kraftstoffkosten, die Speicherefähigkeit und die Infrastruktur zur Herstellung und Distribution. Bei der motorischen Nutzung von Ammoniak stellt die niedrige Reaktivität Herausforderungen an Brennverfahren und fordert Maßnahmen zur Entflammung und Beschleunigung der Verbrennung. Pilotierte Brennverfahren bringen einen zweiten, reaktiven Kraftstoff in den Brennraum ein, welcher eine hohe Zündenergie bereitstellt und als Beschleuniger (Promoter) genutzt werden kann. Hierdurch lässt sich auch ein Diesel Back-up Betrieb realisieren, welcher in maritimen Anwendungen erforderlich ist.

Everllence SE entwickelt im Rahmen des öffentlich geförderten Projekts AmmoniaMot2 ein Medium-Speed Ammoniak-Dual-Fuel-Motorkonzept. Dazu werden in Zusammenarbeit mit der WTZ Roßlau gGmbH diffusive und vorgemischte Brennverfahren an Einzylinder-Forschungsmotoren untersucht.

Der Beitrag präsentiert Motorergebnisse aus Einzylinderuntersuchungen mit vorgemischter Verbrennung und analysiert den Einfluss des Brennverfahrens auf ein mögliches Gesamtmotorkonzept. Zunächst werden die gemessenen Betriebspunkte hinsichtlich Performance und Schadstoffemissionen analysiert. Anschließend erfolgen Druckverlaufsanalysen der Betriebspunkte mittels OD/1D-Simulationen zur Berechnung der Brennverläufe. Auf Basis dieser Daten wird ein Mehrzylinder-Vollmotormodell erstellt, das den Betrieb der Ladegruppe sowie die Eintrittsbedingungen für ein Abgasnachbehandlungssystem simuliert. Zur Optimierung werden verschiedene Steuerzeiten und der Einsatz einer Ladeluftumblaspung untersucht. Die Ergebnisse belegen, dass durch den Einsatz von Ammoniak eine ca. 90% Reduktion der THG-Emissionen im Vergleich zum Dieselmotor erreicht werden kann. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass die Anpassung der Ventilsteuerzeiten eine Minimierung des Ammoniakschlupfs ermöglicht. Mithilfe der Ladeluftumblaspung kann der Verdichtermassenstrom und damit der Pumpgrenzabstand erhöht werden, um den Motorbetrieb mit Ammoniak und Diesel mit der bestehenden Ladegruppe zu realisieren. Zusätzlich wird die Abgastemperatur durch die Luftumblaspung gesenkt und die Temperaturgrenze des Abgassystems eingehalten. Die Abgaszusammensetzung erlaubt den Einsatz eines konventionellen SCR-Systems, ohne dass ein zusätzlicher Ammoniak-Oxidat erforderlich ist.

The decarbonization of the shipping industry focuses on renewable fuels for large-bore engines. Ammonia is a promising candidate and offers several advantages, like lower fuel costs, better storage properties, and an established production infrastructure when compared with other CO₂-neutral fuels like hydrogen.

When using ammonia in internal combustion engines, its low reactivity presents challenges for the combustion process and requires measures to ignite and accelerate combustion. Pilot-ignited combustion processes introduce a second, more reactive fuel into the combustion chamber, providing high ignition energy and acting as promoter. This also allows for back-up operation with DMA or other Diesel-like fuels, which is a requirement in maritime applications.

Everllence SE is developing a medium-speed ammonia dual-fuel engine concept in the framework of the publicly funded Ammonia-Mot2 project. To this end, diffusive and premixed combustion processes are being investigated on single-cylinder research engines in collaboration with WTZ Roßlau gGmbH .

The paper presents results from the premixed single-cylinder engine tests and analyzes their impact on a potential engine concept. First, the measured operating points are evaluated with respect to performance and pollutant emissions. Subsequently, pressure trace analyses of the operating points are carried out using OD/1D simulations to calculate the heat release rates. Based on this data, a multi-cylinder full-engine model is built that simulates the operation of the turbocharger as well as the boundary conditions

* Speaker/Referent

Ammoniakverbrennung der nächsten Generation: Herausforderungen und Lösungsansätze **Next-Gen Ammonia Combustion: Challenges and Solutions**

Dr. techn. Maximilian Malin, Dr. techn. Marcel Lackner;*

LEC GmbH;

Antony Nyongesa;

Technische Universität Graz;

Prof. Dr. Nicole Wermuth;

Technische Universität Graz/LEC GmbH

In den letzten Jahren hat sich Ammoniak als vielversprechender, kohlenstofffreier Energieträger für den Einsatz im Großmotorenbereich für die zukünftige stationäre Energieerzeugung herausgestellt, mit dem Ziel, GHG-Emissionen signifikant zu reduzieren. Die Herausforderungen wie Toxizität, geringe laminare Flammgeschwindigkeit, hohe Zündenergie, Entstehung neuartiger Emissionen sowie Materialverträglichkeit mit Motorkomponenten gelten mittlerweile als technisch überwindbar. Laufende Untersuchungen im Bereich der Ammoniakverbrennung haben gezeigt, dass Ammoniak gegenüber anderen alternativen Kraftstoffen wie Wasserstoff Vorteile im Hinblick auf die Klopfbeständigkeit und Robustheit bei Verbrennungsanomalien aufweist. Um die Vorteile von Ammoniak nutzen zu können und den Betriebsbereich sowie die Stabilität des Verbrennungsprozesses zu steigern, sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Um dieses Potenzial weiter zu erschließen, wird in diesem Artikel ein funkengezündetes Vorkammerkonzept für einen schnelllaufenden Großmotor untersucht. Das Ziel dieser Untersuchung besteht darin, vergleichbare Verbrennungseigenschaften wie bei heutigen Gasmotoren zu erzielen. Hierzu wurden verschiedene Strategien zur Beimischung von Wasserstoff in das Ansaugsystem untersucht, um die Zündwilligkeit und die laminare Flammgeschwindigkeit des Gemisches zu erhöhen. Mittels 3D-CFD-Simulationen wurden ein Konzept mit zentralem Gasmischer und ein Konzept mit Saugrohr-Einblasung hinsichtlich der Gemischbildung optimiert und anschließend am Einzylinder-Forschungsmotor getestet. Bei den experimentellen Untersuchungen wurde der Schwerpunkt auf die Verbrennungseigenschaften, mögliche Wasserstoffsubstitutionsraten, die Emissionscharakteristiken im Abgas und im Kurbelgehäuse sowie das Betriebskennfeld von Leerlauf bis zur Vollast gelegt. Abschließend werden basierend auf den Messergebnissen und den Simulationsergebnissen die Herausforderungen und mögliche Lösungsansätze der der Ammoniakverbrennung diskutiert.

In recent years, ammonia has emerged as a promising candidate for use as a carbon-free energy carrier in large-bore internal combustion engines in the power generation sector, with the aim of reducing GHG emissions. Initial challenges associated with ammonia, such as toxicity, low laminar flame speed, high minimum ignition energy, formation of new exhaust gas emissions and corrosiveness towards engine components, are no longer insurmountable. Previous studies on ammonia-diesel pilot and ammonia-spark-ignition combustion concepts have demonstrated that ammonia offers advantages to other alternative fuels, such as hydrogen, in terms of its higher resistance to knocking and pre-ignition. Further investigation is required to exploit these advantages to extend the operable range, enhance combustion stability and optimize the combustion efficiency.

This article presents the evaluation of a spark-ignition ammonia combustion concept for a high-speed, large-bore engine using a pre-chamber ignition system. In order to achieve combustion characteristics comparable to those of natural gas engines, various strategies for adding hydrogen to the engine intake system were explored in order to reduce the minimum ignition energy and to enhance the burning velocity. 3D-CFD simulations were employed to analyze fuel-air mixing behavior, guiding the design of two specific fuel admission strategies: a central gas mixing concept and a port fuel injection system. Both strategies were investigated experimentally on a single-cylinder research engine, with a focus on combustion performance, hydrogen substitution ratios, exhaust gas emission behavior and load capability from idle to high load. Based on the measurement and simulation results, the article concludes with a comparison of operating parameters at high and low loads, and a characterization of exhaust and crankcase emissions.



ENERGY DRINK

METHANOL

ENERGY DRINK

AMMONIAK

ENERGY DRINK

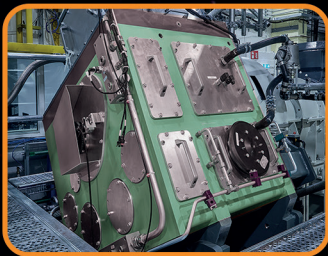
WASSERSTOFF

ENERGY DRINK

ERDGAS

Infrastruktur und
Prüfstände im WTZ

Kraftsoffe der Zukunft auf dem Prüfstand

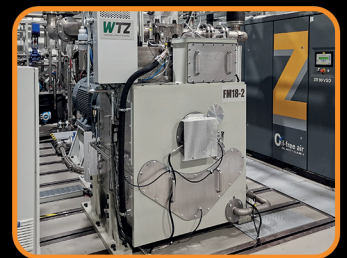


Einzyylinder- und Vollmotorenprüfstand für Leistungen bis 1,2 MW

Abmessung Prüfstandsfundament:	2,9 x 12 m
Max. Bremsleistung:	1.200 kW
Max. Schleppleistung:	500 kW
Verfügbare Kraftstoffe:	Wasserstoff, Methanol, Ammoniak, Erdgas, Diesel, Propan
Sonderausstattung Prüfstand:	Ladeluftverdichter [10 bar / 2200 kg/h], Methanzahlkonditionierung

Moderner Einzyylinder- und Vollmotorenprüfstand mit umfangreicher Kraftstoffperipherie

Abmessung Prüfstandsfundament:	3,2 x 7,0 m
Max. Bremsleistung:	315 kW
Max. Schleppleistung:	315 kW
Verfügbare Kraftstoffe:	Wasserstoff, Methanol, Ammoniak, Erdgas, Diesel
Sonderausstattung Prüfstand:	Prüfstandsklimatisierung, Ladeluftheizer und -trockner



Großer Vollmotorenprüfstand für Schnellläufer mit hoher Leistung

Abmessung Prüfstandsfundament:	2,9 x 12 m
Max. Bremsleistung:	4.100 kW
Max. Schleppleistung:	500 kW
Verfügbare Kraftstoffe:	Wasserstoff, Methanol, Ammoniak, Erdgas, Diesel, Propan
Sonderausstattung Prüfstand:	Methanzahlkonditionierung

Moderner Einzyylinder- und Vollmotorenprüfstand mit umfangreicher Kraftstoffperipherie

Abmessung Prüfstandsfundament:	3,2 x 7,0 m
Max. Bremsleistung:	400 kW
Max. Schleppleistung:	400 kW
Verfügbare Kraftstoffe:	Wasserstoff, Methanol, Ammoniak, Erdgas, Diesel, Propan
Sonderausstattung Prüfstand:	Prüfstandsklimatisierung, Ladeluftheizer und -trockner

Vollmotorenprüfstand für Industriemotoren in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen

Abmessung Prüfstandsfundament:	1,5 x 2 m
Max. Bremsleistung:	700 kW
Max. Schleppleistung:	-
Verfügbare Kraftstoffe:	Wasserstoff, Erdgas, Diesel

Vollmotorenprüfstand für Industriemotoren in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen

Abmessung Prüfstandsfundament:	1,5 x 2 m
Max. Bremsleistung:	200 kW
Max. Schleppleistung:	200 kW
Verfügbare Kraftstoffe:	Wasserstoff, Erdgas, Diesel

Einzyylinderprüfstand für Mittelschnellläufer mit Bohrungsdurchmesser ≥ 300 mm

Abmessung Prüfstandsfundament:	2,9 x 6,8 m
Max. Bremsleistung:	1.000 kW
Max. Schleppleistung:	500 kW
Verfügbare Kraftstoffe:	Wasserstoff, Ammoniak, Erdgas, Diesel, Propan
Sonderausstattung Prüfstand:	Ladeluftverdichter [8,5 bar / 5500 kg/h], Methanzahlkonditionierung

Großmotorenprüfstand: Einzyylinder- und Vollmotorenprüfstand für Mittelschnellläufer mit Bohrungsdurchmesser ≥ 300 mm

Abmessung Prüfstandsfundament:	10 m x 22 m
Max. Bremsleistung:	4000 kW
Max. Schleppleistung:	400 kW
Verfügbare Kraftstoffe:	Wasserstoff, Methanol, Ammoniak, Erdgas, Diesel
Sonderausstattung Prüfstand:	Ladeluftverdichter [8,5 bar / 5500 kg/h], Anlassluftsystem

***Dekarbonisierung der Binnenschifffahrt durch Ammoniak-Zündstrategien und
Brennverfahrensauslegung***
***Decarbonisation of inland waterway vessels using ammonia-ignition strategies and
combustion process development***

Annalena Braun, Dr. Heiko Kubach;
Karlsruher Institut für Technologie;
Prof. Dr.-Ing. Hinrich Mohr;
GasKraft Engineering;
Torsten Baufeld;
Liebherr Machines Bulle SA;
Dr.-Ing. Sascha Prehn;
Universität Rostock*

Ammoniak gilt in der Hochseeschifffahrt als vielversprechender Kraftstoff für die Dekarbonisierung. Insofern liegt es nahe, seinen Einsatz auch für die Binnenschifffahrt zu prüfen. Grüner Wasserstoff wird zukünftig in Form von grünem Ammoniak über Seeschiffe importiert und anschließend lokal verteilt, wofür sich die Binnenschifffahrt besonders eignet.

