

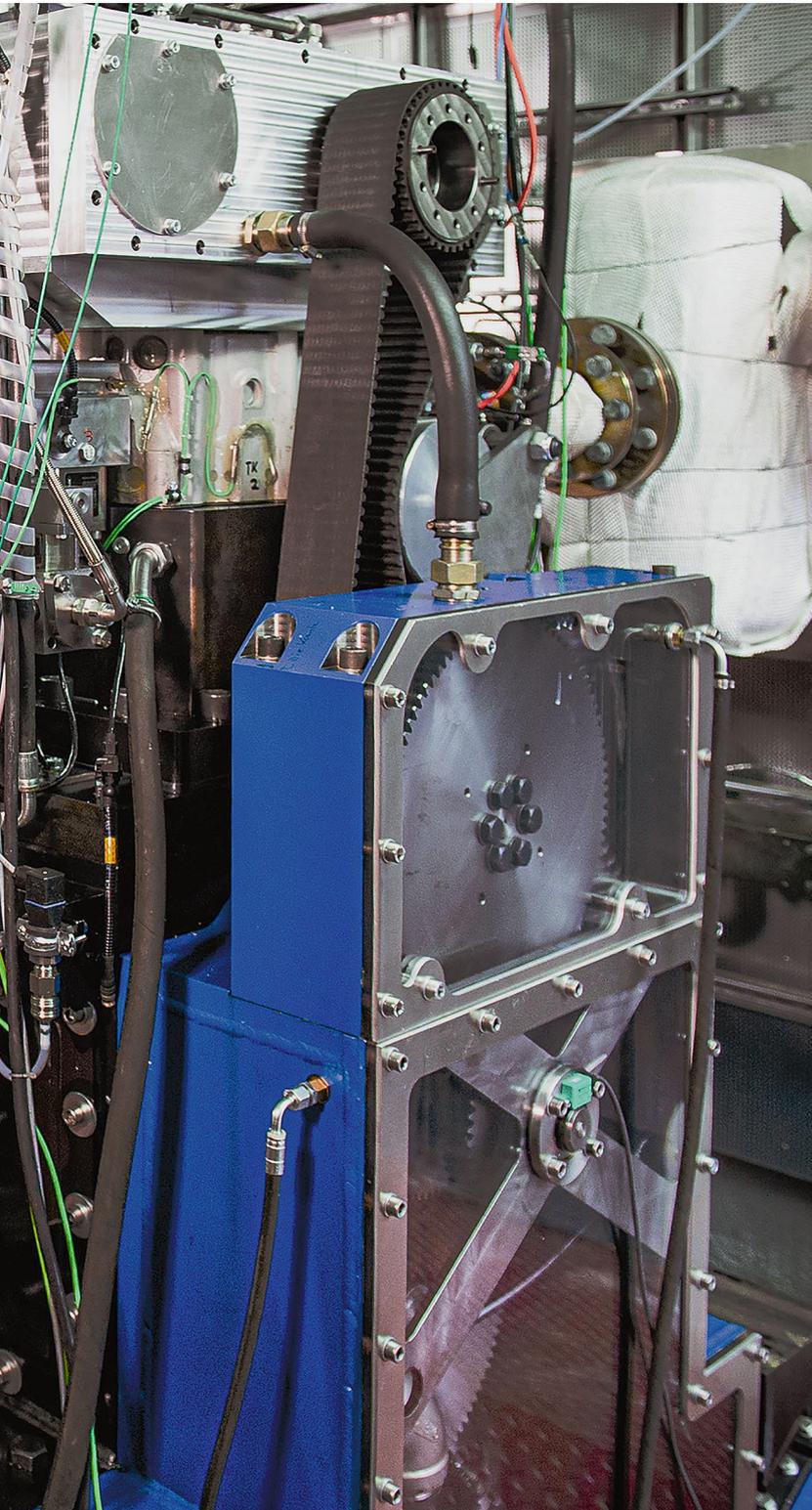
Industriemotoren als Energiesysteme – Gemeinsam zur optimalen Auslegung

Das Einsatzspektrum und die lange Nutzungsdauer von Industriemotoren erfordern Untersuchungen, um Klimaneutralität und wirtschaftliche Effizienz zur Deckung zu bringen. In der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV) wird der Einsatz klimafreundlicher Energieträger, die Hybridisierung und die Brennstoffzelle als alternativer Energiewandler gefördert. Für die vielfältigen Anwendungsfälle gibt es in der Motorenforschung eine Gemeinsamkeit: Das Optimum wird nicht primär über technische Details, sondern über die Systemauslegung erreicht.

