38. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPOSIUM 27. UND 28. APRIL 2017

38TH INTERNATIONAL VIENNA MOTOR SYMPOSIUM APRIL 27TH AND 28TH, 2017

Von/By
Hans Peter Lenz

MTZextra
MTZ Motortechnische Zeitschrift 78 (2017), Nr. 9 | Springer Vieweg | Wiesbaden | Germany

38. INTERNATIONALES WIENER MOTORENSYMPOSIUM

Zum 38. Internationalen Wiener Motorensymposium am 27. und 28. April 2017 trafen sich wie jedes Jahr über 1000 führende Ingenieure der Motorenentwicklung und Wissenschaftler aus aller Welt. Sie präsentierten ihre neuesten Entwicklungen und gaben Ausblicke auf zukünftige Trends. Der vorliegende Bericht stellt zum Teil gekürzte Zusammenfassungen der Vorträge der einzelnen Autoren vor.

AUTOR

Univ.-Prof. Dr. techn. Hans Peter Lenz
ist Vorsitzender des Österreichischen Vereins für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK) in Wien (Österreich).

EINLEITUNG

Mit einer Begrüßungsfanfare der Mitglieder des Orchesters der Technischen Universität Wien grüßte *Prof. Lenz,* **BILD 1**, die Teilnehmer des ausgebuchten 38. Internationalen Wiener Motorensymposiums, **BILD 2**.

Alle Vorträge sind wieder in den VDI-Fortschritt-Berichten, einschließlich eines USB-Sticks in englischer und deutscher Sprache, enthalten. Die Vorträge aus dem universitären Bereich wurden – soweit gewünscht – einem Peer-Review-Verfahren durch die Wissenschaftliche Gesellschaft für Kraftfahrzeug- und Motorentechnik e.V. (WKM) unterzogen. Prof. Lenz wies auch auf das Suchsystem des Österreichischen Vereins für Kraftfahrzeugtechnik hin, das die Möglichkeit bietet, mithilfe von Suchbegriffen die Vortragstitel, Autoren und Firmen der vorangegangenen Motorensymposien und auch sonst gehaltener Vorträge zu finden.

Auf der Webseite des Internationalen Wiener Motorensymposiums stehen alle Vorträge dieses und vergangener Symposien für die Teilnehmer ab sofort zum Download bereit.

BILD 1 Univ.-Prof. Dr. H. P. Lenz

Prof. Lenz führte einleitend aus: „Einige von Ihnen werden erstaunt gewesen sein, als sie unser diesjähriges Programm studiert haben: Eine Reihe von Vorträgen über Brennstoffzellen zum Fahrzeugantrieb und über batteriebetriebene E-Mobile. Das ist keine Kapitulation des Verbrennungsmotors gegenüber der E-Mobilität, wir wollen vielmehr die Vor- und Nachteile der einzelnen Antriebsarten ganz genau herausarbeiten.

BILD 2 Eröffnung mit Fanfare

BILD 3 Plenar-Eröffnungssektion v. r. n. l.: Dr. S. Sommer, Dr. R. Bulander, T. Hirai, Prof. R. Stadler, Prof. Lenz, Dr. Hametner

einem Jahr im guten Glauben einen Euro-5-Diesel kaufte, dem darf der Staat nicht kurzfristig das Fahren in gewissen Zonen verbieten.

Es ist unverständlich, dass gerade zu dem Zeitpunkt, an dem wir Ingenieure die saubersten Diesel-Pkw auf den Markt bringen, Aktionen, die den Autokäufer total verunsichern, veröffentlicht werden. Es kann nicht sein, das Lokalpolitiker, je nach vermeintlicher Notwendigkeit, unkoordiniert Fahrverbote bewirken. Dr. Denner, Vorstandsvorsitzender von Bosch, der gegen diese Praktiken vorgeht, gilt unsere volle Unterstützung.

Gasbetriebenen Otto-Motoren gilt ebenfalls unsere volle Aufmerksamkeit. Obwohl bisher jahrzehntelang, trotz Förderungsmaßnahmen, Gas-Motoren

Die Sektionen ‚Motoren für die Zukunft', Otto- beziehungsweise Dieselmotoren betreffend, zeigen zukunftsweisende verbrennungsmotorische Entwicklungen. Dabei sind diese Motoren insofern elektrifiziert, als Nebenaggregate elektronisch gesteuert und bedarfsgerecht angetrieben werden.

Wir werden beeindruckende Lösungen zur Abgasqualität, Verbrauch, Laufleistung vorführen. Dies gilt sowohl für Otto- wie für Dieselmotoren. Ergebnisse, die man noch vor einigen Jahren nicht für möglich gehalten hätte!

Besonders die Vorträge über die Zukunft des Dieselmotors werden Erstaunen darüber hervorrufen, wie viele Möglichkeiten hier noch vorhanden sind. Der Dieselmotor kann vergleichbar sauber wie ein Ottomotor sein und dazu sparsamer. Sein Reichweitenvorteil ist unerreicht und in den schweren Fahrzeugklassen ist er unverzichtbar, insbesondere mit Elektrifizierung. Es ist leider eine Tatsache, dass ältere Diesel-Pkw zu viel NO_x ausstoßen und es ist aus gesundheitlichen Gründen notwendig, baldmöglichst auf ‚saubere Dieselmotoren' umzusteigen. Aber dieses Umsteigen muss sorgfältig durchgeführt werden. Sinnvolle Übergangsfristen müssen vorgesehen werden. Immerhin erfüllen zurzeit nur circa 10 % der Diesel-Pkw die Euro-6-Abgasnorm.

Das Handeln des Staats muss berechenbar sein. Wer zum Beispiel vor

BILD 4 Festsaal

BILD 5 Zeremoniensaal

keinen Durchbruch erzielen konnten, scheint in der heutigen Situation ein Erfolg möglich.

Bei den batteriebetriebenen E-Motoren suchen wir immer noch die Batterien, die die optimistisch angegebenen Reichweiten dieser Fahrzeuge im echten Fahrbetrieb ermöglichen können.

Große Fortschritte finden wir auch bei den Komponenten des Verbrennungsmotors, gleich ob es sich um variable Verdichtung, Wassereinspritzung, Direkteinspritzung und vieles andere handelt.

Zur Elektrizitätsversorgung der Elektromobile war allen klar, dass diese regenerativ erfolgen muss, sonst hat das Ganze keinen Sinn.

Hier wurde aber im Januar/Februar 2017 deutlich, dass selbst ein mittelschwerer Winter ausreichte, um die Stromversorgung am Beispiel Österreichs für zwei Wochen an den Rand des Zusammenbruchs zu bringen.

Eine soeben veröffentlichte Untersuchung von Prof. Brauner, TU Wien, zeigt, dass mindestens 15 % der installierten Leistung von schnell reagierenden thermischen Kraftwerken kommen müssen, um die Versorgung zu garantieren.

Gerade solche Kraftwerke stehen auf der Abbruchliste. Das muss geändert werden. Nur mit ‚Ökostrom' geht es nicht! Es sollte untersucht werden, wie sich das auf die E-Mobilität auswirkt. Letztendlich wird der Kunde entscheiden, welche Antriebe erfolgreich sein werden."

Abschließend mahnte Prof. Lenz: „Vergessen wir nie, dass nichts besser den Wunsch nach Freiheit und Unabhängigkeit erfüllt, als das individuelle Transportmittel Auto. Aber ein Auto mit Reichweite, ein preiswertes Auto, kein Auto mit dem ich nach 200 km Kaffee trinken muss."

Nach der gemeinsamen Plenar-Eröffnungssektion **BILD 3** folgten in zwei Parallelsektionen, **BILD 4** und **BILD 5**, die Fachvorträge unter der Leitung von *Univ.-Prof. Dr. G. Brasseur*, **BILD 6**, *Univ.-Prof. Dr. H. Eichlseder*, **BILD 7**, *Rektor Univ.-Prof. Dr. W. Eichlseder*, **BILD 8**, *Univ.-Prof. Dr. B. Geringer*, **BILD 9**, *Univ.-Prof. Dr. G. Hohenberg*, **BILD 10**, *Prof. Dr. S. Pischinger*, **BILD 11**, und *Univ.-Prof. Dr. H. P. Lenz*, **BILD 12**. Saalmanager in den Sektionen waren *Dipl.-Ing. S. Auer*, **BILD 13**, *Dr. T. Hametner*, **BILD 14**,

BILD 6 Univ.-Prof. Dr. G. Brasseur

BILD 7 Univ.-Prof. Dr. H. Eichlseder

BILD 8 Univ.-Prof. Dr. W. Eichlseder

BILD 9 Univ.-Prof. Dr. B. Geringer

BILD 10 Univ.-Prof. Dr. G. Hohenberg

BILD 11 Prof. Dr. S. Pischinger

BILD 12 Univ.-Prof. Dr. H. P. Lenz

BILD 13 Dipl.-Ing. S. Auer

BILD 14 Dr. T. Hametner

BILD 15 Dr. J. Spreitzer

BILD 16 Dr. M. Urbanek

BILD 17 Ausstellung: Stand von Audi

Dr. J. Spreitzer, **BILD 15** und *Dr. Urbanek*, **BILD 16**. Eine umfassende und eindrucksvolle Ausstellung neuer Motoren, Komponenten und Fahrzeuge ergänzte die Vorträge, **BILD 17**, **BILD 18**, **BILD 19**, **BILD 20**, **BILD 21** und **BILD 22**.

Die Begleitpersonen erlebten ein kulturell anspruchsvolles Rahmenprogramm mit Themenschwerpunkten, wie „Zum 300. Geburtstag von Maria Theresia“, „Profan- und Sakralbauten im Jugendstil“, „Unbekannte Kapellen in Wien“ und „Musikstadt Wien: Oper und Musikverein“. Den Abend verbrachten die Teilnehmer beim Heurigen auf Einladung des Bürgermeisters von Wien.

PLENAR-ERÖFFNUNGSSEKTION

Prof. Rupert Stadler, **BILD 23**, Vorstandsvorsitzender, Audi AG, Ingolstadt, Deutschland: „Pilotiert, vernetzt, emissionsfrei: Transformation der Marke Audi zur Digital Premium Car Company.“

„Der Audi der Zukunft pilotiert uns, wenn wir die Zeit an Bord besser nutzen wollen. Er fährt emissionsfrei, mit synthetischen, nicht-fossilen Kraftstoffen oder elektrisch dank Batterie oder Brennstoffzelle. Den Passagieren steht eine Online-Plattform im Auto zur Verfügung, über die sie ihren digitalen Alltag beruflich wie privat organisieren. Dies mit Information, Unterhaltung und praktischen neuen Dienstleistungen, die das mobile Leben einfacher machen,“ so Stadler. Er zeigt in seinem Vortrag, wie sich die Premiummarke Audi zur Digital Car Company transformiert. Mit den veränderten Kundenerwartungen entstehen neue Berufsbilder und neue Geschäftsmodelle.

Toshihiro Hirai, **BILD 24**, Alliance Global Director, Corporate Vice President, Nissan Motor Co., Ltd., Kanagawa, Japan: „Strategische Zukunft: Powertrain-Vision für Morgen.“

„Für die Mobilitätslösungen zur Verwirklichung der nachhaltigen Gesellschaft erscheint eine zweigleisige Vor-

BILD 18 Ausstellung: Stand von Bosch

BILD 19 Ausstellung: Stand von Mahle

BILD 20 Ausstellung: Stand von Volkswagen

BILD 21 Ausstellung:
Stand von Daimler

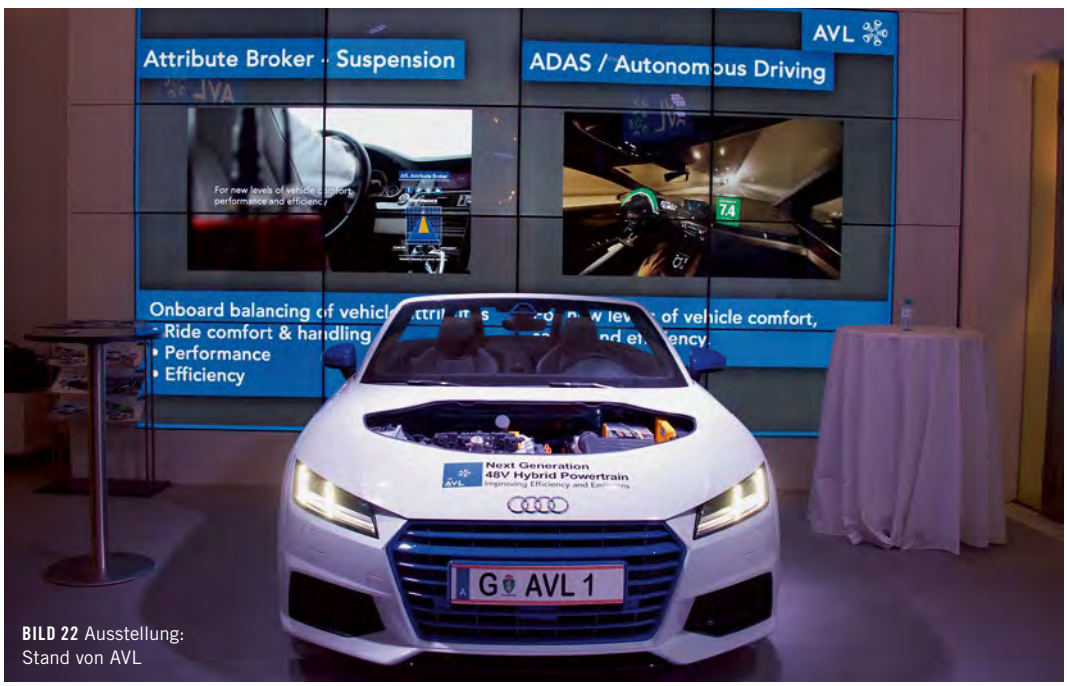


BILD 22 Ausstellung:
Stand von AVL

BILD 23 Prof. R. Stadler, Audi AG

BILD 24 T. Hirai, Nissan Motor Co., Ltd.

gehensweise nötig. Erstens: die Verbreitung von ‚emissionsfreien Fahrzeugen', die beim Fahren kein CO_2 ausstoßen. Und zweitens: die gründliche Verbesserung der Effizienz von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren. Bei der ‚Verbreitung von emissionsfreien Fahrzeugen' strebt Nissan bis 2025 einen Umsatzanteil von 25 % an. Produktion und Vertrieb von emissionsfreien Fahrzeugen sind jedoch nur erste Schritte zur ‚Verbreitung von emissionsfreien Fahrzeugen'. Der Schlüssel zur Verbreitung ist eine umfassende Initiative inklusive Aufbau der sozialen Infrastruktur wie Entwicklung und Einrichtung von Schnellladegeräten für Elektrofahrzeuge. So bemüht sich Nissan um die Förderung emissionsfreier Mobilität.

Zur Verbesserung der Effizienz von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren wird eine thermische Effizienz von circa 40 % durch den Generationswechsel vor 2020 erreichbar sein. Dies ist jedoch nur eine Durchgangsstation. Mit der Entwicklung von Magerverbrennungsprozessen, wie AGR mit Auflader und Magermotor mit Auflader, ist der Weg zur thermischen Effizienz von Verbrennungsmotoren von 45 % bereits zu erkennen. Die Tendenz der Verbesserung der thermischen Effizienz soll weiter gehen, damit Verbrennungsmotoren auch in der Zukunft eine wertvolle Technologie sein können. Schlüssel zur kontinuierlichen Verbesserung sollen die Reduzierung von Auskühlverlusten sowie die Realisation des hohen Verdichtungsverhältnisses sein. Um mehr als einen bestimmten Verdichtungsgrad zu erreichen, werden Langhuber benötigt, die jedoch eine unangemessene Geometrie für einen Fahrzeugverbrennungsmotor haben. Um ein hohes Verdichtungsverhältnis voranzutreiben, wird dies ein großes physikalisches Hindernis sein.

Der Linkmechanismus für den aktuell von Nissan entwickelten Motor ‚VC-Turbo' kann nicht nur das Verdichtungsverhältnis stufenlos verändern, sondern auch die Bewegung des Kolbenrings ändern. Durch diesen Effekt können physikalische Hindernisse für das Vorantreiben der Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses überwunden und Langhuber geometrisch problemlos verwirklicht werden.

Obwohl es schwierig erscheint, weitere signifikante Verbesserungen zu erzielen, wenn die thermische Effizienz von Verbrennungsmotoren 45 % überschreiten, gibt es jedoch bei Kraftwerken und Schiffsmotoren bereits Beispiele, für die eine noch höhere thermische Effizienz umgesetzt wurde. Ein Punkt dabei ist der Einsatz von Verbrennungsmotoren und weitere Verbesserungen sind durch die Einschränkung des Betriebszustands wie die Beschränkung der Drehzahl oder der Betrieb mit Dauerbelastung zu erwarten.

Nissan hat im Herbst 2016 einen Antriebsstrang ‚E-Power' mit neuer elektrischer Powerunit herausgebracht, in dem Benzinmotoren und batteriebetriebene Motoren fusioniert sind. Da bei ‚E-Power' der Benzinmotor strukturell nicht direkt mit den Reifen verbunden ist, ist es möglich, den Verbrennungsmotor auch als einen für Stromerzeugung spezialisierten Motor mit der effektivsten Drehzahl und mit der effektivsten Belastung antreiben zu lassen. Dadurch hat dieser Motor das Potenzial, Wirtschaftlichkeit auf einem noch höheren Niveau zu erreichen."

Dr. Rolf Bulander, **BILD 25**, Geschäftsführer, Vorsitzender des Unternehmensbereichs Mobility Solutions, Robert Bosch GmbH, Stuttgart, Deutschland: „Beitrag verschiedener Antriebskonzepte zur Erreichung anspruchsvoller Klimaziele."

„Die aus dem Pariser Klimaabkommen abgeleiteten CO_2-Ziele erfordern eine signifikante Reduzierung der CO_2-Emissionen gerade auch im Straßenverkehr. Hierzu ist die Nutzung verschiedener Antriebskonzepte erforderlich: vom weiter verbesserten Verbrennungsmotor sowohl als Benziner als auch als Diesel, über elektrische Antriebe, auch als Hybrid eingesetzt, sowie langfristig der Einsatz der Brennstoffzelle. Kurzfristig bieten zudem synthetische Kraftstoffe Potenziale zur CO_2-Reduzierung.

Lösungswege zur Erreichung der globalen CO_2-Ziele sind aber nur ein Aspekt. Lokal liegt der Fokus auf den Immissionen von Partikeln und NO_x. Für den Verbrennungsmotor bedeutet dies, die Effizienz zu maximieren, gleichzeitig aber auch Emissionen als Ursachen für Immissionen zu minimieren. Um beim Benzinmotor den Partikelgrenzwert auch bei RDE-Fahrten zu erreichen, ist ein zweigeteilter Lösungsansatz erforderlich, bestehend aus innermotorischen Maßnahmen zur Senkung der Rohemissionen sowie dem Einsatz eines Gasoline-Partikelfilters. Beim Diesel liegt der Fokus auf der Erreichung des NO_x-Grenzwerts bei RDE. Bei Testfahrten mit einem Versuchsträger, der mit geeigneten Kombinationen von Abgasnachbehandlungssystemen und einem intelligenten Warm-up-Management ausgestattet ist, lassen sich auf einer Teststrecke in Stuttgart Emissionswerte erreichen, die den NO_x-Grenzwert von 80 mg/km durchgehend unterschreiten.

Der Schlüssel zur Entschärfung der lokalen Immissions-Hotspots besteht somit in einer Zielerreichung und -übererfüllung für Euro-6-RDE-Applikationen und der schnellstmöglichen Durchdringung dieser Technologien in der Flotte."

Dr. Stefan Sommer, **BILD 26**, Vorstandsvorsitzender, ZF Friedrichshafen AG, Friedrichshafen: „Der Antriebsstrang

der Zukunft – Im Spannungsfeld neuer Fahrzeugkonzepte und regulatorischer Anforderungen."

„Die Automobilindustrie steht vor gewaltigen Veränderungen. Ein neues Mobilitätsverständnis bringt neue Konzepte hervor. Fahrerlose und vernetzte Fahrzeuge werden in den Markt drängen. Diese Fahrzeuge werden sich nicht mehr nur der traditionellen Fahrzeugkonzepte und -Architekturen bedienen. Neue Konzepte werden entstehen, die vornehmlich auf elektrifizierte Antriebe setzen. Die Elektrifizierung wird durch regulatorische Anforderungen in Bezug auf Schadstoffemissionen weiter vorangetrieben.

Mit einer doppelten Vision Zero, also der drastischen Reduzierung von Unfällen und Emissionen, steht ZF vor der Herausforderung, die Systemkompetenz in der Antriebs-, Fahrwerk- und Sicherheitstechnik für den Antriebsstrang der Zukunft zu nutzen. Entscheidend ist die Frage, wie schnell und in welcher Ausprägung sich die E-Mobilität entwickelt. Ist es eher eine Evolution, also ein Übergang mit großen Anteilen von Hybridantrieben, oder eher eine Revolution, das heißt ein schneller Wechsel zu vermehrt rein elektrischen Antrieben. Die jeweiligen Anteile der Antriebsvarianten sind innerhalb eines bestimmten Rahmens derzeit noch nicht seriös zu bestimmen.

Der Antriebsstrang der Zukunft muss daher modular, flexibel und integrierbar sein. Nur so lassen sich entsprechende Volumen generieren, die angepasst werden können. Mit einer Hülle lassen sich auf Basis des Achtgang-Automatikgetriebes konventionelle, Mildhybrid- und Plug-in-Hybrid-Antriebskonfigurationen darstellen. Der rein elektrische Antrieb hat als Basis einen Achsantrieb, der sich zu einer Achsgruppe integrieren lässt. Auf dieser modularen Basis können verschiedene Konfigurationen dargestellt werden. So kann ZF seine einmalige Fahrwerk- und Sicherheitskompetenz auch im Antriebsstrang zur Geltung bringen."

ELEKTROMOBILITÄT / BRENNSTOFFZELLEN

Dipl.-Ing. F. Eichler (Vortragender), **BILD 27**, *Dr. rer. nat. K. Bennewitz*, *Dipl.-Ing. C. Helbing*, *Dr.-Ing. K. Philipp*, *Dipl.-Ing. P. Lück*, *Dipl.-Ing. N. Weiß*, *Dr.-Ing. C. Felsch*, Volkswagen AG, Wolfsburg, Deutschland: „Volkswagen elektrifiziert den neuen Golf."

Bei Volkswagen ist die Elektrifizierung eine zentrale Säule der Antriebsstrategie. Ob Full-Hybrid, Plug-in-Hybrid oder batterieelektrisches Fahrzeug – das Unternehmen hat elektrifizierte Fahrzeugkonzepte auf Basis bestehender Plattformen in den vergangenen Jahren erfolgreich auf den Markt gebracht, führt Eichler aus. Beispiele sind Touareg Hybrid, Jetta Hybrid, E-Up und E-Golf sowie die Plug-in-Hybridmodelle Golf GTE und Passat GTE. Für Volkswagen resultiere daraus ein breites Spektrum an Erkenntnisgewinn und Kompetenzen bei der Elektrifizierung des Antriebsstrangs.

Im neuen Golf bietet Volkswagen jetzt ein Elektrifizierungsspektrum an, das vom Niedervolt-Hybridsystem „Freilauf Motor Aus" (FMA) bis zum Hochvolt-Elektrofahrzeug reicht. Beim FMA-System werde der Verbrennungsmotor in der Freilaufphase abgeschaltet, somit stellt das System eine Weiterentwicklung der Funktionen Freilauf und Start-Stopp dar. „Im neuen E-Golf kommt ein inhouse entwickelter und produzierter elektrischer Antrieb zum Einsatz. Als Energiespeicher dient ein Lithium-Ionen-Batteriesystem von Volkswagen. Damit war es möglich, sowohl die Reichweite als auch die Antriebsleistung des weiterentwickelten E-Golf deutlich zu steigern."

Die weltweite Marktentwicklung und die Verbrauchsgesetzgebungen erfordern eine signifikante weitere Reduzierung der CO_2-Flottenemissionen und damit eine breit gelagerte, auch für Kunden höchst attraktive Elektrifizierung. Das Unternehmen nutzt das Know-how, das mit den bereits auf den Markt gebrachten Fahrzeugen erarbeitet wurde, um diese Anforderung künftig mit einer Fahrzeugarchitektur umzusetzen, die gezielt auf Batteriefahrzeuge ausgerichtet ist. „Der Modulare Elektrifizierungsbaukasten (MEB) verbindet lokal emissionsfreies Fahren mit Langstreckenmobilität, er bildet die Basis für weltweit angebotene Batteriefahrzeuge in Großserie", führt Eichler aus.

N. Saito (Vortragender), **BILD 28**, *K. Nagumo*, *M. Yamamoto*, *A. Hiraide*, *M. Sugishita*, *H. Chiba*, Honda R&D Co., Ltd. Automobile R&D Center, Tochigi, Japan; *T. Brachmann*, Honda R&D Europe (Deutschland) GmbH, Offenbach, Deutschland: „Das Brennstoffzellensystem des Honda Clarity Fuel Cell und Honda's Beitrag zur Realisierung der Wasserstoffgesellschaft."

Honda begann sein erstes Leasingprogramm für Brennstoffzellenfahrzeuge (FCV) im Dezember 2002 und hat seit-

BILD 25 Dr. R. Bulander, Robert Bosch GmbH

BILD 26 Dr. S. Sommer, ZF Friedrichshafen AG

BILD 27 Dipl.-Ing. F. Eichler, Volkswagen AG

BILD 28 N. Saito, Honda R&D Co., Ltd. Automobile R&D Center

BILD 29 Dr.-Ing. S. Dehn, NuCellSys GmbH

BILD 30 V. Beaumesnil, Automobile Club de l'Ouest

dem kontinuierlich Brennstoffzellenfahrzeuge mit fortschrittlichster Technologie an Kunden geliefert. Im März 2016 begann das neueste Leasingprogramm für das Clarity Fuel Cell-Brennstoffzellenfahrzeug. Das neue hochintegrierte Brennstoffzellensystem hat eine nochmals verbesserte Leistungsdichte bei gestiegener Dauerhaltbarkeit. Diese wird erreicht durch eine weiterentwickelte Struktur von Brennstoffzelle und -stapel sowie durch eine verbesserte Kontrolle der Wasserverteilung im Katalysator mit grundlegenden Technologien für eine genaue Lebensdauerprognose, wie Leistungsverlust des Katalysators, mechanische Schädigung der Elektrolytmembran, chemische Schädigung der Elektrolytmembran und Optimierung des Wassermanagements katalytisch beschichteter Membranen.

Insgesamt führten die Maßnahmen dazu, dass die Spannungssteuer- und Regelungseinheit und die Motoreinheit zu einer einzigen Brennstoffzellensystembaugruppe integriert werden konnten. Mit diesem hochintegrierten Design wurde das Clarity Fuel Cell-Brennstoffzellenfahrzeug die erste fünfsitzige Limousine, in der das gesamte Brennstoffzellenantriebssystem im Vorderwagen untergebracht ist. Für eine erfolgreiche Positionierung von Brennstoffzellenfahrzeugen im Markt ist eine kontinuierliche Kostenreduktion (Entwicklung von Spezifikationen und Prozessen) zwingend notwendig.

Darüber hinaus versucht Honda mit dem Schlüsselkonzept „Erzeugung", „Nutzung" und „Vernetzung", die Wasserstoffgesellschaft zu verwirklichen, um eine optimale Schonung der Ressourcen zu erreichen, so Saito.

Dr.-Ing. S. Dehn (Vortragender), **BILD 29**, NuCellSys GmbH, Kirchheim unter Teck/Nabern, Deutschland, *Dr. rer. nat. J. Wind*, *Prof. Dr. rer. nat. C. Mohrdieck*, Daimler AG, Kirchheim unter Teck/Nabern, Deutschland: „Optimierung des Brennstoffzellenantriebs im Spannungsfeld von Technik, Kosten und Kundenanforderungen."

„Die Daimler AG ist ein Technologieführer auf dem Gebiet der automobilen Brennstoffzelle. Über zwei Jahrzehnte sind Kompetenz, Know-how und umfangreiche Erfahrung von der Komponentenebene bis zum Fahrzeug und zur Wasserstoffinfrastruktur sowie durch den langjährigen Betrieb von zwei Generationen Fahrzeugflotten auch zu den Kundenanforderungen aufgebaut worden", so Dehn.

Bei der Optimierung eines Brennstoffzellenantriebs seien die Parameter Kundenwünsche, Technik, Kosten und auch Wasserstoffinfrastruktur zu berücksichtigen. Je nach Gewichtung der Parameter, der Zielfahrzeugkategorie und dem Zeitpunkt der Analyse gelange man zu unterschiedlichen hybriden Antriebskonfigurationen. Dehn beschreibt die resultierenden generischen Typen von Antriebsarchitekturen. In der praktischen Umsetzung spiele darüber hinaus die Verfügbarkeit von Standardkomponenten eine gewichtige Rolle für die Kosten. Am Beispiel des Mercedes-Benz GLC F-CELL diskutiert Dehn eine aktuelle Lösung und zeigt die resultierende Energie-/Treibhausgas-Bilanz auf Well-to-Wheel-Basis.

V. Beaumesnil (Vortragender), **BILD 30**, Automobile Club de l'Ouest, Le Mans, Frankreich; *B. Niclot* (Vortragender), **BILD 31**, FIA, Paris, Frankreich; *Dr. W. Warnecke*, Shell, Hamburg, Deutschland: „Chancen für Alternative Antriebe und Energien für Le Mans."

Seit fast 100 Jahren werden Rennwagen von Verbrennungsmotoren angetrieben und mit Benzin oder Dieselkraftstoff betankt, wobei eine zunehmende Elektrifizierung stattfindet. Die Herausforderungen der Mobilität der Zukunft liegen zum einen beim Thema der globalen und lokalen Emissionen, zum anderen aber auch in der Frage nach verfügbaren Energieressourcen und den daraus produzierbaren Kraftstoffen.

Die WEC-Serie (World Endurance Championship) mit dem 24-Stunden-Rennen von Le Mans als Höhepunkt hat gezeigt, dass Rennsport die Entwicklung von technologischen Innovationen beschleunigt. Ein Beispiel für die Offenheit der Serie für Innovation ist das Duell der letzten Jahre zwischen Otto- und Dieselmotoren mit den verschiedenen Stufen der Hybridisierung.

Die WEC möchte Anreize für neue Kraftstoffe und Antriebskonzepte setzen, die ökologisch sinnvoll sind, Emissionen reduzieren und die Energie-Effizienz verbessern. Es soll eine Plattform für innovative Fahrzeugkonzepte bereitgestellt werden, die später auch in Serie gehen könnten.

Für Langstreckenrennen sehen die Vortragenden dabei zwei Optionen: Zum einen die Optimierung des konven-

tionellen Verbrennungsmotors (ICE) durch weiterentwickelte Verbrennungsprozesse mit dem Ziel, Emissionen zu reduzieren und die Nachhaltigkeitsbilanz zu verbessern – zum Beispiel durch die vermehrte Verwendung von advanced-Biokraftstoffen wie etwa Biomethan (ein Konzept, das mit der „Pit 56“ in Le Mans 2017 umgesetzt wird). Zum anderen eine weitergehende Elektrifizierung des Antriebs, ausgehend von Hybridkonzepten, die für kurze Phasen rein elektrischen Vortrieb erzeugen, bis hin zu batterieelektrischen Fahrzeugen (Battery Electric Vehicle, BEV) oder Brennstoffzellen-Fahrzeugen mit Wasserstoff als Energieträger (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV).

Nach heutigem Stand der Technik stehen batterieelektrische Antriebe (BEV) im Langstreckenrennsport und auf vergleichbaren Distanzen auf der Straße vor nicht unerheblichen Herausforderungen, weil Energiedichte und Kapazität der Energiespeicher nicht ausreichen und die Ladedauer noch zu lang ist – vom Gewicht und den Ausmaßen der Batterien ganz abgesehen. Ob und wie BEVs in WEC-Langstreckenrennen vielleicht doch erfolgreich sein konnten, wäre Gegenstand einer gesonderten detaillierten Untersuchung, so die Vortragenden.