Im CAMPFIRE-Partnersbündnis wird deshalb die Entwicklung eines Antriebssystems für Binnenschiffe verfolgt, das mit regenerativ erzeugtem Ammoniak betrieben wird. Zentrale Komponente ist ein auf hohe Wirkungsgrade und hohe Leistung ausgelegter Motor, der für die besonderen Eigenschaften von Ammoniak angepasst wird.

Zur Entwicklung und Bewertung des neuartigen Brennverfahrens wurde am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ein Einzylindermotor aufgebaut, der die Geometrie des geplanten Vollmotors abbildet und als Plattform für die systematische Brennverfahrensauslegung dient. Für den Einsatz in der Schifffahrt wird eine flüssige Ammoniak einspritzung eingesetzt, die eine stabile und effiziente Kraftstoffbereitstellung gewährleistet. Die bisherigen Versuche zeigen, dass für eine effiziente Entflammung und Verbrennung von Ammoniak ein hoher initialer Energieeintrag erforderlich ist, der durch Maßnahmen wie eine hohe Zündenergie und ein hohes Verdichtungsverhältnis unterstützt werden kann. Deshalb liegt ein Schwerpunkt der aktuellen Arbeiten auf der Analyse verschiedener Zündstrategien bei hohem Verdichtungsverhältnis. Hierfür wurden ein konventionelles Zündsystem, eine Hochleistungsfunkenzündung, eine Vorkammerzündung sowie die Diesel-Pilotzündung untersucht. Die unterschiedlichen Ansätze werden hinsichtlich Zündenergiebedarf, Verbrennungsstabilität, Wirkungsgrad und Emissionen (NH_3 , NO_x , N_2O , CO , H_2) bewertet. Die Ergebnisse zeigen deutlich Unterschiede zwischen Funken- und Dieselizezündung, sowohl im Brennverlauf als auch im Emissionsverhalten. Während Funkenzündungen einen vollständig kohlenstofffreien Betrieb ermöglichen, bietet die Dieselizezündung Vorteile durch hohen Energieeintrag.

Auf Basis dieser systematischen Untersuchungen werden die verschiedenen Zündstrategien gegenübergestellt und ihre Eignung für einen maritimen Einsatz diskutiert. Abschließend wird ein Ausblick auf die laufenden Arbeiten am containerisierten Vollmotorenaggregat gegeben, das aktuell aufgebaut wird und in naher Zukunft für umfangreiche Testkampagnen zur Verfügung stehen wird.

Ammonia is considered a promising fuel for decarbonization in ocean shipping. In this respect, it makes sense to also examine its use in inland waterway transport. In the future, green hydrogen will be imported in the form of green ammonia via ocean-going vessels and then distributed locally, for which inland waterway transport is particularly well suited.

The CAMPFIRE partner alliance is therefore pursuing the development of a propulsion system for inland waterway vessels that runs on renewably produced ammonia. The central component is an engine designed for high efficiency and high performance, which is adapted to the special properties of ammonia.

To develop and evaluate the novel combustion process, a single-cylinder engine was built at the Karlsruhe Institute of Technology (KIT) that replicates the geometry of the planned multi-cylinder engine and serves as a platform for the systematic design of the combustion process development. For use in shipping, liquid ammonia injection is used to ensure a stable and efficient fuel supply. Previous tests show that efficient ignition and combustion of ammonia requires a high initial energy input, which can be supported by measures such as high ignition energy and a high compression ratio. Therefore, current work focuses on analyzing different ignition strategies at high compression ratios. To this end, a conventional ignition system, high-performance spark ignition, prechamber ignition, and diesel pilot ignition were investigated. The different approaches are evaluated in terms of ignition energy

* Speaker/Referent

requirements, combustion stability, efficiency, and emissions (NH_3 , NO_x , N_2O , CO , H_2).

The results show clear differences between spark and diesel ignition, both in terms of combustion behavior and emissions. While spark ignition enables completely carbon-free operation, diesel ignition offers advantages due to its high energy input. Based on these systematic investigations, the various ignition strategies are compared and their suitability for maritime use is discussed. Finally, an outlook is given on the ongoing work on the containerized full engine unit, which is currently being built and will be available for extensive test campaigns in the near future.

Hocheffizientes Dual-Fuel NH₃-Diesel Brennverfahren als schnellen Einstieg in einen CO₂-reduzierten Antrieb in Marineanwendungen
Highly Efficient Dual-Fuel NH₃-Diesel Combustion System as a Fast Entry into a CO₂-Reduced Propulsion System for Marine Applications

Dr.-Ing. Aleksandar Boberic*, Thomas Körfer, Dr.-Ing. Jaykumar Yadav;
 FEV Europe GmbH;
 Zhengling Li, Tobias Tietz;
 TME RWTH Aachen

Die kosteneffiziente Dekarbonisierung von GenSet- und Marineantriebssystemen beschreibt eine erhebliche technische Herausforderung für die Industrie. Eine aktuell vielversprechend bewertete Option ist in diesem Zusammenhang die Substitution von Dieselmotorkraftstoff durch kohlenstofffreies Ammoniak (NH₃), das eine vergleichsweise einfache Speicherbarkeit bietet. In bestehenden Motorapplikationen kann dies mit moderatem Aufwand durch eine zusätzliche NH₃-Saugrohreingassung realisiert werden. Dabei fungiert NH₃ als Hauptkraftstoff, während eine geringe Pilotmenge Diesel die sichere Entflammung ermöglicht. Diese Dual-Fuel Strategie ermöglicht eine signifikante Dekarbonisierung mit minimalen Anpassungen am Motorlayout.

Ein entsprechendes NH₃-Diesel Dual-Fuel Brennverfahren wurde hierzu bei der FEV an einem modernen 2,1 L Einzylinder-Forschungsmotor mit einer Diesel-typischen Brennraumgeometrie mit einem erhöhtem Verdichtungsverhältnis von 23:1 experimentell untersucht. Die erzielten Ergebnisse bei Nennleistung haben gezeigt, dass ein stabiler und effizienter Betrieb mit mehr als 98 % NH₃ Energieanteil realisierbar ist. Dabei wurden indizierte Wirkungsgrade von nahezu 50 % erreicht. Die Hauptemissionen im Dual-Fuel Betrieb umfassen im Wesentlichen unverbranntes NH₃, überwiegend kraftstoffbedingtes NO_x sowie auch N₂O, das aufgrund seines hohen Treibhauspotenzials besondere Relevanz besitzt.

Auf Basis der experimentellen Untersuchungen wurde ein 3D CFD-Simulationsmodell kalibriert, das die im Brennraum ablaufenden Prozesse mit hoher Genauigkeit abbildet. In Abgrenzung zum Retrofit-Konzept wurde dieses Modell im nächsten Schritt zur Optimierung von Brennraum- und Injektorgeometrie sowie der Ladungsbewegung eingesetzt. Mit dem optimierten Brennverfahren wurden nachfolgend Potentiale zur weiteren Wirkungsgradsteigerung sowie zur Emissionsreduktion untersucht.

Das angewandte Retrofit-System ermöglicht den weitergehenden ökonomischen Betrieb bestehender ausgereifter Motorplattformen mit deutlich reduzierten CO₂-Emissionen ohne tiefgreifende Hardwareänderungen. Es stellt somit eine kurzfristig realisierbare Lösung zur Steigerung des Einsatzes klimaneutraler Kraftstoffe in maritimen Anwendungen und GenSets dar. Darüber hinaus lassen sich durch dedizierte Hardware-Anpassungen zusätzliche Verbesserungen in Effizienz und Emissionsverhalten erschließen und mit überschaubarem Aufwand in bestehende Anwendungen überführen.

The cost-efficient decarbonization of GenSet and marine propulsion systems represents a significant technical challenge for the industry. A currently highly promising option in this context is the substitution of diesel fuel with carbon-free ammonia (NH₃), which offers comparatively simple storability. In existing engine applications, this can be implemented with moderate effort by means of additional NH₃ port fuel injection. In this setup, NH₃ serves as the main fuel, while a small pilot amount of diesel ensures reliable ignition. This dual-fuel strategy enables significant decarbonization with minimal modifications to the engine layout.

A corresponding NH₃-diesel dual-fuel combustion process was experimentally investigated at FEV on a modern 2.1 L single-cylinder research engine with a diesel-typical combustion chamber geometry and an increased compression ratio of 23:1. The results obtained at rated power demonstrated that stable and efficient operation with more than 98% NH₃ energy share is feasible, with indicated efficiencies reaching nearly 50%. The main emissions in dual-fuel operation include unburned NH₃, predominantly fuel-derived NO_x, as well as N₂O, which is of particular relevance due to its high greenhouse potential.

Based on the experimental investigations, a 3D CFD simulation model was calibrated, providing a highly accurate representation of the in-cylinder processes. In contrast to the retrofit concept, this model was subsequently used to optimize combustion chamber and injector geometry as well as charge motion. With the optimized combustion process, potentials for further efficiency improvements and emission reductions are investigated.

The applied retrofit system enables the continued economic operation of established, mature engine platforms with significantly reduced CO₂ emissions, without requiring deep hardware modifications. It therefore represents a short-term feasible solution to increase the use of climate-neutral fuels in marine applications and GenSets. Furthermore, dedicated hardware adaptations allow for additional improvements in efficiency and emission behavior, which can be transferred to existing applications with manageable effort.

* Speaker/Referent

Thermodynamische Eigenschaften und Emissionsverhalten der Ammoniakverbrennung bei verschiedenen Einspritzkonzepten für Dieselmotoren
Thermodynamic and emission characteristics of ammonia combustion in different injection concepts for high-speed diesel engines

Phillip Thorau*, Dr.-Ing. Kay Mahler;
 WTZ Roßlau gGmbH

Die Bewältigung des globalen Klimawandels erfordert eine substanzielle Reduktion anthropogener Treibhausgasemissionen, insbesondere in Sektoren mit begrenzten Dekarbonisierungsoptionen wie der maritimen Schifffahrt und stationäre Energierzeugung. Vor diesem Hintergrund rückt Ammoniak (NH_3) als kohlenstofffreier Energieträger zunehmend in den Fokus der Forschung, da er ein hohes Potenzial für den Einsatz in Dual-Fuel-Großmotoren aufweist. Getrieben durch verschärfte regulatorische Vorgaben zur Emissionsminderung verfolgt die Schifffahrtsindustrie verstärkt die Entwicklung alternativer Antriebskonzepte, wobei Ammoniak neben Methanol als Schlüsselbrennstoff für eine langfristig kohlenstoffarme Energieversorgung gilt.

Der Einsatz von Ammoniak in Verbrennungsmotoren ist jedoch mit spezifischen verbrennungstechnischen und emissionsrelevanten Herausforderungen verbunden. Charakteristische Eigenschaften wie eine hohe Mindestzündenergie und eine geringe laminare Flammgeschwindigkeit können zu unvollständiger Verbrennung und erhöhtem NH_3 -Schlupf im Abgas führen. Darüber hinaus begünstigt der im Brennstoff gebundene Stickstoff die Bildung von Stickoxiden (NO_x) sowie von Lachgas (N_2O), wodurch ein ausgeprägter Zielkonflikt zwischen der Minimierung von NO_x -Emissionen und der Reduktion unverbrannten Ammoniaks entsteht. Dieser Zielkonflikt macht sowohl eine optimierte Verbrennungsführung als auch angepasste Abgasnachbehandlungskonzepte erforderlich.