1 VIELFALT

Industriemotoren finden in einer breiten Palette von Anwendungen Einsatz: in Arbeitsgeräten, Bau- und Landmaschinen, als Notstromaggregate, als Blockheizkraftwerke, in Minen-, Schienen- und Wasserfahrzeugen. Das Leistungsspektrum aktuell produzierter Viertaktmotoren reicht vom Einzylinderaggregat mit 1,5 kW bis zum 10.000 kW starken Marineantrieb, **TABELLE 1**. Mit wenigen Ausnahmen werden bislang jedoch selbstzündende Verbrennungsmotoren eingesetzt, die mit fossilem Kraftstoff betrieben werden. Noch weniger als bei Motoren für den Straßenverkehr ist hier eine Defossilisierung über einen allgemeinen alternativen Antrieb oder einen allgemeinen Energieträger zu realisieren, zumal die ausnahmslos international tätigen europäischen Motorenhersteller unterschiedliche Energieinfrastrukturen in den Weltregionen berücksichtigen müssen. Es wird daher breit gefächert an Hybridisierung, Vollelektrifizierung,





© RRPS

STIMMEN AUS DER FVV



© Deutz

Dr.-Ing. Markus Schwaderlapp ist Senior Vice President Research & Development bei der Deutz AG in Köln. In der FVV engagiert er sich im Vorstand und im Wissenschaftlichen Beirat.

„Die Lastprofile von Industriemotoren unterscheiden sich stark. Deshalb sind auf dem Weg der Defossilisierung vielfältige Lösungen notwendig.“



© Rolls-Royce Power Systems

Dr.-Ing. Martin Teigeler ist Executive Vice President Research & Development bei der Rolls-Royce Power Systems AG in Friedrichshafen. In der FVV engagiert er sich im Vorstand und im Wissenschaftlichen Beirat.

„Die wahre Kunst der Energiebereitstellung liegt künftig darin, für die jeweilige Anwendung das optimale System zu konfigurieren.“



© Hatz

Dr.-Ing. Sebastian Wohlgemuth hat Anfang 2021 die Leitung der Forschung & Entwicklung der Motorenfabrik Hatz GmbH & Co. KG in Ruhstorf übernommen. Er ist Mitglied im Wissenschaftlichen Beirat der FVV.

„Technologieoffenheit funktioniert nur, wenn es wissenschaftlich abgesicherte Erkenntnisse gibt, wie sie in der FVV erarbeitet werden.“



<http://www.fvv-net.de>

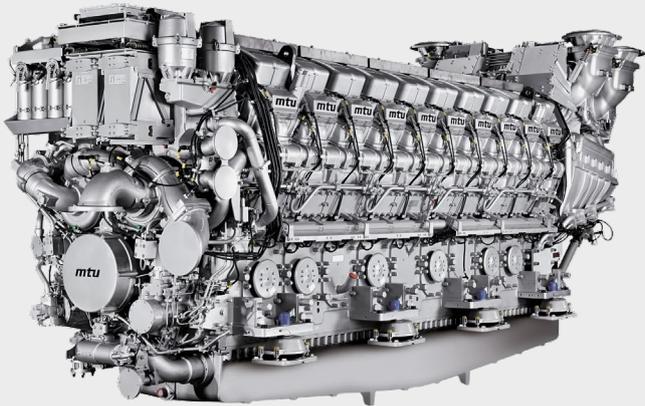
		
Hatz 1D 90E	Deutz TCD 6.1 L6	MTU 8000 M91L
Luftgekühlter Einzylinder-Viertaktmotor	Wassergekühlter Sechszylinder-Reihenmotor	Wassergekühlter 20-Zylinder-V-Motor
5,7 bis 10,5 kW	180 kW	10.000 kW
0,722 l Hubraum	6,1 l Hubraum	347,4 l Hubraum

TABELLE 1 Ausgewählte Beispiele von aktuell produzierten Industriemotoren (© Hatz | Deutz | MTU)

Brennstoffzelle sowie an Verbrennungsmotoren, die mit synthetischen Kraftstoffen betrieben werden, gearbeitet. Zudem soll der Verbrennungsmotor noch effizienter werden; die international inhomogene und teilweise anwendungsspezifische Abgasgesetzgebung sowie verschiedene Kraftstoffqualitäten tragen jedoch zu noch höherer technischer Komplexität bei.