Dagegen scheint es denkbar, dass mit Wasserstoff betankte FCEVs die erfolgsversprechende Option für emissionsfreien Rennsport sind und mit konventionellen Hybridantrieben konkurrieren könnten.

Die Vortragenden konzentrieren sich auf die Bewertung der mit Wasserstoff betankten FCEVs und zeigen, wie konkurrenzfähig dieses Konzept gegenüber Otto- und Diesel-Hybridrennfahrzeugen in der Le Mans-Prototype-1-Klasse (LMP1) sein könnte.

Die Grundlage bildet eine von der FIA zusammen mit dem Automobile Club de l‘ Ouest, ACO, entwickelte Simulation, die es erlaubt, die Leistungsfähigkeit eines LMP1-FCEV mit einem LMP1-Benzinhybrid zu vergleichen, Schwachstellen zu identifizieren und Optionen zur Verbesserung der Konkurrenzfähigkeit in einem 24-Stunden-Rennen durchzuspielen.

Die Vortragenden stellen die Anforderungen an die Effizienz eines Brennstoffzellenantriebs vor, analysieren das Kühlungskonzept – auch in seiner Auswirkung auf die Aerodynamik – sowie Größe und Gewicht der Antriebseinheit mit Blick auf die verschiedenen Aggregatszustände des Wasserstoffs (Hochdruck oder cryo-verflüssigt). Abschließend zeigen sie die damit verbundenen Tank- und Betankungskonzepte.

BILD 31 B. Niclot, FIA, Paris

BILD 32 Dr. T. Eder, Daimler AG

BILD 33 Dipl.-Ing. P. Lückert, Daimler AG

MOTOREN FÜR DIE ZUKUNFT: DIESEL

B. Heil, *Dr. T. Eder* (Vortragender), **BILD 32**, *Dr. U. Keller*, *Dr. N. Merdes*, et al., Daimler AG, Stuttgart, Deutschland: „Der modulare High-Tech-Powertrain von Mercedes-Benz.“

„Der im Frühjahr 2016 im Markt eingeführte neue Vierzylinder-Diesel OM 654 in Kombination mit dem bereits im Herbst 2013 auf den Markt gekommenen Automatikgetriebe NAG3 (9G-Tronic) markiert den Start eines neuen zukunftsfähigen modularen, längs angeordneten Powertrains bei Mercedes-Benz.

Diese erste Antriebseinheit der neuen Mercedes-Benz Motorenfamilie wird nun durch die modularen Otto- und Dieselmotoren mit der Modellpflege der S-Klasse weiter vervollständigt. In Kombination mit dem ebenso modularen Mercedes-Benz-Getriebe wird der Antriebsbaukasten von 12-V-Antrieben über 48-V-Systeme bis hin zu Hochvolt-Systemen für Plug-in-Antriebe und (lokal) emissionsfreie Antriebe erweitert.“

Eder beschreibt dieses modulare Konzept, den daraus ableitbaren Varianten und anhand der Ergebnisse, mögliche Potenziale im Längsantrieb. Das Antriebskonzept sei die Basis, um einerseits kundenspezifische, skalierbare Technologiepakete und Leistungsstufen zu ermöglichen, gleichzeitig Zukunftssicherheit durch Flexibilität zu erreichen und anderseits bei erhöhter kunden- und marktindividueller Variantenanzahl, die Wirtschaftlichkeit der Antriebe sicherzustellen.

Dipl.-Ing. P. Lückert (Vortragender), **BILD 33**, *Dipl.-Ing. S. Arndt*, *Dr. F. Duvinage*, *Dr. M. Kemmner*, *Dipl.-Ing. (FH) H. Sass*, *Dipl.-Ing. (FH) T. Braun*, *Dipl.-Ing. R. Pfaff*, *Dipl.-Ing. (FH) S. Digeser*, *Dipl.-Ing. R. Binz*, *Dipl.-Ing. C. Koehlen*, *Dipl.-Ing. S. Ellwanger*, *Dr. R. Weller*, Daimler AG, Stuttgart, Deutschland: „OM 656 – Die neue Sechszylinder-Diesel-Spitzenmotorisierung von Mercedes-Benz.“

Lückert stellt die Positionierung und das technische Konzept der neuen Sechszylinderbaureihe OM 656 als Spitzenmotorisierung innerhalb der neuen

Dieselmotoren-Generation bei Mercedes-Benz vor. Er beschreibt den konstruktiven Aufbau des Grundmotors und der Motorperipherie. Weitere Schwerpunkte des Vortrags sind Systembeschreibungen zur Auslegung und Funktionalität der Thermodynamik, der Abgasrückführung sowie des Ladungswechsels mit der zweistufigen Aufladung und der Abgasnachbehandlung, die den Kern des integrierten Technologieansatzes zur Darstellung von niedrigsten Emissionen bei bestmöglichem Verbrauch darstellen. Abschließend zeigt er die erzielten motorischen Ergebnisse und des gesamten Powertrains vor dem Hintergrund der künftigen Emissionsvorschriften sowie die Powertrain-Gesamtauslegung im Sinne eines maximalen Kundennutzens.

Hierbei werde das Fahrleistungs- und Komfort-Angebot der Diesel-Motorisierungen mit dem Reihen-Sechszylinder OM 656 als neuem Typ 400 d deutlich nach oben erweitert, zur neuen Diesel-Spitzenmotorisierung bei Mercedes Benz.

G. Basso (Vortragender), **BILD 34**, *G. Boretto*, *S. Caprio*, *R. Ruotolo*, *L. Borgia*, GM Global Propulsion System Torino s.r.l., Turin, Italien; *M. E. Siegrist* (Vortragender), **BILD 35**, *R. J. Darr*, *Y. He*, GM Global Propulsion System NA, Pontiac/Milford, USA: „Der 1,6-l-Midsize-Diesel-Motor von General Motors für Nordamerika."

„Nach 25 Jahren stieg General Motors 2014 mit der Einführung des Chevrolet Cruze wieder in den Diesel-Pkw-Markt in Nordamerika ein. Mit Einbau des 1,6-l-Dieselmotors in den neuen Chevrolet Cruze, den Equinox und den GMC-Terrain, setzt General Motors das Bekenntnis für Pkw mit Dieselmotoren in Nordamerika fort. Dies unterstreicht einmal mehr die Strategie des Unternehmens, erfolgreiche europäische Anwendungen auch in den nordamerikanischen Markt zu bringen."

Basso beschreibt, wie bei der Entwicklung des Motors die hohen Erwartungen der nordamerikanischen Kunden (Geräusch, Leistung und Fahrbarkeit), strengere Abgasstandards und On-Board-Diagnose-Anforderungen umgesetzt wurden. Er erläutert, dass der 1,6-l-Dieselmotor diese Anforderungen in Verbindung mit hoher Leistungsdichte, sehr guter Geräuschentwicklung und bestem Kraftstoffverbrauch in seinem Segment erfüllt. Der Vortragende beschreibt zudem die wichtigsten technischen Merkmale des Basismotors, der Motorsteuerung und die Technologien zur Abgasreduzierung.

MOTOREN FÜR DIE ZUKUNFT: OTTO

Dipl.-Ing. R. Kemmler (Vortragender), **BILD 36**, *Dipl.-Ing. F. Kreitmann*, *Dipl.-Ing. M. Werner*, *Dr. R. Inderka*, et al., Daimler AG, Stuttgart, Deutschland: „M 264 – Der neue Mercedes-Benz Vierzylinder-Toptype-Ottomotor mit 48-V-Elektrifizierung."

„Mercedes-Benz führt ab Herbst 2017, beginnend mit dem E-Klasse Coupé, die neue Vierzylindermotoren-Generation mit der Typbezeichnung M 264 ein.

Der Toptype mit 2,0 l Hubraum ermöglicht dank seiner hohen spezifischen Leistung von 110 kW/l den Einsatz in Leistungspositionen, die bisher Sechszylindermotoren vorbehalten waren. Gegenüber diesen Motoren wird durch konsequentes Downsizing in Verbindung mit verbesserter Motorreibung, dem Einsatz der Camtronic und der Einführung eines 48-V-Systems mit riemengetriebenem Starter-Generator (RSG) eine Verbrauchsverbesserung von circa 23 % realisiert." Bei diesem emotionalen Antrieb, so Kemmler, lag hohes Augenmerk auf souveränem Fahrgefühl mit direktem Ansprechverhalten sowie auf gutem Durchzug und ansprechendem Drehvermögen.

Mit der Weiterentwicklung des bewährten BlueDirect-Brennverfahrens in Verbindung mit dem Ottopartikelfilter werde ein niedriges Abgasemissionsniveau sichergestellt.

Der im Premiumsegment erforderliche gute Geräusch- und Schwingungskomfort werde durch den komfortablen Start mittels Startergenerator sowie umfangreichen NVH-Maßnahmen erreicht.

Dipl.-Ing. O. Vollrath (Vortragender), **BILD 37**, *Dipl.-Ing. J. Banken*, *Dipl.-Ing. P. Lautenschütz*, *Dr.-Ing. O. Storz*, et al., Daimler AG, Stuttgart, Deutschland: „M 256 – der neue Mercedes-Benz High-Performance-Reihensechszylinder-Ottomotor mit intelligenter 48-V-Elektrifizierung."

„Der Sechszylinder-Ottomotor M 256 ist das erste Otto-Mitglied in der neuen Reihenmotorenfamilie von Mercedes-Benz. Er löst damit seinen erfolgreichen Vorgänger, den M 276 in V-Bauweise, ab. Durch eine von Beginn an bei der Auslegung des Motors mitberücksichtigte 48-V-Elektrifizierung und eine Reihe weiterer innovativer Maß-

BILD 34 G. Basso, GM Global Propulsion System Torino s.r.l.

BILD 35 M. E. Siegrist, GM Global Propulsion System NA, Pontiac

BILD 36 Dipl.-Ing. R. Kemmler, Daimler AG

nahmen, ist es möglich, trotz ambitionierter Performanceziele erhebliche Verbrauchseinsparungen zu erreichen. So zeigt der riemenlose Motor durch die Verbindung eines 48-V-integrierten Startergenerators, eines elektrischen Zusatzverdichters und eines leistungsfähigen Turboladers ein hervorragendes Ansprechverhalten über den gesamten Drehzahlbereich. Neben dem Einsatz der 48-V-Komponenten umfasst das Technologieportfolio des innovativen Antriebs Bausteine wie einen variabel geregelten Ölkreislauf, ein intelligentes Wärmemanagement oder einen Ottopartikelfilter."

Der Vortragende zeigt, dass mit einer CO_2-Absenkung von nahezu 20 % bei einer Leistungssteigerung um mehr als 15 % gegenüber dem Vorgänger V6 im Ergebnis ein Sechszylinder dargestellt werden kann, der sich beim Verbrauch in Vierzylinderregionen bewegt und bei seiner Leistung mit Achtzylindern messen kann.

T. Toda, (Vortragender), **BILD 38**, *M. Sakai*, *M. Hakariya*, *T. Kato*, Toyota Motor Corporation, Aichi, Japan: „Der neue 2,5-l-Reihen-Vierzylinder-Ottomotor mit Toyota Neue Global Architektur Konzept."

Im Oktober 2015 veröffentlichte die Toyota Motor Corporation die „Toyota Environmental Challenge 2050", die aus sechs sogenannten Herausforderungen besteht, die zu einer nachhaltigen Gesellschaft beitragen sollen. Die erste Herausforderung lautet „Neu-Fahrzeug ohne CO_2-Emmision" und verfolgt das Ziel, die CO_2-Emissionen der Fahrzeuge bis 2050 um 90 % gegenüber dem Niveau von 2010 zu senken. Dafür entwickelt das Unternehmen eine neue Motorenbaureihe mit geringerem Kraftstoffverbrauch, höherer Leistung und einer weltweit erhöhten Produktivität, basierend auf Toyotas „New Global Architecture"-Konzept (TNGA).

Der neue 2,5-l-Vierzylinder-Benzin-Saugmotor ist der erste in Serie gefertigte TNGA-Motor. Um die höhere spezifische Leistung bei geringerem Kraftstoffverbrauch und Abgasemissionen zu realisieren, war eine verbesserte Verbrennung erforderlich. Hierzu wurde die Grundstruktur wie das Hub-Bohrungsverhältnis und der Ventilaufbau komplett neugestaltet. Weiterhin wurde ein lasergestützter Einlassventilsitz eingesetzt, um das Taumelverhältnis und den Luftströmungskoeffizienten zu erhöhen. Für eine verbesserte Verbrennung wurde zusätzlich der Atkinson-Zyklus unter Verwendung eines neuen elektrischen VVT-, D-4S-Systems (Direkt- und Porteinspritzung) mit einem neuen Mehrloch-DI-Injektor und der Hochenergiezündspule verwendet. Darüber hinaus halfen variable Kühl- und Schmiersysteme den Kraftstoffverbrauch zu senken, indem Kühl- und Reibungsverluste reduziert wurden. Infolgedessen wurden über einen thermischen Wirkungsgrad von über 40 % und über 60 kW/l spezifische Leistung erreicht. Die Kombination mit dem neuen TNGA-Achtgang-Automatikgetriebe erzielte im Vergleich zum Vorgängermodell einen um 16 % verringerten Kraftstoffverbrauch und eine um 12 % höhere Beschleunigungsleistung.

ZUKUNFT DES DIESELS / THERMOMANAGEMENT

Dr.-Ing. A. Kufferath, *Dr.-Ing. M. Krüger* (Vortragender), **BILD 39**, *Dipl.-Ing. D. Naber*, *Dr.-Ing. R. Maier*, *Prof. Dr.-Ing. J. Hammer*, Robert Bosch GmbH, Stuttgart, Deutschland: „Verbrauch im Einklang mit Realemissionen: Die Zukunft für den Diesel-Pkw."

„Das in Kürze in Kraft tretende Maßnahmenpaket zu Realfahremissionen von Pkw (RDE) enthält erstmals Regelungen über die Messung der Stickoxid- und Partikelanzahlemissionen von Fahrzeugen im realen Fahrbetrieb statt unter Laborbedingungen. Dieses Maßnahmenpaket wird zu einer spürbaren Verringerung der lokalen Stickoxidbelastung in den Städten führen. Auch unter diesen veränderten Rahmenbedingungen wird der Dieselmotor sein CO_2-Niveau halten beziehungsweise sogar weiter absenken können. Neben den klassischen Ansätzen durch konsequente Optimierung des Aufladeaggregats und einer verbesserten Verbrennung sowie Thermodynamik durch weiterentwickelte Einspritzsysteme lassen sich zusätzliche Potenziale mithilfe der Elektrifizierung erschließen. Die im Vordergrund stehende zuverlässige Erfüllung der Realfahremissionen kann durch eine konsequente Auslegung und Abstimmung des Brennverfahrens mit der Auswahl der aktiven Nachbehandlungskomponenten synergetisch optimiert werden. Darüber hinaus bedarf die Verbesserung des transienten Emissionsverhaltens bei Laständerungen einer optimierten Aufladung und intelligenter Regelungsfunktionen.

BILD 37 Dipl.-Ing. O. Vollrath, Daimler AG

BILD 38 T. Toda, Toyota Motor Corporation

BILD 39 Dr.-Ing. M. Krüger, Robert Bosch GmbH

Der Optimierung des Thermomanagements von Motor und Abgasnachbehandlung kommt hier eine besondere Bedeutung zu. Wird diese Kombination von Maßnahmen konsequent umgesetzt, können deutliche Verbesserungen in den Realfahremissionen erzielt werden, ohne den Kraftstoffverbrauch signifikant zu verschlechtern." Mit den getroffenen Annahmen zeigt Krüger, dass hiermit Stickoxidemissionen unter Realfahrbedingungen möglich sind, die auch an den kritischen Hotspots wie am Stuttgarter Neckartor zur Erfüllung der gesetzlichen NO_2-Immissionsstandards beitragen können.

Dipl.-Ing. M. Weißbäck (Vortragender), **BILD 40**, *Dipl.-Ing. R. Dreisbach*, *Dipl.-Ing. (FH) B. Enzi*, *Dipl.-Ing. M. Grubmüller*, *Dr. K. Hadl*, *Dipl.-Ing. S. Krapf*, *Dr. W. Schöffmann*, AVL List GmbH, Graz, Österreich: „Diesel – Quo Vadis."

Ausgehend von der Rolle, die der Dieselmotor heute und in Zukunft für die CO_2-Flottenzielerreichung spielt und spielen wird, betrachtet Weißbäck die zuletzt stark kritisierte Emissionseinhaltung des Dieselmotors. Er untersucht hierzu folgende Themenfelder bezüglich ihrer Potenziale zur CO_2- und Emissionsreduzierung:

- Verbrennung und innermotorisches Temperaturmanagement
- Nachbehandlungskonzepte
- Variabilität am Grundmotor
- Potenzial in Verbindung mit Elektrifizierung.

Auf Basis dieser Überlegungen soll der künftige Dieselmotor mit den technischen Features sowie in Bezug auf die Motorengröße und des gesamten Antriebsstrangs definiert werden.

Der Vortragende zeigt, dass auch in Zukunft der Diesel ein unverzichtbarer Baustein für eine leistbare Flottenstrategie sein wird, speziell unter Berücksichtigung der Marktentwicklung hin zu SUV- und Cross-Over-Konzepten. Vor allem in den schweren Fahrzeugklassen ließen sich, basierend auf dem dieselmotorischen Brennverfahren, Effizienz, Umweltfreundlichkeit und Fahrspaß auch unter realen Fahrbedingungen kosteneffizient verbinden.

Dr.-Ing. G. Avolio, *Dipl.-Ing. J. Grimm* (Vortragender), **BILD 41**, *Dr.-Ing. O. Maiwald*, *Dr.-Ing. G. Rösel*, *Dipl.-Ing. R. Brück*, Continental, Regensburg/Lohmar, Deutschland; *Prof. Dr.-Ing. F. Atzler*, Westsächsische Hochschule, Zwickau, Deutschland: „Energiebasierte Optimierung eines Dieselhybrids zur Erfüllung der zukünftigen Real-Driving-Emissionsgesetzgebung."

BILD 40 Dipl.-Ing. M. Weißbäck, AVL List GmbH

BILD 41 Dipl.-Ing. J. Grimm, Continental

„Moderne Pkw-Motoren müssen anspruchsvolle Ziele erfüllen. Beim Dieselmotor liegt ein besonderer Schwerpunkt auf dem Ausbalancieren zwischen Kraftstoffverbrauch und dem Ausstoß von Stickstoffoxiden (NO_x) in der Betriebspraxis unter erweiterten Umweltanforderungen, zum Beispiel Umgebungstemperatur, Höhenlage.

Der hochtransiente Fahrbetrieb erfordert eine präzise und robuste Steuerung des Verbrennungsprozesses. Durch das optimierte Zusammenspiel des Ansaug-, Abgasrückführungs- und Aufladesystems lässt sich die gewünschte Ladungszusammensetzung im Zylinder während des transienten Betriebs mit den erwünschten Resultaten erreichen. ln Verbindung mit einer Lambdaregelung, der optimierten Mehrfacheinspritzung und einem hocheffizienten Abgasnachbehandlungssystem kann dies den Schadstoffausstoß über die gesamte Fahrzeuglebensdauer begrenzen, ohne Kraftstoffverbrauch und Fahrverhalten negativ zu beeinflussen.

Zur Einhaltung der Emissionen (NO_x) bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen ist es notwendig, neue robuste Lösungen zu entwickeln, um die Effizienz des Abgasnachbehandlungssystems zu verbessern, da dieses bei niedrigen Betriebstemperaturen zunehmend an Effizienz verliert.

Die optimale Auslegung des Luftpfads, mit besonderem Schwerpunkt auf dem AGR-Management und dem Verbrennungsvorgang, dient dazu, das bestmögliche Gleichgewicht zwischen Rohemissionen und Effizienz der Katalysatorkonvertierung zu finden.

Die Einführung eines 48-V-Systems ist ein weiterer Schritt in Richtung der gleichzeitigen Reduzierung von Kraftstoffverbrauch und Stickoxidemissionen.

Das 48-V-System ermöglicht Energierückgewinnung beim Bremsen sowie eine Unterstützung für den Verbrennungsmotor in der Beschleunigungsphase. Dies führt nicht nur zu einer Reduzierung der Spitzenlast bei gleichzeitiger Verbesserung der NO_x-Werte und der Kraftstoffeinsparung, sondern kann auch die dynamischen Anforderungen an die ‚langsameren' Motorsteuerelemente durch Phlegmatisierung verringern.

Eine weitere CO_2-Reduzierung kann durch die interne NO_x-Unterdrückung des Motors zugunsten eines hocheffizienten Abgasnachbehandlungssystems erreicht werden. Dies basiert auf einem beheizten Katalysator mit geringem Strömungswiderstand und somit geringem Druckabfall für eine Verkürzung der Katalysator-Ansprechzeit beim Kaltstart, unabhängig von der Motorlast."

Der Vortragende präsentiert den Stand der systemischen Beurteilung im Hinblick auf das Zusammenwirken der vier Kernbereiche: Motoroptimie-

BILD 42 Dipl.-Ing. M. Brinker, Adam Opel AG

BILD 43 Dr.-Ing. S. Grams, Audi AG

BILD 44 Dipl.-Ing. (FH) M. Hofer, Magna Powertrain Engineering Center Steyr

rung, hocheffiziente Abgasnachbehandlung, milde Hybridisierung und vernetztes Energiemanagement mit dem Ziel, ein Konzept eines sauberen und dennoch kostengünstigen Diesel-Pkws zu realisieren, der für die künftigen Anforderungen an CO_2- und NO_x-Emissionen gerüstet ist.

Dipl.-Ing. M. Brinker (Vortragender), **BILD 42**, *Dipl.-Ing. T. Müller*, *Dipl.-Ing. M. Reichenbach*, *Dipl.-Ing. M. Plankenbühler*, Adam Opel AG, Rüsselsheim, Deutschland; *Dr. A. Zahdeh*, *Dr. J. Gatowski*, GM Global Propulsion Systems, Pontiac, USA: „Umfassendes Thermomanagement für zukünftige Ottomotoren."

Um alle Vorteile von Thermomanagement zu nutzen, wird ein umfassender Ansatz benötigt, der das Konzept des Motorwassermantels, die Aktuatoren, die verschiedenen Pfade im Kühlkreislauf und ein Regelungssystem beinhaltet. Brinker beschreibt hier ein System, das:

- ein Wassermantelkonzept mit mehreren Schlüsselelementen umfasst. Der Fluss ist ausgerichtet zu den Stellen hoher Wärmestromdichte mit allgemeiner Querströmung durch den Motor. Dies erlaubt einen minimalen Druckverlust. Durch getrennte Kühlung kann der Kühlmittelstrom durch den Motorblock unabhängig vom Fluss durch den IEM und Zylinderkopf geregelt werden.
- ein Heizen oder Kühlen vom Motor- und Getriebeöl erlaubt, abhängig von Motor- und Fahrzeugbetriebsbedingungen. Das Heizen erfolgt zu großen Teilen mit der im IEM aus dem Abgas zurückgewonnenen Energie. Die Voraussetzung für die Steuerung der Wärmeströme wird mithilfe eines multifunktionalen Ventilmoduls und einer elektrischen Kühlmittelpumpe erreicht.
- eine Regelstrategie, die nach einer Maximierung der Kraftstoffeffizienz sucht und dabei die Belange der Motortemperaturregelung, den Kundenwünschen und der Motorleistung berücksichtigt. Das wird erreicht durch ständige Beobachtung des Motorzustands und präzise Regelung der elektrischen Kühlmittelpumpe und der Kühlmittelventile. Der Betrieb des Thermomanagementsystems ist in mehreren Modi dargestellt. Diese Modi berücksichtigen sowohl die Aufwärmung als auch den Betrieb bei voll durchwärmten Motor.

Fahrzeugtests belegen signifikante Vorteile für diesen Ansatz beim Motorbetrieb unter allen möglichen Bedingungen. Wenn man beispielsweise den WLTP-Zyklus betrachtet, der substanzielle Betriebsanteile mit dem betriebswarmen Motor hat, zeigt sich, dass fast die Hälfte der Kraftstoffeffizienzvorteile nach der Aufwärmung erreicht wird.

HYBRID

Dr.-Ing. S. Grams (Vortragender), **BILD 43**, *H. Piechottka MSc,* Audi AG, Ingolstadt, Deutschland; *Prof. Dr.-Ing. F. Küçükay*, *Dipl.-Ing. A. Sturm*, Technische Universität Braunschweig, Deutschland: „Virtuelle Auslegung und Optimierung zukünftiger Antriebsarchitekturen."

Die globalen Anforderungen an Fahrzeuge hinsichtlich der Emissionsobergrenzen, insbesondere der CO_2-Grenzen, stellen die Antriebsstrangentwicklung vor neue Herausforderungen, die es künftig zu bewältigen gilt. Die Konsequenz ist ein stetig steigender Elektrifizierungsgrad der Fahrzeugantriebe und damit eine zunehmende Komplexität der Antriebsstränge. Zusätzlich verändern sich Mobilitätsgewohnheiten und marktindividuelle Anforderungen an den Antriebsstrang. Hieraus resultiert ein multidimensionales Lösungsfeld möglicher Technologien. Dieses stellt Fahrzeughersteller vor ein hochkomplexes Optimierungsproblem ihrer Antriebsportfolien, verbunden mit hohen Entwicklungsrisiken. Durch die Digitalisierung von Prozessen und Entwicklungsabläufen wird die Komplexität besser beherrschbar.

In diesem Spannungsfeld setzt das kooperative Forschungsvorhaben der Audi AG und des Instituts für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität Braunschweig an. Ziel ist die Entwicklung neuer Hybridantriebsstränge. Hierzu wird eine virtuelle Entwicklungskette zur Identifikation und Konzeptionierung künftiger, elektrifizierter Antriebsstränge für Premiumfahrzeuge entwickelt. Insgesamt sind fünf Rechnerwerkzeuge in die virtuelle Entwicklungskette implementiert. Sie bilden die Teilschritte zur Identifikation, Auslegung, Bewertung und Optimierung von elektrifizierten Antriebssträngen ab.

Auf lange Sicht kann dieser virtuelle und inkrementelle Ansatz dazu beitragen, so der Vortragende, künftige Kunden- und Produktanforderungen bei reduzierter Entwicklungszeit und geringeren Kosten zu erfüllen.

Dipl.-Ing. (FH) M. Hofer (Vortragender), **BILD 44**, *Dr. T. Hackl*, *Dr. G. Schlager*, Magna Powertrain Engineering Center

Steyr, St. Valentin, Österreich: „Magna's Systemansatz für 48-V-Mild-Hybride."

Um die ambitionierten Flottenemissionswerte von maximal 95 g CO_2/km ab 2021 zu erreichen, arbeitet die Fahrzeugindustrie stark an der Elektrifizierung und Hybridisierung des Antriebs, der Reduzierung der Fahrwiderstände sowie der Optimierung neuer Fahrzeugarchitekturen. Eine wesentliche Maßnahme zur Zielerreichung ist dabei die Elektrifizierung in den Bereichen Motor und Antriebsstrang. Die Einführung des 48-V-Bordnetzes bietet hier großes Potenzial für eine kostengünstige Elektrifizierung von Nebenaggregaten, die sich bedarfsoptimiert betreiben lassen. Im Bereich Motor widmet sich Magna stark den Feldern Thermalmanagement und Luftpfad, wie die aktuelle Markteinführung einer 48-V-Hauptwasserpumpe mit einem Leistungsbereich von 1 kW und die Entwicklung eines elektrischen Verdichters (5 bis 7 kW) zur Performancesteigerung im Bereich der Motoraufladung zeigen. Weitere Komponenten, die derzeit von Magna fit für 48 V gemacht werden, sind elektronische Kühlerlüfter und Getriebeölpumpen, die auch zur Schmierung und Kühlung von elektrischen Achsantrieben eingesetzt werden.

Die mit einem innovativen Hochdrehzahlkonzept ausgestattete elektrische Hinterachse rundet das stetig wachsende Portfolio des Unternehmens im Bereich der 48-V-Komponenten ab. Durch vollelektrisches Mitschwimmen im Verkehr wird speziell in Ballungszentren mit großem Verkehrsaufkommen und hoher Luftbelastung eine CO_2-Reduktion erreicht. Die 25 kW starke 48-V-E-Achse bietet neben elektrisch gefahrenen Parkmanövern auch die zusätzlichen Dynamik- und Sicherheitsvorteile eines zuschaltbaren Allradantriebs für niedrige Geschwindigkeiten sowie eine leistungsfähige Anfahrhilfe und Schneekettenersatz. Im Bereich der Getriebe bietet Getrag mit einem 25 kW starken 48-V-Hybridgetriebe, das sich als P2-Architektur ins Fahrzeug integriert, eine ausgezeichnete Lösung an, um in Kombination mit den genannten 48-V-Produkten die künftigen, herausfordernden Ziele der Emissionsgesetzgebung, sicher erfüllen zu können.

Dr.-Ing. J. Scharf (Vortragender), **BILD 45**, *Dipl.-Ing. J. Ogrzewalla*, *Dipl.-Ing. K. Wolff*, *Dr.-Ing. T. Uhlmann*, *Dr.-Ing. M. Thewes*, *Dr.-Ing. A. Balazs*, *Dr.-Ing. P. Grzeschik*, *Dipl.-Ing. M. Görgen, S. Yadla MSc*, FEV Europe GmbH, Aachen, Deutschland; *Dr.-Ing. H. Baumgarten*, FEV Group GmbH, Aachen, Deutschland; *Dr.-Ing. M. Wittler*, FEV Consulting GmbH, Aachen, Deutschland; *C. Nebbia MSc*, FEV Italia, S.r.l., Rivoli, Italien: „Ottomotoren für Hybrid-Antriebe – Hochtechnologie oder Low-Cost-Aggregate?"

Scharf prognostiziert auf Basis einer Marktstudie für Europa, USA und China eine Verschiebung zugunsten ökologisch nachhaltigen Antrieben. Hierbei spielt die Elektrifizierung des Antriebsstrangs die Hauptrolle. So wird zwar in Europa auch in 2030 noch die Mehrheit aller verkauften Fahrzeuge einen Verbrennungsmotor besitzen (75 bis 85 %), doch ein hoher Anteil dieser Verbrennungsmotoren wird in hybridisierten Antriebssträngen betrieben. Die vorgestellten Ergebnisse beleuchten die Elektrifizierung des Antriebsstrangs aus Sicht des Ottomotors für ein D-Segment-Fahrzeug mit den Antrieben Mild-Hybrid mit 48-V-Riemenstartergenerator, Mild-Hybrid mit integriertem 48-V-Startergenerator, leistungsverzweigtem Voll-Hybrid und Plug-in-Hybrid. Die Ergebnisse zeigen, dass vereinfachte Vierzylinder-Saugmotoren sowie technologisch etwas stärker ausgestattete Dreizylinder-Turbomotoren sich gleichermaßen für einen Kosten/CO_2-optimalen Einsatz in Hybrid-Antriebssträngen eignen. Mit zunehmendem Elektrifizierungsgrad nimmt der Einfluss des Verbrennungsmotors auf die CO_2-Emissionsreduktion ab und die Anforderung einer kompakten Bauform rückt in den Vordergrund. Stets niedrige Emissionen und niedrige Kraftstoffverbräuche unter realen Fahrbedingungen sprechen hierbei für eine besonnene Entfeinerung und maßvolle Wahl des Downsizinggrads. In einer parametrischen Package-Bewertung zeigen sich die kleineren Dreizylinder-Turbomotoren, insbesondere im Plug-in-Hybrid, als besonders günstig und können durch recht einfache „On/Off"-Technologiepakete von Mild-Hybrid-Antriebssträngen auf stark elektrifizierte Antriebsstränge übertragen werden. In Kombination mit Einheitshubräumen zeigt sich eine fahrzeugsegmentübergreifende Übertragbarkeit. Der Referent empfiehlt, bei der Auslegung der Abgasnachbehandlungssysteme von Verbrennungsmotoren für Hybridantriebsstränge, auf Vereinfachung zu verzichten, um auch unter realen Fahrbedingungen und variablem Nutzerverhalten niedrigste Emissionen sicherzustellen. Er präsentiert abschließend einen entsprechenden Leitfaden zur Auslegung.