Ziel dieser Arbeit ist eine umfassende Analyse der Thermodynamik und der Schadstoffentstehung im NH_3 -Dual-Fuel-Betrieb unter Verwendung von flüssigen und gasförmigen Port-Fuel-Injection-(PFI)-Konzepten. Hierzu werden zentrale Einflussgrößen auf den Verbrennungsprozess, darunter das Verdichtungsverhältnis, die Ladungsbewegung, die Kolbengeometrie sowie die Auslegung der Dieselpilotstrategie, systematisch untersucht. Die Ergebnisse sollen zu einem vertieften Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Einspritzkonzept, Motorparametern und Emissionsbildung beitragen und eine fundierte Grundlage für die Auslegung emissionsarmer Ammoniak-Großmotoren liefern.

Addressing global climate change requires a substantial reduction in anthropogenic greenhouse gas emissions, particularly in sectors with limited decarbonization options such as maritime shipping and stationary power generation. Against this background, ammonia (NH_3) is increasingly becoming the focus of research as a carbon-free energy carrier, as it demonstrates high potential for use in large dual-fuel engines. Driven by stricter regulatory requirements for emission reduction, the shipping industry is actively pursuing the development of alternative propulsion concepts, with ammonia, alongside methanol, considered a key fuel for a long-term low-carbon energy supply.

However, the use of ammonia in internal combustion engines is associated with specific challenges regarding combustion technology and emissions. Characteristic properties such as high minimum ignition energy and low laminar flame speed can lead to incomplete combustion and increased NH_3 slip in the exhaust gas. Furthermore, the fuel-bound nitrogen promotes the formation of nitrogen oxides (NO_x) and nitrous oxide (N_2O), creating a pronounced conflict between minimizing NO_x emissions and reducing unburned ammonia. This conflict necessitates both optimized combustion control and adapted exhaust gas aftertreatment concepts. The aim of this work is a comprehensive analysis of thermodynamics and pollutant formation in NH_3 dual-fuel operation using liquid and gaseous Port Fuel Injection (PFI) concepts. To this end, key parameters influencing the combustion process—including compression ratio, charge motion, piston geometry, and the design of the diesel pilot strategy—are systematically investigated. The results are intended to contribute to a deeper understanding of the interactions between injection concept, engine parameters, and emission formation, providing a sound basis for the design of low-emission large ammonia engines.

Vorkammerzündung als Wegbereiter für die funkenunterstützte Kompressionszündung von erneuerbaren Kraftstoffen

Turbulent Jet Ignition as an Enabler for Spark-Assisted Compression Ignition of Renewable Fuels

*Dr. sc. Michelangelo Balmelli, Patrick Albrecht, Prof. Dr. Kai Herrmann;
University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland (FHNW)*

Um einen zuverlässigen und effizienten Motorbetrieb mit synthetischen Kraftstoffen voranzutreiben, wird die funkenunterstützte Kompressionszündung (Spark assisted compression ignition, SACI) untersucht. SACI wird mittels optischer Analysen und hochauflösender Druckmesstechnik in einer optischen Konstant-Volumen-Kammer (Optical Pre-Chamber, OPC) untersucht, wobei die Vorkammerzündung als Schlüsselement für eine robuste Steuerung der Selbstzündung angewendet wird. Die Messungen umfassen Hochgeschwindigkeits-Schlieraufnahmen in der Vor- und Hauptkammer, sowie zusätzlich OH*-Chemilumineszenz in der Hauptkammer. Darauf basierend wird der Flammenübergang von der Vor- zur Hauptkammer und die anschließende partielle Selbstzündung der Hauptladung untersucht. Die Konstant-Volumen-Konfiguration führt zu initial hohen Druckverhältnissen und erhöht die Temperatur in der unverbrannten Zone, während der durch die Vorkammer eingebrachte Zündstrahl eine hohe Zündenergie und Turbulenz in die Hauptkammer bringt. Diese Eigenschaften machen die OPC besonders gut geeignet für die Untersuchung des SACI-Brennverfahrens. Es werden jeweils Kraftstoffe mit hoher (Wasserstoff, H₂), mittlerer (Methan, CH₄) und geringer Reaktivität (Ammoniak, NH₃) verglichen. Für H₂ und CH₄ kann eine Selbstzündung in der Vorkammer mit steigendem globalem Luftverhältnis (λ) beobachtet werden. Dieses liegt für entsprechende Gemische mit H₂ bei $\lambda = 2.9$ und für CH₄ bei $\lambda = 1.8$. Beide Kraftstoffe zeigen eine ähnliche Charakteristik: Flammenlöschung am Düsenaustritt der Vorkammer, Wiederentzündung in Wandnähe gegenüber dem Düsenaustritt und anschließende Flammenausbreitung stromaufwärts mit Selbstzündung der restlichen vorgemischten Ladung im oberen Bereich der Hauptkammer. Durch die eng liegenden Flammbarkeitsgrenzen und der höheren erforderlichen Zündenergie von NH₃ begrenzt sich der Flammenübergang von der Vor- zur Hauptkammer auf nahezu stöchiometrische Gemische. Hier kann eine partielle Selbstzündung der Hauptladung nur bei erhöhtem Anfangsdruck beobachtet werden. Weiterführende Untersuchungen bei erhöhten Anfangstemperaturen sollen der Charakterisierung der notwendigen Randbedingungen (Düsenaustrittsgeometrie, Luftverhältnis in der Vorkammer) für die SACI-Verbrennung eines vorgemischten Ammoniak-Luft Gemischs in der Hauptkammer dienen. Ergänzende Studien zur geteilten Brennstoffzufuhr werden hoch- und niedrigreaktive Brennstoffe zwischen Vor- und Hauptkammer kombinieren.

Spark-assisted compression ignition (SACI) is being investigated to promote reliable and efficient engine operation with synthetic fuels. Optical analysis and high-resolution pressure measurement in a constant volume combustion chamber (Optical Pre-Chamber, OPC) serve for this investigation, whereby Turbulent Jet Ignition (TJI) is used as a key enabler for robust main-charge auto-ignition control. The measurements include high-speed Schlieren recordings in the pre-chamber (PC) and main-chamber (MC), as well as OH* chemiluminescence recordings in the MC. The constant-volume configuration yields high initial-to-peak pressure ratios and, therefore, elevated unburned-zone temperatures, while the PC provides high jet ignition enthalpy-together making the OPC well suited for SACI studies. Fuels with high (hydrogen, H₂), medium (methane, CH₄), and low reactivity (ammonia, NH₃) are compared. For H₂ and CH₄, self-ignition can be observed in the pre-chamber with increasing global air-fuel equivalence ratio (λ). This is $\lambda = 2.9$ for H₂-air mixtures, and $\lambda = 1.8$ for CH₄-air. Both fuels exhibit similar characteristics: flame extinction at the nozzle outlet of the pre-chamber, reignition near the wall opposite the nozzle outlet, and subsequent flame propagation upstream with self-ignition of the remaining premixed charge in the upper part of the main chamber. Due to the narrow flammability limits and the higher ignition energy required for NH₃, flame transition from the pre-chamber to the main chamber is limited to almost stoichiometric mixtures. Here, partial self-ignition of the main charge can only be observed at elevated initial pressure. Further investigations at elevated initial temperatures are intended to characterize the necessary boundary conditions (nozzle outlet geometry, air-fuel equivalence ratio in the pre-chamber) for SACI combustion of a premixed ammonia-air mixture in the main chamber. Supplementary studies on split fuel supply will combine high- and low-reactivity fuels between the pre-chamber and main chamber.

Einfluss von Ammoniak (NH₃) auf das tribologische System in Gleitlagern ***Influence of Ammonia (NH₃) on the Tribological System in Plain Bearings***

Andreas Zunghammer;
Miba Gleitlager Austria GmbH*

Im Zuge der Dekarbonisierung gewinnen alternative Kraftstoffe wie Ammoniak (NH₃) im Gasmotorenbetrieb zunehmend an Bedeutung. Die Miba Gleitlager Austria GmbH untersucht in diesem Beitrag den Einfluss von NH₃ auf das tribologische System im Gleitlager. Neben künstlich gealterten Ölen wurden auch gebrauchte Schmieröle von Kunden analysiert, um reale Betriebsbedingungen abzubilden. Die Öle wurden hinsichtlich relevanter Parameter verglichen und weiterführend auf ihre Auswirkungen auf Korrosionsverhalten und tribologische Eigenschaften untersucht. Hierzu wurden mit den verschiedenen Ölen und typischen Gleitlagerwerkstoffen umfangreiche Korrosionstests durchgeführt, um Unterschiede zwischen den Schmierstoffen sowie zwischen konventionellem und NH₃-basiertem Kraftstoffbetrieb zu identifizieren. Ergänzend erfolgten Versuche am Ring-on-Disc-Tribometer sowie am Lagerprüfstand, um das Reibungs- und Verschleißverhalten unter praxisnahen Bedingungen zu bewerten. Die Ergebnisse liefern wichtige Erkenntnisse für die Auswahl und Entwicklung von Werkstoffen und Schmierstoffen im Hinblick auf den Einsatz von Ammoniak als alternativen Kraftstoff.

In the context of decarbonization, alternative fuels such as ammonia (NH₃) are gaining increasing importance in gas engine applications. In this study, Miba Gleitlager Austria GmbH investigates the influence of NH₃ on the tribological system in plain bearings. In addition to artificially aged oils, used lubricants from customers were analyzed to reflect real operating conditions. The oils were compared with regard to relevant parameters and further examined for their effects on corrosion behavior and tribological properties. Comprehensive corrosion tests were conducted with various oils and typical bearing materials to identify differences between the lubricants as well as between conventional and NH₃-based fuel operation. Additionally, selected oils were tested on a ring-on-disc tribometer and a bearing test rig to evaluate friction and wear behavior under practical conditions. The results provide important insights for the selection and development of materials and lubricants with respect to the use of ammonia as an alternative fuel.

NO_x -basierte Detektion von Frühzündungen in wasserstoffbetriebenen KWK-Gasmotoren **NO_x -Based Detection of Pre-Ignition in Hydrogen-Fueled CHP Gas Engines**

Rudolf HöB*;
 Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden;
 Stefan Knepper;
 ZG Energy AG

Moderne Wasserstoff-Gasmotoren bieten im KWK-Einsatz die Möglichkeit einer robusten und emissionsarmen Rückverstromung von Wasserstoff aus nachhaltigen Quellen. Durch die hohe Zündfähigkeit des Kraftstoffs wird neben der bekannten und kontrollierbaren Verbrennungsanomalie Klopfen die Selbstentzündung an Öltröpfchen relevant, die eine unkontrollierte Verbrennung zur Folge hat.

Wenn diese Selbstzündungen weit vor dem eigentlichen Zündzeitpunkt auftreten, kommt es zu einem deutlich überhöhten Spitzendruck. Anders als beim Klopfen, dessen hochfrequente Druckschwingung durch Körperschallsensoren detektiert werden kann, ist eine Erfassung der Frühzündungen, wenn diese kein Klopfen zur Folge haben, durch Standardsensorik nicht möglich. Die abnormalen Verbrennungszyklen in Folge von Frühzündungen haben aber durch die hohen Spitzentemperaturen einen NO_x -Peak zur Folge, der über hochgenaue Emissionsmesstechnik, wie ein Massenspektrometer erfasst werden kann. Das bietet das Potenzial diese Emissionsspitzen auch mit einer NO_x -Sonde, die teilweise serienmäßig verbaut ist, zu messen und somit Rückschlüsse auf die Häufigkeit der auftretenden Frühzündungen zu ziehen.

Die Untersuchungen finden an einem Wasserstoff-BHKW des Herstellers ZG Energy AG statt, das an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden im Technikum des Kompetenzzentrums Kraft-Wärmekopplung mit umfassender Indizier- und Emissionsmesstechnik ausgestattet ist.