Auch für den Dieselmotor im industriellen Einsatz sind weiterhin höhere Leistungsdichten und verminderte Schadstoffemissionen anzustreben. Applikationen von im Straßenverkehr bewährten Lösungen wie die Technologie der Selektiven Katalytischen Reduktion (Selective Catalytic Reduction, SCR) von Stickoxiden können hier jedoch zu neuen Forschungsfragen führen. Für einige Anwendungen, zum Beispiel in der dezentralen Energieversorgung und der Schifffahrt, waren Gasmotoren in letzter Zeit sehr gefragt. Die vorwettbewerbliche Gemeinschaftsforschung in der FVV kann für den Gasmotor insbesondere Fragen der Umweltverträglichkeit beantworten, beispielsweise hinsichtlich Methanschlupf, sowie Strategien für eine höhere Leistungsdichte suchen. Letzteres gilt insbesondere auch für den Wasserstoffbetrieb. Für neue synthetische Kraftstoffe können auf einer breiten Basis Betriebserfahrungen gesammelt werden; ohne Gemeinschaftsforschung wäre dies für mittelständische

Anbieter angesichts der Vielfalt möglicher Antriebs- und Kraftstoffkombinationen kaum möglich.

In zahlreichen Anwendungen sind Verbrennungsmotoren nicht mehr isoliert zu betrachten, sondern als Teil eines hybridisierten Energiebereitstellungssystems. Dies gilt ebenso für die Brennstoffzelle, sofern neben dem elektrischen Strom als deren Teilsystem auch mechanische Energie benötigt wird. Während die konkrete Systemauslegung in der firmenspezifischen Entwicklung entsteht, können vorwettbewerblich erforschte Phänomene und Simulationsmethoden die Wettbewerbsfähigkeit aller Akteure stärken und gleichzeitig den geforderten Wandel zu klimaneutralen Technologien beschleunigen.

2 KÜNFTIGE KRAFTSTOFFE

Charakteristisch für Industriemotoren ist die lange Nutzungsdauer, die häufig mehr als 20 Jahre beträgt und oft noch weit darüber hinausgeht. Die angestrebte schnelle Defossilisierung in allen Bereichen ist daher in vielen Anwendungen nur möglich, wenn ein klimaneutraler Kraftstoff zur Verfügung steht. Es ist anzunehmen, dass dabei nicht ein einzelner Energieträger den heutigen Dieselmotorkraftstoff ersetzt, sondern – abhängig von regionalen Verfügbarkeiten –

eine gewisse Vielfalt entsteht. Bei der Auswahl geeigneter Kraftstoffalternativen ist nicht nur der Einfluss auf die Verbrennung und die Dauerhaltbarkeit zu betrachten, sondern auch deren jeweilige Lebenszyklusbilanz.

Eine detaillierte Lebenszyklusanalyse für sechs Energieträger und sieben Antriebsstränge führt die FVV im Rahmen der Kraftstoffstudie IV durch, die sich auf die Defossilisierung des Verkehrssektors konzentriert [1]. Gleichwohl ist die Studie auch für Industriemotoren wegweisend: Sie stellt eine Methodik zur Verfügung, die grundsätzlich auf andere Nutzungsarten synthetischer Kraftstoffe übertragbar ist. Es ist aber davon auszugehen, dass für Industriemotoren nur in Ausnahmefällen eigene, vom Verkehrssektor völlig unabhängige Kraftstoffe zur Verfügung stehen. Wesentliches Merkmal der Kraftstoffstudie IV ist, dass sie von dem Gedanken des CO₂-Restbudgets ausgeht und daher die zeitlich kumulierten Emissionen bei Verwendung für alternative Technologien betrachtet. Zudem werden konsequent die bestehenden Engpässe für einzelne Erzeugungspfade benannt und dabei zwischen heimischer und international arbeitsteiliger Produktion differenziert. Es ist beabsichtigt, die Ergebnisse der Ende 2021 fertiggestellten Studie zu einem späteren Zeitpunkt in der MTZ noch einmal detailliert vorzustellen.