ZYLINDERABSCHALTUNG / GASMOTOREN 1

Dr. M. Younkins (Vortragender), **BILD 46**, *Dr. A. Tripathi*, *Dr. J. Serrano*, *J. Fuerst BSME MBA*, Tula Technology, San Jose, USA; *Dr.-Ing. H.-J. Schiffgens*, *Dr. J. Kirwan*, *W. Fedor BSME M*S, Delphi, Bascharage, Luxembourg / Troy, Rochester, USA: „Dynamic Skip Fire: Die einzigartige Zylinderabschaltung."

„Was wäre, wenn jedes Arbeitsspiel eines Verbrennungsmotors unter optimalen Verbrauchsbedingungen ablaufen würde? Was wäre, wenn in Echtzeit jedes dieser Arbeitsspiele vorausberechnet werden kann, um die exakte Dreh-

BILD 45 Dr.-Ing. J. Scharf, FEV Europe GmbH

BILD 46 Dr. M. Younkins, Tula Technology, San Jose

momentanforderung für eine Fahrzeuganwendung zu erfüllen?

Tulas Dynamic Skip Fire (DSF)-Technologie stellt diese Kombination zur Verfügung. DSF entscheidet in Echtzeit vor jedem Arbeitsspiel, ob der Zylinder aktiviert (fire) oder abgeschaltet (skip) werden soll, je nachdem ob das Drehmoment erforderlich ist oder nicht. Durch die dynamische Vorausberechnung der Arbeitsspiele wird der Motor nahe dem optimalen Wirkungsgrad betrieben und die Ladungswechselverluste entfallen weitgehend. Dadurch kann der Verbrauch signifikant verbessert werden. Die Herausforderung dieses Konzepts ist, die Drehschwingungen des Antriebsstrangs zu vermeiden, die durch Drehmomentschwankungen bei niedrigen Frequenzen verursacht werden. Tulas DSF bietet eine Lösung für diese Herausforderung. Durch eine konsequente Entwicklungsarbeit ist es dem Unternehmen gelungen, eine softwarebasierte Lösung zu Verfügung zu stellen, die die kritischen Frequenzen und Amplituden vermeidet. DSF ermöglicht ein komfortables Fahrverhalten in Verbindung mit einer Verbrauchsreduzierung von 8 bis 15 % ohne eine negative Beeinflussung anderer limitierter Emissionen. Zudem ist DSF eine kostengünstige und robuste Lösung zur Einhaltung von globalen Emissionszielen mit Kosten unterhalb von 40 Euro pro Prozentpunkt Verbrauchsreduzierung.

Die Vorausberechnung der Verbrennung vor jedem Arbeitsspiel durch eine effiziente, Millisekunden genaue Drehmomentenberechnung, ermöglicht einen Gangwechsel ohne eine Spätverstellung der Zündung. Des Weiteren stellt DSF, aufgrund des deutlich höheren Einlasssystemdrucks, ein hohes Beschleunigungsdrehmoment zur Verfügung.

Die Deaktivierung aller Ein- und Auslassventile während der Schubphase minimiert den Kraftstoffverbrauch zur Aufheizung des Katalysators. Dies führt gleichzeitig zu einer verbesserten Energierückgewinnung während der Schubphase durch die Vermeidung von Ladungswechselverlusten.

Die Serieneinführung von DSF bei größeren Motoren steht kurz bevor und die Entwicklungsarbeiten an einem 1,8-l-Vierzylindermotor GTDI gemeinsam mit Delphi sind kurz vor dem Abschluss. Eine künftige Verbindung von DSF mit einem Hybridantrieb (idealerweise 48 V) erschließt durch aktives Ausgleichen der Drehschwingungen weitere Reduktionen im Verbrauch ohne zusätzliche Kosten."

Dipl.-Ing. (FH) P. Krähenbühl (Vortragender), **BILD 47**, *G. Dellora*, *Dr. S. Golini*, *F. Pidello*, FPT Industrial, Arbon / Turin, Italien: „Die Führungsrolle von FPT Industrial im Bereich Erdgastechnologien für Industriemotoren."

„FPT Industrial, eine Marke von CNH Industrial, produziert und vertreibt Antriebsstranglösungen. Seit den 1990er Jahren hat das Unternehmen Erdgasmotoren (2,8-l- und 9,5-l-Motoren) auf der Grundlage des stöchiometrischen Verbrennungssystems entwickelt. Der Grund für diese technologische Entscheidung war ein sehr niedriges Emissionsniveau (EEV), geringes Geräuschniveau und eine hohe Effizienz für städtische Anwendungen.

Seit 2004 veränderte FPT Industrial seine Motorenarchitektur durch die Anwendung der NG-Technologie auf Cursor 8-(7,8 l)-, NEF6-(6,0 l)- und F1C-(3,0 l)-Motoren, um eine komplette Motorenpalette für Bus und City-Trucks zu bieten.

2016 lancierte das Unternehmen den Cursor 9-NG. Er ist der erste FPT-Erdgas-Motor für den Langstreckentransport mit hervorragender Leistung und Kraftstoffverbrauch. Eine vollständige technische Beschreibung und Leistungsdaten des Cursor 9 im Vergleich zum Vorgänger Cursor 8 zeigt die Präsentation. Der Cursor 9 erbringt gleiche Leistung und gleiches Drehmoment wie sein Diesel-Pendant im Einklang mit der Erdgas-Entwicklungsstrategie des Unternehmens."

Dr. A. Lippert (Vortragender), **BILD 48**, *Dr. C. Trapp*, *J. Laubach*, *C. Nelson*, *Dr. F. Nota*, *A. Avagliano*, N. Prendiville, GE Distributed Power, Jenbach, Österreich: „GE' s J920 Großgasmotor kombiniert wegweisende Technologien und innovatives Digital Monitoring, um mehr als 50 % elektrischen Wirkungsgrad zu erreichen."

„Die Ausweitung der Leistungsgrenzen bei Großgasmotoren zur Verbesserung des Kundennutzens treibt die Entwicklung neuer Technologien bei GE weiter an und setzt dabei neue Standards. Großgasmotoren werden weltweit immer häufiger zur Stromerzeugung eingesetzt, um der wachsenden Nachfrage nach Strom in den Entwicklungsländern und den Veränderungen bei der Stromerzeugung in den Industrieländern zu begegnen. Die Nachfrage nach dezentraler und flexibler Energie nimmt zu und bringt damit auch die Entwicklung von Technologien für Verbrennungsmotoren im Hinblick auf Leistungsdichte und Wirkungsgrad sowie hinsichtlich kurzer Startzeiten und Lastabwurf zur Netzstabilisierung voran. 2013 brachte das Unternehmen den Jenbacher J920-FleXtra-Gasmotor auf den Markt, einen von Grund auf neu entwickelten Zwanzigzylinder-Vier-Takt-Gasmotor der 10-MW-Klasse. Dieser Motor nutzt die erfolgreiche zweistufige Aufladetechnologie des Jenbacher J624-Gasmotors und stellt für einen 10-MW-Motor mit einer Motordrehzahl von 1000/min für 50-Hz-Anwendungen einen neuen Meilenstein dar. Diese Bauweise bietet eine hohe Leistungsdichte, geringe Abmessungen, einen hohen elektrischen und thermischen Wirkungsgrad für die Kraft-Wärme-Kopplung sowie große Flexibilität in der Anwendung." Der Vortragende präsentiert die wichtigen Fortschritte bei

BILD 47 Dipl.-Ing. (FH) P. Krähenbühl, FPT Industrial, Arbon

BILD 48 Dr. A. Lippert, GE Distributed Power

Leistung, Wirkungsgrad und Betriebsflexibilität des Jenbacher J920 FleXtra-Gasmotors. Darunter fällt eine 10 %-ige Steigerung der elektrischen Leistung, ein in einer Testumgebung nachgewiesener elektrischer Wirkungsgrad von 50,1 % sowie höhere Flexibilität im Betrieb bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen und Gaszusammensetzungen. „GE hat erheblich in seine digitalen Fähigkeiten investiert, um die fortschrittliche Regelung und Überwachung der Motoren mit der Analyse großer Datenmengen (Big Data) zu kombinieren und eine neue Ebene beim Betrieb von Industrieanlagen mit Jenbacher J920 FleXtra-Gasmotoren durch vorausschauende Instandhaltung und Optimierung von Anlagen- und Flottenauslastung zu erreichen."

BATTERIEN / E-MOBILITÄT

Prof. Dr. M. Winter (Vortragender), **BILD 49**, Forschungszentrum Jülich Helmholtz-Institut, Münster, Deutschland; *A. Friesen MSc*, *Dr. F. M. Schappacher*, Universität Münster MEET Batterieforschungszentrum, Deutschland: „Lithium-Ionen-Batterien: Stand der Technik in Performanz und Sicherheit."

„Lithium-Ionen-Zellen sind etablierte elektrochemische Energiespeicher mit hoher Effizienz und hoher Leistungs- und Energiedichte. Die typische Lithium-Ionen-Zelle besteht aus einer kohlenstoffbasierten Anode und einem Übergangsmetall-Schichtoxid als Kathode. Der Schlüssel zu höheren Kapazitäten, Energiedichten und höherer Leistung liegt sowohl im Bereich optimierter und neuer Zellchemien als auch im Design von Elektrode, Batteriezelle, -modul und nicht zuletzt dem Batteriesystem. Die Energiedichte wird ausschließlich auf der Materialebene bestimmt. Die Kombination aus Anoden mit hoher Kapazität bei niedrigem Potenzial und Kathoden mit hoher Kapazität bei hohem Potenzial bestimmt die Arbeitsspannung und die Kapazität der Zelle. Daraus ergibt sich der Energieinhalt. Die Leistungsdichte der Lithium-Ionen-Zelle wird hauptsächlich durch das Design der Elektroden bestimmt. Die Elektrode kann hinsichtlich des Aufbaus auf hohe Leistungsdichten oder hohe Energiedichten ausgelegt werden. Die Leistungsdichte kann auf Kosten der Energiedichte gesteigert werden.

Die Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien spielt eine wichtige Rolle bei der Akzeptanz der Technologie in der breiten Öffentlichkeit. Die kontinuierliche Steigerung der Energiedichte führt jedoch zu einer Verringerung der thermischen Stabilität. Der Schlüssel für eine Erhöhung der Sicherheit liegt sowohl in aktiven Maßnahmen auf Systemebene (zum Beispiel BMS, Zell-, Modul- und Batteriedesign) als auch in passiven Maßnahmen, die auf Materialebene durch verbesserte thermische Eigenschaften der Batteriematerialien ansetzen."

Dr. K. Küpper (Vortragender), **BILD 50**, *Dipl.-Ing. A. Weinzerl*, AVL List, Graz; *Dipl.-Ing. (FH) A. Angermaier*, *Dr. G. Schwab*, AVL Deutschland, Regensburg: „E-Antriebe: Günstiger – Weiter – Schneller."

„Wie kann man für E-Fahrzeuge die Langstreckentauglichkeit erreichen? Entscheidend sind der Preis, die Reichweite und die Geschwindigkeit respektive die Reisezeit." Küpper präsentiert Lösungen, die in allen Bereichen Verbesserungen erzielen. Im Mittelpunkt steht dabei die Batterie. Er zeigt verschiedene Maßnahmen, die die Integration der sich immer weiterentwickelnden Zellen kostengünstig und technisch optimal lösen. Diese resultieren in einem nur 80 mm hohen Batteriepack für den Einsatz in Elektrofahrzeugen, erklärt er.

Ein weiterer, wesentlicher Baustein der Langstrecken-E-Mobilität ist das Schnellladen, bei dem in naher Zukunft ein Spannungsniveau von 800 bis 1000 V erwartet wird. Nur so können die erwarteten Ladeleistungen und damit Ladedauern dargestellt werden. Dies hat auch weitere, positive Auswirkungen auf das Fahrzeug. Deutliche Wirkungsgradverbesserungen des E-Antriebs werden in Zukunft weiterhin durch die Einführung einer Silicium-Carbid-basierten Leistungselektronik erzielt werden können.

Wichtigster Energieverbraucher außerhalb des Powertrains ist die Klimatisierung des Fahrzeuginnenraums. Hier ermöglicht eine geschickte Auswahl von Technologien signifikante Energieeinsparungen und damit Reichweitenverlängerungen im realen Betrieb.

Dr.-Ing. P. Ramminger (Vortragender), **BILD 51**, *Dipl.-Ing. R. Matthé*, *Dipl.-Ing. M. Herrmann*, *Dr.-Ing. R. Jäger*, Adam Opel AG, Rüsselsheim, Deutschland: „Das elektrische Antriebssystem im neuen Opel Ampera-e."

„Anfang 2017 hat Opel sein neues Elektrofahrzeug Ampera-e in den europäischen Markt eingeführt. Die Entwicklung des Antriebssystems dieses Fahr-

BILD 49 Prof. Dr. M. Winter, Helmholtz-Institut, Münster

BILD 50 Dr. K. Küpper, AVL List GmbH

BILD 51 Dr.-Ing. P. Ramminger, Adam Opel AG

zeugs sowie des Chevrolet Bolt (EV) basierte auf Erfahrungen, die mit dem Chevrolet Spark EV gesammelt wurden, wobei die Anforderungen für den neuen Ampera-e deutlich erhöht wurden.

Das Antriebssystem treibt nun ein größeres Fahrzeug mit erheblich verbesserter elektrischer Reichweite an. Durch umfangreiche Berechnungen und Simulationen wurden die Subsysteme Antriebseinheit, Traktionsmotor, Wechselrichter, Energiespeicher und Ladeelektronik sowohl einzeln als auch im Zusammenwirken optimiert. Die neue Auslegung des Antriebssystems und zahlreiche weitere Optimierungen führten zu einer deutlichen Vergrößerung der mitgeführten Energie für Traktion und Nebenfunktionen sowie zu spürbar besserer Leistungsentfaltung, Achsmoment und Wirkungsgrad. In Summe steht das neue Serienfahrzeug nun für eine hervorragende Reichweite und begeisternde Beschleunigungs- und Fahreigenschaften."

Ramminger beschreibt das Antriebssystem von der Anforderungsdefinition bis zur Auslegung der Subsysteme, die mit bedeutenden konstruktiven Details aufwarten. Hierfür wurden modernste Analyse- und Simulationstechniken konsequent umgesetzt. Kenn- und Leistungsdaten des Ampera-e werden mit denjenigen des Chevrolet Spark EV verglichen, der 2014 auf dem amerikanischen, kanadischen und koreanischen Markt eingeführt wurde.

Durch die großzügig dimensionierte Reichweite und modernste Auflade-Möglichkeiten eliminiert der Ampera-e die bekannte „Reichweitenangst" nahezu vollständig, so Ramminger. Das erheblich verbesserte Antriebssystem und die enorme Reichweite mache das neue Elektrofahrzeug für einen deutlich größeren Kundenkreis nutzbar als frühere Elektrofahrzeuge. So werde das Fahrzeug einen erheblichen Anteil am Anstieg des Marktanteils von rein Batterie-elektrischen Fahrzeugen unter den Personenkraftwagen haben.

Dipl.-Ing. S. Juraschek (Vortragender), **BILD 52**, *Dipl.-Ing. C. Billig*, *Dipl.-Ing. A. Buchner*, *Dipl.-Ing. T. Prosser*, *Dr. A. Wilde*, BMW Group, München, Deutschland: „Elektromobilität @ BMW Group. Eine Flotte für alle Bedürfnisse."

„Die BMW E-Flotte trägt den Bedürfnissen an urbane und an Langstreckenmobilität, den ökologischen und regulatorischen Forderungen sowie der markentypischen Freude am Fahren in unterschiedlichen Modellen und Spezifikationen Rechnung und stellt somit die Entwicklungs- und Leistungsführerschaft des Unternehmens sicher.

Um die konsequente Elektrifizierung über alle Fahrzeugsegmente weiterhin besonders schnell, effizient und nachhaltig umzusetzen, verfolgt BMW eine Baukasten-Strategie, die innovative Antriebslösungen für alle Bedürfnisse und alle Flotten bereitstellt.

Ab 2020 wird es dem Unternehmen möglich sein, in allen Fahrzeugarchitekturen sowohl verbrennungsmotorisch als auch elektrische Antriebe zu integrieren. Ein modularer Baukasten wird mit einer minimalen Anzahl an Komponenten, die sich in Standardräume verbauen lassen, eine skalierbare Leistung von 90 bis über 250 kW abdecken."

BILD 52 Dipl.-Ing. S. Juraschek, BMW Group

NEUE OTTOMOTOREN UND KOMPONENTEN

S. Kiga MEng (Vortragender), **BILD 53**, *K. Moteki MEng*, *S. Kojima BEng*, Nissan Motor Co., Ltd., Kanagawa, Japan: „Die weltweit erste Serienproduktion eines Motors mit variablem Verdichtungsverhältnis – Der neue Nissan VC-T-Motor."

„Die Verbesserung des angegebenen thermischen Wirkungsgrads durch die Realisierung hoher Kompressionsraten ist ein Schlüsselentwicklungsziel. Zwischen dem thermischen Wirkungsgrad und dem Klopfen musste ein Kompromiss gefunden werden. Eine Lösung ist die aktuelle Umsetzung der variablen Verdichtungstechnologie.

Nissan hat seit mehr als 20 Jahren an dieser Verdichtungstechnologie gearbeitet und konnte sie endlich erfolgreich in Serienproduktion geben.

Die Technologie für ein variables Verdichtungsverhältnis nutzt einen Multilink-Rotationsmechanismus an der Kurbelwelle, um den oberen und den unteren Totpunkt zu ändern. Der VC-T-Motor kann das Verdichtungsverhältnis von 14 (thermischer Wirkungsgrad) bis 8 (hohe Motorleistung) variieren. Dadurch wird eine Balance zwischen Kraftstoffverbrauch und hoher Motorleistung erreicht."

Kiga beschreibt Funktionsprinzip, Zweck und Eigenschaften des von Nissan entwickelten variablen Kompressionsmechanismus mit Multi-Link-System und zeigt dessen Vorteile.

D. Talué (Vortragender), **BILD 54**, *P. Whitwood*, *G. Page*, *M. McAllister*, *F. Borean*, *R. Penfold*, Jaguar Land Rover

BILD 53 S. Kiga MEng, Nissan Motor Co., Ltd.

BILD 54 D. Talué, Jaguar Land Rover Limited

Limited, Whitley, United Kingdom: „Vorstellung des Ingenium Otto-Motors: Jaguar Land Rover's neuer Vierzylinder-Ottomotor."

„Wie 2016 angekündigt, hat Jaguar Land Rover (JLR) seine Ingenium-Motorenfamilie, die sich durch geringes Gewicht und Nutzung von Low-Carbon-Technologien auszeichnet, mit der Einführung eines völlig neuen Vierzylinder-Ottomotors mit 2 l Hubraum erweitert. Der Beginn der Serienproduktion des Ingenium-Ottomotors führt den Erfolg der 2015 in den Markt eingeführten Ingenium-Dieselmotoren fort."

Talué beschreibt Motorarchitektur und Funktionsergebnisse und zeigt, welchen Beitrag der Ingenium-Ottomotor zur Erfüllung künftiger Schadstoffemissionsgrenzwerte und CO_2-Flottenzielwerte in Verbindung mit beeindruckender Fahrdynamik und einer dem Premiumsegment entsprechenden Laufkultur liefert.

„Der Motor verfügt über ein komplett neu entwickeltes Brennverfahren und ein umfangreiches Technologiepaket zur Darstellung von erstklassigen Fahrleistungen, Verbrauch und Ansprechverhalten. Schlüsseltechnologien hierfür sind die Einführung eines elektro-hydraulisch vollvariablen Ventiltriebs, Reibungsminimierung und ein umfangreiches Thermomanagement zur Verkürzung der Warmlaufphase.

Der Ingenium-Ottomotor wird in zwei Versionen auf den Markt eingeführt: Eine 250 PS- und eine 300 PS-Variante. Die Fahrzeuganwendungen umfassen Längs- und Quereinbauvarianten in der Jaguar- und Land Rover-Modellpalette und erlauben herausragende Fahrbarkeit sowohl auf der Straße als auch off-road.

Der Ingenium-Ottomotor baut auf der Architektur des Ingenium-Dieselmotors auf, um die gleiche Fertigungsstätte in Wolverhampton nutzen zu können. Neben der Fertigung in Großbritannien erfolgt auch eine lokalisierte Fertigung in China für den dortigen Markt."

Dr.-Ing. B. Durst (Vortragender), **BILD 55**, *Dr. techn. C. Landerl*, *Dipl.-Ing. J. Poggel*, *Prof. Dr.-Ing. C. Schwarz*, *Dr.-Ing. W. Kleczka*, *Dr.-Ing. B. Hußmann*, BMW Group, München, Deutschland: „BMW-Wassereinspritzung: Erste Erfahrungen und künftige Potenziale."

„Weiterhin steigende spezifische Leistungs- und Drehmomentanforderungen an aktuelle und künftige Ottomotoren und signifikant verschärfte Regelungen zu gesetzlichen Emissionsvorschriften erfordern Maßnahmen zur Reduzierung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs und zur Ausweitung der Betriebskennfeldbereiche mit stöchiometrischem Betrieb.

BILD 55 Dr.-Ing. B. Durst, BMW Group

BILD 56 Dr.-Ing. E. Schünemann, Robert Bosch GmbH

In der BMW AG wurden verschiedene Konzepte zur Umsetzung der Wassereinspritzung von der kontinuierlichen Plenumseinspritzung in die Sauganlage bis hin zur Einspritzung eines Kraftstoff-/Wassergemischs durch den Benzin-Hochdruckinjektor hinsichtlich ihrer Wirkungsweise und Effizienz analysiert. Es wurden mehrere Fahrzeuge mit diesen Konzepten aufgebaut. Ein ausgiebiger Dauerlaufbetrieb hat die Möglichkeiten und die Standfestigkeit der Systeme bestätigt.

Die BMW GmbH bietet mit dem BMW M4 GTS ein Fahrzeug mit aufgeladenem Reihensechszylinder-Ottomotor mit Wassereinspritzung zur Anhebung der spezifischen Leistung in Serienproduktion an. Erfahrungen aus dem Einsatz dieses Systems im Straßen- und Rennstreckenbetrieb bestätigen die Robustheit des Systems – die Kundenrückmeldungen dazu sind durchweg sehr positiv."

Durst gibt abschließend einen gesamtsystemischen Ausblick auf künftige Anwendungen in BMW-Fahrzeugen, der von einfachen Nachfüll- bis zu Speicherlösungen mit Onboard-Wassergewinnung aus Abgas oder aus Kondensat des Klimageräts reicht. Dabei geht er auch auf die Systemverfügbarkeit bei Betrieb in kalter Umgebung mit effizienten Auftaustrategien und Möglichkeiten zur Bio-Dekontamination des Wassers zur Darstellung einer weltweiten Einsetzbarkeit des Systems ein.

Dr.-Ing. T. Pauer, *H. Yilmaz MSc*, *Dr.-Ing. J. Zumbrägel*, *Dr.-Ing. W. Wiese*, *Dr.-Ing. P. Rogler*, *Dr.-Ing. E. Schünemann* (Vortragender), **BILD 56**, Robert Bosch GmbH, Schwieberdingen, Deutschland: „Die neue Generation Benzin-Direkteinspritzsysteme von Bosch."

„Auch bei künftig wachsendem Elektrifizierungsgrad hat der Ottomotor weiterhin den größten Anteil am Portfolio für Pkw-Antriebe. Die gesetzten Abgasgesetzgebungen in den weltweiten Automobilmärkten fordern von den Fahrzeugherstellern weitere Absenkungen der Emissionen von gasförmigen Schadstoffen und Partikeln. Zusätzlich wird in EU, China und Indien künftig die Überprüfung der Real Driving Emissions (RDE) im Fahrbetrieb auf der Straße gefordert. Gleichzeitig verlangen die CO_2-Gesetzgebungen die Umsetzung weiterer Maßnahmen zur Reduzierung der Tank-to-wheel-CO_2-Emissionen. Darüber hinaus werden aus Endkundensicht weitere Funktionsvorteile, zum Beispiel bei Fahrleistungen, Kraftstoffverbrauch und Komfort/NVH erwartet.

Ottomotoren mit Direkteinspritzung und Abgasturboaufladung können zur Erfüllung dieser Anforderungen durch die Fahrzeughersteller beitragen und werden mit stark wachsendem Marktanteil prognostiziert. Die Direkteinspritzung erlaubt hohe Aufladegrade in Kombination mit erhöhtem Verdichtungsverhältnis. Sie bietet Freiheitsgrade für hocheffiziente Katalysator-

Heizstrategien zur Umsetzung von Niedrigstemissionskonzepten. Die weitere Optimierung des Direkteinspritzsystems kann über verbesserte Kraftstoffzumessung und -aufbereitung einen wesentlichen Beitrag zur Minimierung der innermotorischen Schadstoffentstehung leisten.

Vor diesem Hintergrund hat Bosch eine neue Generation Benzindirekteinspritzsysteme entwickelt, die aktuell in Serie eingeführt und in das weltweite Bosch-Produktionsnetzwerk ausgerollt wird.“ Schünemann präsentiert die Schwerpunkte in der Entwicklung der wesentlichen Komponenten sowie die mit den technischen Lösungen erzielten Funktionsergebnisse.

GASMOTOREN 2

Dr. L. Möhring (Vortragender), **BILD 57**, Wingas GmbH, Kassel, Deutschland; *Dr.-Ing. J. Andersen* (Vortragender), **BILD 58**, Volkswagen AG, Wolfsburg, Deutschland: „Erdgasmobilität – skalierbarer und bezahlbarer Umwelt- und Klimaschutz jetzt.“

„Das Klimaschutzabkommen von Paris aus dem Jahr 2016 ist ein Handlungsauftrag für die Volkswirtschaften der Welt, zeitnah große Mengen CO_2 einzusparen, und zwar auch im Mobilitätssektor. Im Rahmen der Energiewende hat sich Deutschland im Klimaschutzplan 2050 darauf festgelegt, bis 2030 rund 40 % Treibhausgas(THG)-Emissionen gegenüber 2014 einzusparen. Erreicht werden soll dies nicht zuletzt durch die Elektrifizierung des Transportsektors. Die umfassende Elektrifizierung erscheint allerdings nicht nur wegen der Fahrzeugkosten fraglich, sondern auch mit Blick auf die Bereitstellung massiver erneuerbarer Strommengen und der erforderlichen Strominfrastruktur.

Die Automobilindustrie muss jedoch Lösungen für zeitnahe CO_2-Einsparungen liefern, will sie nicht unter weiteren Druck von Politik und Verbrauchern geraten. Dies gilt umso mehr, als die Diskussionen über Stickoxide (NO_x) und Partikelemissionen zusätzlichen Handlungsbedarf schaffen. Auf die Elektromobilität allein kann sich die Industrie dabei aber nicht verlassen.

In diesem Zusammenhang bieten CNG (Compressed Natural Gas: Erdgas)-Fahrzeuge eine hervorragende Option für kurzfristig verfügbaren aktiven Klima- und Umweltschutz: 1. offensichtliche Vorteile beim Ausstoß von CO_2, NO_x und Partikeln; 2. ausgereifte Antriebstechnologie, auch für viele bezahlbare Fahrzeuge; 3. entwickelte Tankinfrastruktur; 4. langfristige Verfügbarkeit des Kraftstoffs CNG. Erdgas ist eine weltweite Handelsware, ähnlich wie Öl, und bleibt auf viele Jahre hinaus verfügbar. Über Power-to-Gas-Kraftstoffe beziehungsweise Biomethan stehen Optionen offen, CNG weiter zu dekarbonisieren, um somit zusätzlich zum Klimaschutz beizutragen. Im Schulterschluss mit der Politik und relevanten Stakeholdern werden sich die notwendigen Erfolge zeitnah erzielen lassen.“

Dr. techn. W. Demmelbauer-Ebner (Vortragender), **BILD 59**, *Dipl.-Ing. C. Helbing*, *Dr. rer.nat. S. Schlösser-Kranzusch*, *Dipl.-Ing. J. Worm*, Volkswagen AG, Wolfsburg, Deutschland: „Der neue EA211 1,0-l-TGI-Dreizylinder-Motor von Volkswagen und CNG aus Sicht des OEM.“

„Volkswagen erweitert sein Aggregate-Portfolio und rundet damit sein Angebot an effizienten Downsizing-Antrieben nach unten ab. Die EA211-Motorenfamilie bietet mit ihrer maximalen Flexibilität eine optimale Absprungbasis für umweltfreundliche CNG-Derivate in allen Hubraumklassen. Für den Einsatz in der neuen MQB-A0-Plattform wurde auf Basis des Dreizylinder TSI ein neuer 1,0-l-Erdgasmotor mit einer Leistung von 66 kW (90 PS) und einem Drehmoment von 60 Nm entwickelt. Der Ersteinsatz wird 2017 im neuen Polo TGI erfolgen. Der bivalente Antrieb des neuen Polo TGI bietet dem Kunden eine optimale Kombination aus CNG- und Benzinbetrieb. Der geringe Kraftstoffverbrauch (CO_2-Ausstoß 87 g/km im NEFZ) und die saubere Verbrennung von CNG erlauben einen umweltfreundlichen und kostengünstigen Betrieb. Sollte jedoch einmal kein Erdgas verfügbar sein, steht dem Kunden dennoch ein vollwertiger, konventioneller TSI zur Verfügung. CNG ist in der Aggregatestrategie von Volkswagen heute und in Zukunft ein wichtiger Baustein und kann in Kombination mit elektrischen Antrieben nachhaltig den CO_2-Ausstoß reduzieren. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der biogenen, regenerativen Erzeugung des Energieträgers.“

Dr.-Ing. G. Mendl (Vortragender), **BILD 60**, *Dipl.-Ing. O. Hoffmann*, *Dipl.-Ing. R. Mangold*, *Dipl.-Ing. S. Rosenberger*, *Dr.-Ing. J. Pfalzgraf*, Audi AG,

BILD 57 Dr. L. Möhring, Wingas GmbH

BILD 58 Dr.-Ing. J. Andersen, Volkswagen AG

BILD 59 Dr. techn. W. Demmelbauer-Ebner, Volkswagen AG

Ingolstadt, Deutschland; *Dipl.-Ing. Z. Langa*, *Dipl.-Ing. B. Czuczor*, Audi Hungaria Motor Kft., Györ, Ungarn: „Der neue Audi 2,0-l-g-tron – ein weiterer Schritt für die nachhaltige Mobilität der Zukunft."

„Der neue Audi A4 Avant 2,0-l-g-tron und der Audi A5 Sportback 2,0-l-g-tron sind die ersten CNG-Modelle in der Audi-Längsplattform. Beide Fahrzeuge bilden einen wichtigen Baustein in der Antriebsstrategie auf dem Weg zur Vision ‚Zero-Emission'. Mit einer Nennleistung von 125 kW (170 PS), einem maximalen Drehmoment von 270 Nm sowie einer Reichweite von 500 km im CNG-Betrieb setzt der Audi A4 g-tron dabei neue Maßstäbe in Bezug auf effiziente Sportlichkeit und Alltagstauglichkeit bei CNG-betriebenen Fahrzeugen. Durch Einführung des 2,0-l-TFSI mit innovativem Rightsizing setzte der Hersteller 2015 einen neuen Meilenstein in der erfolgreichen TFSI-Technologie. Mit dem neuen 2,0-l-g-tron entwickelte das Unternehmen das Aggregat für den CNG-Betrieb weiter. So wurde die Verdichtung auf 12,6 gesteigert. Für die CNG-Tauglichkeit waren zudem weitere Anpassungen am Grundmotor und den Einspritzkomponenten erforderlich.

Erweitert durch den konsequenten Ansatz und Einsatz der klimaschonenden, synthetischen E-Fuels – in diesem Fall von Audi E-Gas – und der damit real bilanzierten Kraftstoffvorkette entsteht mit dem Audi A4 2,0-l-g-tron ein hochattraktives Kundenangebot, das besonders nachhaltig höchste CO_2-Effizienz verspricht. Der Motor sowie der gesamte Antriebsstrang des Audi A4 2,0-l-g-tron leisten auf diese Weise einen nachhaltigen Beitrag für die Mobilität der Zukunft und sind damit Teil und Treiber der Energiewende im Verkehrssektor."