Modern hydrogen gas engines offer the possibility of robust and low-emission power generation from sustainably produced hydrogen in combined heat and power (CHP) applications. Due to the high ignitability of the fuel, in addition to the well-known and controllable combustion anomaly of knocking, autoignition on oil droplets becomes relevant, leading to uncontrolled combustion. If such autoignitions occur well before the intended ignition timing, they can cause a significantly elevated peak pressure. Unlike knocking, whose high-frequency pressure oscillations can be detected by structure-borne sound sensors, the occurrence of pre-ignitions, when they do not induce knock, cannot be detected with standard engine instrumentation. However, the abnormal combustion cycles caused by pre-ignitions lead to high peak temperatures that result in a characteristic NO_x spike, which can be detected using high-precision emission measurement equipment such as a mass spectrometer. This opens the potential to measure these NO_x peaks also with a NO_x sensor that is partially installed as standard equipment, enabling conclusions to be drawn about the frequency of pre-ignitions. The investigations are carried out on a hydrogen-fueled CHP engine from the manufacturer ZG Energy AG, installed at the Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden in the technical laboratory of the Centre of Excellence for Cogeneration Technologies, which is equipped with comprehensive in-cylinder pressure indication and advanced emission measurement technology.

We invite you to the
Evening Event
Conference Dinner on
Wednesday May 6th, 2026 - 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

**Anforderungen und Entwicklungstrends bei Passagierschiffen:
Fokus auf alternative Energiequellen und Systeme**
**Requirements and Development Trends for Passenger Ships:
Emphasizing Alternative Energy Sources and Systems**

Daniel Sahren, Kurt Sommer, Klaus Brand;*
MEYER WERFT GmbH

Die zunehmenden Anforderungen an Luftreinhaltung und Klimaneutralität verändern die technischen Konzepte moderner Passagier- und Kreuzfahrtschiffe grundlegend. Treiber sind dabei neue regulatorische Rahmenbedingungen wie FuelEU Maritime, das IMO Zero Emission Framework und die bevorstehende Landstrompflicht in europäischen Häfen. Für Schiffbauunternehmen stellt sich dabei die Frage, welche Kraftstoffe und Energiesysteme langfristig die größten Chancen besitzen.

Der Vortrag bewertet LNG, Methanol, batterieelektrische und andere Energieträger aus schiffbaulicher Perspektive, erläutert die Integration und gibt eine Einschätzung, welche dieser Systeme durch die Abkehr von fossiler Energie eine Konkurrenz zu grünem Diesel werden.

Da grüne Energieträger teurer sein werden als heutige fossile Kraftstoffe, gewinnt die Steigerung der Gesamtenergieeffizienz enorm an Bedeutung. Neben der einfachen Verbrauchsreduzierung und weiteren Optimierung des bestehenden Kraft-Wärme-Kopplung-Systems rückt die Hebung weiterer Potentiale zur Wärmenutzung in den Fokus.

Die Einführung der Landstrompflicht sowie batterieelektrische Konzepte hingegen erfordern einen wahren Paradigmenwechsel. Denn plötzlich ist nicht mehr - wie gewohnt - Wärme im Überfluss vorhanden, sondern mindestens zeitweise Mangelware. In diesem Zusammenhang nimmt die Wärmepumpentechnologie eine Schlüsselrolle ein. Des Weiteren müssen alle Energieformen und Versorgungsbedarfe zusammen gedacht, die jeweiligen Quellen und Senken zusammengebracht werden.

Ein weiterer Hebel, der Umstellung zu begegnen, kommt von elektrotechnischer Seite. Die Einführung von Gleichstrom-Technik auf Mittel- und Niederspannungsebene fördert nicht nur die Energieeffizienz und spart Bauraum. Vielmehr ermöglichen DC-Architekturen eine einfache Einbindung elektrischer Komponenten und steigern die Flexibilität im Aufbau und im Betrieb. Das reicht von der Integration von Photovoltaik- und Batterie-Systemen über dezentrale Strukturen bis hin zum drehzahlvariablen Betrieb von Gensets.

Der Vortrag zeigt auf, wie diese Entwicklungen zusammenspielen und welche technischen Weichenstellungen notwendig sind, um zukünftige Passagierschiffe wirtschaftlich und emissionsarm betreiben zu können.

Increasing demands for air quality and climate neutrality are fundamentally transforming the technical concepts of modern passenger and cruise vessels. Key drivers include new regulatory frameworks such as FuelEU Maritime, the IMO Zero Emission Framework, and the upcoming shore power requirement in European ports. For shipbuilding companies, this raises the question of which fuels and energy systems offer the greatest long-term potential.

The presentation evaluates LNG, methanol, battery electric concepts, and other energy carriers from a shipyard's perspective, explains their integration challenges, and provides an assessment of which of these systems may become viable competitors to green diesel as the industry moves away from fossil fuels.

As green energy carriers will be more expensive than today's fossil fuels, improving overall energy efficiency becomes crucial. Beyond simple fuel consumption reduction and further optimisation of existing combined heat and power systems, additional opportunities for enhanced heat utilization are moving into focus.

In contrast, the introduction of shore power obligations and battery electric concepts requires a true paradigm shift. Suddenly, heat is no longer abundantly available but may become scarce at least temporarily. In this context, heat pump technology assumes a key role. Furthermore, all energy forms and supply demands must be considered holistically, ensuring that all sources and sinks are optimally integrated.

Another lever to address this transition comes from electrical engineering. The adoption of DC technology at medium and low voltage levels not only improves energy efficiency and saves installation space; DC architectures also facilitate the integration of electrical components and significantly increase flexibility in system layout and operation. This ranges from the incorporation of photovoltaic and battery systems to decentralized structures and variable speed genset operation.

The presentation illustrates how these developments interact and which technical decisions will be necessary to operate future passenger vessels efficiently, economically, and with low emissions.

* Speaker/Referent

Entwicklung einer neuen Motorsteuerung für heutige und zukünftige Stationärmotoren **Development of a new engine control system for today's and future stationary engines**

Michael Renk*;
 Bosch Engineering GmbH

Die Energiewende und der Übergang zu klimaneutralen Kraftstoffen stellen Hersteller von Stationärmotoren vor neue technische Herausforderungen. Verschiedene Kraftstoffe bringen unterschiedliche Anforderungen an die Motorsteuerung mit sich, von unterschiedlichen Einspritzsystemen über Sicherheitsfunktionen bis hin zu spezifischen Regelstrategien. Gleichzeitig steigen die Erwartungen an Flexibilität, Zuverlässigkeit und Kosteneffizienz der Steuerungssysteme. Motorenhersteller benötigen Lösungen, die sowohl aktuelle Anforderungen erfüllen als auch für zukünftige Herausforderungen gerüstet sind.

Der Vortrag stellt die Entwicklung einer neuen Motorsteuerung bei Bosch Engineering vor, die durch eine universelle Hardware-Plattform und adaptive Software-Konzepte diesen Herausforderungen begegnet. Die Motorsteuerung wurde speziell für die Anforderungen von Stationärmotoren entwickelt und ermöglicht die Anpassung an verschiedene Kraftstoffe und Betriebskonzepte durch software-basierte Konfigurationen. Die automotive-basierte Hardware-Plattform gewährleistet dabei hohe Zuverlässigkeitsstandards bei gleichzeitiger Skalierbarkeit für unterschiedliche Anwendungen.

Besonderes Augenmerk liegt auf der Software, die speziell für Stationärmotoren entwickelt wurde und dabei sowohl auf bewährte als auch innovative Automotive-Technologien zurückgreift. Die auf Stationärmotor-Anwendungen zugeschnittene Software-Architektur ermöglicht eine vereinfachte Kalibrierung gegenüber klassischen Automotive-Anwendungen, während gleichzeitig moderne Entwicklungsmethoden wie Software-Sharing und virtuelle Simulationsumgebungen integriert werden können. Die modulare Architektur ermöglicht es, die Motorsteuerung an unterschiedliche Motorleistungen, Systemarchitekturen und Anwendungsbereiche von dezentraler Energieerzeugung bis hin zu industriellen Anwendungen anzupassen. Die Integration aller Motorfunktionen - von zylinderindividueller Klopfregelung und Aussetzererkennung über Lambda-Regelung bis hin zur Katalysatordiagnose - in einem einzigen Steuergerät realisiert eine kompakte All-in-One-Lösung für die gesamte Motorsteuerung.

Die technischen Lösungsansätze und der aktuelle Entwicklungsstand werden vorgestellt und zeigen, wie die Motorsteuerung bereits heute für die Anforderungen zukünftiger Technologien und Anwendungsszenarien vorbereitet ist.

The energy transition and the shift to climate-neutral fuels create new technical challenges for manufacturers of stationary engines. Different fuels have varying requirements for engine control systems, from different injection systems and safety functions to specific control strategies. At the same time, expectations for flexibility, reliability and cost efficiency of control systems are rising. Engine manufacturers need solutions that fulfill current requirements and are prepared for future challenges.

The presentation introduces the development of a new engine control system at Bosch Engineering that addresses these challenges through a universal hardware platform and adaptive software concepts. The engine control system was specifically developed for the requirements of stationary engines and enables adaptation to various fuels and operating concepts through software-based configurations. The automotive-based hardware platform ensures high reliability standards while providing scalability for different applications.

Special focus lies on the software, which was specifically developed for stationary engines while building on both proven and innovative automotive technologies. The software architecture tailored to stationary engine applications enables simplified calibration compared to conventional automotive applications, while simultaneously allowing the integration of modern development methods such as software sharing and virtual simulation environments. The modular architecture enables the engine control unit to be adapted to different engine power levels, system architectures and application areas from decentralized power generation to industrial applications. The integration of all engine functions - from cylinder-individual knock control and misfire detection to lambda control and catalyst diagnosis - into a single control unit realizes a compact all-in-one solution for complete engine control. The technical approaches and current development status are presented and demonstrate how the engine control unit is already prepared today for the requirements of future technologies and application scenarios.

Fortgeschrittene Systemsimulationen zur Optimierung von Schnellstart, Lastmanagement und Drehzahlregelung schnelllaufender Großgasmotoren für die Stromversorgung in Rechenzentren
Advanced System Simulations for Optimizing Fast Start, Load Management, and Speed Control in High Speed, Large Bore Natural Gas Engines for Power Generation in Data Centers

Zach Tiver*, Henry Knutzen*, Nolan Polley, Chris Ohlsen;
Woodward Inc.

The increasing demand for reliable and efficient power generation in server applications, particularly data centers, has heightened the need for advanced control strategies in large-bore natural gas engines. Key performance areas such as fast start capability, dynamic load acceptance/rejection, and speed control are vital to supporting these requirements. This study, which focuses on high speed, large-bore (around 190 mm) natural gas engines, addresses these challenges through system simulations using GT-Power and Woodward's Simulink-based MotoHawk toolchain for control logic. Specifically, the study focuses on the following domains:

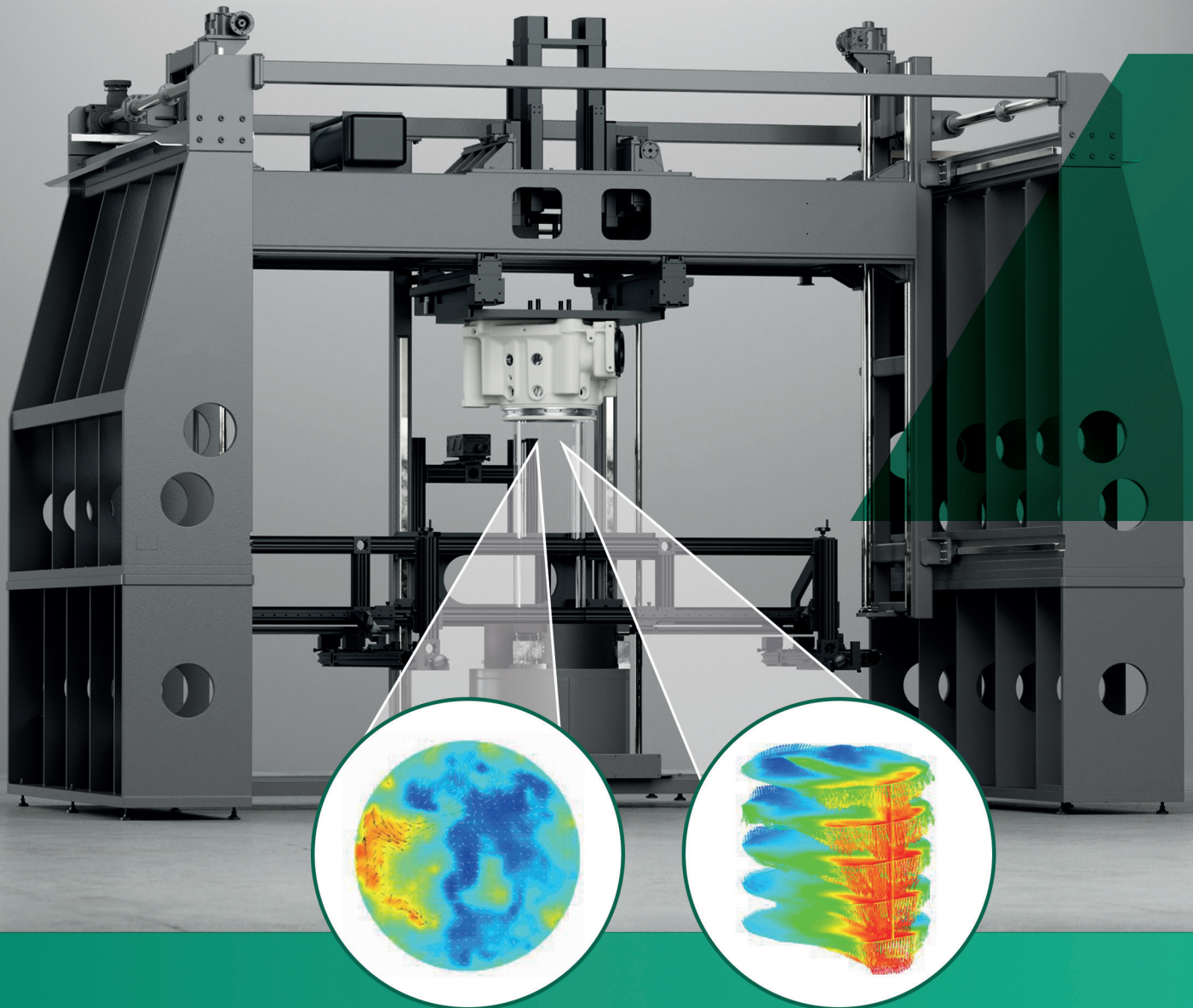
Fast Start: Current best in class benchmarks for natural gas engines demonstrate startup times of 45 seconds which lag behind diesel engines' startup times of less than 15 seconds. This study explores ways to narrow this gap.