3 KALTSTART VON GASMOTOREN

Aufgrund des auf den Energiegehalt bezogenen niedrigen Kohlenstoffgehalts bietet Gas als Treibstoff die Chance, die CO₂-Emissionen von Verbrennungsmotoren zu verringern – die Substitution von fossilem Erdgas durch biogen oder synthetisch erzeugtes Methan kann dabei die Klimabilanz der Motoren signifikant verbessern. Unvollständige Verbrennung nach einem Kaltstart führt jedoch unter Umständen zu Schlupf des Treibhausgases Methan sowie zur Bildung des Schadstoffs Formaldehyd. Ursächlich dafür ist unter anderem die im Vergleich zu langkettigen Kohlenwasserstoffen hohe molekulare Stabilität und der damit einhergehende Bedarf nach einer höheren Zündtemperatur. Die Konvertierung von CH₄ in einem Oxidationskatalysator erfordert ebenfalls höhere Temperaturen, was eine vollständige Umsetzung nach einem Kaltstart zusätzlich erschwert. Niedrige CO₂-Emissionen bei der Verbrennung von Methan werden von hohen Wasserkonzentrationen im Abgas begleitet. Diese führen zu einer Deaktivierung von Katalysatoren. Im Rahmen des FVV-Vorhabens „Kaltstart CNG Katalysator“ untersuchen Forscher der Universitäten Cottbus-Senftenberg, Magdeburg und Rostock die Kaltstartemissionen eines Pkw- und eines Industrie-Gasmotors [2] in Kombination mit einem Drei-Wege- und einem Oxidationskatalysator. An einem Synthesegasprüfstand werden zunächst umfangreiche Versuche zum Light-off-Verhalten der Katalysatoren bei verschiedenen Randbedingungen durchgeführt. Darüber hinaus werden die Prozesse der Deaktivierung des Katalysators durch Wasser sowie verschiedene Methoden zur Reaktivierung untersucht. Dabei kommt erstmalig Ammoniak als Reduktionsmittel zum Einsatz. In darauffolgenden Untersuchungen auf dem Motorprüfstand werden verschiedene Parameter in der Kaltstartstrategie der Motorsteuerung variiert, **BILD 1**. Dabei kommt am Industriebmotor der in Europa und den USA für Schadstoffmessungen vorgeschriebene Non-road Transient Cycle (NRTC) zum Einsatz, der sich deutlich von Lastzyklen im Straßenverkehr unterscheidet. Auf Basis der experimentellen Untersuchungen soll ein kinetisches Katalysatormodell entstehen, das künftig für industrielle Entwicklungen genutzt werden