ABGASREINIGUNG / REAL DRIVING EMISSIONS (RDE) 1

Dipl.-Ing. R. Brück (Vortragender), **BILD 61**, *Dr.-Ing. M. Presti*, *Dipl.-Ing. O. Holz*, Continental Emitec GmbH, Lohmar, Deutschland; *Dr. A. Geisselmann*, *Dr.-Ing. A. Scheuer*, Umicore AG & Co KG, Hanau-Wolfgang, Deutschland: „Der Weg zur Erreichung der ‚CARB post 2023'-Emissionsgesetzgebung für Nutzfahrzeuge."

„Die diskutierte Verschärfung der NO_x-Grenzwerte im Nutzfahrzeug-Sektor in Europa und insbesondere in den USA stellt neue Herausforderungen an die Motoren- und Katalysatorhersteller. Die Absenkung um 90 % (auf 0,02 g/bhp-hr) erfordert eine NO_x-Minderung unter allen Betriebsbedingungen. Insbesondere stellen der Kaltstart und die Lastpunkte mit niedrigen Abgastemperaturen erhöhte Anforderungen an die Aktivität des Abgasnachbehandlungssystems und hier speziell die Menge und Aufbereitung des Reduktionsmittels.

Die bereits im Pkw-Sektor bewährte motornahe Anordnung der Abgasreinigungskomponenten wird als sehr wichtiger Schritt zur Erreichung der zukünftigen Emissionswerte betrachtet. Den Einsatz zusätzlicher aktiver Heizmaßnahmen scheint jedoch unvermeidlich, um zum einen eine optimale Aufbereitung des Reduktionsmittels und zum anderen die notwendige Konvertierung der SCR-Katalysatoren zu erreichen.

Insbesondere wurde ein elektrisch beheizter Katalysator direkt nach der DEF-Eindüsung mit Hydrolyse-Beschichtung eingebaut. Somit konnte eine Verbesserung der NO_x-Werte im FTP-Zyklus von knapp 60 %, bei einer gleichzeitigen Verkleinerung des Schalldämpfervolumens von etwa 50 %, erreicht werden.

Das somit deutlich kompaktere Abgas-System kann dadurch nah am Motor positioniert werden, um die thermodynamischen Vorteile der heißeren Abgase optimal nutzen."

Brück beschreibt den Verlauf der Entwicklung des motornahen Katalysatorsystems mithilfe von CAD und Vergleichsuntersuchungen am dynamischen HD-Motorprüfstand.

C. A. Sharp (Vortragender), **BILD 62**, Dr. *C. Henry*, *G. Neely*, *S. Rengarajan*, *J. Sarlashkar*, Southwest Research Institute, San Antonio, USA; *C. C. Webb*, Low Emission Technology Solutions, San Antonio, USA; *Dr. S. Yoon*, California Air Resources Board, Sacramento, USA: „Bewertung und Darstellung von Technologien zur Erreichung niedrigster NO_x-Emissionen am Beispiel eines Nfz-Dieselmotors."

„Mit den vor kurzem in den Vereinigten Staaten eingeführten Emissionsgrenzwerten für Nfz-Motoren wurde für Stickoxide (NO_x) eine Obergrenze von 0,20 g/bhp-hr festgelegt. Das entspricht einer 90 %-igen Reduktion gegenüber den davor geltenden Emissionsgrenzwerten. Trotzdem wurde prognostiziert, dass selbst wenn die gesamte Flotte von schweren Nutzfahrzeugen auf den Stra-

BILD 60 Dr.-Ing. G. Mendl, Audi AG

BILD 61 Dipl.-Ing. R. Brück, Continental Emitec

BILD 62 C. A. Sharp, Southwest Research Institute, San Antonio

ßen von Kalifornien diese Grenzwerte erreicht, die bevorstehende landesweite Regelung für die Luftqualität in der Umwelt (NAAQS) bezüglich der Partikel- und Ozonemissionen ohne eine weitere drastische Reduktion der NO_x-Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen, nicht eingehalten werden kann. Derzeit haben die Hersteller von Motoren nur wenig Anreiz, die NO_x-Emissionen unter die geltenden Grenzwerte abzusenken, sodass das Potenzial für weitere Reduktionen auch nicht eindeutig abschätzbar ist. Um dieses Potenzial abzuschätzen, hat das California Air Resources Board (CARB), die kalifornische Behörde für die Luftreinhaltung, eine Studie in Auftrag gegeben, die Technologien aufzeigen und bewerten soll, mithilfe derer NO_x-Emissionen erreicht werden können, die weit unter den derzeitigen Grenzwerten liegen. In diesem Projekt liegt der mithilfe des US-Tests für schwere Nutzfahrzeuge (Heavy-Duty Federal Test Procedure) gemessene Zielwert für NO_x-Emissionen bei 0,02 g/bhp-hr.

In der Studie werden eine verbesserte Motor-Kalibrierung zur Absenkung der Emissionen, verbesserte Abgasnachbehandlungstechnologien und neue Konfigurationen, Katalysatoren mit höherem Wirkungsgrad, ein optimiertes Abgassystem-Thermomanagement sowie verbesserte Dosier- und Motormanagement-Strategien bewertet. Die Untersuchungen erfolgten an zwei Nutzfahrzeugmotoren: einem Erdgasmotor mit Dreiwege-Katalysator (TWC) sowie einem Dieselmotor mit Partikelfilter (DPF) und selektiver katalytischer Stickoxid-Reduktion (SCR). Sharp zeigt in seinem Vortrag lediglich die am Dieselmotor vorgenommenen Maßnahmen.

Ursprünglich erfolgte die Bewertung einer Vielzahl von Technologien anhand einer neuartigen, brennerbasierten Lösung zur Simulation der transienten Abgasbedingungen eines Verbrennungsmotors. Dabei wurde das vom SwRI entwickelte, institutseigene Hot Gas Transient Reactor (HGTR)-System eingesetzt. Damit konnten die unterschiedlichen Technologien wirksamer als am Motorprüfstand und reproduzierbar bewertet werden. Die Bewertung erfolgte mit einem Abgasprofil, das auf einer modifizierten Motor-Kalibrierung beruhte und auf ein rascheres Anspringen des Katalysators sowie auf eine Reduzierung der NO_x-Emissionen in der Phase vor dem Anspringen des Katalysators ausgelegt war. Aus allen bewerteten Möglichkeiten wurden einige Varianten zur praktischen Untersuchung am Motor ausgewählt, wobei ihr Potenzial für die Reduktion von NO_x-Emissionen, ihre Auswirkungen auf den Treibhausgasausstoß und andere Faktoren, wie Kosten und Komplexität, berücksichtigt wurden. Auf Grundlage dieser Untersuchungen erfolgte die Entwicklung einer endgültigen Systemkonfiguration, um die angestrebten Emissionswerte zu erreichen. Die Hardware für die Abgasnachbehandlung wurde abschließend am Motor getestet und dann anhand eines beschleunigten Alterungsprofils eingesetzt."

Dr. C. Severin (Vortragender), **BILD 63**, *F. Bunar*, *Dr. M. Brauer*, *M. Diezemann*, *W. Schultalbers*, *G. Buschmann*, *M. Kratzsch*, K. *Blumenröder*, IAV GmbH, Berlin / Gifhorn, Deutschland: „Potenziale einer hochintegrierten Abgasnachbehandlung für zukünftige Pkw-Dieselmotoren."

Severin zeigt in seinem Vortrag das Potenzial von motornahen Abgasnachbehandlungskonzepten für Pkw-Dieselmotoren im Verbund mit neuen Möglichkeiten der Aufladung und Hybridisierung. Im Rahmen von Simulationsstudien und Motorversuchen wurde das CO_2- und Schadstoffreduktionspotenzial im WLTC und in einem Schwachlastfahrzyklus analysiert und bewertet. In der Konzeptstudie wurden verschiedene Anordnungen des Abgasturboladers mit Abgasnachbehandlungskomponenten (ANB) in motornaher Position verglichen. Eine Variante mit einem einfachen ATL-Bypass, Varianten mit DOC vor und im Bypass zum ATL sowie auch eine extreme Variante mit DOC+SCRF vor dem ATL wurden einer Euro-6-Basis gegenübergestellt.

Die experimentellen Untersuchungen am Euro-6-R4-2,0-l-Motor eines D-Segment-Fahrzeugs dienen auch zur Validierung des 1-D-Simulationsmodells. In der 1-D-Simulation wurde der Einsatz eines elektrischen Verdichters und einer Hybridisierung als mögliche Maßnahmen gegen potenzielle Performancenachteile bei der Anordnung der ANB vor dem ATL bewertet.

Die extreme Variante mit DOC+SCRF vor dem ATL zeigt hierbei die besten Ergebnisse für die NO_x-Emissionen. Berücksichtigt man die Hybridisierung, die notwendig ist, um die Performancenachteile zu kompensieren, ist auch ein deutlicher Verbrauchsvorteil zu verzeichnen. Ebenso zeigt das Life-Cycle-Assessment für ein Vollhybrid-Fahrzeug mit Dieselmotor eine sehr gute CO_2-Bilanz mit fossilen Energieträgern, ähnlich dem Niveau eines Elektrofahrzeugs mit EU-27-Strom-Mix.

Es bleibt die Diskussion um die Anschaffungs- und Betriebskosten für den Dieselantrieb im Pkw. Auf dem Weg zum intelligenten Antriebsstrang beschreibt der Vortragende Konzepte und Technologien für minimale Emissionen und maximale Effizienz.

Prof. Dr. techn. J. Czerwinski (Vortragender), **BILD 64**, *Dipl.-Ing. (FH) Y. Zimmerli*, *Dipl.-Ing. (HTL) P. Comte*, Berner Fachhochschule, Biel, Schweiz; *Dr. techn. L. Cachon*, Testo SE & CO.

BILD 63 Dr. C. Severin, IAV GmbH

BILD 64 Prof. Dr. techn. J. Czerwinski, Berner Fachhochschule, Biel

KGaA, Titisee-Neustadt, Deutschland; *Dr. Sc. F. Riccobono*, EC-JRC, Ispra, Italien: „Potenziale der portablen Abgasmesssysteme (PN PEMS) zur Überwachung der Realemissionen (RDE)."

In verschiedenen Arbeiten der Abgasprüfstelle (AFHB) der Berner Fachhochschule (BFH) wurden Benzin- und Diesel-Personenwagen mit verschiedenen PEMS auf dem Rollenprüfstand und auf der Straße gemessen. Auch die Partikelanzahl messenden Instrumente (PN PEMS) wurden in die Untersuchungen einbezogen.

Czerwinski präsentiert einige Resultate und Erfahrungen mit drei D-I-Benzin-, drei Dieselfahrzeugen und vier PEMS und diskutiert Potenziale und Grenzen dieser neuen Abgaskontrollmethodik.

Die wichtigsten Potenziale sind: Unabhängigkeit vom Messlabor, Aufzeigen verschiedener Einflüsse der ECU und OBD, Berücksichtigung der Einflüsse von Umgebung, Verkehrssituation und Fahrweise, Kalibrierbarkeit sowie Möglichkeiten zur Bestimmung des Abgasmassenstroms ohne Durchflussmessgerät. Die wichtigste Grenze dieses Verfahrens ist durch die streuende Emissionsquelle infolge der genannten Einflüsse gegeben.

REAL DRIVING EMISSIONS (RDE) 2

Dipl.-Ing. J. Badur, *Dipl.-Ing. F. Köhler*, *Dipl.-Ing. H. Schmidt*, (Vortragender), **BILD 65**, TÜV Nord Mobilität GmbH & Co. KG, Essen, Deutschland: „Ein Jahr Monitoring Phase – Real Driving Emissions (RDE) in der Praxis."

„Trotz stetig wachsender Anforderungen im Rahmen der Abgastypprüfung werden in zahlreichen europäischen Innenstädten die Anforderungen zur Luftreinhaltung nicht erfüllt. Bisher wurden die Abgasemissionen auf dem Prüfstand unter Laborbedingungen ermittelt. Mit den Verordnungen (EU) 2016/427 und 2016/646 sind – zusätzlich zur Prüfung im Labor – die Messungen von Real Driving Emissions (RDE) in der europäischen Abgasgesetzgebung verankert. Dabei werden Abgasemissionen mit mobiler Messtechnik (Portable Emission Measurement Systems – PEMS) im realen Straßenverkehr gemessen. Aufgrund der europäischen Anforderungen an die Luftreinhaltung stehen dabei bei Fahrzeugen mit Kompressionszündungsmotor die Stickoxidemissionen (NO_x) und bei Fahrzeugen mit Fremdzündungsmotor und Direkteinspritzung die Partikelemissionen im Fokus. Seit Frühjahr 2016 wird dieses neue Messverfahren in einer Monitoring-Phase erprobt. Die ermittelten Werte sind von den Fahrzeugherstellern zu veröffentlichen. Ab September 2017 werden in Europa Grenzwerte für Real Driving Emissions eingeführt. RDE stellt Fahrzeughersteller sowohl bei der Fahrzeugentwicklung als auch bei der Durchführung der Messungen vor große Herausforderungen." Schmidt stellt in seinem Vortrag praktische Erfahrungen bei PEMS-Messungen, Ergebnisse aus der RDE-Monitoring-Phase und den aktuellen Stand der RDE-Diskussion vor.

Dr. M. Schüßler (Vortragender), **BILD 66**, *Dr. M. Piffl*, *Dipl.-Ing. M. Grubmüller*, *Dipl.-Ing. P. Grün*, *Dipl.-Ing. M. Hollander*, *Dipl.-Ing. H. Mitterecker*, AVL List GmbH, Graz, Österreich: „Real Driving – Robustheit im Feld durch virtuelle Entwicklungsumgebung."

„Die niedrigen Emissionsgrenzwerte im vergrößerten Nutzungsraum des ‚Real Driving' können kaum mehr über den herkömmlichen Ansatz des ‚Engineering Targets' abgefangen werden. Um kosteneffizient und zielgenau zu entwickeln, werden Methoden benötigt, die bereits in der Entwicklungsphase die Robustheit in der Flotte absichern. Die Herausforderung besteht darin, die realen Nutzungsprofile mit variierenden Umgebungsbedingungen, Bauteiltoleranzen und Bauteilalterungen zu kombinieren und im Entwicklungsprozess zu berücksichtigen.

Hierfür bietet die modellbasierte Entwicklungsumgebung ideale Bedingungen, weil Bauteileigenschaften und Umgebungsbedingungen frei einstellbar sind und die Simulation reproduzierbar arbeitet. Dennoch wird erst durch Anwendung mathematisch-statistischer Werkzeuge die enorme Komplexität beherrschbar." Schüßler zeigt in seinem Vortrag Anwendungsbeispiele aus den Bereichen Nutzfahrzeuge und Pkw.

M. Ito MA, (Vortragender), **BILD 67**, *K. Takeuchi MA*, *K. Ishizuka BA*, *K. Uchiyama BA*, *S. Sugawara MA*, Denso Corporation, Aichi, Japan; *M. Nakagawa BA*, Denso International Europe B.V., Weesp, Niederlande; *Dr.-Ing. O. E. Herrmann*, Denso Automotive Deutschland GmbH, Wegberg, Deutschland: „Innovative Technologieansätze zur Erreichung hocheffizienter Diesel-Antriebssysteme mit niedrigsten Abgasemissionen."

„Die weiter wachsende Weltwirtschaft generiert mittelfristig einen Anstieg des Energiebedarfs, der im Hinblick auf die globalen CO_2-Emissionen eine der maßgeblichen Herausforderungen an künftige Antriebsstränge darstellt. Dieselmotoren bieten insbesondere für schwere Fahrzeuge nach wie vor das größte Potenzial zur Reduktion der effektiven CO_2-Emissionen und stellen somit mittelfristig eine unverzichtbare Antriebsquelle dar. Die weitere Optimierung der CO_2-Emissionen sowie die Reduktion der unter realen Bedingungen gemessenen Abgasemissionen sind hierbei die Hauptentwicklungsaufgaben. Mittelfristig gilt es, die zunehmend elektrifizierten Antriebsstränge

BILD 65 Dipl.-Ing. H. Schmidt, TÜV Nord Mobilität GmbH & Co. KG

BILD 66 Dr. M. Schüßler, AVL List GmbH

BILD 67 M. Ito MA, Denso Corporation

BILD 68 Dr.-Ing. C. Menne, FEV Europe GmbH

BILD 69 Dr.-Ing. H. Breitbach, BorgWarner Turbo Systems GmbH

optimal mit hoch effizienten Abgasnachbehandlungssystemen und mit weiter optimierten Brennverfahren zu kombinieren und diese regelungstechnisch intelligent zu koordinieren.

Beim Brennverfahren werden hierzu die heutigen Einspritzsysteme weiter im Hinblick auf die Qualität der Gemischaufbereitung (Spray) und die Flexibilität der Einspritzmuster optimiert. Durch einen geschlossen Regelkreis wird die Genauigkeit solcher Einspritzmuster über die Lebenszeit sichergestellt. Im Bereich der Abgasnachbehandlung arbeitet Denso an einem Ozon-Generator, der die Speicherung von Stickoxiden im NO_x-Speicherkatalysator schon bei Raumtemperatur ermöglicht, sodass CO_2-aufwendige Heizmaßnahmen möglichst entfallen beziehungsweise deutlich reduziert werden können. Für künftige elektrifizierte Antriebsstränge können die Stickoxidemissionen weiter verringert werden, um die Abgasnachbehandlung weiter zu entlasten. Hierzu hat ein entsprechend optimierter Koordinator das Potenzial, aus bestehenden Subsystemen weitere Vorteile für den Diesel-Antriebsstrang zu generieren.

Zusammen mit seinen Kunden arbeitet Denso nach wie vor intensiv an der Entwicklung innovativer Ansätze zur Optimierung künftiger Diesel-Antriebsstränge, sodass diese als ökologisch und ökonomisch attraktive Antriebsquelle erhalten bleiben können."

Dipl.-Ing. T. Körfer, FEV Group GmbH, Aachen, Deutschland; *Dr.-Ing. C. Menne* (Vortragender), **BILD 68**, *Dipl.-Ing. B. Lindemann*, FEV Europe GmbH, Aachen, Deutschland; *Dr.-Ing. T. Szailer*, FEV NA Inc., Auburn Hills, USA: „Die neue Generation sauberer Dieselmotoren – vollumfängliche Erfüllung der weltweit strengsten Emissionsnormen."

„Durch in naher Zukunft fortlaufend verschärfte gesetzliche Anforderungen bei flottenbezogenen CO_2-Emissionen und neu formulierte, anspruchsvollere Testzyklen und Prüfkriterien einschließlich realem Fahrbetrieb, erlebt die automobile Industrie einen deutlichen Paradigmenwechsel. Die ganzheitliche Systemoptimierung schreitet weiter voran. Zukünftige Antriebsstränge müssen verstärkt im ganzheitlichen Systemverbund Verbrennungsmotor, Getriebe und unterstützender Elektrifizierung ausgelegt werden. Der moderne Dieselmotor stellt trotz aller öffentlich geführten Diskussionen nach wie vor das Antriebsaggregat mit dem höchsten thermodynamischen Wirkungsgrad dar und weist in vergleichbaren Anwendungen immer noch gesamtheitlich CO_2-Vorteile gegenüber dem Elektroantrieb auf, wenn die Art der Stromerzeugung, beispielsweise in Deutschland, mit einbezogen wird. Der Dieselmotor ist öffentlich aufgrund der lokalen Luftqualität, insbesondere in städtischen Ballungsgebieten, in die Diskussion geraten. Insbesondere die sensible Thematik ‚Feinstaub' wird nachgewiesenermaßen seit der Serieneinführung des Partikelfilters mehrheitlich anderen Quellen zugeordnet und ist für den dieselmotorischen Antrieb nicht mehr relevant. Die Wirksamkeit des Partikelfilters ist darüber hinaus unabhängig von Betriebsbedingungen, wie Fahrerverhalten und Verkehrslage als auch von Umwelteinflüssen wie Temperatur und geodätischer Höhe. Es verbleiben daher noch die Stickoxide (NO_x) als zentrales Thema der Abgasentgiftung. Aufgrund eines zwar standardisierten, aber letztendlich doch nur bedingt realitätsnahen Zertifizierungszyklus ergaben sich im Zuge kontinuierlich verschärfter Zulassungsgrenzwerte steigende prozentuale Differenzen zum realen Abgasverhalten im Alltagsbetrieb. So hat der Dieselmotor einen gewissen – allerdings nicht alleinigen – Anteil an der heutigen Situation in vielen Innenstädten Europas. Die ganzheitliche Antwort hierauf stellt – unter Beibehaltung einer überzeugenden Kraftstoffeffizienz – ein kombiniertes Maßnahmenpaket aus zielgerichteten innermotorischen Technologien, optimierten Abgasnachbehandlungssystemen und leistungsgesteigerten, adaptiven Steuerungsalgorithmen dar.

Die neueste Generation moderner Dieselmotoren mit leistungsfähigem Abgasminderungskonzept kann eine individuelle Mobilität mit vernachlässigbaren Schadstoffemissionen ermöglichen. Unter Berücksichtigung von Kraftstoffen aus erneuerbaren Ressourcen ist dies auch quasi CO_2-neutral realisierbar."

MOTORKOMPONENTEN

Dr.-Ing. H. Breitbach (Vortragender), **BILD 69**, *Dipl.-Ing. D. Metz*, *Dr. sc. techn. J. Adam*, *Dipl.-Ing. D. Alt*, *Dr.-Ing. S. Dönitz*, BorgWarner Turbo Systems GmbH, Kirchheimbolanden, Deutschland; *Dipl.-Ing. H. Weckenmann*, *Dipl.-Ing. U. Schellenbauer*, *Dipl.-Ing.*

BILD 70 Dr.-Ing. M. Kluin, GM Propulsion Systems Europe

BILD 71 Dr. A. Müller, Miba Sinter Austria GmbH

J. Janitschka, Daimler AG, Stuttgart, Deutschland: „Zweistufige Aufladung mit elektrischem Zusatzverdichter – ein weiterer Baustein zum Downsizing bei Ottomotoren."

„Als Weltpremiere wird 2017 der E-Booster, ein elektrischer Zusatzverdichter von BorgWarner, an einem Ottomotor von Mercedes-Benz in Serie gehen. Fahrzeugkunden und Gesetzgeber fordern weltweit weitere Verbrauchssenkungen bei neuen Motoren. Elektrisch angetriebene Aufladesysteme, möglich durch höhere Elektrifizierung der Fahrzeuge, bieten neue Gestaltungsmöglichkeiten für Downsizing- und Downspeeding-Konzepte. Höhere Drehmomente und Motorleistungen werden erreicht, ohne Kompromisse beim transienten Verhalten im niedrigen Drehzahlbereich einzugehen."

Breitbach erläutert die technischen Besonderheiten des E-Boosters und die Integration am 3,0-l-Sechszylindermotor M256 von Mercedes-Benz. Er geht auf Fragestellungen zur Entwicklung der Serienreife ein. „Mit dem E-Booster und einem konventionellen Lader wird eine zweistufige Aufladung dargestellt. Der E-Booster wird unabhängig vom Abgasangebot betrieben. Das Ansprechverhalten ist selbst bei niedrigsten Motordrehzahlen hervorragend. Gegenüber klassischen zweistufigen Systemen entfällt die zweite Turbine. Das wirkt sich auf den Ladungswechsel und damit beim Ottomotor auf Verbrauch und Klopfgrenze positiv aus. Der E-Booster ist von der Abgasseite entkoppelt und erlaubt gegenüber konventionellen Systemen Freiheiten bei der Positionierung des zweiten Verdichters und Vorteile beim Aufheizen der Abgasnachbehandlung. Durch exzellente elektrische und thermodynamische Wirkungsgrade wird eine hohe Effizienz des Gesamtsystems sichergestellt. Zusammen mit dem ebenfalls exzellent ausgeführten Motor ergibt sich mit dem E-Booster ein sehr attraktiver und gleichzeitig effizienter Antriebsstrang."

Dr.-Ing. M. Kluin (Vortragender), **BILD 70**, *Dr.-Ing. C. Glahn*, *Dr.-Ing. I. Hermann*, *Dipl.-Ing. A. Königstein*, GM Global Propulsion Systems Europe, Rüsselsheim, Deutschland: „Variable Turbinen-Geometrie – Bewertung eines Aufladekonzepts für zukünftige hocheffiziente Ottomotoren."

„Die Anforderungen an das Aufladesystem von Ottomotoren in Bezug auf die Ladedruckverfügbarkeit werden mit zukünftigen Brennverfahren zu einer immer größeren Herausforderung. Damit verschärft sich der Zielkonflikt zwischen hohem Drehmoment mit gutem Ansprechverhalten bei niedrigen Drehzahlen einerseits und niedrigen Turbinendruckverhältnissen bei hoher Motorleistung andererseits immer mehr.

Die Variable Turbinengeometrie (VTG) ist eine bekannte Maßnahme zur Lösung dieses Problems. Obwohl diese Technologie bei Dieselmotoren seit Jahrzehnten etabliert ist, hat sie sich im Massenmarkt für Ottomotoren noch nicht durchgesetzt. Grund hierfür sind die Herausforderungen in Bezug auf die hohen Abgastemperaturen und die Systemkosten. Hocheffiziente Verfahren wie das Miller-Brennverfahren haben in der letzten Zeit große Vorteile der VTG-Technologie bei Ottomotoren mit moderater spezifischer Leistung und relativ niedrigen Abgastemperaturen unter 900 °C gezeigt. Dennoch ermöglichen neue Designansätze und Materialentwicklungen den gewinnbringenden Einsatz dieser Technologie sogar bei Motoren mit hoher spezifischer Leistung (> 90 kW/l) und Abgastemperaturen bis zu 980 °C auch in kostensensitiven Hochvolumenanwendungen."

Kluin stellt dieses VTG-Turboladerkonzept an einem 1,6-l-Ottomotor mit Direkteinspritzung vor und zeigt die Potenziale der Technologie hinsichtlich Effizienz, Ansprechverhalten und Fahrbarkeit.

Dr. A. Müller (Vortragender), **BILD 71**, *Dr. R. Holler*, *Dr. M. Dlapka*, *Dipl.-Ing. P. Pichler*, Miba Sinter Austria GmbH, Vorchdorf, Österreich: „Pulvermetallurgische Verbundzahnräder zur Optimierung von NVH-Eigenschaften moderner Verbrennungskraftmaschinen in Pkw-Anwendungen."

„Verbundzahnräder in ‚entkoppelter' oder ‚verspannter' Ausführung stellen eine interessante Möglichkeit dar, um Zahnradstufen in Verbrennungskraftmaschinen akustisch positiv zu beeinflussen. Es können sowohl das ‚Rasseln' wie auch das ‚Heulen' deutlich reduziert werden. In einer Versuchsreihe auf einem geschleppten Aggregat konnten eindeutig die Wirkung von Entkopplung beziehungsweise Verspannung und deren Auswirkung auf die Akustik dargestellt werden.

Die Sintertechnik ermöglicht eine wirtschaftliche Darstellung der Einzelkomponenten, die in einem Montageprozess und gegebenenfalls mit einem Vulkanisationsprozess zu einem Zahnradmodul verbunden werden können.

Die Belastungen und Beanspruchungen können über die gesamte Lebensdauer ohne signifikante Performanceeinbußen ertragen werden. Der Einfluss der Alterung, vor allem der Elastomer-Komponenten, wurde systematisch untersucht und zu Referenzsystemen verglichen.

Derartige Systeme sind in Nockenwellentrieben und Massenausgleichstrieben in Serie. Eine Abstimmung der Systeme auf unterschiedliche Anwendungen ist notwendig. Dabei müssen im Speziellen die unterschiedlichen Kundenanforderungen beziehungsweise Wertigkeiten berücksichtigt werden. Eine Vorvalidie-

rung kann bei Miba auf den dafür entwickelten Prüfständen durchgeführt werden. Die Ergebnisse aus der Vorvalidierung zeigen eine sehr gute Korrelation zu den Prüfstands- und Fahrzeuguntersuchungen beim Kunden.

Aktuell laufen Entwicklungen, diese Konzepte auf Getriebeanwendungen überzuführen. Vor allem für elektrisches Fahren, bei dem Verzahnungsgeräusche unter Umständen verstärkt in den Vordergrund treten, scheinen derartige Ansätze interessant."

PLENAR-SCHLUSSSEKTION: BLICK IN DIE ZUKUNFT

Wolf-Henning Scheider, **BILD 72**, Vorsitzender der Geschäftsführung und CEO, Mahle GmbH, Stuttgart, Deutschland: „Effiziente Verbrennungsmotoren und elektrische Antriebe der Zukunft: Der Beitrag von Mahle."

„Die parallele Entwicklung effizienter verbrennungsmotorischer und elektrischer Antriebe ist essenziell, um die ambitionierten klimapolitischen Ziele der Weltklimakonferenz 2015 in Paris zu erreichen. Kurz- und mittelfristig ist es vor allem aufgrund des prognostizierten Fahrzeugbestands auf der Straße – bis 2030 mehr als 90 % verbrennungsmotorische Antriebe weltweit – wichtig, den Verbrennungsmotor in den kommenden Jahren und Jahrzehnten konsequent weiterzuentwickeln. Auch alternative Kraftstoffe wie zum Beispiel E-Fuels können hierbei einen entscheidenden Beitrag leisten. Langfristig gesehen ist darüber hinaus die Elektrifizierung des Antriebsstrangs notwendig, um das Ziel der Nullemissionen in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts zu erreichen.

Mahle verfolgt mit einer Doppelstrategie das Ziel, Verbrennungsmotoren, aber auch alternative Antriebe konsequent weiterzuentwickeln. Während in der Optimierung von Komponenten für Verbrennungsmotoren kurz- und mittelfristig noch große CO_2-Reduzierungspotenziale in Höhe von bis zu 10 % (WLTC) liegen, bieten alternative Kraftstoffe wie CNG zudem Reduzierungspotenziale von über 25 % (WLTC). Werden zum Beispiel synthetisch erzeugte Kraftstoffe eingesetzt, kann sogar ein CO_2-neutraler Betrieb des Verbrennungsmotors dargestellt werden.

Auf der anderen Seite trägt Mahle mit innovativen Lösungen zu mehr Marktakzeptanz von Elektrofahrzeugen bei. Rund um das Thermomanagement ergeben sich zahlreiche Anwendungsfelder, in denen die Kühlung und Heizung in verschiedenen Bereichen eine zentrale Rolle spielen: angefangen bei der energieeffizienten Innenraumklimatisierung über die Einbindung der Batterie bis hin zum Antriebsstrang, bestehend aus Elektromotor und Leistungselektronik.

BILD 72 W.-H. Scheider, Mahle GmbH

BILD 73 H. Kishi, Toyota Motor Corporation

BILD 74 M. Müller, Volkswagen AG

Unabhängig vom Antriebskonzept steht das Unternehmen somit als zuverlässiger Entwicklungspartner für die Herausforderungen der Zukunft bereit."

Hirohisa Kishi, **BILD 73**, Executive Vice President, Power Train Company, Managing Officer, Toyota Motor Corporation, Aichi, Japan: „Zielrichtung Nachhaltigkeit – Toyotas Weg in der Entwicklung der nächsten Fahrzeuggenerationen."

„Toyota verfolgt seit langem die Ziele Energieeinsparung und Kraftstoffdiversifizierung sowie in der Fahrzeugentwicklung den Grundsatz, dass eine Technologie nur dann einen entscheidenden Beitrag zur Umwelt leisten kann, wenn sie weit verbreitet ist. Ein Auto muss Freude und Fahrspaß vermitteln. In den verschiedenen Ländern und Regionen der Welt sind unterschiedliche Bedingungen im Hinblick auf Energie und Fahrzeugnutzung sowie auch bei den Kundenanforderungen gegeben. Als Beitrag zur Lösung des globalen Energieproblems sowie zum Umweltschutz ist die Entwicklung und weitverbreitete Einführung neuer Antriebsstränge erforderlich, die diesen Anforderungen entsprechen. Derzeit entwickelt Toyota neue Antriebsstränge mit weltweit führenden Wirkungsgraden, basierend auf der Philosophie der ‚Toyota New Global Architecture' (TNGA). Die rasche weltweite Markteinführung dieser Antriebsstränge wird kurz- und mittelfristig zur Senkung der CO_2-Emissionen beitragen. Die Anwendung von Wasserstoff in Fahrzeugen und generell in der Energiegesellschaft bietet ein großes Potenzial, um die steigende Nachfrage nach elektrischer Energie in der Zukunft zu bewältigen. Mit dieser Vision als Zielrichtung plant Toyota, eine führende Rolle in der Zusammenarbeit mit Unternehmen, Behörden und Interessensgruppen einzunehmen."