Load Acceptance/Rejection: The simulations will investigate the impact the fuel delivery and air handling architectures have on the ability to meet the G3 requirements outlined in ISO 8528-5.

Speed Control: The simulations will compare WWD's model-based approach with traditional PID strategies, to minimize frequency variations during both steady-state and transient operation.

The simulations are expected to yield insights into optimal fuel and air handling configurations and control methodologies for natural gas engines in data center-focused applications with an emphasis on improving fast-start capability, speed control and adherence to G3 stability requirements.

Weltweit größter Strömungsprüfstand



STRÖMUNGEN VERSTEHEN EFFIZIENZ STEIGERN

Ihr Vorteil: Planungssicherheit und Effizienz

- **Schnelle und präzise Identifikation von Optimierungspotenzialen**
- **Frühzeitige Validierung von Kanalgeometrien** in einem sicheren, stabilen Prüfprozess
- **Reduktion von Entwicklungsrisiken** und Vermeidung kostenintensiver Korrekturen
- **Reproduzierbare, aussagekräftige Messdaten** als direkte Entscheidungsgrundlage
- **Verbesserte Performance und Effizienz** zukünftiger Motorengenerationen

Enrico Rothe

Telefon: +49 (34901) 883 158

Strömungsprüfstand zur Untersuchung der Strömungseigenschaften

von Großmotor-Zylinderköpfen

Leistungsstarke Prüfparameter

- **Massenstrombereich:** Bis zu 9000 kg/h
- **Druckbereich:** 80 mbar Saug- oder Druckleistung
- **Bohrungsgrößen:** von 170 bis 510 mm

 **Technologie, die überzeugt**

Hochpräzise Messtechnik für belastbare Ergebnisse

- PIV (Particle Image Velocimetry) und Strömungsbeiwert-Analyse mit spezialisierten Kamera-, Laser- und Traversensystemen
- Stereoskopische Messanordnung zur Erfassung vollständiger 3D-Geschwindigkeitsfelder
- Validierung numerischer Strömungsmodelle für fundierte Entwicklungsentscheidungen



Der weltweit erste schnellaufende Otto-Methanol-Marinemotor **The world's first high-speed methanol marine single-fuel engine**

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

Im Rahmen der globalen Bemühungen zur Reduzierung der Emissionen in der Schifffahrtsindustrie, wie sie von der International Maritime Organization (IMO) gefordert werden, stellt der Übergang zu umweltfreundlichen Kraftstoffen eine wesentliche Herausforderung dar. Methanol hat sich hierbei als eine vielversprechende Alternative herauskristallisiert. In diesem Kontext wurde das Projekt „meOHmare“ ins Leben gerufen, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz in Zusammenarbeit mit der Rolls-Royce Solutions GmbH, der Woodward L'Orange GmbH und der WTZ Rosslau gGmbH. Ziel des Projekts war die Entwicklung eines fremdgezündeten, schnellaufenden Otto-Methanolmotors auf Basis der mtu-Baureihe 4000 für maritime Anwendungen, um durch den Einsatz von grünem Methanol die bilanziellen CO₂-Emissionen von Verbrennungsmotoren um über 90 % zu senken. Das Paper wird das entwickelte Motorkonzept detailliert erläutern und die Validierungsergebnisse aus dem Vollmotorversuch präsentieren. Auf Basis der Markt- und Kundenanforderungen aus der kommerziellen Marine-Anwendung, sowie der regulatorischen Anforderungen an Methanol-Marinemotoren, wurde ein Motorkonzept für einen 16V4000 Vollmotor erstellt. Dieses Konzept umfasst neben der Verbrennungsausrüstung insbesondere das Kraftstoffversorgungssystem, das Sicherheitskonzept und das Motormanagement. Zur Validierung des Vollmotors wurde die bestehende Prüfstands Umgebung um die Kraftstoffversorgung mit Methanol und spezifische Sicherheitseinrichtungen erweitert. Die Validierungsergebnisse bestätigen, dass die angestrebte Zylinderleistung von 125 Kilowatt pro Zylinder erreicht wird und die IMO-III Stickoxid-Grenzwerte innermotorisch ohne eine zusätzliche Abgasnachbehandlung an allen E3-Zykluspunkten eingehalten werden.

Das Projekt wurde im März 2026 erfolgreich mit Technology Readiness Level 6 (TRL6) abgeschlossen.

In the context of global efforts to reduce emissions in the shipping industry, as called for by the International Maritime Organization (IMO), the transition to environmentally friendly fuels is a major challenge. Methanol has emerged as a promising alternative. In this context, the "meOHmare" project was launched, funded by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action in cooperation with Rolls-Royce Solutions GmbH, Woodward L'Orange GmbH and WTZ Rosslau gGmbH. The aim of the project was to develop a spark-ignited, high-speed methanol engine based on the mtu Series 4000 for maritime applications in order to reduce the CO₂ emissions of combustion engines by more than 90 % using green methanol. The paper will explain the developed engine concept in detail and present the validation results from the multi-cylinder engine test.

Based on the market and customer requirements from the commercial marine application, as well as the regulatory requirements for methanol marine engines, an engine concept for a 16V series 4000 engine was created. In addition to the combustion equipment, this concept includes the fuel supply system, the safety concept and engine management. To validate the multi-cylinder engine, the existing test bench infrastructure was expanded to include the fuel supply with methanol and specific safety equipment. The validation results confirm that the target cylinder output of 125 kilowatts per cylinder is achieved and that the IMO-III nitrogen oxide limits are fulfilled within the engine without additional exhaust gas aftertreatment at all E3 cycle points.

The project was successfully completed in March 2026 with Technology Readiness Level 6 (TRL6).

Methanomotoren im Retrofit: Der 51/60R-DF-M als Technologieträger **Methanol engines in retrofit: The 51/60R-DF-M as a technology carrier**

Florian Eppler, Dr. techn. Harald Schlick, Ludwig Eder, Dr. techn. Jianguo Zhu, Simon Bregulla; Everllence SE*

Die Dekarbonisierung der globalen Schifffahrt stellt eine der zentralen Herausforderungen zur Erreichung der ambitionierten Klimaziele der IMO aus dem Jahr 2023 dar. Im Kontext alternativer Energieträger rücken insbesondere Methanol und Ammoniak aufgrund ihrer hohen Energiedichte und infrastrukturellen Verfügbarkeit in den Fokus. Methanol erweist sich hierbei als besonders geeignet für Retrofit-Anwendungen, da seine Eigenschaften eine vergleichsweise einfache, sichere und ökonomisch sinnvolle Integration in bestehende Antriebssysteme ermöglichen. Die Entwicklung des 51/60R-DF-M-Motors markiert einen wichtigen Schritt in der Umsetzung methanolbasierter Retrofit-Konzepte. Im Zentrum steht das PFI-Brennverfahren (Port Fuel Injection), das eine einfache Kraftstoffzufuhr bei gleichzeitig hoher Modularität erlaubt. Die Plattformarchitektur der 48/60- und 51/60-Motorfamilie eröffnet weitreichende Möglichkeiten zur Integration bestehender Komponenten und ermöglicht dadurch Retrofit-Maßnahmen mit minimalen Stillstandszeiten und reduziertem technischem Aufwand. Die Systemintegration erfolgt unter Berücksichtigung eines eigens konzipierten Sicherheitskonzepts und in enger Abstimmung mit den Regularien internationaler Klassifikationsgesellschaften. Seit 2024 werden am vollinstrumentierten 7L51/60R-DF-M Prototypmotor bei Everllence umfangreiche Versuchsreihen unter realen Betriebsbedingungen durchgeführt. Ziel ist die Validierung des darstellbaren Leistungsbereichs, die Analyse emissionsrelevanter Parameter sowie die Identifikation technischer Optimierungspotenziale. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Einhaltung der NO_x -Grenzwerte gemäß IMO Tier 3 im Methanolbetrieb ohne SCR sowie der Erreichung eines hohen thermodynamischen Wirkungsgrades. Der geforderte Methanol Betriebsbereich wurde erfolgreich demonstriert und Potentiale für die Erweiterung des Kennfeldbereichs erschlossen. Herausforderungen wie erhöhte THC- und CO-Emissionen sowie die Bildung von Formaldehyd wird durch die Entwicklung eines optimierten Oxidationskatalysators begegnet.

Durch die ganzheitliche Betrachtung von Motorarchitektur und anlagenseitiger Peripherie schafft der 51/60R-DF-M eine robuste und zukunftsfähige Lösung. Als Retrofit-Konzept ermöglicht er eine wirkungsvolle Dekarbonisierung bestehender Flotten und leistet damit einen substantziellen Beitrag zur klimaneutralen Transformation maritimer Antriebssysteme.

The decarbonization of the global shipping industry represents the key challenge in achieving the ambitious climate goals set by the IMO in 2023. In the search for alternative energy carriers, methanol and ammonia are increasingly coming into focus due to their high energy density and infrastructural availability. Methanol proves to be particularly suitable for retrofit applications, as its properties allow for a relatively simple, safe, and economically viable integration into existing propulsion systems.

Thereby, the development of the 51/60R-DF-M engine marks an important step in implementing methanol-based retrofit concepts, where the PFI combustion process (Port Fuel Injection) at its center enables a less complex fuel supply system while maintaining high modularity. The platform architecture of the 48/60 and 51/60 engine family offers a vast array of possibilities for implementing already existing components, thereby enabling retrofit measures with minimal downtime and reduced technical effort. Furthermore, the overall system integration is completed with an updated safety concept, that was developed following the regulations of international classification societies closely.

Since 2024, extensive testing under real operating conditions has been conducted on the fully instrumented 7L51/60R-DF-M prototype engine at Everllence. Therein the goal is to validate the achievable performance range, analyze emission-relevant parameters, and identify technical optimization potentials.

Special attention is given to comply with NO_x limits according to IMO Tier 3 during methanol operation without the activation of an SCR, as well as achieving a high thermodynamic efficiency. The targeted methanol operating range has been successfully demonstrated and potential for expanding the engine map has been identified. Challenges such as increased THC and CO emissions, as well as the formation of formaldehyde, are being addressed through the implementation of an optimized oxidation catalyst.

In summary, the 51/60R-DF-M engine architecture combined with the required plant auxiliaries provides a robust and future-proof solution. As a retrofit concept, it enables the effective decarbonization of an existing fleet and thus makes a substantial contribution to the climate-neutral transformation of maritime propulsion systems.