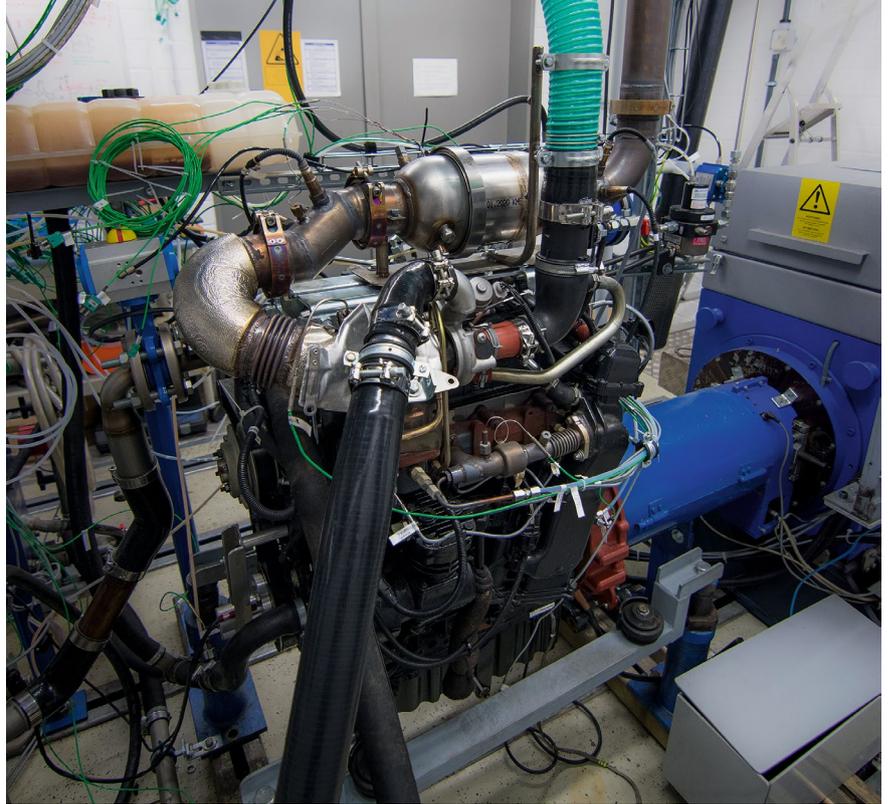


BILD 1 Industriegasmotor von Deutz mit Katalysator auf dem Prüfstand (© LKV)

kann. Der Abschluss des Vorhabens wird für Ende 2021 erwartet.

4 SENSORIK FÜR NEUE KRAFTSTOFFE

Synthetische und biogene Kraftstoffe können über Beimischung zu einer schnellen CO₂-Minderung beitragen. Auch diese Mischkraftstoffe müssen die jeweils geltenden Normen einhalten. Dennoch kann ein Sensor, der die Kraftstoffqualität überwacht, die Betriebssicherheit erhöhen. Daher ist deren Einsatz insbesondere in Weltregionen mit schwankender Kraftstoffqualität und bei Hybridantrieben sinnvoll. Für den elektrifizierten Industriebmotor kann, abhängig von der Systemkonfiguration und Betriebsweise, der für die Gültigkeit der DIN EN 590 maßgebliche Zeitraum von 90 Tagen Lagerung überschritten werden.

Wie ein zuverlässiger, aber gleichzeitig vom Messaufwand her verträglicher Sensor für E-Kraftstoffe aussehen könnte, ist Gegenstand des bis Anfang 2022 laufenden FVV-Vorhabens „Entwicklung eines Sensorkonzepts für synthetische Kraftstoffe“ [3]. Hier identifizieren Forscher der Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg zunächst verschiedene synthetische Kraftstoffe und analysieren deren chemische Zusammensetzung. Parallel entwickeln sie

eine geeignete Alterungsapparatur für flüchtige Kraftstoffe, um eine Auswahl für die Untersuchungen vorzubereiten. Aus einem früheren Forschungsprojekt heraus [4] werden ein dielektrischer und ein optischer Sensor weiterentwickelt, um den gealterten und ungealterten Zustand dieser Kraftstoffe sowie ihrer Komponenten messen zu können. Wenn die Untersuchungen abgeschlossen sind,

ANZEIGE

menzolit
Compounding Solutions



Hochpräzises
Pumpengehäuse aus
menzolit® BMC

Realisieren Sie hochgenaue Bauteile mit dem Duroplast BMC und optimierter Werkzeug- und Verarbeitungstechnologie.

Die erreichbaren Toleranzen betragen:

- Tiefe und Parallelität: <0,01 mm
- Durchmesser: <0,02 mm

Rückfragen richten Sie bitte an:
klaus.grundgeir@menzolit.com

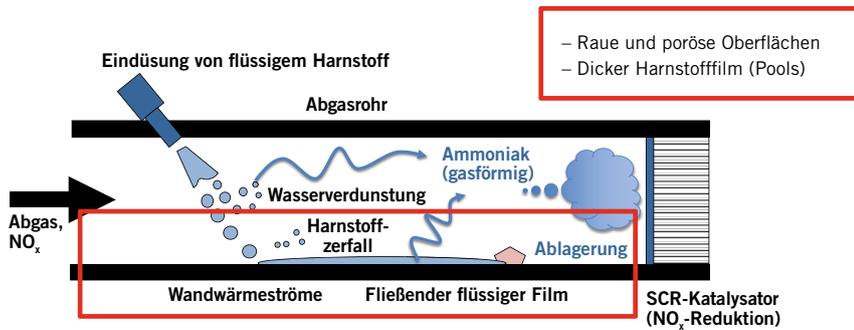


BILD 2 Bildungsmechanismus für Harnstoffablagerungen im Abgasstrang (© ITC | IFA)