Matthias Müller, **BILD 74**, Vorsitzender des Vorstands, Volkswagen AG, Wolfsburg, Deutschland: „Vom Autobauer zum Mobilitätsanbieter: Ein Blick in die Zukunft der Volkswagen-Gruppe."

Müller trifft in seinem zukunftsorientierten Vortrag folgende Kernaussagen zum Wandel in der Automobilindustrie: „Das Rad müssen wir nicht neu erfinden, alles andere schon."

Zu modernen Verbrennungsmotoren: „Auch im Jahr 2025 werden noch drei von vier Neuwagen mit Benzin oder Diesel angetrieben sein." „Bis 2020 machen wir unsere Verbrennungsmotoren um zehn bis 15 % effizienter und damit sauberer. Dafür investiert der Volkswagen-Konzern bis 2022 rund zehn Mrd. Euro." „Der Diesel bietet auch 124 Jahre nach seiner Erfindung große Effizienzpotenziale. Der Volkswagen Konzern wird sie heben."

Zur Elektromobilität: „Der Volkswagen-Konzern hat allein in den vergangenen fünf Jahren drei Mrd. Euro in die Entwicklung alternativer Antriebstechnologien investiert. In den kommenden fünf Jahren werden wir diese Summe verdreifachen auf rund neun Mrd. Euro." „Das Herz des vollelektrischen Fahrzeugs ist die Batterie. Wir machen sie zur Kernkompetenz im Konzern." „Bis 2025 werden wir mehr als 30 zusätzliche, rein batterieelektrische Fahrzeuge auf den Markt bringen."

Zu den neuen Mobilitätslösungen: „In Zukunft wird es ganz normal sein, dass man ein paar PS fürs Wochenende per App dazu bucht oder sich einen Sportwagen aus dem Volkswagen Konzern vor die Haustür kommen lässt." „Unsere Entscheidung, gezielt in neue Mobilitätslösungen zu investieren, hat im gesamten Konzern eine spürbare Dynamik ausgelöst."

Zur Digitalisierung: „Mir ist wichtig, dass wir nicht jedem Trend blind hinterherlaufen. Stattdessen machen wir uns die Möglichkeiten der Digitalisierung überall dort zunutze, wo sie uns und vor allem unseren Kunden Mehrwert bringt." „Mehr als 2000 Experten arbeiten in unseren weltweit 37 Kompetenzzentren und Digital Labs an der Mobilität der Zukunft. Die Bandbreite reicht vom Car-Sharing über Lösungen für die vernetzte Produktion bis hin zum 3-D-Druck."

POSTERPRÄSENTATIONEN

Prof. M. R. Jolly PhD BMet, *Dr. K. Salonitis PhD MBA Dipl. Eng*, Cranfield University, United Kingdom: „Rohstoffverarbeitung, Motorenfertigung und CO_2-Ausstoß auf der Straße: Wie kann die Automobilindustrie bestmöglich zu ökologischer Nachhaltigkeit beitragen?"

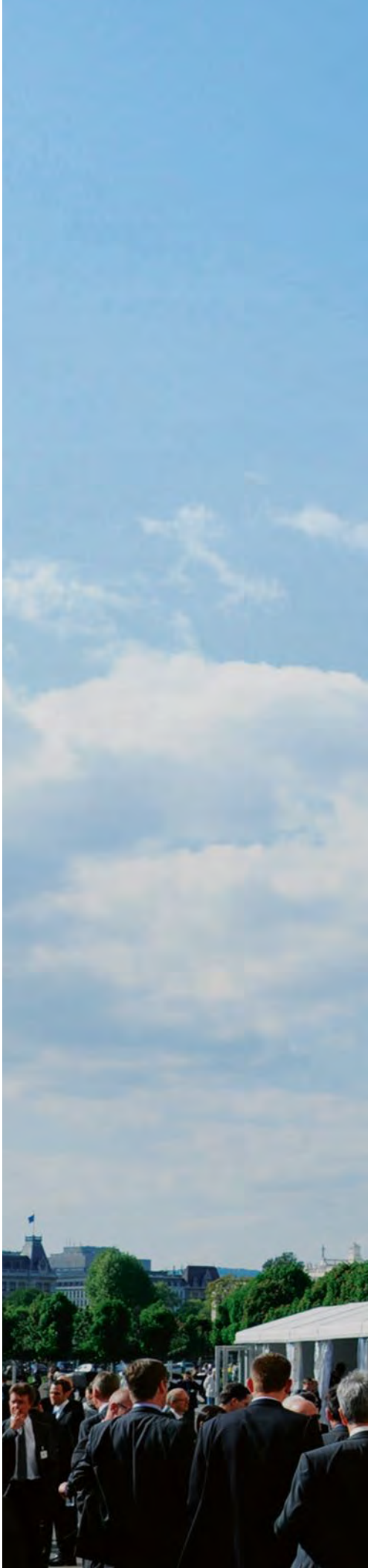
„Die gesetzlichen Vorgaben der Automobilindustrie konzentrieren sich bei den CO_2-Abgasemissionen nur auf den Fahrzeugbetrieb. Den Energiebedarf sowie die entstandenen CO_2-Emissionen der eingesetzten Materialen, die bei der Herstellung der Fahrzeuge entstehen, finden bei dieser Betrachtungsweise jedoch keine Berücksichtigung. Dieser Umstand hat dazu geführt, dass OEM Materialien mit geringer Dichte nutzen, um so eine Gewichts- und Verbrauchsreduzierung zu erzielen, in der Annahme, dass die Gewichtsreduzierung mit einer gleichzeitigen CO_2-Reduzierung einher geht.

Diese Studie stellt die Ergebnisse einer sehr umfangreichen Energie- und CO_2-Bilanz für den Herstellprozess von Diesel- und Benzinzylinderkurbelgehäusen vor. Die Studie basiert auf Angaben von über hundert führenden Experten aus der Automobilzulieferindustrie inklusive Bergbau, Hüttenbetriebe, Recyclingbetriebe, Eisen- und Aluminiumgießereien, OEM-Entwickler, unabhängige Fertigungsspezialisten, Entwicklungsberater, Wärmebehandlungs- und Imprägnierungsbetriebe. Ungeachtet der allgemeinen gegenwärtigen Wahrnehmung, führt die Verwendung von Materialien mit geringerer Dichte bezogen auf den gesamten Lebenszyklus (cradle to grave) in der Regel zu einem erhöhten Energiebedarf und CO_2-Ausstoß.

Bei dem dieser Studie zugrundeliegenden 1,6-l-Aluminium-Zylinderkurbelgehäuse ist eine Kompensation der zur Herstellung eingesetzten Energie und der CO_2-Emissionen erst nach mehr als 200.000 km gegeben. Die Untersuchung bezieht sich ebenfalls auf weitere Umweltauswirkungen bei der Herstellung von Eisen und Aluminium. Die Ergebnisse bieten Entscheidungsträgern bei den OEM und Gesetzgebern neue Erkenntnisse, um gesetzliche Vorschriften zu definieren, die einen reellen Beitrag zum Umweltschutz leisten."

Dr. techn. L. Möltner, *L. Konstantinoff MSc*, *M. Buchacher BSc*, *V. Schallhart MSc*, Management Center Innsbruck, Österreich; *C. Rossboth*, *H. Gruber MSc*, Technische Universität Wien, Österreich; *M. Gwercher MSc*, Ingenieurbüro Gwercher, Brixlegg, Österreich: „Oxidation von Biodiesel – Oxidationsmechanismen, Einschränkungen bei der motorischen Verwertung und Gegenmaßnahmen."

„Fettsäuremethylester (FAME) werden in Europa am häufigsten eingesetzt, um verpflichtende Kraftstoffbeimischungen biogenen Ursprungs zu fossilem Dieselkraftstoff zu realisieren. Aufgrund



ihres chemischen Aufbaus weisen FAME jedoch keine uneingeschränkte Lagerstabilität auf und neigen bei entsprechenden Bedingungen zu Oxidationsreaktionen, die die motorische Anwendbarkeit gefährden können. Im Rahmen der durchgeführten Forschungen konnte alternativ zu dem in der Fachliteratur vorgeschlagenen Reaktionsmechanismus ein neuer Reaktionspfad für die Oxidation von FAME gefunden und experimentell bestätigt werden. Darüber hinaus wurden die Auswirkungen von gealtertem FAME auf die chemischen und physikalischen Kenngrößen von Kraftstoffblends, das Sprayverhalten bei der Einspritzung, die motorische Verbrennung inklusive Dauerlauferprobung das Emissionsverhalten und die Motorölverdünnung untersucht. Abschließend konnten erfolgreich Möglichkeiten zur Inhibierung der Oxidationsreaktionen in FAME mithilfe phenolischer Additive ausgearbeitet werden, um so eine vorzeitige Degradation des Kraftstoffs mit den damit verbundenen negativen Auswirkungen bei der motorischen Verwertung zu verhindern."

M. Garrett, Prof. *N. Jackson*, Ricardo plc, Shoreham-by-Sea, United Kingdom; *S. Kollamthodi*, Ricardo Energy & Environment, Harwell, United Kingdom: „Verbrennungsmotoren – wie sieht ihre Zukunft in einer Welt nach ‚Dieselgate' aus?"

„Während die Automobilindustrie weiter Medien und öffentliche Meinung wegen des Beitrags des Verkehrs zur nach wie vor schlechten Luftqualität in den Städten beschäftigt, stellt sich die Frage, ob Benzin- und Dieselmotoren in Zukunft überleben können. Luftschadstoffe sind ein ernstes Gesundheitsrisiko für Menschen und der Beitrag des Straßenverkehrs zur Luftbelastung ist tatsächlich signifikant. Von Ricardo durchgeführte Emissionsmessungen, die mit modernsten Methoden Stickoxide (NO_x) und Stickstoffdioxid (NO_2) aus Diesel-Fahrzeugen unter realen Einsatzbedingungen erfassten, haben gezeigt, dass verschiedene Fabrikate und Modelle stark unterschiedliche Beiträge zur städtischen Luftverschmutzung leisten können. Dennoch führen die genannten Sorgen um die Luftqualität dazu, dass Landesbehörden Restriktionen für die Nutzung konventioneller Fahrzeuge in vielen Innenstädten in ganz Europa erlassen. Einige Staatsregierungen haben Verkaufsverbote für neue Benzin- und Diesel-Pkw innerhalb der nächsten zehn bis fünfzehn Jahre vorgeschlagen. Inzwischen sind allerdings die Pkw-Hersteller in Europa immer mehr auf Diesel-Technologien zur Einhaltung der EU-Grenzwerte für CO_2 angewiesen.

Angesichts künftiger Anforderungen für die Zeit nach 2020, die derzeit formuliert werden, fragt man sich, was die Hersteller tun sollen, um diesen Herausforderungen in einer weniger dieselfreundlichen Welt, gerecht zu werden. Und wie sie mit den Regulierungsbehörden, den Gebietskörperschaften und anderen interessierten Parteien umgehen sollen. Weiter stellt sich die Frage, was jenseits der gegenwärtigen Probleme mit NO_x und NO_2, die Luftreinhaltungsaufgaben sind, für die die Industrie schon heute mit ihrer Planung beginnen muss. Und wie das Umweltbewusstsein verbessert werden kann." Der Vortragende beschreibt einen integrierten Ansatz von Umwelt- und Motoreningenieuren, der einen besonderen Einblick in Aufgaben und mögliche Lösungen zur Bewältigung der gesellschaftlichen Herausforderungen für dekarbonisierten Verkehr und saubere Luft gibt.

Dipl.-Ing. A. Buchroithner, Em. Univ.-*Prof. Dr. G. Jürgens*, Technische Universität Graz, Österreich: „Schwungradenergiespeicher – Eine Chance für die Automobilindustrie und darüber hinaus."

Die Präsentation fasst die Ergebnisse aus sieben Jahren Forschungstätigkeit der TU Graz zum Thema Schwungradenergiespeicher für Automobilanwendungen zusammen. Der Vortragende zeigt, dass der Einsatz sogenannter Flywheel Energy Storage Systems (FESS) zur Bremsenergierekuperation und Lastpunktverschiebung in Fahrzeugen im urbanen Verkehr eine Kraftstoffersparnis von mehr als 20 % ermöglicht. Trotz der vermeintlichen Einfachheit des physikalischen Speicherprinzips fehlen bis dato jedoch konkrete und vor allem kostengünstige technische Lösungen, die eine Großserienproduktion in der Automobilindustrie erlauben. Durch systematische Analyse wurden jene Schlüsselkomponenten der Technologie identifiziert, die für einen durchschlagenden Markterfolg verantwortlich sind. Dabei war eine holistische Betrachtungsweise nötig, die nicht nur den Energiespeicher an sich, sondern auch das gesamte (Hybrid-)Fahrzeug und das übergeordnete Supersystem mit einbezieht. In mehreren Forschungsprojekten wurden

Lösungen für kritische Komponenten, wie Lagerkonzept, Low-Cost-Rotor und Schutzgehäuse erarbeitet und auf Sonderprüfständen validiert. Neben Senkung der Kosten konnten Ansätze zur Erhöhung der inhärenten Sicherheit und Reduktion der Selbstentladung des Speichers generiert werden. Dadurch werden FESS auch für Anwendungen außerhalb der Automobilindustrie interessant, wie etwa zur Speicherung von Sonnenenergie, die wiederum für das Laden von Elektro- und Hybridfahrzeugen genutzt werden kann.

Dipl.-Ing. G. Kellermayr, *Dipl.-Ing. R. Ratzberger, Dipl.-Ing. P. Rumplmayr*, *Univ.-Prof. Dr. H. Eichlseder*, Technische Universität Graz, Österreich; *Dipl.-Ing. M. Wieser*, AVL List GmbH, Graz, Österreich; *Dr. F. Jayat*, Continental Emitec GmbH, Lohmar, Deutschland; *Dr. M. Bonifer*, Heraeus Precious Metals GmbH & Co KG, Hanau, Deutschland: „Vor-Turbine-Katalysatoren in Pkw-Dieselmotoren."

„Die Qualitätsregelung des Dieselmotors führt aufgrund des Luftüberschusses zu weitgehend niedrigen Abgastemperaturen. Zudem führen steigende Wirkungsgrade prinzipiell zu sinkenden Abgasenthalpien. Dies erfordert im Warmlauf des Motors Heizstrategien, um den Light-off der Abgasnachbehandlungsanlage möglichst früh zu erreichen, und infolge die Kaltstartemissionen zu reduzieren. Meist bedeuten diese Strategien, wie beispielsweise eine späte Verbrennungslage oder eine Drosselung der Ansaugluft, Nachteile im Verbrauch.

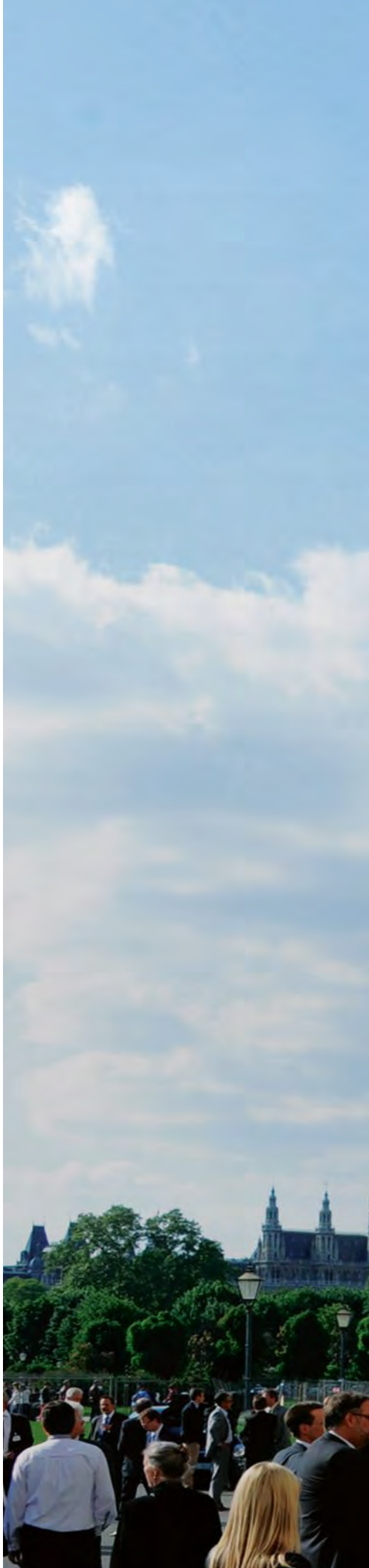
Eine bereits mehrfach diskutierte, aber unkonventionelle Alternative ist es, Abgasnachbehandlungskomponenten vor der Turbine des Abgasturboladers zu positionieren, wo generell ein höheres Temperaturniveau herrscht. Dies steht jedoch im Konflikt mit einer im Hinblick auf das dynamische Ansprechverhalten motornahen Anordnung des Turboladers. Vor allem bei Volllastbeschleunigungen ist der verzögerte Ladedruckaufbau Grund für einen langsamen Drehmomentaufbau. Untersuchungen am Motorprüfstand sowie 1-D-Ladungswechselsimulationen haben gezeigt, dass vor allem die thermische Trägheit des Vor-Turbine-Katalysators diese Verschlechterung verursacht. Dazu wurden Dieseloxidationskatalysatoren unterschiedlicher Substratgrößen vor der Abgasturbine verbaut und stationär, dynamisch und in Kombination mit einem NO_x-Speicherkatalysator und Dieselpartikelfilter stromab der Turbine untersucht. Um die potenziellen Vorteile im Anspringverhalten des Katalysators ohne Dynamikeinbußen zu evaluieren, wurde anhand einer 0-D-Motorsimulation eine Kombination von Vor-Turbine-Katalysator und elektrischem Verdichter (E-Booster) untersucht. Eine Validierung der Simulationen mit E-Booster wird künftig auch am Motorprüfstand erfolgen."

TAGUNGSBÄNDE

Die Vorträge des 38. Internationalen Wiener Motorensymposiums sind im vollen Wortlaut in den VDI-Fortschritt-Berichten, Reihe 12, Nr. 802, Band 1 und 2 (einschließlich USB-Stick auch in englischer Sprache), nebst Zusatzheften enthalten. Die Unterlagen sind beim Österreichischen Verein für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK) erhältlich.

EINLADUNG

Das 39. Internationale Wiener Motorensymposium findet am 26./27. April 2018 im Kongresszentrum Hofburg Wien statt, wozu schon heute herzlich eingeladen wird. Rechtzeitige Anmeldung nach Programmbekanntgabe im Internet ab 11. Dezember 2017 wird dringend empfohlen. Vortragsvorschläge mit kurzer Zusammenfassung können ab sofort eingereicht werden.



Dipl.-Ing. A. Damyanov, *Assoc. Prof. Dr. P. Hofmann*, Technische Universität Wien, Österreich; *Dipl.-Ing. M. Derntl*, *Dr. M. Schüßler*; AVL List GmbH, Graz, Österreich; *Dipl.-Ing. T. Pichler*, *Dr. N. Schwaiger*, Technische Universität Graz, Österreich: „Einsatz von biogenen sauerstoffhaltigen Kraftstoffen in einem Dieselmotor."

„Regenerativ gewonnene Biokraftstoffe der zweiten Generation können einen Beitrag zur Absenkung der verbrennungsmotorischen CO_2-Emissionen zu leisten, ohne dabei in ethischem Widerspruch zur Nahrungsmittelproduktion zu stehen. Von besonderem Interesse beim Dieselmotor sind sauerstoffhaltige Treibstoffe, da sie traditionelle Zielkonflikte, wie das Partikel-NO_x-Trade-Off oder den Effizienz-NO_x-Kompromiss entschärfen können.
Im Rahmen des Forschungsprojekts ‚Regenerative sauerstoffhaltige Diesel-Ersatzkraftstoffe als Chance für Effizienzsteigerung und Emissionsminimierung – OxyGen2' wird die Eignung zur motorischen Verbrennung einer Reihe von vorselektionierten Biokraftstoffen experimentell untersucht. Die aussichtsreichsten Kraftstoffe gehören den Gruppen der Bio-Alkohole, -Ether und -Furane an, wie beispielsweise Ethanol, Methanol, Butanol, Dimethylether und Oxymethylenether.

An einem adaptierten Dieselmotor im Einzylinderbetrieb werden am Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik der Technischen Universität Wien kraftstoffspezifische Brennverfahren entwickelt und in puncto Umsetzbarkeit, Kosten, Effizienz und Emissionen analysiert. Eine Besonderheit des Projekts ist die Untersuchung der Kraftstoffeinbringung in den Verbrennungsmotor auf drei unterschiedliche Arten. Neben dem in der Regel angewandten Verfahren der direkten Einspritzung von Diesel-Biokraftstoff-Blends wird der reine Biokraftstoff auch über Saugrohreinspritzung in Kombination mit direkter Einspritzung von Dieselkraftstoff in den Brennraum zugeführt. Als dritter besonders innovativer Ansatz wird die Reformierung des Biokraftstoffs experimentell untersucht. Das dabei entstehende Synthesegas wird dem Motor mittels Einblasesystem in das Saugrohr zugeführt. Die Zündung erfolgt dabei ebenfalls über einen Diesel-Zündstrahl.

Das Potenzial des Biotreibstoffs wird anhand der drei Varianten des Kraftstoffeinsatzes bewertet und die Ergebnisse der unterschiedlichen Biokraftstoffe miteinander verglichen. Eine Gesamtbewertung, in die die Ergebnisse der Herstellungsanalyse, Reformierungs-Untersuchungen und des motorischen Betriebs zusammenfließen, gibt zusammenfassend den Überblick über die Kraftstoffpotenziale beim Einsatz in einem Dieselmotor."

KONTAKT

Österreichischer Verein
für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK)
A-1010 Wien
Elisabethstraße 26
Tel. + 43/1/5852741-0
Fax + 43/1/5852741-99
E-Mail: info@oevk.at
Homepage: www.oevk.at
© Bilder: ÖVK/ Doris Kucera

© Doris Kucera

38th International Vienna Motor Symposium

As in previous years, more than 1000 leading engine development experts and scientists from all over the world met at the 38th International Vienna Motor Symposium in Vienna, which was held on April 27th and 28th, 2017. They presented the most recent developments in automotive engineering and described future trends. The present report contains partly condensed summaries of the lectures delivered by the individual authors.

AUTHOR

Univ.-Prof. Dr. techn. Hans Peter Lenz
is President of the Austrian Society of Automotive Engineers (ÖVK) in Vienna (Austria).

INTRODUCTION

After the welcome fanfare performed by members of the orchestra of the Vienna University of Technology, *Prof. Lenz*, **FIGURE 1**, welcomed the participants to the 38th International Vienna Motor Symposium, **FIGURE 2**, which was yet again booked solid.

He pointed out that all lectures were contained once more in the VDI progress reports and included a USB-Stick with the texts in English and German. The lectures presented by university professors and their assistants had been revised in a peer review process conducted – upon request – by the Wissenschaftliche Gesellschaft für Kraftfahrzeug- und Motorentechnik e.V. (WKM - Scientific Society for Automotive Engineering and Engine Technology). Prof. Lenz also drew attention to the search system of the Austrian Society of Automotive Engineers (Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik) through which it is possible, by entering search terms, to find all lectures presented at the preceding motor symposia, their titles, authors and the parent companies as well as other papers delivered elsewhere. On the website of the International Vienna Motor Symposium, all lectures of this year's symposium and previous symposia can be downloaded by participants as of now.

FIGURE 1 Univ.-Prof. Dr. H. P. Lenz

In his introduction, *Prof. Lenz* stated the following: "Some of you may have been astonished when they studied this year's programme which contains a series of lectures on fuel cells for vehicle propulsion and battery-operated electric vehicles.

FIGURE 2 Opening with fanfare

FIGURE 3 Plenary Openening Section: from right to left: Dr. S. Sommer, Dr. R. Bulander, T. Hirai, Prof. R. Stadler, Prof. Lenz, Dr. Hametner

only about 10 % of diesel passenger cars comply with the Euro-6 exhaust gas-standards. Government actions must be predictable, i.e. however bought a Euro-5 diesel driven car in good faith a year ago, must not be banned, at very short notice, from driving in certain zones. It is not at all understandable that exactly at the time when we engineers are launching the cleanest-ever diesel passenger cars, such unsettling campaigns are going on, making car buyers totally uncertain. It is totally inadmissible that local politicians presuming the need to do so impose driving bans in an uncoordinated manner. We give our full support to *Dr. Denner*, the Chairman of the Board of Bosch who is combatting such practices. We also give our undivided attention to gas-powered gasoline

This is not a capitulation of the internal combustion engine to e-mobility, much rather we want to present the advantages and disadvantages of the two different propulsion systems in detail. The sections 'Future Engines' devoted to both gasoline and diesel engines will deal with pioneering developments of internal combustion engines. These engines are electrified in the sense that auxiliary units are electronically controlled and demand-driven. We will demonstrate impressive solutions concerning exhaust gas quality, fuel economy, and range applying both to gasoline and diesel engines. These results would not have been considered possible a few years ago. Especially the lectures dealing with the future of diesel engines will be surprising in that they will illustrate the many opportunities for improvements. Diesel engines may become as clean as gasoline engines and at the same time show better fuel economy. Diesel engines boast extremely large ranges and in the heavy-duty vehicle categories they are indispensible, especially when electrified.

Unfortunately it is a fact that older diesel engine passenger cars emit too much NO_x. For health reasons it will be necessary to change over to 'clean diesel engines' as soon as possible. But this transition must be made carefully, with realistic transition periods. After all,

FIGURE 4 View into the Aula

FIGURE 5 Ceremonial Hall

engines, although for decades these engines have not been able to make a breakthrough despite all subsidization efforts, but we believe in todays situation they may be successful.

With regard to battery-operated electric motors we are still looking for batteries that could reach the optimistically assumed ranges in on-road operation.

Major progress has also be made with components of internal combustion engines: variable compression, water injection, direct injection and many other new technologies. With regard to the electricity supply of electric vehicles, it was clear from the start that this electricity had to be created from renewable sources; otherwise this would not make sense. However, in January and February 2017, we had to realize that even a mildly severe winter would threaten to make the energy supply, as seen in Austria, come to the brink of disaster for two weeks.

An investigation conducted by Prof. Brauner of the Vienna University of Technology which was recently published, shows that at least 15 % of the installed power would have to come from rapid-response thermal power plants in order to guarantee electricity supply. But exactly these power plants are planned to be dismantled. This must be changed; eco-electricity alone is simply insufficient. It has to be analyzed what impact this has on the meaningfulness of the concept of electric mobility.

At the end of the day, customers will determine the success of one or another drive system."

"Let us never forget that nothing satisfies the desire for freedom and independence more than the individual car as a means of transport. But the e-car has to have a sufficient range, be affordable. It can not be a car that would force me to drink coffee after 200 km," Prof. Lenz concluded his statements.

After the joint opening plenary, **FIGURE 3**, two parallel sessions, **FIGURE 4** and **FIGURE 5**, were held in which technical papers were presented under the chairmanship of *Univ.-Prof. Dr. G. Brasseur*, **FIGURE 6**, *Univ.-Prof. Dr. H. Eichlseder*, **FIGURE 7**, *Univ.-Prof. Dr. W. Eichlseder*, **FIGURE 8**, *Univ.-Prof. Dr. B. Geringer*, **FIGURE 9**, Univ.-*Prof. Dr. G. Hohenberg*, **FIGURE 10**, *Prof. Dr. S. Pischinger*, **FIGURE 11**, and *Univ.-Prof. Dr. H. P. Lenz*, **FIGURE 12**. *Dipl.-Ing. S. Auer*, **FIGURE 13**, *Dr. T. Hametner*,

FIGURE 6 Univ.-Prof. Dr. G. Brasseur

FIGURE 7 Univ.-Prof. Dr. H. Eichlseder

FIGURE 8 Univ.-Prof. Dr. W. Eichlseder

FIGURE 9 Univ.-Prof. Dr. B. Geringer

FIGURE 10 Univ.-Prof. Dr. G. Hohenberg

FIGURE 11 Prof. Dr. S. Pischinger

FIGURE 12 Univ.-Prof. Dr. H. P. Lenz

FIGURE 13 Dipl.-Ing. S. Auer

FIGURE 14 Dr. T. Hametner

FIGURE 15 Dr. J. Spreitzer

FIGURE 16 Dr. M. Urbanek

FIGURE 17 Exhibition: booth of Audi

FIGURE 14, *Dr. J. Spreitzer*, **FIGURE 15**, and *Dr. M. Urbanek*, **FIGURE 16**, acted as assistants to the chairpersons.

A comprehensive and impressive exhibition of new engines, components and vehicles complemented the lectures, **FIGURE 18**, **FIGURE 19**, **FIGURE 20**, **FIGURE 21**, and **FIGURE 22**.

Accompanying persons were offered a culturally sophisticated social programme which focused on the following themes: "Maria Theresa's 300th anniversary", "Secular and sacral art nouveau buildings", "Unknown churches in Vienna", "Vienna: the city of music – The State Opera and the Music Society."

Participants and accompanying persons spent the evening at a typical wine tavern upon invitation of the Mayor of Vienna.

PLENARY OPENING SESSION

Prof. Rupert Stadler, **FIGURE 23**, Chairman of the Board of Management, Audi AG, Ingolstadt, Germany: "Piloted, Connected, Emission-Free: Transformation of the Audi Brand to a Digital Premium Car Company."

"The Audi of the future will drive itself by piloting when the driver and passengers want to spend their time onboard the car more productively. It will drive emission-free with synthetic, non-fossil fuels or drive electrically with batteries or fuel cells. The passengers will have an online platform in the car by means of which they will be able to organize their professional and private life digitally with information, entertainment and practical new services that will make their mobile livestyle easier." In his speech *Prof. Rupert Stadler*, CEO of Audi explained how he is transforming the Audi premium brand into a digital car company. Owing to changing customer expectations, new occupations and new business models will be emerging.

FIGURE 18 Exhibition: booth of Bosch

FIGURE 19 Exhibition: booth of Mahle

FIGURE 20 Exhibition: booth of Volkswagen

FIGURE 21 Exhibition: booth of Daimler

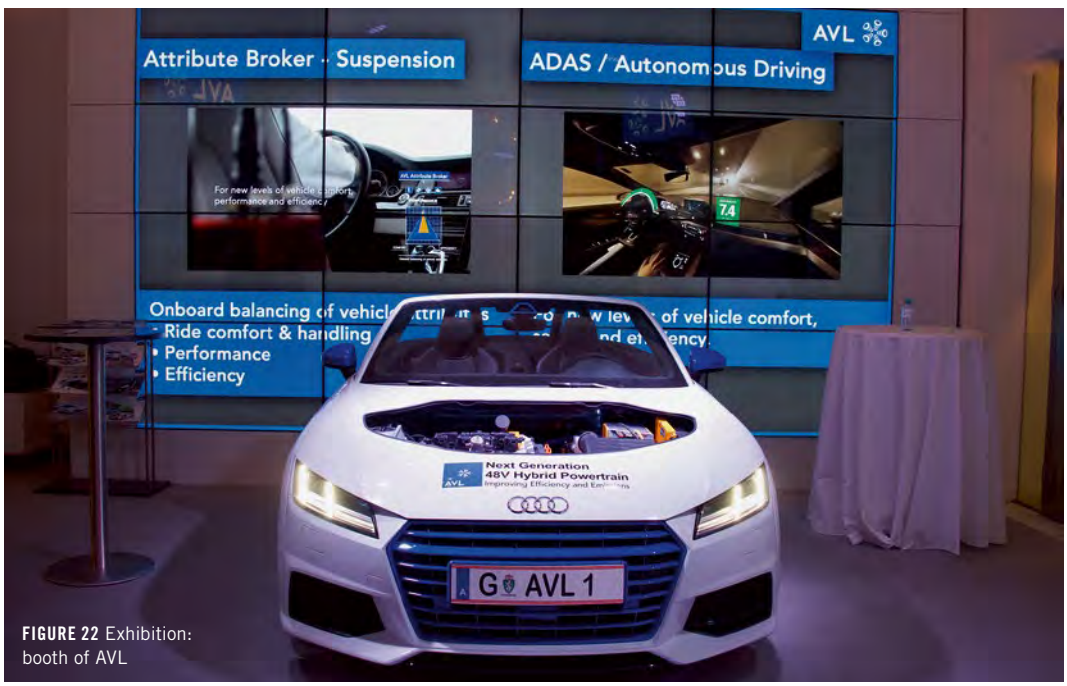


FIGURE 22 Exhibition: booth of AVL

FIGURE 23 Prof. R. Stadler, Audi AG

FIGURE 24 T. Hirai, Nissan Motor Co., Ltd.