Diesekraftstoff/Methanol-Emulsionen als Retrofitlösung für Großdieselmotoren **Diesel Fuel/Methanol-Emulsions as Retrofit Concept for Large-bore Diesel Engines**

Prof. Dr.-Ing. Leander Marquardt*, Dr.-Ing. Heiner-Joachim Katke, Maik Habeck;

Hochschule Stralsund;

Benjamin Weisse;

GenSys GmbH Wismar;

Prof. Dr.-Ing. Hinrich Mohr;

GasKraft Engineering Beckdorf-Nindorf

Mit diesem Beitrag werden Konzepte zur Entwicklung eines retrofit-fähigen Brennstoffmoduls sowie die im Rahmen ihrer Realisierung erzielten experimentellen Ergebnisse vorgestellt. Aufgrund der Mischungsverträglichkeit von Diesekraftstoffen und kurzkettingen Alkoholen muss eine zumindest im Minutenbereich stabile Emulsion hergestellt und zu den Einspritzpumpen gefördert werden. Die Entwicklungsarbeiten verliefen mehrstufig. Beginnend mit Brennstoffuntersuchungen im Chemielabor zum Separationsverhalten der Emulsionen mit verschiedenen Alkoholanteilen wurden sowohl die Einhaltung erforderlicher Mindestviskositäten als auch Materialverträglichkeiten gängiger Elastomere überprüft.

Derartige Emulsionen wurden dann zunächst im Modellmaßstab einem kleinen konventionellen Industrie-Dieselmotor HATZ 1D90 (11 kW @ 3000 U/min) zugeführt. Die Betriebs- und Emissionswerte sowie die Vollindizierung gaben erste Aufschlüsse zu kritischen Betriebspunkten. Insbesondere der verringerte volumetrische Heizwert der Emulsionen sowie die abnehmende Zündwilligkeit schränken den Betriebsbereich zu hohen und niedrigen Lasten ein. Erste Erfahrungen gingen in das Sicherheits- und Bedienkonzept ein. Das parallel entwickelte Brennstoffmodul wurde auf der Basis dieser Erkenntnisse konzipiert, gefertigt und anschließend in das Brennstoffsystem eines großen Einzylinder-Forschungsmotors FM16/24 ($D_b = 160$ mm, 100 kW @ 1200 U/min) integriert. Wie bereits im Modellmaßstab erfolgten Inbetriebnahme und erste Experimente aus Sicherheitsgründen zunächst mit Diesekraftstoff/Ethanol-Emulsionen. Erhebliche Schwierigkeiten bereiteten auch hier Materialunverträglichkeiten gängiger Metalle und Elastomere. Nach erfolgreicher Grunderprobung des Brennstoffmoduls wurden Betriebs- und Emissionswerte bei Verwendung verschiedener Mischungen aus Ethanol bzw. Methanol mit Diesekraftstoffen untersucht und mit Erkenntnissen aus der Vollindizierung interpretiert. Der Motorbetrieb mit Konstantdrehzahl wurde dabei priorisiert behandelt.

Der stabile Motorbetrieb mit Zumischungen von bis zu 30 m% Methanol in der Emulsion wurde experimentell nachgewiesen. Die Emissionen gingen im IMO-Zyklus-relevanten Hoch- und Mittel-Lastbereich deutlich zurück. Im Gegensatz dazu führten lange Zündverzögerungen und damit vergrößerte vorgemischte Verbrennung zu einer Zunahme der NO_x -Emissionen im Niedriglastbetrieb. Das CO_2 -Einsparpotenzial wurde bei konstanter Motorlast auf -20% abgeschätzt.

Mit Schmierölproben auf Basis einer ATR-Spektroskopie (Vergleich Frischöl/ Diesekraftstoffbetrieb/Emulsionsbetrieb) sowie mit FID-Messungen während des laufenden Motorbetriebes konnte ein nennenswerter Eintrag der Brennstoffe in das Schmieröl ausgeschlossen werden.

Ein Außenversuch wird derzeit vorbereitet.

This paper presents concepts for the development of a retrofit-capable fuel booster-module as well as the experimental results achieved. Due to the separation behavior of emulsions of Diesel fuels and short-chain alcohols, such a mixture must be stable at least in the range of minutes. Therefore, the emulsion must be generated directly upstream of the fuel injection pumps.

The development work was carried out in several stages. Starting with fuel tests in the chemistry laboratory on the separation behavior of emulsions with different alcohol contents, compliance with the required minimum viscosities and material compatibility of common elastomers were also checked.

On model scale, these emulsions were fed into a small conventional industrial Diesel engine HATZ 1D90 (11 kW @ 3000 rpm). The operating values and emissions as well as the complete pressure indication provided initial information on critical operating points. In particular, the reduced volumetric calorific value of the emulsions and the decreasing flammability limited the operating range to high and low loads. First experiences were integrated into the safety and operating concept.

The fuel module developed in parallel was designed and manufactured based on these findings and then installed at a large single-cylinder research-engine FM16/24 ($D_b = 160$ mm, 100 kW @ 1200 rpm). As in the model scale, commissioning and first experiments were initially carried out with Diesel fuel/Ethanol emulsions for safety reasons. Here, too, material incompatibilities with common metals and elastomers caused considerable challenges.

* Speaker/Referent

After successful commissioning, performance and emission values in operation with various mixtures of Ethanol or Methanol with Diesel fuels were again examined and interpreted with the results of the cylinder pressure indication. Engine operation at constant speed was examined with priority. The stable engine operation with admixtures of up to 30 m% methanol in the emulsion was experimentally demonstrated. Emissions decreased significantly in the IMO-cycle-relevant high and medium load range. In contrast, long ignition delays and thus enlarged premixed combustion led to an increase in NO_x emissions during low-load operation. The CO_2 savings potential was estimated at -20% at constant engine load.

With lubricating oil samples based on ATR spectroscopy (comparison of fresh lube oil/lube oil after Diesel fuel operation/lube oil after emulsion operation) as well as with FID measurement during engine operation, a significant contamination of the lubricating oil by alcoholic fuel share could be excluded. A field test is currently being prepared.

**Betriebserfahrungen mit Dual-Fuel-Gasmotoren für Wasserstoff- und Erdgasbetrieb
in KWK-Anwendungen**
**Operational Experiences With Hydrogen & Natural Gas Dual-Fuel Engines for Combined Heat
and Power Generation**

Dr.-Ing. Christoph Kraus, Alexander Zuschnig, Simona Zecca, Zita Baumann;
INNIO Jenbacher GmbH & Co OG;
Dr. Peter Christiner, Dominik Gruber;
Robert Bosch AG*

Das Ersetzen von Erdgas mit Wasserstoff als Brenngas für leistungsstarke Gasmotoren ist ein entscheidender Schritt hin zur Treibhausgas-neutralen Stromerzeugung. Um während dieser Transformation maximale Flexibilität zu gewährleisten, müssen die Motoren in der Lage sein, mit beiden Energieträgern zu arbeiten. Die besonderen Verbrennungseigenschaften von Wasserstoff - wie geringe Zündenergie, großer Zündbereich und hohe Flammgeschwindigkeit - können jedoch zu Verbrennungsanomalien wie Frühzündung, Klopfen und Rückzündung führen. Dies erfordert gezielte Anpassungen von Motordesign und Steuerung. Die Entwicklung eines Motors, der sowohl mit Erdgas als auch mit Wasserstoff effizient und robust betrieben werden kann, ist besonders anspruchsvoll, da die unterschiedlichen Brenngaseigenschaften häufig Kompromisse bei der Optimierung erfordern. Um die genannten Herausforderungen zu bewältigen, setzt der Jenbacher Typ 4 Dual-Fuel-Motor auf eine Saugrohreinspritzung für Wasserstoff, optimierte Motorölformulierungen sowie ein zylinderdruckbasiertes Steuerungssystem, welches eine zylinderspezifische Erkennung und Behebung von Anomalien ermöglicht. Zusätzlich verfügt der Turbolader über ein Wastegate, um den unterschiedlichen Anforderungen des Betriebs mit Erdgas und Wasserstoff gerecht zu werden.

Diese Publikation bietet einen Überblick über die angewandten Technologien und erläutert aktuelle Entwicklungsschritte, die durch Erkenntnisse aus dem Betrieb von drei Wasserstoff-Feldmotoren maßgeblich beeinflusst wurden. Der erste Kundenmotor, der sich in Korea befindet, sammelte während der Sommermonate bei Umgebungstemperaturen von etwa 40°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von ~60% mehrere tausend Betriebsstunden und lieferte wertvolle Daten zur Verbrennungsstabilität und Betriebsszuverlässigkeit. Der Betrieb eines zweiten Kundenmotors in Österreich verdeutlichte die Bedeutung der Zündkerzenhaltbarkeit, selbst in weniger anspruchsvollen Umgebungsbedingungen, und lieferte zusätzliche Erkenntnisse für die Entwicklung spezieller Wasserstoffzündkerzen. Die Gas-Einblaseventile beider Motoren wurden im Detail untersucht, um deren Leistungsfähigkeit und Haltbarkeit im Wasserstoffbetrieb zu bewerten. Der dritte Motor wurde kürzlich im INNIO360 Energy Lab der Jenbacher Firmenzentrale in Betrieb genommen und dient dazu, die Motorleistung, Flexibilität und Robustheit durch die Anwendung von Felderfahrungen und neuen Funktionen weiter zu steigern. Gleichzeitig versorgt er die Produktionsanlagen zuverlässig mit Strom und Wärme aus Erdgas und Wasserstoff.

The transition from natural gas to hydrogen as a fuel for large gas engines is a crucial step towards carbon-neutral power generation. To ensure maximum flexibility during this transition, engines must be capable of operating on both fuels. However, the special combustion properties of hydrogen such as low ignition energy, wide flammability range and high flame speed can result in abnormal combustion phenomena like pre-ignition, knocking, and backfiring. These challenges require specific adaptations in engine design and control strategies to ensure reliable operation. Developing an engine that can efficiently and robustly run on both natural gas and hydrogen is especially demanding, as the differing fuel properties often necessitate compromises in optimization.

To address the stated challenges, the Jenbacher Type 4 dual fuel engine uses port fuel injection for hydrogen, enhanced engine oil formulations, and a cylinder pressure-based control system that enables cylinder-specific anomaly detection and mitigation. Additionally, the turbocharger features a wastegate to meet the differing requirements of natural gas and hydrogen operation. This paper provides an overview of the applied technologies and details recent development advances driven by field experience from three engines operating with hydrogen under diverse conditions. The first customer engine, deployed in Korea, accumulated several thousand operating hours during summer periods with ambient temperatures near 40°C and relative humidity around 60%, providing valuable data on combustion robustness and operational reliability under extreme conditions. The operation of a second customer engine in Austria highlighted the significance of spark plug durability, even in less demanding environments, and provided additional data for the development of dedicated hydrogen spark plugs. For both engines, a detailed investigation of the port fuel injection valves was conducted, revealing key findings for performance and durability during hydrogen operation. The recently commissioned third engine, installed in the INNIO360 energy lab of the Jenbacher headquarters, is utilized to further push engine

* Speaker/Referent

Minderung ölbedingter Frühzündungsphänomene in Wasserstoffmotoren durch Optimierung von Verbrennungsparametern
Mitigating Lube Oil Ignition and Related Flame Propagation through Combustion Parameter Optimization in Hydrogen Engines

Dr. techn. Gottfried Lurf, Shinsuke Murakami, Bernhard Jocham, Martin Wieser, Christian Fuchs;*
AVL List GmbH;
Hanna Crump, Yekuan Shentu, Richard Butcher;
BP Castrol

Schmierölinduzierte Frühzündungsphänomene stellen ein zentrales Limitierungskriterium für fremdgezündete Wasserstoffverbrennungsmotoren dar und erschweren die Erreichung effektiver Mitteldruckwerte (BMEP), die mit denen konventioneller Erdgasmotoren vergleichbar sind. Aufgrund der stark stochastischen Natur dieser Phänomene sowie ihrer vielfältigen Ursachen liefern viele experimentelle Studien unsichere oder inkonsistente Ergebnisse. Verlässliche Daten zur Reduktion ölbedingter Frühzündungsphänomene sind jedoch essenziell für die Weiterentwicklung von Verbrennungssystemen, Motorkomponenten und Schmierölformulierungen.

Die vorliegende Arbeit untersucht den Einfluss zentraler Verbrennungsparameter auf ölinduzierte Frühzündungsprozesse und stellt eine spezifische Testmethodik vor, bei der die Verbrennung gezielt durch kontrollierte Selbstzündung des Schmieröls initiiert wird. Diese Methodik ermöglicht einen hochstabilen und reproduzierbaren Zündmodus. Unter diesen definierten Bedingungen werden Parameter wie Ansaugtemperatur, Lambda, AGR-Rate, Motordrehzahl und Abgasgegendruck systematisch variiert, um deren Einfluss auf den Selbstzündungsprozess des Schmieröls zu quantifizieren.