werden alle Ergebnisse in einer neu eingerichteten Datenbank festgehalten, die auch für andere Forschungsvorhaben zur Verfügung steht.

5 HARNSTOFFABLAGERUNGEN

Verbrennungsmotoren werden auch künftig in der Industrie eingesetzt – da sie mit hohem Luftüberschuss arbeiten, gewinnt die Abgasreinigung durch SCR-Katalyse auch hier an Bedeutung. Die Grundlagen wurden durch einige FVV-Vorhaben bereits in den 1990er Jahren erarbeitet und fanden in der Folge in Straßenfahrzeugen breite Anwendung. Eine 1:1-Übertragung auf Industriemotoren ist jedoch aufgrund des Betriebsprofils dieser Aggregate nicht möglich. Eine besondere Herausforderung stellt die Ablagerung von nicht konvertiertem Harnstoff in der Abgasanlage dar. Diese ist zwar grundsätzlich auch von Pkw- und Lkw-Motoren bekannt, aber aufgrund der langen Nutzungsdauer von Industriemotoren besonders relevant. Im FVV-Vorhaben „Ablagerungen aus AdBlue II“ [5] untersuchen daher Forschungsstellen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und an der Technischen Universität Wien gemeinsam die Mechanismen, die zur Bildung und zum Aufbau fester Ablagerungen führen. Stand im Vorgängerprojekt [6] noch eine Modellierung der grundlegenden physikalisch-chemischen Phänomene im Zentrum, wollen die Forscher im laufenden Vorhaben die gewonnenen Ergebnisse auf die Bedingungen in seriennahen Abgasanlagen übertragen, **BILD 2**. Dabei soll erstmals der Einfluss der Oberflächenqualität in Bauteilen – zum Beispiel deren Rauheit – auf die Filmbildung berücksichtigt werden. Zudem wollen die Forscher untersuchen, wie Harnstoff mit katalytischen Materialien

reagiert und wie sich dicke Harnstofffilme (Pools) im heißen Abgasstrom verhalten. Mit den Erkenntnissen soll das im Vorgängerprojekt erstellte Modell verbessert werden. Die Ergebnisse werden im ersten Halbjahr 2022 vorliegen.

6 PERSPEKTIVEN

Klimaneutralität ist für viele Abnehmer von Industriemotoren ein wichtiges Unternehmensziel – es wird jedoch erwartet, hinsichtlich Ausfallsicherheit und Lebensdauer keine Einschränkungen zu erfahren. Die Hybridisierung, der Umstieg auf alternative Betriebsstoffe oder der Einsatz von Brennstoffzellen werfen Fragen zum Alterungsverhalten der Motoren auf. Dies ist vom Betriebsprofil abhängig, das je nach Einsatzzweck und Weltregion stark schwankt. Vorwettbewerbliche Industrielle Gemeinschaftsforschung kann Erkenntnisse darüber liefern, wie Alterungsvorgänge und Umweltbedingungen korrelieren. Durch den Wissenstransfer, der im Rahmen der FVV-Projekte stattfindet, können auch kleine und mittelständische Unternehmen der Zulieferbranche die steigende technische Komplexität meistern.

Alle Industriemotoren werden künftig Teil des Internet of Things (IoT) sein. Die Ferndiagnose und die vorausschauende Wartung, die dank der Vernetzung möglich sind, haben das Potenzial, die Kosten während der Lebensdauer erheblich zu senken. Vorwettbewerbliche Gemeinschaftsforschung mag schnell an Grenzen kommen, wenn es um den Austausch von Betriebsdaten geht. Jedoch bieten methodische Grundlagen enorme Vorteile für Entwickler. Steuergeräte-Bedeutung mit Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) oder IoT-fähige Sensorkonzepte sind bereits auf der Forschungsagenda der FVV.