Toshihiro Hirai, **FIGURE 24**, Alliance Global Director, Corporate Vice President, Nissan Motor Co., Ltd., Kanagawa, Japan: "Strategic Future: Powertrain Vision for Tomorrow."

"In order to create a sustainable society based on mobility, a two-pronged approach appears necessary. First, the widespread use of 'zero emission' vehicles that produce no CO_2 emissions, a thorough improvement of the efficiency of vehicles equipped with internal combustion engines will be required. Regarding the widespread use of 'zero emission' vehicles, Nissan is aiming at an e-sales ratio of 25 % by 2025. However, the manufacture and sale of zero-emission vehicles only constitutes the first step towards the widespread use of 'zero emission' vehicles. The prerequisite for selling 'zero emission' vehicles on a large scale is a comprehensive initiative involving the building up of a social infrastructure, such as the development and installation of quick-charging stations for electric vehicles. With these activities, Nissan seeks to promote zero-emission mobility.

At the same time, the efficiency of vehicles equipped with internal combustion engines will be improved as their thermal efficiency will be increased by almost 40 % with the generation change before 2020, but this will be just a passing point. Thanks to the development of lean-burn technologies, such as turbocharging EGR, turbocharging lean, the roadmap to a 45 % improvement of the thermal efficiency of internal combustion engines can already be seen. The trend towards raising the thermal efficiency of internal combustion engines should continue so that these can remain a valuable source of power in the future. The key to a further continuous improvement of thermal efficiency is supposed to be the reduction of cooling loss and the achievement of a high compression ratio. If a high compression is to be achieved, a long stroke is required which, however, has a geometrically unreasonable shape for an automobile internal combustion engine. This represents a major physical obstacle on the path to the design of high compression ratio engines. The link mechanism recently developed by Nissan for the new VC-T (variable compression-turbo) engine not only permits a continuously variable compression ratio but also has the effect of changing the motion of the piston link ring. Thanks to this effect, the physical obstacle on the path to high compression ratios can be overcome, and the long stroke can be implemented without geometric problems. Although it may seem a big challenge to aim at further significant improvements of the thermal efficiency of internal combustion engines once it has exceeded 45 %, examples of such high thermal efficiency are marine engines and engines used in power plants, etc. One of the key points is the way in which internal combustion engines are used. By narrowing down operating conditions, such as constant load operation, limiting rotation speed, etc. further improvements can be expected. In autumn 2016, Nissan launched a new electric powertrain 'e-power', a new power unit combining a gasoline engine and a battery electric vehicle (BEV) motor. As with the 'e-power', the engine and the tires have no direct mechanical connection, internal combustion can be used for power generation operating at the most effective rotation speed and load. Hence this engine has the potential to reach an even higher level of economic efficiency."

Dr. Rolf Bulander, **FIGURE 25**, Member of the Board of Management, Chairman Business Sector Mobility Solutions, Robert Bosch GmbH, Stuttgart, Germany: "Contribution of Powertrain Concepts to Reach Ambitious Climate Targets."

"The CO_2 targets defined in the Paris Climate Agreement call for a significant reduction of CO_2 emissions, especially also in road transport. For this purpose different powertrain concepts need to be applied, ranging from a further improvement of internal combustion engines, both gasoline and diesel, to electrified powertrains, also for hybrid operation, and, in the long run, to the use of fuel cells. In the short run, synthetic fuels also have a potential for CO_2 reduction. However, ways to comply with global CO_2 standards represent only one aspect. At the local level, the focus is on immissions of particulate matter and NO_x. This means that the efficiency of internal combustion engines has to be maximized, while reducing emissions at the same time. In order to assure that gasoline engines reach the PM10 limit under RDE conditions, a dual approach is needed: engine design for significantly reducing raw emissions and the use of a gasoline particulate filter. On the other hand, with diesel engines, the focus in on complying with the NO_x limits under RDE. During test drives, using an experimental vehicle equipped with combinations of exhaust-gas treatment systems and smart warm-up management, it was possible to constantly reach emission values of less than 80 mg/km on an urban route in Stuttgart.

The key to reducing local immission hotspots, therefore, is to achieve or overachieve the targets of Euro-6 RDE and to have these technologies applied in the fleet as quickly as possible."

Dr. Stefan Sommer, **FIGURE 26**, Chief Executive Officer, ZF Friedrichshafen AG, Friedrichshafen, Germany: "The Powertrain of the Future – In Context

of New Vehicle Concepts and Regulatory Requirements."

"The automotive industry is currently undergoing a massive transformation. New mobility concepts are emerging from a new understanding of mobility. Driverless and connected vehicles are penetrating the market. These vehicles will no longer only be based on traditional vehicle concepts and architecture. New concepts will emerge that rely primarily on electric drives. Electrification will continue to advance due to regulatory requirements regarding pollutant emissions. With the goal of drastically reducing both accidents and emissions to what we call double Vision Zero, ZF is facing the challenge of using its system expertise in driveline, chassis and safety technology to create future powertrain solutions.

The question of how fast e-mobility will develop and what shape it will take is decisive. Is it more of an evolution, meaning a gradual transition with mainly hybrid drives or is it much rather a revolution, meaning a rapid change that moves increasingly toward all-electric drives? It is too soon to try to accurately determine the respective market shares of various drive solutions within a certain framework.

Future powertrains must therefore have a modular design that is flexible enough to be integrated into existing systems. This is the only way to produce the corresponding volumes that can be modified. Conventional, mild hybrid and plug-in hybrid configurations are all possible with the basic design of the ZF Eight-speed automatic transmission. The all-electric drive is based on an axle drive that can be integrated into an axle assembly. Different configurations can be developed based on this modular design. ZF can thus also apply its unique chassis and safety expertise in developing powertrain solutions."

ELECTROMOBILITY / FUEL CELLS

Dipl.-Ing. F. Eichler (lecturer), **FIGURE 27**, *Dr. rer. nat. K. Bennewitz*, *Dipl.-Ing. C. Helbing*, *Dr.-Ing. K. Philipp*, *Dipl.-Ing. P. Lück*, *Dipl.-Ing. N. Weiß*, *Dr.-Ing. C. Felsch*, Volkswagen AG, Wolfsburg, Germany: "Volkswagen Electrifies the New Golf."

Electrification is a central pillar of Volkswagen's powertrain strategy. Be it full hybrid, plug-in hybrid or battery electric vehicles, in recent years the company has successfully launched a range of electrified vehicle models on the basis of existing platforms, said Eichler. Examples are the Touareg Hybrid, Jetta Hybrid, e-up and e-Golf as well as the Golf GTE and Passat GTE plug-in hybrid models. For Volkswagen, this has resulted in a broad range of new findings and competencies in powertrain electrification. In the new Golf, Volkswagen is now offering a spectrum of electrification ranging from the low-voltage hybrid system "Coasting Engine Off" to high-voltage electric vehicles. With the FMA system, the internal combustion engine is switched off during coasting, thus marking a further evolution of the coasting and start/stop functions. The new e-Golf features an electric drive developed and produced in-house, with a Volkswagen lithium-ion battery system serving as the energy storage medium. This permitted a significant increase in both the range and the power output of the revised e-Golf.

Global market development and emissions legislation demand a further significant reduction of fleet CO_2 emissions, thus calling for broad-based electrification that is also highly attractive for customers. Going forward, the company is using the expertise garnered from the vehicles it has already brought to market to meet this requirement with a vehicle architecture specifically focused on battery-electric vehicles. "The Modular Electric Drive Kit combines local zero-emissions driving with long-distance mobility to form the basis for high-volume battery- electric vehicles for the global market," said Eichler.

N. Saito (lecturer), **FIGURE 28**, *K. Nagumo*, *M. Yamamoto*, *A. Hiraide*, *M. Sugishita*, *H. Chiba*, Honda R&D Co., Ltd. Automobile R&D Center, Tochigi, Japan; *T. Brachmann*, Honda R&D Europe GmbH, Offenbach, Germany: "Fuel Cell System for Honda Clarity Fuel Cell and Activity towards the Hydrogen Society."

"Honda started to lease the world's first fuel cell vehicle (FCV) in December, 2002 and since then has continuously delivered FCVs with advanced new technologies to its customers. In March 2016, Honda launched the newly developed fuel cell vehicles, the Clarity Fuel Cell. The new, highly integrated fuel cell system features improved performance and longer durability which has been achieved with the aid of an advanced structure of the fuel cell stack and

FIGURE 25 Dr. R. Bulander, Robert Bosch GmbH

FIGURE 26 Dr. S. Sommer, ZF Friedrichshafen AG

FIGURE 27 Dipl.-Ing. F. Eichler, Volkswagen AG

FIGURE 28 N. Saito, Honda R&D Co., Ltd. Automobile R&D Center

FIGURE 29 Dr.-Ing. S. Dehn, NuCellSys GmbH

FIGURE 30 V. Beaumesnil, Automobile Club de l'Ouest

improved water content distribution in the catalyst-coated membrane applying fundamental technologies to predict the fuel cell lifetime as follows: performance degradation of the catalyst, mechanical degradation of the electrolyte membrane, chemical degradation of the electrolyte membrane, water content optimization for catalyst-coated membranes.

As a result, the fuel cell system, the voltage control unit and the motor unit have been integrated into a single fuel cell powertrain system. This highly integrated design made the Clarity Fuel Cell the world's first production five-seater fuel-cell sedan in which the entire fuel cell powertrain system is installed under the front hood of the car.

With a view to positioning fuel-cells successfully in the market in order to reduce costs, a definition of specifications and processes will be indispensible.

In addition, Honda seeks to actively shape the hydrogen society with its key concept 'generation', 'use' and 'networking' in order to promote a recycling-based society", concluded Saito.

Dr.-Ing. S. Dehn (lecturer), **FIGURE 29**, NuCellSys GmbH, Kirchheim unter Teck/Nabern, Germany; *Dr. rer. nat. J. Wind*, *Prof. Dr. rer. nat. C. Mohrdieck*, Daimler AG, Kirchheim unter Teck/Nabern, Germany: "Optimization of the Fuel Cell Powertrain within the Triangle of Technology, Cost and Customer Requirements."

"Daimler AG is a technology leader in the field of automotive fuel cells. Over two decades, competence, know-how and extensive experience have been built up with regard to components, vehicle design, hydrogen infrastructure, and based on the long-term operation of two generations of vehicle fleets, has gained insights into customer requirements", says Dehn. When it comes to the optimization of fuel cell drives, the parameters customer requirements, technology, cost and also hydrogen infrastructure have to be taken into account. Depending on the weighting of these parameters, the vehicle category and the point in time of the analysis, different configurations of a hybrid fuel cell drive emerge. Dehn described the resulting generic types of powertrain architectures. In the practical implementation, the availability of standard components also plays an important role with regard to costs. A current solution, the resulting well-to-wheel energy and greenhouse gas balance were discussed in detail, taking the Mercedes-Benz GLC F-CELL as an example.

V. Beaumesnil (lecturer), **FIGURE 30**, Automobile Club de l'Ouest, Le Mans, France, *B. Niclot* (lecturer), **FIGURE 31**, FIA, Paris, France, *Dr. W. Warnecke*, Shell, Hamburg, Germany: "Chances for Alternative Drivetrains and Types of Energy for Le Mans."

For nearly 100 years, race cars have been powered by internal combustion engines, and fuelled with gasoline or diesel, whereas now electrification is progressing.

The challenges for future mobility arise from the issue of global and local emissions, but also from available energy resources and fuels that can be produced from these.

The World Endurance Championship (WEC) Race Series with its Le Mans 24h race as the culmination have shown that car racing accelerates technological innovations. The openness to innovation has been demonstrated in recent years by the competition between gasoline and diesel engines with each other at different levels of hybridization.

It is WEC's intention to give an incentive to the development of new fuels and drivetrain concepts that make ecological sense, to reducing emissions and promoting efficiency energy. It seeks to create a platform for innovative vehicle concepts that could later eventually enter the market.

Two routes are seen as options for endurance races: One is to further optimize conventional combustion engines (ICE) using advanced combustion processes, reducing emissions and improving sustainability, e.g. by increasingly using biofuels, such as bio-methane (a concept which Le Mans' "Pit 56" in 2017). The other route is the further electrification of powertrains starting with hybrid concepts with part time full electric drive and the transition to full electric operation of battery electric vehicles (BEV) or fuel cell electric vehicles (FCEV, using hydrogen). In accordance with the state of the art, BEVs face major challenges for endurance racing (or comparable driven distances on roads) because their energy density and energy storage are inadequate and the required recharging time is too long – weight and volume of the batteries required constitute another problem.

Further detailed evaluation would be required in order to see if and how BEVs could be successful in WEC endurance races. Therefore, FCEVs using hydrogen may be the best option for emission-free motorsports and could compete with conventional ICE hybrid drivetrains in endurance races.

The lecturers concentrated on the evaluation of FCEVs using H_2 and analyzed the question of how competitive such a concept could be with gasoline or diesel powered hybrids in Le Mans Prototype 1 (LMP1) race cars. A simulation developed by the FIA together with the Automobile Club de l'Ouest, ACO, constituted the basis, which allowed a comparison of a FCEV LMP1 with a combustion engine hybrid LMP1. The aim was compare the efficiency of a LMP1 FCEV with an LMP1 gasoline hybrid, identify weaknesses and find options to improve the competitiveness in a 24 hour race. The lecturers explained the need for cooling (and its influence on aerodynamics), evaluated the size and weight of the drivetrain, taking into account the aggregate states of hydrogen (high pressure or cryogenic liquid H_2), as well as the tank and refuelling options required.

FIGURE 31 B. Niclot, FIA, Paris

FIGURE 32 Dr. T. Eder, Daimler AG

FUTURE ENGINES: DIESEL

B. Heil, *Dr. T. Eder* (lecturer), **FIGURE 32**, *Dr. U. Keller*, *Dr. N. Merdes*, et al., Daimler AG, Stuttgart, Germany: "The Modular High-Tech Powertrain of Mercedes-Benz."

"The new four-cylinder OM 654 diesel engine, which was launched in the spring of 2016 in combination with the NAG3 (9G-Tronic) automatic transmission, which was launched in the fall of 2013, mark the start of a new sustainable modular powertrain with longitudinal installation. With the model refinement of the S-Class, this first drive unit of the new Mercedes-Benz engine family is now being completed by the modular gasoline and diesel engines. In combination with the Mercedes-Benz transmission, which is also modular, the modular powertrain system is being extended from 12 V powertrains and 48 V systems all the way to high-voltage systems for plug-in powertrains and emission-free powertrains."

Eder described this modular powertrain concept for Mercedes-Benz cars, the variants that can be derived from it, and the possible potential for longitudinal powertrains created on the basis of these results. The powertrain concept thus constitutes the basis for enabling customer-specific, scalable technology packages and output levels on the one hand, while ensuring the economic efficiency of these powertrains in the face of an increased number of customer- and market-specific variants on the other.

Dipl.-Ing. P. Lückert (lecturer), **FIGURE 33**, *Dipl.-Ing. S. Arndt*, *Dr. F. Duvinage*, *Dr. M. Kemmner*, *Dipl.-Ing. (FH) H. Sass*, *Dipl.-Ing. (FH) T. Braun*, *Dipl.-Ing. R. Pfaff*, *Dipl.-Ing. (FH) S. Digeser*, *Dipl.-Ing. R. Binz*, *Dipl.-Ing. C. Koehlen*, *Dipl.-Ing. S. Ellwanger*, *Dr. R. Weller*, Daimler AG, Stuttgart, Germany: "OM 656 – The New Six-Cylinder Top Type Diesel Engine of Mercedes-Benz."

FIGURE 33 Dipl.-Ing. P. Lückert, Daimler AG

Lückert explained the positioning and technical concept of the new OM 656 six-cylinder series as the top-of-the-line in the new generation of diesel engines from Mercedes-Benz.

He illustrated the design of the base engine and engine peripherals. He further described the design and functionality of the thermodynamics, exhaust gas recirculation and charge cycle with two-stage turbocharging and exhaust after-treatment, on which the integrated technology approach for the realization of very low emissions along with optimum fuel economy is focused.

At the end of his lecture, he presented the results obtained with the engine and the powertrain against the backdrop of future emission standards and explained the overall powertrain configuration in the light of maximum customer benefit.

He stressed that the OM 656 six-cylinder in-line engine in the form of the new 400 d clearly extended the top end of the performance and comfort levels offered by diesel engines while representing the new top-of-the-line diesel engine from Mercedes-Benz.

G. Basso (lecturer), **FIGURE 34**, *G. Boretto*, *S. Caprio*, *R. Ruotolo*, *L. Borgia*, GM Global Propulsion System Torino s.r.l., Torino, Italy; *M. E. Siegrist* (lecturer), **FIGURE 35**, *R. J. Darr*, *Y. He*, GM Global Propulsion System NA, Pontiac / Milford, USA: "The General Motors 1.6 L Midsize Diesel Engine for the North American Market."

"In 2014, General Motors re-entered the diesel passenger car market in North America, the first in 25 years, with the introduction of the Chevrolet Cruze.

The introduction of the 1.6 l mid-size diesel engine into the new Chevrolet

Cruze, Equinox, and the GMC Terrain continued General Motors' commitment to diesel passenger cars in North America. This leveraged General Motors' strategy to take successful European applications and launch them on the North American market."

Basso described how the engine had been developed to meet the high expectations of North American customers (noise refinement, performance and driveability), tougher emission standards and more stringent on- board diagnostics. He explained that the 1.6 mid-size diesel engine met these North American requirements with high power density, very good noise performance and best-of-class fuel economy in this vehicle segment. The lecturer illustrated the key technical features of the base engine, controls, and emission reduction technology.

FUTURE ENGINES: OTTO

Dipl.-Ing. R. Kemmler (lecturer), **FIGURE 36**, *Dipl.-Ing. F. Kreitmann*, *Dipl.-Ing. M. Werner*, *Dr. R. Inderka, et al.*, Daimler AG, Stuttgart, Germany: "M 264 – The New Mercedes-Benz Four-Cylinder Toptype-Gasoline Engine with 48 V Electrification."

"Starting in the fall of 2017, Mercedes-Benz will launch its new generation of four-cylinder gasoline engines with model designation M 264, beginning with the E-Class Coupé. Thanks to its high specific output of 110 kW/l, the 2.0-l Toptype will advance into output regions that had previously been reserved for six-cylinder engines. In comparison to such engines, systematic downsizing in combination with reduced engine friction, the use of Camptronic and, in particular, the introduction of a 48 V system with a belt-driven starter-generator (BSG) have resulted in an around 23 % better fuel economy." Kemmler stated, that with this emotionally appealing engine, special importance was attached to superior driving experience with immediate response, high pulling power and good flexibility. Further optimization of the proven BlueDirect combustion process in combination with a gasoline particulate filter have led to low exhaust emissions. The low noise and vibration levels demanded by the premium segment have been achieved through comfortable starting by means of a starter-generator as well as comprehensive NVH measures.

Dipl.-Ing. O. Vollrath (lecturer), **FIGURE 37**, *Dipl.-Ing. J. Banken*, *Dipl.-Ing. P. Lautenschütz*, *Dr.-Ing. O. Storz*, *et al.*, Daimler AG, Stuttgart, Germany: "M 256 – The New Mercedes-Benz High-Performance Six-Cylinder In-Line Gasoline Engine with Intelligent 48 V Electrification."

"The M 256 six-cylinder gasoline engine is the first gasoline member of the new family of in-line engines from Mercedes-Benz and thus replaces its successful V-type predecessor, the M 276. Thanks to 48 V electrification, which was factored into the design of the engine from the outset, and a number of other innovative measures, it has been possible to achieve considerable fuel savings despite ambitious performance-related goals. Hence, through the connection of a 48 V integrated starter generator, an electric auxiliary charger and a powerful twinscroll turbocharger, the beltless engine delivers an excellent response across its entire engine speed range. In addition to the use of 48 V components, the technology portfolio of the innovative engine comprises modules, such as a variably controlled oil circuit, an intelligent heat management system and a gasoline particulate filter." Along with an almost 20 % reduction of CO_2 emissions and an over 15 % increase in output as compared to the predecessor V6 engine, the result is a six-cylinder engine with a fuel economy similar to that of a four-cylinder engine and an output capable of competing with an eight-cylinder engine, concluded the lecturer.

T. Toda (lecturer), **FIGURE 38**, *M. Sakai*, *M. Hakariya*, *T. Kato*, Toyota Motor Corporation, Aichi, Japan: "The New Inline Four-Cylinder 2.5 l Gasoline Engine with Toyota New Global Architecture Concept."

"In October 2015, Toyota Motor Corporation published 'Toyota Environmental Challenge 2050', which consists of six challenges: these are to contribute to the creation of a sustainable society. The first challenge is called the 'New Vehicle Zero CO_2 Emissions Challenge', aimed at reducing vehicle CO_2 emissions by 90 % as compared to 2010 levels by 2050. Taking up this challenge, the company has been developing the new engine series for lower fuel consumption, higher performance and globally better productivity based on its concept entitled 'Toyota New Global Architecture (TNGA)'. The new inline four-cylin-

FIGURE 34 G. Basso, GM Global Propulsion System Torino s.r.l.

FIGURE 35 M. E. Siegrist, GM Global Propulsion System NA, Pontiac

FIGURE 36 Dipl.-Ing. R. Kemmler, Daimler AG

der 2.5 l gasoline, naturally aspirated (NA) engine is the first mass-produced TNGA engine. In order to realize the higher specific power with lower fuel consumption and exhaust gas emissions, a further improvement of combustion was needed. For this purpose, the fundamental structure such as the stroke-bore ratio, and valve layout have been completely redesigned. In addition, a laser-cladded intake valve seat was used in order to increase both the tumble ratio and the air flow coefficient. In addition, the Atkinson cycle using a new electrical VVT, D-4S (direct + port injection) system with a new multi-hole type DI injector and high energy ignition coil have been adopted to improve combustion. Furthermore, variable cooling and lubrication systems have been used in order to improve fuel consumption by reducing cooling and friction losses. As a result, over 40 % thermal efficiency and over 60 kW/l specific power have been achieved. As a result of the combination of the new TNGA eight-speed automatic transmission, it has been possible to reduce fuel consumption by more than 16 % lower and achieve a 12 % better acceleration performance as compared to the predecessor model."

FUTURE OF THE DIESEL PASSENGER CAR / THERMAL MANAGEMENT

Dr.-Ing. A. Kufferath, *Dr.-Ing. M. Krüger (lecturer)*, **FIGURE 39**, *Dipl.-Ing. D. Naber*, *Dr.-Ing. R. Maier*, *Prof. Dr.-Ing. J. Hammer*, Robert Bosch GmbH, Stuttgart, Germany: "Fuel Consumption in Accordance with Real Driving Emissions: The Future of Diesel Passenger Cars."

"The regulation on real-driving emissions of passenger cars (RDE) which will soon take effect for the first time contains provisions governing particulate count and nitrogen-oxide emission measurements from real on-road driving instead of laboratory measurements. It will result in a noticeable reduction of local nitrogen-oxide pollution in cities. Even under these changed circumstances, the diesel engine will be able to maintain or even further lower its CO_2 emission level. Apart from the classic approaches to optimizing the turbocharging unit and improving combustion and thermodynamics with the aid of advanced injection systems, electrification will open up further potential. The primary goal, compliance with RDE requirements, can be reached by optimizing synergetically the systematic design of the combustion process and its adaptation to the active after-treatment components. In addition, an improvement of the transient emission behaviour during load changes can only be achieved by means of optimized charging and intelligent control functions. In this context, optimizing the temperature management of the engine and the exhaust-gas after-treatment will play a central role. If this combination of measures is systematically implemented, significant improvements of real-driving emissions can be reached without markedly raising fuel consumption." Based on these assumptions Krüger demonstrated that nitrogen-oxide emissions can be lowered under real-life-driving conditions so that the legal NO_2 immission standards can be met even at critical hotspots such as the Stuttgart Neckartor.

Dipl.-Ing. M. Weißbäck (lecturer), **FIGURE 40**, *Dipl.-Ing. R. Dreisbach*, *Dipl.-Ing. (FH) B. Enzi*, *Dipl.-Ing. M. Grubmüller*, *Dr. K. Hadl*, *Dipl.-Ing. S. Krapf*, *Dr. W. Schöffmann*, AVL List GmbH, Graz, Austria: "Diesel – The Road Ahead."

Starting with the role that the diesel engine plays today and will play in the future in achieving fleet CO_2 targets, Weißbäck discussed the subject of diesel engine emission compliance, which has lately become the target of heavy criticism. He examined the following areas for their potential to achieve further reductions of CO_2 and other emissions.

- Combustion and internal-engine temperature management
- After-treatment concepts
- Base engine variability
- Further potential in combination with electrification.

Based on these considerations, the future diesel engine should be defined with respect to its technical features as well as its dimensions. In this effort, the whole drivetrain should also be taken into account. The lecturer shows that the diesel engine will remain an indispensible element in achieving an affordable fleet strategy in the future, especially in consideration of the market trend toward SUVs and cross-over concepts. Based on the diesel combustion process, it is possible to combine efficiency with environmental friendliness and driving pleasure – even under real-world operat-

FIGURE 37 Dipl.-Ing. O. Vollrath, Daimler AG

FIGURE 38 T. Toda, Toyota Motor Corporation

FIGURE 39 Dr.-Ing. M. Krüger, Robert Bosch GmbH

ing conditions, especially in the heavier vehicle categories.

Dr.-Ing. G. Avolio, *Dipl.-Ing. J. Grimm* (lecturer), **FIGURE 41**, *Dr.-Ing. O. Maiwald*, *Dr.-Ing. G. Rösel*, *Dipl.-Ing. R. Brück*, Continental, Regensburg / Lohmar, Germany; Prof. Dr.-Ing. F. Atzler, Westsächsische Hochschule, Zwickau, Germany: "Energy-Based Optimization of a Diesel Hybrid Fulfilling Future Real Driving Emission Legislation."

"Modern passenger car engines to meet demanding targets. For diesel engines, a particular focus is placed on the trade-off between fuel consumption and nitrogen oxide emissions (NO_x) in real driving under extreme environmental conditions (e.g. ambient temperature, altitude). Highly transient driving requires an accurate and robust control of the combustion process. Through proper management of the intake, EGR and boosting systems, the desired charge composition in the cylinder can be realized during transient operation. In combination with lambda control, optimized multiple injection and a highly efficient exhaust gas after-treatment, pollutant emissions can be reduced over the entire vehicle lifetime without raising fuel consumption or having a negative effect on drivability. In addition, controlling emissions (NO_x) under different environmental conditions, a robust strategy is required in order to improve the efficiency of the exhaust gas treatment system, as its efficiency sharply declines at low operating temperatures. Optimum design of the intake system, with a particular focus on EGR management and the combustion process serves to find the best possible balance between raw emissions and catalyst conversion efficiency. The introduction of a 48 V system represents a further step towards reducing both fuel consumption and nitrogen oxide emissions.

The 48 V systems permits energy recuperation during vehicle deceleration and supports the combustion engine during the acceleration phase. This leads not only to reducing peak load, while at the same time improving NO_x emissions and fuel economy, but also lowers the dynamic demands on the 'slower' engine controls through phlegmatization. A further CO_2 reduction can be achieved by means of internal NO_x suppression in order to improve the effieciency of the exhaust gas after-treatment system. This consists of a heated catalytic converter with low flow resistance, serving to shorten the light- off time after a cold start irrespectively of engine load. The lecturer explained the status of this systemic assessment of the interaction of the four core areas 'engine optimization', 'highly efficient exhaust gas after-treatment', 'mild hybridization' and 'connected energy management'. The objective is to design a super clean, cost effective diesel car, capable of meeting future CO_2 and NO_x emission standards.

FIGURE 40 Dipl.-Ing. M. Weißbäck, AVL List GmbH

FIGURE 41 Dipl.-Ing. J. Grimm, Continental

Dipl.-Ing. M. Brinker (lecturer), **FIGURE 42**, *Dipl.-Ing. T. Müller*, *Dipl.-Ing. M. Reichenbach*, *Dipl.-Ing. M. Plankenbühler*, Adam Opel AG, Rüsselsheim, Germany; *Dr. A. Zahdeh*, *Dr. J. Gatowski*, GM Global Propulsion Systems, Pontiac, USA: "Comprehensive Thermal Management for Future Gasoline Engines."

Taking full advantage of thermal management requires a comprehensive approach that includes the design of the engine coolant jacket, the hardware and branches in the cooling circuit, as well as the control system. Brinker described a system that:

- Has an engine coolant jacket layout with several key features. The flow is targeted at areas of high heat flux with a general pattern of flow across the engine. This allows for a minimum of pressure drop. Provision is made for split cooling. Flow through the engine block can be controlled independently of flow through the IEM and cylinder head.
- Allows for warming or cooling of the engine and transmission oil depending on the engine and vehicle operating condition. Warming is accomplished with a large contribution from energy recuperated by the IEM. The flexibility for managing heat flow is achieved with the use of a multi-port control valve and an electric pump.
- Has a control strategy that seeks to maximize fuel economy while balancing the need for engine temperature control, customer demands, and engine performance. This is accomplished by continuous monitoring of the engine state and precise control of the electric coolant pump and control valve. Operation of the thermal management system has been broken down into several modes. These modes include engine warm-up as well as operation while fully warmed up.

Vehicle-level testing has shown that there are significant benefits to this approach which considers engine operation under all conditions. Looking at results from the WLTP, which includes substantial operation after the engine warm-up, indicates that almost half of the fuel economy benefit is achieved after warm-up.

HYBRID

Dr.-Ing. S. Grams (lecturer), **FIGURE 43**, *H. Piechottka MSc*, Audi AG, Ingolstadt, Germany, *Prof. Dr.-Ing. F. Küçükay*, *Dipl.-Ing. A. Sturm*, Braunschweig University of Technology, Germany: "Virtual Design and Optimization of Future Powertrain Architecture."

FIGURE 42 Dipl.-Ing. M. Brinker, Adam Opel AG

FIGURE 43 Dr.-Ing. S. Grams, Audi AG

FIGURE 44 Dipl.-Ing. (FH) M. Hofer, Magna Powertrain Engineering Center Steyr

The ever more stringent global requirements regarding emission limits, especially CO_2 emissions, pose future challenges in vehicle development and, in particular, powertrain development which have to be met. The consequence is an ever higher degree of electrification resulting in a simultaneous increase in powertrain complexity. In addition, changing mobility demands and market-specific requirements are broadening the scope of multidimensional solutions for possible technologies. Thus OEMs face complex powertrain portfolio challenges, combined with high development risks. Thanks to the digitalization of processes and development efforts, the complexity and risks can be reduced. The research project conducted by Audi AG in cooperation with the Department of Automotive Engineering of the Braunschweig University of Technology addresses this area of conflict. The aim is to identify new promising hybrid powertrain concepts. For this purpose a virtual tool chain is being developed for the identification and conceptual dimensioning of electrified powertrains for premium vehicles. The tool chain consists of five different computer tools, which represent the necessary steps for the identification, dimensioning, evaluation and optimization of electrified powertrains. In the long run, this virtual, incremental and reproducible approach can contribute to meeting future customer demands and product requirements, while reducing development time and costs, the lecturer explained.

Dipl.-Ing. (FH) M. Hofer (lecturer), **FIGURE 44**, *Dr. T. Hackl*, *Dr. G. Schlager*, Magna Powertrain Engineering Center Steyr, St. Valentin, Austria: "Magna's System Approach for 48 V Mild Hybrids."