Die Ergebnisse liefern sowohl eine numerische Bewertung als auch ein vertieftes Verständnis darüber, welche Parameteranpassungen die Schmierölselfzündung und die nachfolgende Flammenausbreitung wirksam reduzieren können und welche lediglich begrenzten Einfluss zeigen. Die Versuche wurden an einem 12,8-Liter-Sechszylinder-Wasserstoffmotor für schwere Nutzfahrzeuge durchgeführt; die gewonnenen Erkenntnisse sind jedoch grundsätzlich übertragbar und können auch zur Optimierung von Verbrennungssystemen in deutlich größeren Motoren herangezogen werden.

Zur detaillierten Analyse der räumlichen Verteilung von Verbrennungsanomalien kam AVL Visiolution zum Einsatz, ergänzt durch eine automatisierte Routine zur Nachbearbeitung umfangreicher Datensätze. Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung der zentralen Erkenntnisse und gibt einen Ausblick auf weiterführende Maßnahmen zur Reduktion schmierölbedingter Verbrennungsanomalien in Wasserstoffmotoren.

Lube oil-induced pre-ignition is a critical phenomenon in spark-ignited hydrogen engines, significantly limiting their ability to achieve BMEP levels comparable to those of conventional natural gas engines. Due to the highly stochastic nature of combustion anomalies and their diverse root causes, many experimental investigations yield uncertain or inconsistent results. However, reliable data is key to improving combustion systems, engine components, and lube oil formulations with the aim of reducing pre-ignition. This paper investigates the influence of key combustion parameters and presents a dedicated test methodology that initiates combustion through controlled lube oil autoignition, thus yielding a highly stable and repetitive ignition mode. Under this highly stable autoignition mode, parameters such as intake temperature, lambda, EGR rate, engine speed, and exhaust back pressure are systematically varied to quantify their impact on the lube oil autoignition process. The results provide a robust understanding of which parameter adjustments effectively mitigate lube oil ignition and flame propagation, and which offer only limited benefits. The experiments were carried out on a 12.8-liter, six-cylinder heavy-duty hydrogen engine; however, the findings are fundamentally relevant and can be applied to the optimization of combustion systems in much larger engines as well. To better understand the spatial distribution of lube oil-related pre-ignition events, AVL Visiolution was employed, incorporating an automated routine for post processing large datasets. The paper concludes with a summary of the key findings and provides an outlook on additional measures to further reduce lube oil-related combustion anomalies in hydrogen engines.

WTZ

INNOVATIVE SCIENCE & RESEARCH



**EINE GUTE IDEE ALLEIN
IST NICHT GENUG
WIR SETZEN SIE UM**

Enrico Rothe

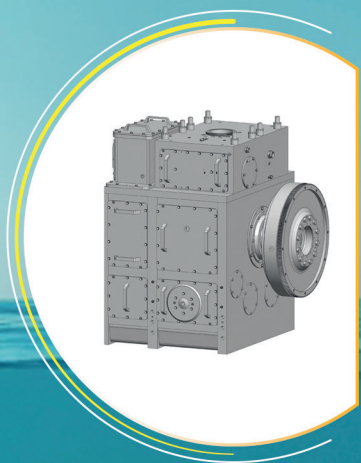
Telefon: +49 (34901) 883 158

DAS WTZ ROSSLAU

ENTWICKELT UND KONSTRUIERT EINZYLINDER-VERSUCHSMOTOREN

Diese modular aufgebauten Versuchsmotoren der WTZ-Einzylinderfamilie sind mit insgesamt drei Baugrößen für ein breites Spektrum von Motorengrößen, d.h. Kolbendurchmessern und -hüben, konzipiert.

Mit einem Hubraumbereich von etwa 2 bis 50 Litern werden die Einzylinder-Versuchsmotoren in Entwicklungsprüfständen von Nutzfahrzeugen, Energieerzeugungsanlagen und Schiffsantrieben eingesetzt.

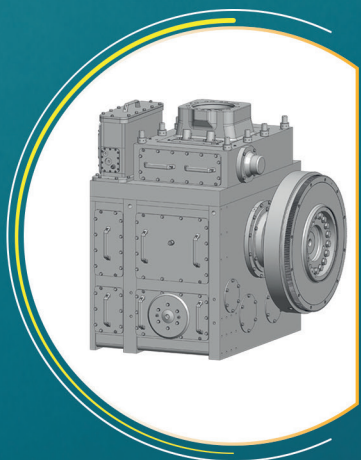
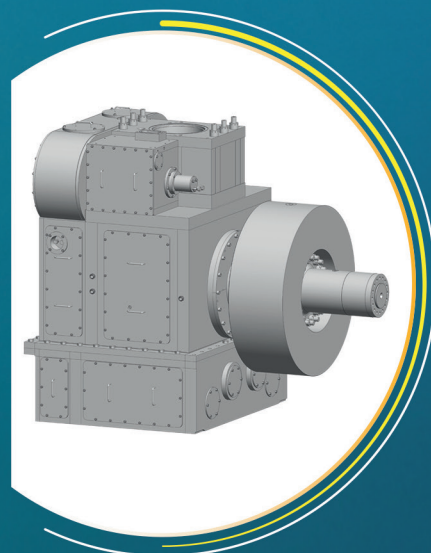


FM18

Bohrung	160 ... 185 mm
Hub	180 ... 215 mm
Drehzahl	bis zu 1.800 U/min
Spitzendruck	400 bar
Leistung	260 kW

Bohrung	250 ... 350 mm
Hub	320 ... 450 mm
Drehzahl	1.200 U/min
Spitzendruck	400 bar
Leistung	812 kW

FM35



FM24

Bohrung	238 ... 275 mm
Hub	216 ... 300 mm
Drehzahl	bis zu 1.500 U/min
Spitzendruck	330 bar
Leistung	394 kW

***Wasserstoffmotoren neu gedacht:
Innovatives Betriebskonzeptes für Energieversorgung der Zukunft
Rethinking Hydrogen Engines: A New Operating Concept for Future Energy Systems***

Rüdiger Herdin, Andreas Herdin;
PGES GmbH;
Thomas Lange;
Numerica GmbH;
Prof. Priv.-Doz. Dr. techn. Lukas Möltner;
MCI*

Die Energieerzeugung der Zukunft ist mit vielen neuen Herausforderungen verbunden. Während die Anforderungen an die Emissionen und Energiedichte steigen, erhöht sich auch die Komplexität der Systeme und die Kosten. Wasserstoffgasmotoren benötigen eine Vielzahl an zusätzlichen Komponenten, um einen sicheren und emissionsarmen Betrieb sicherzustellen.

Die PGES GmbH hat gemeinsam mit Numerica GmbH und der Fachhochschule MCI ein vom Land Tirol gefördertes Forschungsprojekt durchgeführt, um ein Konzept zu entwickeln, welches die kostspielige Einzelzylinder Gaseinblasung durch ein einfaches wartungsarmes System ersetzt und den sicheren Motorbetrieb gewährleistet.

Aktuell werden Wasserstoffmotoren mittels Port-Injection, oder mit Direct-Injection betrieben. Hierbei sind Kosten und Lebensdauer kritische und limitierende Faktoren.

Das neue Konzept sieht die Nutzung eines klassischen Gasmischers vor, welcher durch den gezielten Aufbau einer nicht brennbaren Gasbarriere im Bereich der Einlassventile ergänzt wird. Dadurch werden Rückzündungen unterbunden und gleichzeitig eine lange Mischstrecke gewährleistet, die für optimale Homogenisierung und dadurch Stickoxidreduktion verantwortlich ist.

Um dies zu erreichen, wurden basierend auf dem Grundkonzept verschiedene Konfigurationen und Lösungen entwickelt und mit Hilfe von CFD-Analysen getestet und evaluiert.

Der von der PGES entwickelte Technologieansatz wurde unter wissenschaftlicher Begleitung durch das MCI und den CFD-Experten von Numerica modelliert und simuliert. Im Rahmen des Beitrages werden die Ergebnisse des Forschungsprojektes präsentiert und ein Ausblick über die weitere Entwicklung gegeben.

The energy generation of the future is associated with many new challenges. As demands on emissions and energy density increase, so do system complexity and associated costs. Hydrogen internal combustion engines require a wide range of additional components to ensure safe and low-emission operation.

PGES GmbH, in collaboration with Numerica GmbH and the University of Applied Sciences MCI, conducted a research project funded by the state of Tyrol to develop a concept that replaces the costly single-cylinder gas injection system with a simple, low-maintenance solution, while still ensuring safe engine operation.

Currently, hydrogen engines are operated using either port injection or direct injection. In both cases, cost and service life are critical and limiting factors.

The newly developed concept is based on the use of a conventional gas mixer, enhanced by the targeted formation of a non-combustible gas barrier near the intake valves. This barrier prevents backfiring and enables the use of an extended mixing path, which ensures a high degree of mixture homogenization and thus reducing NO_x emissions.

To achieve this, various configurations and solutions based on the core concept were developed and evaluated using CFD analyses. The technology approach developed by PGES was modeled and simulated with scientific support from MCI and CFD experts at Numerica.

This contribution presents the results of the research project and provides an outlook on further developments.

Abgasnachbehandlung für NH₃ Verbrennungsmotoren **Exhaust gas aftertreatment for NH₃ combustion engines**

Dr. D. Peitz, Dr.-Ing. E. Eßer;*
Hug Engineering AG, Elsau, Switzerland;
F. Wenig, Dr.-Ing. S. Prehn;
Universität Rostock, Rostock, Germany;
Dr. techn. R. Mehrabian Bardar;
LEC GmbH, Graz, Austria

Ammoniak (NH₃) gilt als vielversprechender alternativer Kraftstoff für Großmotoren. Seine Verwendung kann jedoch zu hohen Konzentrationen von Schadstoffen wie NO_x, NH₃ und N₂O führen, stark vom Verbrennungskonzept und vom Betrieb des Motors abhängig. Besonderes Augenmerk muss auf N₂O gelegt werden, da sein hohes Treibhauspotenzial (100 Jahre-GWP) von 273 die Reduzierung der CO₂-Emissionen durch die Umstellung von fossilen Brennstoffen auf NH₃ zunichte machen kann. Wenn ein dieselähnlicher Kraftstoff als Pilotkraftstoff verwendet wird, können außerdem typische Dieselabgaskomponenten vorhanden sein. Erhöhte NO-, NH₃- und N₂O-Werte, die über die typischen Emissionen in aktuellen mobilen und stationären Anwendungen hinausgehen, erfordern Nachbehandlungsmaßnahmen zur Kontrolle der Abgasemissionen. Während NO_x und NH₃ bei NH₃ : NO_x-Verhältnissen von bis zu 1 auf handelsüblichen SCR-Katalysatoren reagieren können und dabei überwiegend N₂ bilden, erfordert ein übermäßiger NH₃-Slip aus dem Motor einen speziellen Ammoniak-Schlupf-Katalysator (ASC). Aufgrund der hohen NH₃-Konzentrationen ist eine hohe Selektivität gegenüber N₂ wichtig, um die Bildung von Nebenprodukten (NO_x oder N₂O) zu vermeiden. Für die Zersetzung von N₂O müssen neuartige Katalysatortypen für motorische Abgasbedingungen evaluiert werden. Es werden Laborversuche mit synthetischem Abgas, Einzylindermotortests und ein Mehrzylindermotortest vorgestellt. Einzelne Katalysatoren, die speziell für beispielsweise einen hohen NH₃-Schlupf oder N₂O im Abgas entwickelt wurden, werden unter diesen Bedingungen getestet, wobei die Möglichkeiten und Grenzen aktueller und zukünftiger Katalysatortechnologien aufgezeigt werden. Außerdem wird ein vollständiges Abgasnachbehandlungssystem vorgestellt, das eine hohe CO₂-Emissionsreduzierung durch die Umstellung von fossilen Brennstoffen auf NH₃ ermöglicht. Insgesamt erfordert die Erzielung einer geringeren Treibhausgasbelastung durch die Umstellung auf alternative Kraftstoffe wie Ammoniak auch eine sorgfältige Abwägung der Anforderungen an Abgasnachbehandlungssysteme. Insgesamt erfordert die Verringerung der Treibhausgasemissionen durch die Umstellung auf alternative Kraftstoffe wie Ammoniak auch eine sorgfältige Abwägung der Anforderungen an Abgasnachbehandlungssysteme. Eine enge Zusammenarbeit zwischen der Motorenentwicklung und der Abgasnachbehandlung gewährleistet die Einhaltung der gesetzlichen Schadstoffgrenzwerte bei gleichzeitig niedrigen Emissionen unerwünschter, derzeit nicht regulierter Stoffe.