LITERATURHINWEISE

- [1] Studie „Defossilisierung des Verkehrssektors in Europa – Life Cycle Assessment“. Fördergeber: FVV (1378). Projektleitung: Dr.-Ing. Ulrich Kramer (Ford-Werke GmbH). Studienleitung: Dr. David Bothe (Frontier Economics Ltd.), Frank Dünnebeil (IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH). (Unveröffentlicht)
- [2] IGF-Forschungsvorhaben „Simulation des Kaltstartverhaltens von Abgasnachbehandlungssystemen für Erdgasmotoren“. Fördergeber: BMWi/AiF (20756 BR). Projektleitung: Dr. Michael Fischer (Tenneco GmbH). Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr.-Ing. Fabian Mauß (Lehrstuhl Thermodynamik/ Thermische Verfahrenstechnik, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg), Prof. Dr.-Ing. Hermann Rottengruber (Institut für Mobile Systeme, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg), Prof. Dr.-Ing. Bert Buchholz (Lehrstuhl für Kolbenmaschinen und Verbrennungsmotoren, Universität Rostock). (Unveröffentlicht)
- [3] IGF-Forschungsvorhaben „Entwicklung eines Sensorkonzepts für synthetische Kraftstoffe“. Fördergeber: FVV (1342). Projektleitung: Dr. Bernd Becker (IAV GmbH). Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr.-Ing. Markus Jakob (Forschungsprofessur für motorische Verbrennung, Hochschule Coburg). (Unveröffentlicht)
- [4] Köstner, T; Staufenbiel, J.; Rossner, M.; Krahl, J.: Entwicklung eines Kraftstoffsensors zur Erkennung bestimmter Komponenten. In: ATZelextronik 15 (2020), Nr. 6, S. 26-30
- [5] IGF-Forschungsvorhaben „Ablagerungen aus AdBlue II – Einfluss der Oberflächen- und Filmbeschaffenheit auf die Ablagerungsbildung aus AdBlue“. Fördergeber: FVV (1400) und CORNET (270 EN). Projektleitung: Raimund Vetter (Atlanting GmbH), Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr. rer. nat. Olaf Deutschmann (Institut für Technische Chemie und Polymerchemie, Karlsruhe Institut für Technologie), Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Thomas Lauer (Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik, TU Wien). (Unveröffentlicht)
- [6] Budziankou, U.; Kuntz, C.; Böhrhorst, M.; Lauer, M.: Untersuchungen zur Ablagerungsbildung und -zerstörung aus Harnstoff in SCR-Systemen. In: MTZ 82 (2021), Nr. 1, S. 66-70

DANKE

Die Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV) e. V. dankt den öffentlichen Fördergebern und allen Mitgliedern für die großzügige Unterstützung der in diesem Beitrag genannten Forschungsvorhaben. Unser besonderer Dank gilt den Forschungsstellen, Projektleitern und Mitgliedern der Arbeitskreise und projektbegleitenden Ausschüsse für die vertrauensvolle und gute Zusammenarbeit.



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
Test now for 30 days free of charge:
www.mtz-worldwide.com

EFFIZIENZ. ÖKONOMIE. MOBILITÄT.

Sicher in die Zukunft – die Herausforderung bei der Entwicklung von Mobilien Maschinen und Straßennutzfahrzeugen ist das Wissen von morgen mit Blick auf Technologien von übermorgen. Moderne Nutzfahrzeuge langfristig robust und kostengünstig bei einem hohen Wirkungsgrad zu betreiben, gewährleistet einen optimalen Investitionsschutz. ATZheavyduty bietet neuestes Wissen aus Forschung und Entwicklung und berichtet einzigartig über das gesamte Spektrum der Nutzfahrzeugtechnik auf und abseits der Straße. Nutzen Sie zusätzlich zu den Printausgaben das **interaktive E-Magazin** und profitieren Sie von der einzigartigen **Wissensdatenbank des Onlinearchivs mit pdf-Download**.

ATZ heavyduty

ON- UND OFFHIGHWAY-NUTZFAHRZEUGE



www.mein-fachwissen.de/ATZheavyduty