In order to comply with the ambitious fleet emission standards of a maximum 95 g CO_2/km from 2021 on, the automotive industry is focusing on the electrification and hybridization of powertrains, reducing traction resistance and optimizing new vehicle architectures. An essential step towards this goal is the electrification in the area of engines and powertrains. The introduction of the 48 V onboard power supply offers great potential for the cost-effective electrification of auxiliary units, which can be operated in a demand-optimized manner. In the field of engine development, Magna is strongly committed to thermal management and air path design, as shown by the current market launch of a 48 V main water pump with a power range of 1 kW, and the development of an electric compressor (5 to 7 kW) for enhanced supercharging performance. Other components currently redesigned by the company for the 48 V include electronic radiator fans and transmission oil pumps, which are also used for lubrication and cooling of electric axle drives.

An electric rear axle equipped with an innovative high-speed concept completes Magna's ever-expanding portfolio of 48 V components. Through fully electric coasting in traffic, a CO_2 reduction is achieved, especially in metropolitan areas with heavy traffic (and often, high air pollution). In addition to electrically driven parking maneuvers, the 25 kW 48 V e-axle also offers the additional dynamics and safety advantages of a part-time all-wheel drive for low speeds, a powerful start-up aid and snow chain replacement. In the field of transmissions, Getrag offers an innovative solution with a 25 kW 48 V hybrid transmission integrated into the vehicle in the form of the P2 architecture, in order to safely meet the challenging future objectives of emission legislation in combination with the above-mentioned 48 V products.

Dr.-Ing. J. Scharf (lecturer), **FIGURE 45**, *Dipl.-Ing. J. Ogrzewalla*, *Dipl.-Ing. K. Wolff*, *Dr.-Ing. T. Uhlmann*, *Dr.-Ing. M. Thewes*, *Dr.-Ing. A. Balazs*, *Dr.-Ing. P. Grzeschik*, *Dipl.-Ing. M. Görgen*, *S. Yadla MSc*, FEV Europe GmbH, Aachen, Germany; *Dr.-Ing. H. Baumgarten*, FEV Group GmbH, Aachen, Germany; *Dr.-Ing. M. Wittler*, FEV Consulting GmbH, Aachen, Germany; *C. Nebbia MSc*, FEV Italia, S.r.l., Rivoli, Italy: "Gasoline Engines for Hybrid Powertrains – High Tech or Low Cost?"

Based on a market study for Europe, the USA and China, Scharf predicted a shift towards environmentally sustainable drive systems. Here the electrification of the drivetrain plays the central role. Although the majority of all vehicles sold in Europe (75 to 85 %) will still have a combustion engine in 2030, a high proportion of these combustion engines will be operated in hybrid powertrains. The results presented illustrated the electrification of the powertrain from a gasoline engine perspective for a D-segment vehi-

cle with a mild-hybrid drive, with a 48 V belt starter generator, a mild-hybrid drive with an integrated 48 V starter generator, a power-split full-hybrid drive and a plug-in hybrid drive. They demonstrate that simplified naturally aspirated four-cylinder engines as well as turbo-charged three-cylinder engines with stronger technology are equally suited for cost- and CO_2-optimised use in hybrid powertrains. The influence of the combustion engine on CO_2 emission reduction decreases with a higher degree of electrification, and the requirement of compact design becomes more important. Consistently low emissions and low fuel consumption under real-world driving conditions speak for a deliberate reduction of engine technology options and a moderate degree of downsizing. A parametric package evaluation showed that the more compact turbo-charged three-cylinder engines (especially in a plug-in hybrid) are very favourable. With the aid of fairly simple on/off technology packages for mild-hybrid powertrains they can be applied to strongly electrified powertrains. In combination with uniform displacements it is possible to transfer this concept to various vehicle segments. The lecturer recommended to avoid simplification when designing exhaust gas after-treatment systems for combustion engines in hybrid powertrains in order to guarantee lowest emissions even under real-world driving conditions and variable user behaviour. A corresponding design guideline was presented by the lecturer.

CYLINDER DEACTIVATION / GAS ENGINES

M. Younkins PhD (lecturer), **FIGURE 46**, *A. Tripathi PhD, J. Serrano PhD, J. Fuerst BSME MBA*, Tula Technology, San Jose, USA; *H.-J. Schiffgens PhD, J. Kirwan PhD, W. Fedor BSME MS*, Delphi, Bascharage, Luxembourg / Troy / Rochester, USA: "Dynamic Skip Fire: The Ultimate Cylinder Deactivation Strategy."

"What if every ICE combustion event occurred under optimal conditions, delivering peak efficiency? What if those events could be scheduled, in real time, to provide the exact torque demanded in an automotive application? Tula's Dynamic Skip Fire (DSF) technology delivers that combination. By selecting the sequence of combustion events dynamically, engine operation occurs near peak efficiency, virtually eliminating pumping losses and significantly improving thermal efficiency. The challenge with such a concept is avoiding objectionable vibration caused by stronger torque pulsations occurring at lower frequency. Tula's DSF technology overcomes this challenge. Sophisticated objective and subjective development have enabled DSF algorithms which avoid sensitive frequencies and amplitudes. DSF ensures a smooth driving experience while delivering an 8 to 15 % fuel consumption reduction and no impact on regulated toxic emissions. Moreover, DSF presents a high value and robust solution for meeting global emissions standards as these benefits cost less than euro 40 for a one per cent gain in fuel efficiency. Selecting combustion on a per-event basis enables efficient, millisecond torque modulation, allowing gear shifts without spark retard. Further, DSF provides faster torque response due to the intrinsically high manifold pressure. Deactivating all intake and exhaust valves during deceleration minimizes catalyst reactivation fuel losses, which simultaneously allows additional gains in brake energy regeneration due to elimination of pumping loss during deceleration. Production implementation in larger engines is pending, and development in partnership with Delphi on a 1.8 l four-cylinder GTDI vehicle is nearing completion. Development of integrated hybrid (optimally 48 V) torque smoothing amplifies DSF benefits while adding essentially zero cost to the hybrid or DSF implementation."

MAS (FHO) P. Krähenbühl (lecturer), **FIGURE 47**, *G. Dellora*, *Dr. S. Golini*, *F. Pidello*, FPT Industrial, Arbon / Torino, Italy: "FPT Industrial's Leadership in Natural Gas Technologies for Industrial Engines."

"FPT Industrial is a brand of CNH Industrial dedicated to the design, production and sale of powertrain solutions. Since the 1990s FPT Industrial has developed natural gas engines (2.8 l and 9.5 l engines) based on the stoichiometric combustion system. The main driver for this technological choice was to offer ultra-low emissions (EEV), low noise and high efficiency of engines that are predominantly intended for urban applications. From 2004, FPT Industrial converted its engine base architecture by applying natural gas technology to the Cursor 8 (7.8 l) NEF6 (6.0 l) and F1C (3.0 l) engines, offering a complete line-up for bus and city trucks. In 2016, the company started series-production of the Cursor nine natural gas engine. It is the first FPT natural gas engine aimed at long-haul transport and offers outstanding performance and fuel consumption the lecturer gave a full technical description and reported performance data for the Cursor 9, as compared to its predecessor, the Cursor 8. The Cursor 9 produces the same power and torque as the diesel version, in accordance with the company's natural gas development strategy."

Dr. A. Lippert (lecturer), **FIGURE 48**, *Dr. C. Trapp*, *J. Laubach*, *C. Nelson*, *Dr. F. Nota*, *A. Avagliano*, *N. Prendiville*, GE Distributed Power, Jenbach, Austria: "GE's J920 Large Gas Engine Incorporates Latest Technologies to Cross 50 % Electrical Efficiency together with Advanced Digital Monitoring."

FIGURE 45 Dr.-Ing. J. Scharf, FEV Europe GmbH

FIGURE 46 Dr. M. Younkins, Tula Technology, San Jose

"Extending the performance boundaries of large engine technology for enhanced customer value continues to drive internal combustion engine development at GE. Worldwide, reciprocating engines account for an increasingly larger portion of global power generation in order to address the growing need for power in developing countries, and changes in power generation in the developed world. Demand for distributed, flexible power is growing, thus acting as a driver for the development of engine technologies in terms of power density and efficiency, fast ramp-up and load shedding for grid stabilization. In 2013, GE launched the Jenbacher J920 FleXtra, a new clean-sheet twenty-cylinder four-stroke gas engine in the 10 MW class. Built on the successful two-stage turbocharging technology of the Jenbacher J624 gas engine, it set a new milestone for a 10 MW engine with an engine speed of 1000 rpm for 50 Hz applications. The architecture offers high power density, a small footprint and high electric and total combined heat and power (CHP) efficiency, as well as application flexibility." The lecturer described significant steps forward with regard to the performance, efficiency and flexibility of the Jenbacher J920 FleXtra gas engine. These included a 10 % increase in full-load power, a 50.1 % higher electric efficiency as demonstrated in a test environment, and greater flexibility. GE made significant investments in its digital capabilities to provide new levels of advanced monitoring and big data analytics, and this is transforming the operation of industrial plants including the Jenbacher J920 FleXtra gas engine with predictive maintenance, and optimization of plant and fleet utilization.

FIGURE 47 Dipl.-Ing. (FH) P. Krähenbühl, FPT Industrial, Arbon

FIGURE 48 Dr. A. Lippert, GE Distributed Power

BATTERIES / E-MOBILITY

Prof. Dr. M. Winter (lecturer), **FIGURE 49**, Jülich Research Center Helmholtz Institute, Münster, Germany; *A. Friesen MSc*, *Dr. F. M. Schappacher*, Münster University MEET Battery Research Center, Münster, Germany: "Lithium Ion Batteries: State of the Art in Performance and Safety."

Lithium ion cells are established electrochemical energy storage systems with high efficiencies and high energy and power densities. The typical lithium ion cell consists of a carbon-based anode and a layered transition metal oxide cathode.

The key to high capacity as well as high energy and power densities lies in the optimized and new cell chemistries as well as in the design of electrodes, battery cells and modules and battery systems. The energy density is determined only by the materials used. The combination of anodes with high capacity anodes and low potential with high capacity cathodes and high potential determines cell voltage and cell capacity. This results in the energy density. The power density of lithium ion cells is mainly determined by the design of the electrodes. The electrode can be designed for high power or high energy applications, whereas the power density can be increased at the expense of energy density. The safety of lithium ion cells plays an important role for its broad acceptance by the public, especially in the EV application. The continuous increase of the energy density leads to a lower thermal stability of the cell materials. In order to heighten safety, active and passive measures have to be taken at the system level (i.e. BMS, material, cell module and battery design). These are aimed at improving the thermal properties of battery materials.

Dr. K. Küpper (lecturer), **FIGURE 50**, *Dipl.-Ing. A. Weinzerl*, AVL List GmbH, Graz, Austria; *Dipl.-Ing. (FH) A. Angermaier*, *Dr. G. Schwab*, AVL Deutschland, Regensburg, Germany: "E-Drive: Affordable – Further – Faster."

"How can the long-range capability of e-vehicles be achieved? The decisive factors are the price, the range, the speed, and respectively the time of travel." Küpper described solutions aimed at obtaining improvements in all areas. He pointed out that, of course, the battery was at the centre of such considerations and proposed various measures to provide technologically optimum and cost-effective solutions for the integration of the continuously developing cells. These resulted in a battery pack for use in electric vehicles with a height of just 80 mm, he stated.

A further critical element regarding long-distance e-mobility is fast charging, with voltage levels of 800 to 1000 V expected for the near future. This is the only way to attain the expected charging performance and thus short charging time and also has other positive effects on the vehicle. Considerable improvements in the efficiency of the e-powertrain will be made in the future thanks to the introduction of silicon-carbide-based power electronics.

The air conditioning of the vehicle's interior is regarded as the most important energy consumer besides the powertrain, where an intelligent selection of technologies results in significant energy savings and hence makes possible range extension under real world driving conditions.

Dr.-Ing. P. Ramminger (lecturer), **FIGURE 51**, *Dipl.-Ing. R. Matthé*, *Dipl.-Ing. M. Herrmann*, *Dr.-Ing. R. Jäger*, Adam Opel AG, Rüsselsheim: "The Electric Propulsion System in the New Opel Ampera-e."

"Opel launched the new Ampera-e Electric Vehicle in early 2017. The propulsion system for this car as well as for the Chevrolet Bolt EV was developed on the basis of experience gained with the Chevrolet Spark EV battery electric

vehicle, but the new Ampera e-vehicle capability was markedly increased. It now propels a new, larger electric vehicle with a significantly extended electric driving range. Through extensive analyses and simulations, the primary propulsion system components, which include the drive unit, the traction electric motor, power electronics and the energy storage and on-board charging module, were not only optimized individually but also as an integrated system. The new design and optimization of the propulsion system led to a significant improvement of energy, power, torque and efficiency, on outstanding EV range, fun-to-drive and excellent acceleration performance."

Ramminger illustrated the new propulsion system, starting from its requirement definition all the way to subsystems design and performance, including remarkable optimization details. He stressed that state-of-the-art analyses and simulation techniques were used in order to reach these goals. He compared the performance characteristics of the new Ampera-e with the vehicle and subsystem data of GM's Chevrolet Spark EV which was previously introduced in the US, Canada and Korea back in 2014.

The new Ampera-e virtually eliminates the well-known "range-anxiety" almost entirely with its greatly extended state-of-the art and charging options, while it further improves driving performance characteristics in comparison to the Chevrolet Spark. The greatly improved propulsion system and enormous range will make this car attractive for a much larger audience of customers than predecessor models. Thus the Ampera-e will substantially contribute to the rising share of battery electric vehicles (BEV) in the total fleet of passenger cars.

Dipl.-Ing. S. Juraschek (lecturer), **FIGURE 52**, *Dipl.-Ing. C. Billig*, D*ipl.-Ing. A. Buchner*, Dip*l.-Ing. T. Prosser*, *Dr. A. Wilde*, BMW Group, Munich, Germany: "Electromobility @ BMW Group. A Fleet for All Needs."

"By providing a range of different models with specific characteristics, the BMW e-fleet meets the demands made upon urban and long-distance mobility, ecological compatibility and regulatory provisions while ensuring the driving pleasure that is typical of BMW cars. In this way, the manufacturer can assert its leadership in terms of innovative developments and high-performance products.

In order to continue the electrification across all vehicle segments in a very rapid, efficient and sustained manner, BMW pursues a modular construction kit strategy that offers innovative drive solutions for all demands and all fleets.

From from 2020 on, the company will be in a position to integrate both combustion engines and electric drives into all vehicle architectures. By using a modular construction kit it will be possible to cover an output scalable between 90 and more than 250 kW with a minimal number of components that can be installed in standard construction spaces."

NEW OTTO ENGINES AND COMPONENTS

S. Kiga MEng (lecturer), **FIGURE 53**, *K. Moteki MEng*, *S. Kojima BEng*, Nissan Motor Co., Ltd., Kanagawa, Japan: "The World's First Production Variable Compression Ratio Engine – The New Nissan VC-T (Variable Compression-Turbo) Engine."

"Improving the thermal efficiency of gasoline engines is a key development target which can be reached by increasing compression ratios. However, it has been necessary for engine designers to strike a compromise between raising the compression ratio and reducing knocking. For a long time, one solution has been the realization of a variable compression ratio technology. Nissan has been working on the variable compression ratio technology for more than 20 years and has now successfully introduced this technology in the series production of engines. This technology uses a multi-link rotation mechanism on the crankshaft to change the top and bottom dead center positions, so that the compression ratio can be continuously changed. With this technology, the VC-T (Variable Compression-Turbo) engine can vary the compression ratio from 14 (thermal efficiency) to 8 (high power output), thereby accomplishing a better-than-ever balance between fuel efficiency and engine output." Kiga described the functional principle, purpose and characteristics of the multi-link variable compression ratio mechanism developed by Nissan and illustrated key points of design optimization for series production and the benefits that can be obtained from it.

D. Talué (lecturer), **FIGURE 54**, *P. Whitwood*, *G. Page*, *M. McAllister*,

FIGURE 49 Prof. Dr. M. Winter, Helmholtz-Institut, Münster

FIGURE 50 Dr. K. Küpper, AVL List GmbH

FIGURE 51 Dr.-Ing. P. Ramminger, Adam Opel AG

F. Borean, *R. Penfold*, Jaguar Land Rover Limited, Whitley, United Kingdom: "Introducing the Ingenium SI Engine: Jaguar Land Rover's New Four-Cylinder Gasoline Engine."

"Jaguar Land Rover (JLR) has expanded its low-carbon, lightweight, Ingenium engine family with the introduction of an all-new four-cylinder 2 l gasoline engine, as first anounced in 2016. The start of this gasoline engine in series production builds on the success of the Ingenium diesel engines introduced in 2015."

Talué illustrated the engine architecture and its functional attributes and explained how the Ingenium gasoline engine will contribute to meeting future legislative maximum emission standards and CO_2 fleet targets whilst delivering impressive dynamics and smootness typical of premium class cars. "The engine features a completely new combustion system and a technology package for first-rate performance, fuel economy and transient response.

As key technology, a fully variable electro-hydraulic valve train was introduced, parasitic losses were reduced and comprehensive thermal management measures were taken in order to deliver fast engine warm up. There are two versions of the Ingenium SI engine; a 250 PS and a 300 PS variant. They cover a wide range of North-South and East-West applications in Jaguar and Land Rover model ranges and ensure excellent drivability with exceptional on-road and off-road performance. The Ingenium gasoline engine utilises a common architecture with the Ingenium diesel engine in order to facilitate the shared UK manufacturing facilities in Wolverhampton and gasoline-specific production in China for the local market."

Dr.-Ing. B. Durst (lecturer), **FIGURE 55**, *Dr. techn. C. Landerl*, *Dipl.-Ing. J. Poggel*, *Prof. Dr.-Ing. C. Schwarz*, *Dr.-Ing. W. Kleczka*, *Dr.-Ing. B. Hußmann*, BMW Group, Munich: "BMW Water Injection: Initial Experience and Future Potentials."

"Further increases in specific power and torque requirements for current and future gasoline engines as well as significantly tighter regulations governing statutory emission standards call for measures to reduce specific fuel consumption and to extend the engine map regions with stoichiometric operation. At BMW AG, various solutions for implementing water injection have been analyzed in terms of operating principle and efficiency, ranging from continuous plenum chamber injection into the intake manifold to injecting a fuel/water mixture through the high-pressure gasoline injector. Several vehicles have been designed on the basis of these solutions; extensive endurance testing has confirmed the potential and the durability of the systems. In the form of the BMW M4 GTS, BMW M GmbH offers a production vehicle powered by a turbocharged in-line six-cylinder gasoline engine with water injection for increasing specific power. Experience gained by operating this system on the road and on racetracks has confirmed its robustness – customer feedback has been highly positive without exception." Concluding, Durst gave a holistic and systematic outlook on future applications in BMW vehicles – ranging from simple replenishment to storage solutions with onboard water recovery from exhaust gas or condensate from the air conditioning unit. At the same time, he illustrated various aspects of system availability during operation in cold surroundings and dealt with efficient thawing strategies and possibilities for bio-decontamination of the water in order to demonstrate the global applicability of the system.

Dr.-Ing. T. Pauer, *H. Yilmaz MSc*, *Dr.-Ing. J. Zumbrägel*, *Dr.-Ing. W. Wiese*, *Dr.-Ing. P. Rogler*, *Dr.-Ing. E. Schünemann* (lecturer), **FIGURE 56**, Robert Bosch GmbH, Schwieberdingen, Germany: "The New Generation Bosch Gasoline Direct Injection Systems."

"Whereas powertrain electrification is expected to grow in the future, the gasoline engine will still account for the largest share of LDV powertrains. Exhaust gas emission regulations worldwide stipulate further reductions of gaseous and particulate emissions by vehicle manufacturers. Additionally, a verification of real driving emissions (RDE) during vehicle operation on the roads will be required in Europe, China and India in the future. At the same time, laws call for further reductions of tank-to-wheel CO_2 emissions worldwide. Moreover, end customers are expecting further functional benefits, e.g. regarding driving performance, fuel consumption and comfort/NVH. Gasoline engines with direct injection and turbocharging can contribute to compliance with the aforementioned requirements by vehicle manufacturers. According to forecasts, these engines will gain significant market share. Direct injection permits the com-

FIGURE 52 Dipl.-Ing. S. Juraschek, BMW Group

FIGURE 53 S. Kiga MEng, Nissan Motor Co., Ltd.

FIGURE 54 D. Talué, Jaguar Land Rover Limited

bination of high charging levels and increased compression ratios and offers highly efficient catalyst heating strategies for ultra-low emissions. A further optimization of the direct injection system can make an important contribution to reducing engine-internal pollutant formation thanks to more precise fuel metering and improved mixture formation. Against this background, Bosch has developed a new generation of gasoline direct injection systems, which is currently being introduced into series production and rolled out into Bosch's production network worldwide." Schünemann also dealt with significant aspects of component development as well as with the functional results that have been attained by means of various technological solutions.

FIGURE 55 Dr.-Ing. B. Durst, BMW Group

FIGURE 56 Dr.-Ing. E. Schünemann, Robert Bosch GmbH

GAS ENGINES 2

Dr. L. Möhring (lecturer), **FIGURE 57**, WINGAS GmbH, Kassel, Germany; *Dr.-Ing. J. Andersen* (lecturer), **FIGURE 58**, Volkswagen AG, Wolfsburg, Germany: "CNG Mobility – Scalable, Affordable and Readily Available Solutions for Environmental and Climate Challenges."

"The 2016 Paris Agreement on Climate Change is an action mandate for the world's economies to cut large quantities of CO_2 emissions in the near future, also in the mobility sector. In the context of the energy transition, Germany in its Climate Action Plan 2050 has committed itself to lowering greenhouse gas emissions by around 40 % from 2014 levels by 2030. This goal should be reached, not least, with the electrification of the transportation sector. However, widespread electrification seems questionable, not only because of vehicle costs but also because of the need for huge amounts of renewable electricity and the necessary power infrastructure.

Nevertheless, the automotive industry must come up with solutions for an immediate reduction of CO_2 emissions in order to avoid growing pressure to act coming from politicians and consumers. This applies all the more as discussions on nitrogen oxides (NO_x) and particulate emissions are generating an additional need for action. But the industry cannot rely on electric mobility alone.

In this respect, CNG (compressed natural gas) vehicles offer an excellent option for immediate, active environmental and climate protection. 1. Obvious benefits with regard to CO_2, NO_x and particulate emissions; 2. Advanced powertrain technology also for large numbers of affordable vehicles; 3. A sufficient fuel station infrastructure; 4. Long-term availability of CNG as a fuel. CNG is a global commodity, similar to oil, with many years of reserves. There are also options for further decarbonising CNG through power-to-gas fuels and biomethane, thus contributing further to climate protection. Co-operation with politics and the relevant stakeholders will forthwith ensure the desired success."

Dr. techn. W. Demmelbauer-Ebner (lecturer), **FIGURE 59**, *Dipl.-Ing. C. Helbing*, *Dr. rer.nat. S. Schlösser-Kranzusch*, *Dipl.-Ing. J. Worm*, Volkswagen AG, Wolfsburg, Germany: "The New EA211 1.0 l TGI Three-Cylinder Engine from Volkswagen and CNG from the OEM Perspective."

"Volkswagen is expanding its engine portfolio thus rounding off the bottom end of its line-up of efficient downsized drives. With its maximum flexibility, the EA211 engine family offers the best possible starting point for environmentally friendly CNG derivatives in all displacement categories. A new 1.0 l CNG engine with an output of 66 kW (90 hp) and torque of 160 Nm has been developed on the basis of the three-cylinder TSI for use in the new MQB-A0 platform. Its first application will be in the new Polo TGI in 2017. The bivalent drive in the new Polo TGI offers customers the optimum combination of running on either CNG or petrol. The low fuel consumption (CO_2 emissions of 87 g/km in the NEDC) and the clean combustion of CNG ensure environmentally friendly and cost-effective operation. However, if CNG should be unavailable, customers still have a fully-fledged, conventional TSI at their disposal.

Today and in the future CNG represents an important element of Volkswagen's engine strategy and, in combination with electric drives, can reduce CO_2 emissions on a sustainable basis. Particular attention is afforded to the biogenic, renewable generation of energy from this source."

Dr.-Ing. G. Mendl (lecturer), **FIGURE 60**, *Dipl.-Ing. O. Hoffmann*, *Dipl.-Ing. R. Mangold*, *Dipl.-Ing. S. Rosenberger*, *Dr.-Ing. J. Pfalzgraf*, Audi AG, Ingolstadt, Germany; *Dipl.-Ing. Z. Langa*, *Dipl.-Ing. B. Czuczor*, Audi Hungaria Motor Kft., Györ, Hungary: "The New Audi 2.0 l g-tron – Another Step for the Sustainable Mobility of the Future."

"The new Audi A4 Avant 2.0 l g-tron and the Audi A5 Sportback 2.0 l g-tron are the first CNG (compressed natural gas) models of Audi's longitudinally mounted engine platform. Both vehicles constitute key elements of Audi's powertrain strategy on the way to zero-emissions. With a nominal power output of 125 kW (170 hp), a maximum torque of 270 Nm and a range of 500 km in CNG mode, the Audi A4 g-tron is setting new standards in terms of efficient sportiness and everyday usability of CNG-powered vehicles. In 2015, the manufacturer set a new milestone in its successful TFSI technology by launching the 2.0 l TFSI which features innovative

rightsizing. With the new 2.0 l g-tron, the company further developed the engine further to run on CNG. As a result, the compression ratio has been increased to 12.6. Additional modifications to the base engine and the fuel injection components were also necessary to make it suitable for CNG operation.

The consistent concept and use of climate-friendly synthetic e-fuels, in this case Audi e-gas, and the upstream fuel supply chain balanced with it in real terms, the Audi A4 2.0 l g-tron represents a highly attractive offering to customer which promises outstanding and sustained levels of CO_2 efficiency. The engine and the complete powertrain of the Audi A4 2.0 l g-tron are thus making a lasting contribution to the mobility of the future, and as such are elements of – and drivers of – the shift to renewable energy in the transport sector."

EXHAUST EMISSION CONTROL / REAL DRIVINING EMISSIONS (RDE) 1

Dipl.-Ing. R. Brück (lecturer), **FIGURE 61**, *Dr.-Ing. M. Presti*, *Dipl.-Ing. O. Holz*, Continental Emitec GmbH, Lohmar, Germany; Dr. A. Geisselmann, *Dr.-Ing. A. Scheuer*, Umicore AG & Co KG, Hanau-Wolfgang, Germany: "The Way to Achieve 'CARB post 2023' Emission Legislation for Commercial Vehicles."

"Tightening NO_x limits in the commercial vehicle sector in Europe as well as especially in the Unites States, which is currently being discussed, presents a new challenge for the engine and catalyst-manufacturers. A reduction by 90 % (down to 0.02 g/bhp-hr) requires the lowering of NO_x emissions under all engine operating conditions. Especially cold start and load points with low exhaust temperatures make higher demands on the activity of the exhaust after-treatment system, particularly with regard to the amount and preparation of the reductant. The close-coupled catalyst configuration proven in passenger car applications well is deemed to constitute a major step towards compliance with future emission limits. Additional heating measures appear unavoidable in order to ensure the perfect preparation of the reductant on the one hand and to reach the needed conversion efficiency of the SCR catalysts on the other. In particular, an electrically heated catalyst with hydrolysis coating was installed downstream of the reductant injection which resulted in an almost 60 % improvement of the NO_x values in the FTP cycle. At the same time it was possible to reduce the muffler size by 50 %. Hence the considerably smaller exhaust system could be arranged more closely to the engine thus benefitting from the thermodynamic advantages of the hotter exhaust gases." Brück described the development of a close-coupled exhaust after-treatment system on the basis of CAD and comparative studies on a dynamic high pressure engine test bench.

C. A. Sharp (lecturer), **FIGURE 62**, *Dr. C. Henry*, *G. Neely*, *S. Rengarajan*, *J. Sarlashkar*, Southwest Research Institute, San Antonio, USA; C. C. Webb, Low Emission Technology Solutions, San Antonio, USA; *Dr. S. Yoon*, California Air Resources Board, Sacramento, USA: "Evaluation and Demonstration of Ultra Low NO_x Technologies for an On-Highway Diesel Engine."

"Recently introduced 2010 emission standards for heavy-duty engines in the U.S. have established a limit for oxides of nitrogen (NO_x) emissions of 0.20 g/bhp-hr, a 90 % reduction from the previous emission standards. However, it has been projected that even when the entire on-road fleet of heavy-duty vehicles operating in California is compliant with the 2010 emission standards, the upcoming National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) requirement for ambient particulate matter and ozone will not be achieved in California without further significant reductions in NO_x emissions from the heavy-duty vehicle fleet. There is currently little incentive for manufacturers to pursue emission reductions beyond the current standards, and so the potential for further reductions is unclear. To address this lack of information, the California Air Resources Board (CARB) commissioned a study to evaluate and demonstrate technologies with the potential of achieving NO_x emissions significantly lower than the current engine standard. The target NO_x emission rate for this project over the heavy-duty Federal Test Procedure (FTP) is 0.02 g/bhp-hr. This study involved evaluating improved engine emission control calibration, enhanced after-treatment technology choices and configurations, improved and more efficient catalysts, improved

FIGURE 57 Dr. L. Möhring, Wingas GmbH

FIGURE 58 Dr.-Ing. J. Andersen, Volkswagen AG

FIGURE 59 Dr. techn. W. Demmelbauer-Ebner, Volkswagen AG

after-treatment thermal management, urea dosing strategies, and engine management practices for two heavy-duty engines: one natural gas engine with a three-way catalyst (TWC); and one diesel engine with a diesel particulate filter (DPF) and selective catalytic reduction (SCR). This discussion is concerned only with the diesel engine platform. A wide variety of technologies were initially evaluated using a novel burner-based approach to simulate the transient exhaust conditions of the engine. This was accomplished using SwRI's proprietary Hot Gas Transient Reactor (HGTR) system. The use of the HGTR allowed for the rapid evaluation of a wide variety of technologies in a more efficient and repeatable fashion. Technologies were evaluated using an exhaust profile that was based on a modified engine calibration which was intended to achieve more rapid catalyst lightoff, and reduced engine-out NO_x emissions during the period prior to catalyst light-off. A subset of these technologies were down-selected for evaluation on the engine based on potential for NO_x reduction, impact on greenhouse gas emissions, and other factors such as cost and complexity. Based on the engine evaluations, a final configuration was developed to reach the target emission level. The final after-treatment hardware was tested, and then aged on engine over an accelerated protocol designed to simulate full useful life."

Dr. C. Severin (lecturer), **FIGURE 63**, *F. Bunar*, *Dr. M. Brauer*, *M. Diezemann*, *W. Schultalbers*, *G. Buschmann*, *M. Kratzsch*, *K. Blumenröder*, IAV GmbH, Berlin / Gifhorn, Germany: "Potential of Highly Integrated Exhaust Gas Aftertreatment for Future Passenger Car Diesel Engines."

Severin explained the potential of close-coupled exhaust gas after-treatment concepts for passenger car diesel engines in conjunction with new options for turbocharging and hybridization. In the course of simulation studies and engine tests, the potential for reducing CO_2 and pollutant emissions was analyzed and evaluated in the WLTC and in a low-load driving cycle. In the concept study, various exhaust gas turbocharger (TC) layouts were compared with exhaust gas after-treatment (EAT) components in a close-coupled position. A variant with a simple TC bypass, variants with a diesel oxidation catalyst (DOC) upstream of, and in the bypass to, the TC as well as an extreme variant with DOC+SCRF upstream of the TC were compared with an EU-6 base.

The experimental studies were carried out on an EU-6 R4-2.0 l engine of a D-segment vehicle and also serve the validation of the 1-D simulation model. In the 1-D simulation, the concept of using an electric compressor and hybridization was evaluated as a possible way to compensate for potential performance drawbacks with EAT upstream of the TC. The extreme variant with DOC+SCRF upstream of the TC shows the best results for NO_x emissions. Fuel economy is also significantly improved with hybridization which is necessary to compensate for performance drawbacks. The life cycle assessment for a full hybrid vehicle with a diesel engine also shows a very good CO_2 balance with fossil energy sources, similar to the level of an electric vehicle with an EU-27 electricity mix. The debate about the purchasing and running costs for diesel drives in passenger cars is ongoing. The lecturer described concepts and technologies for minimizing emissions and maximizing efficiency on the path to an intelligent powertrain.