Ammonia (NH₃) is regarded as a promising alternative fuel for large engines. However, its use can result in high concentrations of pollutants such as NO_x, NH₃ and N₂O, strongly depending on the combustion principle and on the engine's operation. Special focus must be laid on N₂O as its high global warming potential (100y-GWP) of 273 can nullify the reduction in CO₂ emissions by switching from fossil fuels to NH₃. Additionally, if a diesel-like fuel is used as a pilot fuel typical diesel exhaust gas components can also be present in the exhaust gas.

Elevated levels of NO, NH₃ and N₂O, which exceed typical emissions in current mobile and stationary applications, necessitate after-treatment measures to control exhaust gas emissions.

While NO_x and NH₃ can react on commercially available SCR catalysts at NH₃ : NO_x ratios of up to 1 forming dominantly N₂, excessive NH₃ slip from the engine requires a dedicated ammonia slip catalyst (ASC). Due to the high levels of NH₃, high selectivity towards N₂ to avoid side product formation (NO_x or N₂O) is important. For the decomposition of N₂O, novel catalyst designs need to be evaluated for the exhaust conditions.

Laboratory experiments with synthetic exhaust gas, single cylinder engine tests and a multi cylinder engine test are presented. Individual catalysts specifically designed to target for instance high NH₃ slip or N₂O in the exhaust, are tested under these conditions, highlighting the chances and limitations of current and future catalyst technologies. Also, a full exhaust gas aftertreatment system is being presented enabling a high CO₂ emission reduction by switching from fossil fuels to NH₃. Overall, achieving lower greenhouse impact by switching to alternative fuels such as ammonia also requires careful consideration of the requirements for exhaust gas aftertreatment systems. Close collaboration on this topic between engine development and exhaust gas aftertreatment ensures to meet legal pollutant requirements while maintaining low emissions of undesired, currently nonregulated substances.

CO₂-freier und emissionsarmer Motorbetrieb durch dezentrale Ammoniakspaltung **CO₂-free and low-emission engine operation through decentralized ammonia cracking**

Christian Hermle*, Dr.-Ing. Gerhard Wannemacher;
 Ammonigy GmbH;
 Dr.-Ing. Steven Wagner;
 TU Darmstadt;
 Dr.-Ing. Konrad Krois;
 Heraeus Precious Metals

In einem gemeinsamen Projekt der drei Projektpartner Ammonigy, Heraeus Precious Metals und TU Darmstadt wurde ein CO₂-freier und emissionsarmer Motorbetrieb (4 Takt Gasmotor) durch Ammoniak-Wasserstoff (NH₃/H₂) als Kraftstoff demonstriert. Wesentliche Bestandteile waren die Integration eines dezentralen NH₃-Crackers und der Einsatz eines zweistufigen Abgasreinigungssystems. Die Haupteigenschaften des Projekts sind nachfolgend aufgeführt.

1. Ammoniak-Wasserstoff Gasgemische ermöglichen Motorwirkungsgrade wie bei Erdgas.
2. Wasserstoff („pilot fuel“) wird durch einen dezentralen NH₃-Cracker erzeugt.
3. Im stationären Motorbetrieb werden alle relevanten Emissionen auf ein Minimum reduziert.

Der Motorbetrieb fand mit einem Standardgasmotor des Typs MAN E0836 (6-Zyl., Hubraum 6,7 l, mit Turbolader) statt. Das Mischungsverhältnis des Kraftstoffgemisch für den Motorbetrieb lag bei ca. 4:1 (NH₃:H₂). Der Motorbetrieb fand bei stöchiometrischem Betrieb ($\lambda = 1$) statt, um eine möglichst hohe Motorleistung zu erreichen.

Die Abgasnachbehandlung erfolgt durch ein geregeltes, zweistufiges Abgassystem. Das System besteht aus zwei Dreiwegekatalysatoren mit Sauerstoffspeicher. Diese Form der Abgasnachbehandlung ist bei stöchiometrischen Motorbetrieb üblich. Zur Abgasreinigung wird Ammoniak in den Abgastrakt dosiert. Auf die gesamte Brennstoffmenge bezogen, werden 1-2 % Ammoniak für die Abgasreinigung benötigt. Das Messsystem zur Emissionserfassung wurde von der TU Darmstadt entwickelt und basiert auf der Messtechnik der „Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy (TDLAS)“ zur kalibrierungsfreien Erfassung absoluter Spezieskonzentrationen.

Der Effekt der geregelten, zweistufigen Abgasnachbehandlung ist im Schaubild 5 ersichtlich. Beim stöchiometrischen Motorbetrieb ($\lambda = 1$) sorgt das geregelte Abgasreinigungssystem (AGRS) nach kurzer Zeit für eine drastische Reduktion der Schadstoffemissionen. Nach ca. 1-2 Minuten ist das AGRS eingeregelt und sorgt für sehr geringe Werte (<5ppm) bei den drei relevanten Emissionen NO (Stickoxid), N₂O (Lachgas) und NH₃ (Ammoniak). Bei Abschaltung des AGRS folgt ein unmittelbarer und deutlicher Anstieg aller drei Emissionen.

In a joint project between the three project partners Ammonigy, Heraeus Precious Metals and TU Darmstadt, a CO₂-free and low-emission engine operation (4-stroke gas engine) using ammonia-hydrogen (NH₃/H₂) as fuel was demonstrated.

Key components were the integration of a decentralized NH₃-cracker and the use of a two-stage exhaust aftertreatment system. The main findings of the project are listed below.

1. Ammonia-hydrogen gas mixtures enable engine efficiencies similar to natural gas.
2. Hydrogen („pilot fuel“) is produced by a decentralized NH₃-cracker.
3. In stationary engine operation, all relevant emissions are reduced to a minimum.

The engine tests were carried out with a standard gas engine of the type MAN E0836 (6-cyl., displacement 6.7 l, with turbocharger). The mixture ratio of the fuel mixture for engine operation was approximately 4:1 (NH₃:H₂). The engine operation took place in stoichiometric operation ($\lambda = 1$) in order to achieve the highest possible engine performance.

The exhaust gas aftertreatment is carried out by a regulated, two-stage exhaust aftertreatment system. The system consists of two three-way catalysts with oxygen storage. This form of exhaust gas aftertreatment is common in stoichiometric engine operation. Ammonia is dosed into the exhaust tract to purify the exhaust gases. Based on the total amount of fuel, approx. 1-2 % ammonia is required for exhaust gas purification. The measurement system for emissions detection was developed by the TU Darmstadt and is based on the measurement technology of „Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy (TDLAS)“ for the calibration-free detection of absolute species concentrations.

The effect of the regulated, two-stage exhaust gas aftertreatment is shown in Figure 5. When the engine is running at stoichiome-

* Speaker/Referent

Minderung der Abgasemissionen an einem NH₃-Diesel-Einzylindermotor durch gekoppelte Optimierung von Verbrennungsstrategie und Abgasnachbehandlung
Achieving low emissions in an NH₃-diesel single-cylinder engine through coupled optimization of combustion strategy and exhaust aftertreatment

M.Sc. Felix Wenig, Dr.-Ing. Sascha Prehn, Prof. Dr.-Ing. Bert Buchholz;
University of Rostock, Chair of Piston Machines and Internal Combustion Engines (LKV),
Rostock/Germany;
Dr. Richt Sieteke van Alten, Dr. Alain Ristori;
Umicore AG & Co. KG, Hanau/Germany*

Ammoniak aus erneuerbaren Quellen gilt als vielversprechender Wasserstoffträger und kohlenstofffreier Kraftstoff für zukünftige Energiesysteme. Neben seinem Potenzial in der Schifffahrt kann Ammoniak auch als Kraftstoff für stationäre Verbrennungsmotoren zur Stromerzeugung und Netzstabilisierung eingesetzt werden, um Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Die komplexen Verbrennungseigenschaften von Ammoniak stellen jedoch eine Herausforderung dar. Unvollständige Verbrennung kann zu hohen Ammoniakkonzentrationen im Abgas führen, die aufgrund von Toxizität vermieden werden müssen. Darüber hinaus kann der im Ammoniakmolekül gebundene Stickstoff im Vergleich zu herkömmlichen Dieselmotoren deutlich höhere NO_x-Emissionen verursachen, während die Bildung von N₂O aufgrund seines hohen Treibhauspotenzials die Klimavorteile zunichtemachen kann.

Um einen sauberen Betrieb von Ammoniakmotoren zu gewährleisten, sind sowohl eine optimierte Verbrennungsstrategie als auch ein geeignetes Abgasnachbehandlungssystem unerlässlich. Die selektive katalytische Reduktion (SCR) ist ein etabliertes Verfahren zur Reduzierung von Stickoxiden aus Dieselmotoren durch Zugabe von Harnstoff zum Abgasstrom. Bei Ammoniakmotoren kann das im Rohabgas enthaltene NH₃ selbst als Reduktionsmittel im SCR-Prozess genutzt werden. Für eine optimale SCR-Leistung muss die Zusammensetzung des Rohabgases entsprechend angepasst werden. Ein Schlüsselparаметer ist das Ammoniak-NO_x-Verhältnis (ANR), das idealerweise nahe 1:1 liegen sollte. Bei einem ANR < 1 ist eine zusätzliche Ammoniakdosierung im Abgasstrom erforderlich, während ein ANR > 1 selbst bei nachgeschaltetem Ammoniak-Schlupfkatalysator (ASC) zu übermäßigem Ammoniak-Schlupf führen kann.

In dieser Studie wurde in einem ersten Schritt der Einfluss zweier Motorparameter auf die Rohabgasemissionen an einem Einzylinder-Forschungsmotors im NH₃-Diesel-Betrieb mit gasförmiger Ammoniak-Saugrohreinblasung (NH₃-PFI) untersucht. Im zweiten Schritt wurden zwei Abgasnachbehandlungskonzepte, bestehend aus konventionellen SCR- und ASC-Technologien, am Einzylindermotor installiert und unter verschiedenen Motorlastbedingungen getestet. Besonderes Augenmerk lag auf der Bewertung verschiedener NH₃ Dosierungsstrategien im Abgasstrom zur Optimierung der Abgasnachbehandlung. Basierend auf den Ergebnissen der Katalysatorleistung wurden weitere Schlussfolgerungen hinsichtlich einer geeigneten Motorbetriebsstrategie gezogen.

Renewably produced Ammonia is considered as a promising hydrogen carrier and carbon-free fuel for future energy systems. In addition to its potential use in shipping, ammonia can be applied as a fuel for stationary combustion engines for power generation and grid stabilization to reduce greenhouse gas emissions. However, its poor combustion characteristics pose challenges. Incomplete combustion can lead to high levels of ammonia in the exhaust gas, which must be avoided due to toxicity. Moreover, the nitrogen bound in the ammonia molecule can result in significantly higher NO_x emissions compared with conventional diesel engines, while the formation of N₂O may negate climate benefits due to its high global warming potential.

To ensure clean operation of ammonia-fueled engines, both an optimized combustion strategy and an appropriate exhaust gas aftertreatment system is essential. Selective catalytic reduction (SCR) is a well-established method to reduce nitrogen oxides emitted from diesel engines by dosing urea into the exhaust stream. In ammonia engines, the NH₃ contained in the raw exhaust gas itself can be used as a reductant in the SCR process. For optimal SCR performance, the raw exhaust composition must be carefully adjusted. A key parameter is the ammonia-NO_x-ratio (ANR), which should ideally approach 1:1. When ANR < 1, additional ammonia dosing into the exhaust stream is required, whereas ANR > 1 risks excessive ammonia slip even when an ammonia slip catalyst (ASC) is installed downstream of the SCR.

This study investigates the influence of two different engine parameters on raw exhaust emissions using a single-cylinder research engine (SCE) operated in NH₃-diesel dual-fuel mode with gaseous ammonia port-fuel-injection (NH₃-PFI). In a second step, two aftertreatment concepts, consisting of conventional SCR and ASC technologies, are installed on the SCE and tested under different

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

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