Prof. Dr. techn. J. Czerwinski (lecturer), **FIGURE 64**, *Dipl.-Ing. (FH) Y. Zimmerli*, *Dipl.-Ing. (HTL) P. Comte*, Berner Fachhochschule, Biel, Switzerland; *Dr. techn. L. Cachon*, Testo SE & Co. KGaA, Titisee-Neustadt, Germany; *Dr. Sc. F. Riccobono*, EC-JRC, Ispra, Italy: "Potentials of the Portable Emission Measuring Systems (PN PEMS) to Control Real Driving Emissions (RDE)."

In different projects of the Laboratory for Exhaust Emission Control (AFHB) of the Berne University of Applied Sciences (BFH), gasoline and diesel passenger cars with different PEMS's were tested on the chassis dynamometer and on the road. Instruments measuring the particle number (PN PEMS) were also included in the investigations. Czerwinski reported some results and experiences with three DI gasoline-, three diesel-cars and four PEMS and discussed the potential and limits of this new emission control methodology. The most important potentials are: no need for measuring laboratories, indication of different influences of ECU and OBD, consideration of the influence of ambient conditions, traffic situations, driving behavior, the option of calibration and the possibility to estimate the exhaust mass flow without a flowmeter. The most

FIGURE 60 Dr.-Ing. G. Mendl, Audi AG

FIGURE 61 Dipl.-Ing. R. Brück, Continental Emitec

FIGURE 62 C. A. Sharp, Southwest Research Institute, San Antonio

important limit of this procedure is the scatter band emission due to the mentioned influences.

REAL DRIVING EMISSIONS (RDE) 2

Dipl.-Ing. J. Badur, *Dipl.-Ing. F. Köhler*, *Dipl.-Ing. H. Schmidt*, (lecturer), **FIGURE 65**, TÜV Nord Mobilität GmbH & Co. KG, Essen, Germany: "One Year Monitoring Phase – Implementing Real Driving Emissions (RDE) in Europe."

"Although type-approval emission requirements for motor vehicles have been tightened significantly, in European city centres a large portion of the population is exposed to air pollutant concentrations above the EU limit values. To date, in Europe exhaust emissions of passenger cars and light-duty trucks have been measured under well defined ambient conditions in laboratories. With EU Regulations 2016/427 and 2016/646, the obligation to measure real driving emissions in addition to laboratory investigations has how been enshrined in the European emission legislation. With this procedure, exhaust gas emissions are determined in real traffic by means of portable emission measurement systems (PEMS). In line with European clean air standards, the focus is on nitrogen emissions from vehicles with compression ignition engines, and on particulate emissions from vehicles with spark ignition and direct injection engines. Since spring 2016 this new measuring procedure has been tested during a monitoring phase. The measured results have to be published by vehicle manufacturers. As of September 2017, limit values for real driving emissions will be introduced. RDE poses major challenges for vehicle manufacturers with regard to both vehicle development and the carrying out of such measurements." Schmidt described practical experiences in carrying out PEMS measurements and presented the results obtained during the RDE monitoring phase and reported the state-of-the-art of the RDE debate.

Dr. M. Schüßler (lecturer), **FIGURE 66**, *Dr. M. Piffl*, *Dipl.-Ing. M. Grubmüller*, *Dipl.-Ing. P. Grün*, *Dipl.-Ing. M. Hollander*, *Dipl.-Ing. H. Mitterecker*, AVL List GmbH, Graz, Austria: "Real Driving – In Field Robustness Based on Virtual Development Environment."

"The low emission limit values valid in the expanded scope of 'Real Driving' can hardly be reached by means of the conventional 'engineering target' approach. In order to achieve a cost-efficient and focused development of technologies, methods are required that ensure robustness of the fleet already in the development phase. What is challenging is the need to combine real usage profiles with varying ambient conditions, component tolerances and component ageing and to take into account these factors in the development process. For this purpose, the model-based development environmental can be adapted to varying conditions and the simulation results are reproducible. Nevertheless, the enormous complexity of this process can only be controlled by applying mathematical-statistical tools." Schüßler quoted examples from the area of commercial vehicles and passenger cars.

M. Ito MA, (lecturer), **FIGURE 67**, *K. Takeuchi MA*, *K. Ishizuka BA*, *K. Uchiyama BA*, *S. Sugawara MA*, Denso Corporation, Aichi, Japan; *M. Nakagawa BA*, Denso International Europe B.V., Weesp, The Netherlands; *Dr.-Ing. O. E. Herrmann*, Denso Automotive Deutschland GmbH, Wegberg, Germany: "Innovative Technologies to Realize the Ultimate Diesel System with High Efficiency and Low Emissions."

"The world economy continues to grow generating, which today and in the next decade a surging demand for energy in the medium term. In view of global CO_2 emissions, this represents a major challenge for the development of future drive trains. Diesel engines continue to offer the highest potential for reducing real emissions, especially in heavy-duty vehicles, and will therefore remain an indispensible drive unit in the medium term. A further reduction of CO_2 emissions and RDEs constitutes the central task for vehicle development. In the medium term it will be necessary to combine optimally ever more electrified drive trains with highly efficient exhaust gas after-treatment systems and further optimized combustion processes, and to co-ordinate these intelligently with regard to control technological units.

With regard to the combustion process, todays injection systems are further optimized with a view to improving the quality of mixture formation (spray) and a higher flexibility of injection patterns. By means of a closed control loop the accuracy of spray patterns is assured over the entire service live of the unit. In the area of exhaust gas purification, Denso is working on an ozone generator which allows the storage of nitrogen oxides in the NO_x storage catalyst already at room temperature so that complicated heating procedures for CO_2 are either superfluous or can be significantly simplified. For future electrified drive trains nitrogen emissions will be further reduced so that exhaust gas after-treatment will become simpler. For this purpose an optimized co-ordinator offers the potential to generate additional advantages for the diesel powertrain from existing sub-systems.

Together with its customers, Denso continues to work intensively on conceiving innovative approaches to optimize future diesel powertrains so that these will be ecologically and economi-

FIGURE 63 Dr. C. Severin, IAV GmbH

FIGURE 64 Prof. Dr. techn. J. Czerwinski, Berner Fachhochschule, Biel

cally attractive propulsion units in the future as well."

Dipl.-Ing. T. Körfer, FEV Group GmbH, Aachen, Germany; *Dr.-Ing. C. Menne* (lecturer), **FIGURE 68**, *Dipl.-Ing. B. Lindemann*, FEV Europe GmbH, Aachen; *Dr.-Ing. T. Szailer*, FEV NA Inc., Auburn Hills, USA: "Next Generation Clean Diesel Engines – Tailored Measures for Compliance with Upcoming Global Emissions Challenges."

"The automobile industry is experiencing a clear paradigm shift as a result of increasingly stringent legal requirements regarding fleet-related CO_2 emissions and newly defined, more demanding test cycles and test criteria including real driving operation. Comprehensive system optimization continues. Future powertrains have to be designed more intensively with a full system understanding of combustion engines, transmissions and supporting electrification. In spite of all public discussions, the modern diesel engine still represents the propulsion unit with the highest thermodynamic efficiency and, in comparable applications, still has overall CO_2 advantages compared to the electric drive if, for example in Germany, the type of electricity generation is included in these considerations. The diesel engine has been the subject of public discussion on the basis of local air quality, particularly in urban areas. In particular, the sensitive issue of 'fine particles' has been clarified since the serial introduction of the particulate filter and is dominated by other sources, being no longer a topic for the diesel engine powertrain. The efficiency of the particulate filter is also independent of operating conditions, such as driver behaviour and traffic situation and environmental influences, such as temperature and geodetic altitude. Therefore, nitrogen oxides (NO_x) still remain the central topic of exhaust gas detoxification. In a standardized, but ultimately not fully representative certification cycle it was shown that percentages of actual exhaust gas emissions in everyday operation were increasing as a result of ever more stringent type approval standards. In this respect, the diesel engine contributes to a certain extent, but not exclusively, to the current emission situation in many European city centres. While maintaining a convincing fuel efficiency, the holistic response to this is a combined package of targeted internal engine technologies, optimized exhaust gas after-treatment systems and performance-enhanced, adaptive control algorithms.

The latest generation of modern diesel engines featuring comprehensive and efficient exhaust emission reduction has the potential to ensure individual mobility with negligible pollutant emissions. Taking into account fuels from renewable resources, the goal of nearly CO_2 neutral emissions can be reached."

ENGINE COMPONENTS

Dr.-Ing. H. Breitbach (lecturer), **FIGURE 69**, *Dipl.-Ing. D. Metz*, *Dr. sc. techn. J. Adam*, *Dipl.-Ing. D. Alt*, *Dr.-Ing. S. Dönitz*, BorgWarner Turbo Systems GmbH, Kirchheimbolanden, Germany; *Dipl.-Ing. H. Weckenmann*, *Dipl.-Ing. U. Schellenbauer*, *Dipl.-Ing. J. Janitschka*, Daimler AG, Stuttgart, Germany: "Two-Stage Turbocharging with Electrical Boosting – An Enabler for Further Downsizing in Gasoline Engines."

"In 2017, the BorgWarner e-booster, an electrically driven compressor will enter series production in a gasoline engine of Mercedes-Benz. Vehicle customers and legislators worldwide demand further reductions of fuel consumption in new engines. Electrically powered turbocharging systems, made possible by the increasing electrification of vehicles, allow new options in downsizing and downspeeding. Higher torque and engine power can be accomplished without compromising transient behaviour at low speeds." Breitbach explained the technical features of the e-booster and its integration into the M 256 3 l six-cylinder engine of Mercedes-Benz and addressed challenges arising in the course of developments. The e-booster is combined with a conventional turbocharger resulting in a two-stage turbocharging system. The e-booster operates independently of the exhaust gas flow, and its response is outstanding even at lowest engine speeds. Compared with conventional two-stage systems, no second turbine is needed, which has a positive effect on the gas exchange and, especially in gasoline engines, on fuel consumption and knocking resistance. The e-booster is decoupled from the exhaust side and, compared to typical two-stage systems, offers both more flexibility to position the second compressor and advantages in the warm-up phase of the exhaust gas after-treatment system. Excellent electric and thermodynamic efficiencies ensure the high overall system efficiency. The combination of the e-booster with an exceptional engine has resulted in a very attractive and, at the same time, efficient powertrain."

Dr.-Ing. M. Kluin (lecturer), **FIGURE 70**, *Dr.-Ing. C. Glahn*, *Dr.-Ing. I. Hermann*, *Dipl.-Ing. A. Königstein*, GM Global Propulsion Systems Europe, Rüsselsheim, Germany: "Variable Turbine Geometry – Evaluation of a Charging Concept for Future High-Efficiency Gasoline Engines."

"For future combustion processes ever greater challenges arise for the charging system of gasoline engines with regard

FIGURE 65 Dipl.-Ing. H. Schmidt, TÜV Nord Mobilität GmbH & Co. KG

FIGURE 66 Dr. M. Schüßler, AVL List GmbH

FIGURE 67 M. Ito MA, Denso Corporation

FIGURE 68 Dr.-Ing. C. Menne, FEV Europe GmbH

FIGURE 69 Dr.-Ing. H. Breitbach, BorgWarner Turbo Systems GmbH

to charge air pressure. The trade-off between high low-end torque with fast transient response and low turbine pressure ratios for high engine efficiency therefore assumes more critical proportions. Variable turbine geometry (VTG) is a familiar solution to this issue. Although this technology has been state-of-the art in diesel engines for decades, VTG has not yet been established in the mass market for gasoline engines due to the challenges related to the higher exhaust gas temperature and system costs. Nevertheless, highly efficient gasoline combustion concepts, such as the Miller cycle have recently demonstrated the great advantages of VTG technology in gasoline engines with moderate specific output and relatively low exhaust gas temperatures below 900 °C. Nevertheless, new designs and new material developments now permit the advantageous application of this technology in engines with higher outputs (> 90 kW/l) and exhaust gas temperatures of up to 980 °C, even for cost-sensitive high-volume markets." Kluin described the VTG turbocharging concept realized in a state-of-the-art 1.6 l SIDI turbo engine and evaluated the technology's potential regarding efficiency, transient response and drivability.

Dr. A. Müller (lecturer), **FIGURE 71**, *Dr. R. Holler, Dr. M. Dlapka, Dipl.-Ing. P. Pichler*, Miba Sinter Austria GmbH, Vorchdorf, Austria: "Powder Metal Compound Gears for Optimizing NVH Characteristics for State-of- the-Art ICE for Automotive Applications." "Compound gears, in a 'splitgear' or 'decoupled' configuration, represent an interesting option to improve the NVH behaviour of internal combustion engines: accordingly, 'rattling' as well as 'whining' can be significantly reduced. A motored engine test rig was used to validate different configurations of such systems and their impact on noise, vibration and harshness (NVH). In combination with powder metal technology, the individual components can be manufactured in a very efficient manner. In some cases a vulcanization process to combine the single components are assembled and in some cases, vulcanized to combine to form the gear module.

Customer requirements can be met and torque loads can be ensured over the entire service life without any significant impact on the performance of the gear system. The impact on ageing, especially of the elastomer, was systematically analyzed and compared with reference systems. Such systems and modules are standard units in camshaft drives and mass balancer drives. The systems have to be adapted to different applications in order to satisfy customer requirements and preferences. The systems can be pre-validated at Miba where various test rigs are available. The pre-validation results show a very good correlation with the outcomes of bench and customer tests in actual vehicles. Currently these concepts are studies as further potential is seen for transmission applications. Especially for electric driving, during which NVH sounds may reach higher levels, such approaches appear to become increasingly relevant."

PLENARY CLOSING SESSION: VIEW TO THE FUTURE

Wolf-Henning Scheider, **FIGURE 72**, Chairman of the Management Board and CEO, Mahle GmbH, Stuttgart, Germany: "Mahle's Contribution to Efficient Internal Combustion Engines and Electric Powertrains of the Future."

"With a view to reaching the ambitious climate policy objectives set forth at the World Convention on Climate Change in Paris in 2015, a dual strategy needs to be pursued which has to focus both on the development of efficient internal combustion engines and electric drives. In the short to medium term, it is important that we continue to steadily improve the internal combustion engine in the years and decades ahead, as according to forecasts, the global fleet will consist of more than 90 % of ICE-powered vehicles on the road by the year 2030. Alternative fuels such as e-fuels can also make a crucial contribution here. In the long run the electrification of the powertrain will also be necessary in order to reach the zero-emissions target in the second half of the century.

Mahle pursues a dual strategy: systematically developing further internal combustion engines and alternative drives. While there is still a large potential for CO_2 reduction in the short and medium term by optimizing ICE components (up to 10 % in the WLTC), alternative fuels such as CNG additionally offer the potential to lower CO_2 emissions by over 25 % (WLTC). If synthetic fuels are used, for instance, the internal combustion engine

FIGURE 70 Dr.-Ing. M. Kluin, Adam Opel AG

FIGURE 71 Dr. A. Müller, Miba Sinter Austria GmbH

can even operate with a net zero carbon footprint.

On the other hand, Mahle also offers innovative solutions intended to increase the market acceptance of electric vehicles. In terms of thermal management, there are various applications in which cooling and heating play a key role in various areas. These range from energy-efficient interior climate control, battery integration, powertrains consisting of electric motors and power electronics.

Irrespective of the drive concept, the company stands ready as a reliable development partner to face the challenges of the future."

Hirohisa Kishi, **FIGURE 73**, Executive Vice President, Power Train Company, Managing Officer, Toyota Motor Corporation, Aichi, Japan: "Towards Sustainability – Toyota's Way to Develop the Next Generation Vehicles."

"For a long time Toyota Motor Corporation has pursued the goals of energy conservation promoting the diversification of fuels. In the development of its vehicles it is committed to the principle that any technology can make a decisive contribution to environmental protection only if it is widely applied. Toyota believes that cars should be exciting and fun-to-drive. In countries and regions around the world, conditions vary widely in terms of energy and vehicle usage, as well as customer expectations. Consequently, the development and widespread adoption of new powertrains that meet these varying requirements is indispensible in order to find solutions to the global energy and environmental problems. At present, Toyota is developing and introducing new powertrains with world-leading efficiency based on Toyota's design philosophy 'New Global Architecture (TNGA)'. The rapid rollout of these powertrains around the world should help to reduce CO_2 emissions in both the short- and medium-term. Using hydrogen in both vehicles and across the whole energy society is a potentially effective means of facilitating wider usage of electric energy in the future. Toyota intends to play a leading role in activities to help achieve this vision through a close partnership with other companies, governments, and related stakeholders."

Matthias Müller, **FIGURE 74**, Chairman of the Board, Volkswagen AG, Wolfsburg, Germany: "From Carmaker to Mobility Provider: A Look at the Future of the Volkswagen Group."

Müller covered a wide span of time from the present to the future making the following core statements:

Change in the automotive industry: "We need not reinvent the wheel, but everything else we will have to invent."

Internal combustion engines: "By the year 2025 three out of four new cars will still use gasoline or diesel as a fuel." "By 2020 we will have managed to make internal combustion engines 20 to 25 % more efficient and therefore cleaner. For this purpose, the Volkswagen Group will invest approximately 10 billion euros in the period from 2017 to 2022. Even 124 years after its invention, diesel engines still have major efficiency potentials which the Volkswagen Group will tap."

Electromobility: "The Volkswagen Group invested three billion euros in the development of alternative drive technologies over the past five years. In the five years ahead it will triple this sum to approximately nine billion euros." "The heart of the fully electric vehicle is its battery. We will consider it as the core competence within our Group." "By 2025 we will have launched more than 30 additional, purely battery-electric vehicles."

New mobility solutions: "In the future, it will be absolutely normal to book some extra HP via App or have a Volkswagen sportscar delivered to your door-step." "Our decision to make investments in new mobility solutions has triggered a tangible dynamism across our entire Group."

Digitalization: "In my opinion it is important that we do not blindly follow any trend. Instead, we will take advantage of opportunities wherever these create in added value for us, and primarily for our customers." "More than 2000 experts are working on the mobility of the future in 37 competence centres and in digital labs worldwide. These efforts cover a wide range, from car sharing to solutions to networked production all the way to 3-D printing."

POSTER PRESENTATIONS

Prof. M. R. Jolly PhD BMet, *Dr. K. Salonitis PhD MBA Dipl. Eng*, Cranfield University, United Kingdom: "Primary Manufacturing, Engine Production and On-the-Road CO_2: How Can the Automotive Industry Best Contribute to Environmental Sustainability?"

"Legislation in the automotive industry currently focuses on tailpipe CO_2 emissions, with no consideration for the CO_2 footprint of the materials used in the manufacture of vehicles. This has led OEMs to adopt lower density materials, to contribute to weight reduction and fuel economy, in the expectation that the weight reduction will provide a net CO_2 benefit to society. The lecturer presented the results of a full assessment of the energy and CO_2 impact during the manufacture of diesel and petrol engine blocks. The research is based on inputs from over 100 world experts from across the automotive supply chain, including raw material mining and smelting companies, alloy recyclers, iron and alumin-

FIGURE 72 W.-H. Scheider, Mahle GmbH

FIGURE 73 H. Kishi, Toyota Motor Corporation

FIGURE 74 M. Müller, Volkswagen AG

ium foundries, OEM engineers, independent manufacturing specialists, design consultants, heat treaters and impregnators. Despite current perceived wisdom, the use of lower density materials frequently results in net energy and CO_2 penalties, when considering the complete life cycle of manufacture and use. For the 1.6 l engine block investigated in this study, more than 200,000 km of on-the-road driving is required to compensate for the up-front energy consumption and CO_2 emissions associated with the production of aluminium engine blocks. The lecturer also commented on other environmental impacts from the iron and aluminium manufacturing routes. These results provide new insights for OEM decision-makers, and a new perspective for legislators to define regulations that truly contribute to the environment and to society."

Dr. techn. L. Möltner, L. Konstantinoff MSc, M. Buchacher BSc, V. Schallhart MSc, Management Center Innsbruck, Austria; *C. Rossboth, H. Gruber MSc*, Vienna University of Technology, Austria; *M. Gwercher MSc*, Ingenieurbüro Gwercher, Brixlegg, Austria: "Oxidation of Biodiesel – Mechanisms of Oxidation, Limitations on the Utilization in ICEs and Countermeasures."

"In Europe fatty acid methyl ester (FAME) is the most frequently used substituent to fulfill the mandatory obligation to add biofuels to fossil diesel. However, due to the chemical structure of FAME, its storage stability is limited and oxidation reactions can occur under certain circumstances, which can cause difficulties in engine application. In the course of these research activities, a new reaction path for the oxidation of FAME was found and experimentally validated as an alternative to the stated reaction mechanism found in the relevant literature. Furthermore, the influence of aged FAME on the chemical and physical properties of fuel blends, the spray behavior during injection, the engine combustion including endurance tests, the exhaust gas recirculation compatibility, the emission behaviour and the engine oil dilution were investigated. Finally, possibilities for the inhibition of oxidation reactions of FAME were successfully developed with the aid of phenolic additives to prevent the premature degeneration of biofuels and negative impacts on their utilization in internal combustion engines."

M. Garrett, Prof. N. Jackson, Ricardo plc, Shoreham-by-Sea, United Kingdom; *S. Kollamthodi*, Ricardo Energy & Environment, Harwell, United Kingdom: "Internal Combustion Engines – What Does the Future Hold in a Post Diesel-gate World?"

"With the automotive industry continuing to be in the media and public spotlight due to concerns about the contribution of vehicles to poor urban air quality, can gasoline and diesel engines survive in the future? Poor air quality is a major human health hazard and the contribution of road transport to air pollution is very significant. Emissions testing carried out by Ricardo using advanced remote sensing techniques to measure oxides of nitrogen (NO_x) and nitrogen dioxide (NO_2) from diesel cars operating in real-life conditions shows that different brands and models can have very different impacts in terms of contributions to urban pollution. However, these concerns about poor air quality mean that some local authorities are placing restrictions on the use of conventional vehicles in city centres around Europe, and some national governments have made proposals to ban the sales of new petrol and diesel cars within the next ten to 15 years. At the same time, passenger car manufacturers in Europe have become increasingly reliant on diesel technology in order to meet current EU regulatory targets on CO_2.

With future post-2020 car and van CO_2 targets now under development, what do OEMs need to do in order to meet these challenges in a less diesel-friendly world, and how should they engage with regulators, city authorities and other interested parties? Additionally, beyond the current problems with NO_x and NO_2, what are the likely future vehicle-related air pollution problems that the industry needs to start planning for now and what needs to be done to improve the understanding of environmental concerns?" The lecturer explained an integrated approach between environmental and automotive ICE engineers to create a unique insight into the challenges and potential solutions to address the societal challenges for low carbon transport and clean air.

Dipl.-Ing. A. Buchroithner, Em. Univ.-*Prof. Dr. G. Jürgens*, Graz University of Technology, Austria: "Flywheel Energy Storage – An Opportunity for the Automotive Industry and Beyond."

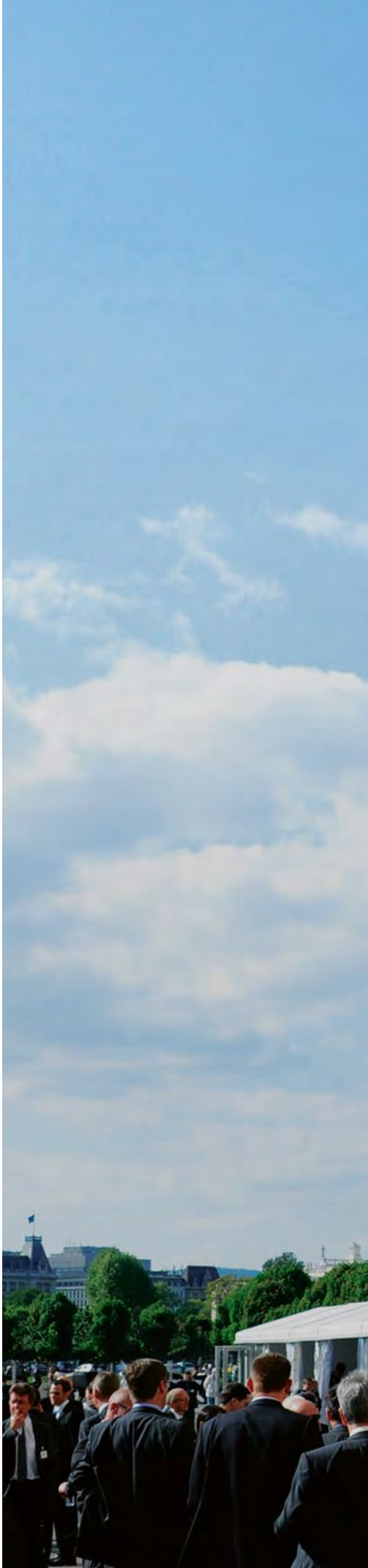
The lecturer summarized the major results of seven years of research in the field of flywheel energy storage systems (FESS) for automotive applications. He pointed out that the use of FESS for load levelling and break energy recuperation for vehicles operating in urban areas can reduce fuel consumption by more than 20 %. Despite the seemingly simple physical principle behind this mechanical energy storage concept, practical and cost-efficient solutions suitable for mass production in the automotive industry, are still missing. A systematic analysis revealed the key components of technology which determine the economic success of this technology. A holistic approach was necessary, which did not only consider the energy storage device itself, but also the entire (hybrid-)vehicle and the greater super-system. In the course of several research projects, technical solutions for critical components, such as the bearing concept, the low-cost rotor design and the burst containment were elaborated and validated using special test benches. Besides a significant cost reduction, approaches resulting in improved inherent safety and a reduction of self-discharge were adopted. Accordingly, FESS are also relevant for applications beyond the automotive industry, such as the storing of solar energy, which can then be used to charge electric or plug-in hybrid vehicles.

Dipl.-Ing. G. Kellermayr, *Dipl.-Ing. R. Ratzberger*, *Dipl.-Ing. P. Rumplmayr*, *Univ.-Prof. Dr. H. Eichlseder*, Graz University of Technology, Austria; *Dipl.-Ing. M. Wieser*, AVL List GmbH, Graz, Austria; *Dr. F. Jayat*, Continental Emitec, GmbH, Lohmar, Germany; *Dr. M. Bonifer*, Heraeus Precious Metals GmbH & Co KG, Hanau, Germany: "Pre-Turbine-Catalysts for Passenger Car Diesel Engines."

On account of high air/fuel ratios, the quality control of diesel engines results in low exhaust temperatures. Furthermore, increasing engine efficiency as a matter of principle induces declining exhaust enthalpy. Hence, heating strategies of the exhaust after-treatment system are essential during the warm-up phase of the engine in order to ensure an early light-off of the catalyst and thus to reduce cold-start emissions. These strategies, such as retarded combustion or throttling of the intake air, usually lead to increased fuel consumption. Another alternative which has already been discussed but is still an unconventional method, is to position the exhaust after-treatment components upstream of the turbocharger turbine to take advantage of a higher temperature level. But this is in conflict with the close-coupled arrangement of the turbocharger aimed at a fast transient response. Especially at full-load acceleration late boost pressure build-up limits engine torque. Investigations on engine test benches and 1-D gas-exchange simulations have demonstrated the thermal inertia of the pre-turbine-catalyst (PTC) as primary cause of the deterioration of boost pressure build-up. For this purpose, diesel oxidation catalysts of different substrate

CONFERENCE DOCUMENTATION

All lectures presented at the 38th Vienna International Motor Symposium are contained, in their in extenso versions, in the VDI progress reports, series 12, no. 802, volumes one and two (including a CD in English), together with additional brochures. These documents can be obtained from the Austrian Society of Automotive Engineers (ÖVK).



sizes were installed upstream of the turbine and were investigated in stationary and dynamic engine operation. In order to evaluate the potential advantages resulting from the light-off behaviour of the catalytic converter without loss of engine dynamics, a combination of pre-turbine catalytic converter and electric compressor (e-booster) was additionally investigated by means of an 0-D engine simulation. The lecturer pointed out that a validation of the simulation with an e-booster will also be carried out on engine test benches in the future."

Dipl.-Ing. A. Damyanov, Assoc. *Prof. Dr. P. Hofmann*, Vienna University of Technology, Austria; *Dipl.-Ing. M. Derntl*, *Dr. M. Schüßler*, AVL List GmbH, Graz, Austria; *Dipl.-Ing. T. Pichler*, Dr. N. Schwaiger, Graz University of Technology, Austria: "Operation of a Diesel Engine with Biogenous Oxygenated Fuels."

"Second generation biofuels have the potential to contribute to the reduction of combustion engine CO_2 emissions without causing an ethical contradiction to food production. Oxygen-containing fuels are of particular interest for diesel engines as they can mitigate the traditional conflicting objectives, such as particle-NO_x trade-off or the efficiency-NO_x compromise. Within the scope of the research project 'Regenerative Oxygen-Containing Diesel Substitute Fuels as an Opportunity for Efficiency Enhancement and Emission Reduction – OxyGen2', the suitability for combustion of a series of preselected biofuels is being experimentally investigated. The most promising fuels belong to the groups of bio-alcohols, bio-ethers and bio-furans, such as, for example, ethanol, methanol, butanol, dimethyl ether and oxymethylene ethers. At the Department of Powertrains and Automotive Technology of the Vienna University of Technology, fuel-specific combustion processes are being developed and analysed on a modified diesel engine in order to determine their feasibility, cost, efficiency and emissions. A distinctive feature of this project is the investigation of fuel injection into internal combustion engines in three different ways. Alongside the generally used method of direct injection of diesel-biofuel blends, the biofuel can also be fed by means of intake manifold injection in combination with parallel direct injection of diesel fuel into the combustion chamber. As a third, particularly innovative, approach, reforming the biofuel is being investigated on an experimental basis. The synthesis gas thus generated is passed to the engine by injecting it into the intake manifold. With this method, ignition is also effected by means of diesel pilot injection. The biofuel potential is evaluated, using the three variants of fuels and the results of the different biofuels are compared. The lecturer made an overall assessment summarizing the results of the production analysis, reforming investigations and engine operation, and outlined the fuel potential for use in diesel engines."

INVITATION

The 39th Vienna International Motor Symposium will be held on April 26th and 27th, 2018, in the Conference Centre of the Vienna Hofburg. We should like to invite you to the Symposium already now. We urgently recommend that you apply in good time once the programme has been published on the internet from December 11th, 2017.

CONTACT

Austrian Society of Automotive Engineers (ÖVK)
A-1010 Vienna
Elisabethstrasse 26
Tel. + 43/1/585274-0
Fax + 43/1/585274-99
E-Mail: info@oevk.at
Homepage: www.oevk.at and
http://wiener-motorensymposium.at
© Figures: ÖVK / Doris Kucera

SONDERBEILAGE ZUM 38. INTERNATIONALEN WIENER MOTORENSYMPOSIUM

In Kooperation
Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK)
Elisabethstraße 26
A-1010 Wien

Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
Postfach 1546
65173 Wiesbaden

Amtsgericht Wiesbaden
HRB 9754
USt-IdNr. DE81148419

Geschäftsführer Stefanie Burgmaier I Joachim Krieger I Juliane Ritt

Chefredakteur Markus Bereszewski

Projektmanagement Christiane Imhof

Produktion & Layout Heiko Köllner

Druck Kliemo, Eupen/Belgien

SPECIAL EDITION FOR THE 38TH INTERNATIONAL VIENNA MOTOR SYMPOSIUM

In Cooperation with
Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK)
Elisabethstraße 26
A-1010 Wien

Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
Postfach 1546
65173 Wiesbaden

Amtsgericht Wiesbaden
HRB 9754
USt-IdNr. DE81148419

Managing Directors Stefanie Burgmaier I Joachim Krieger I Juliane Ritt

Editor in Chief Markus Bereszewski

Project Management Christiane Imhof

Production & Layout Heiko Köllner

Print Kliemo, Eupen/Belgien

WIENER
MOTORENSYMPOSIUM
VIENNA
MOTOR SYMPOSIUM

ÖSTERREICHISCHER VEREIN FÜR KRAFTFAHRZEUGTECHNIK (ÖVK) AUSTRIAN SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS

Elisabethstraße 26
A-1010 Vienna
Tel. +43 /1/5852741-0
Fax +43/1/5852741-99
E-Mail: info@oevk.at
Homepage: www.oevk.at
https://wiener-motorensymposium.at