



Zum 36. Internationalen Wiener Motorensymposium am 7. und 8. Mai 2015 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**

Nach einer Begrüßungsfanfare des Orchesters der Technischen Universität Wien begrüßte *Prof. Lenz*, **BILD 1**, die Teilnehmer des ausgebuchten 36. Internationalen Wiener Motorensymposiums, **BILD 2**.

Alle Vorträge sind wieder in den VDI-Fortschritt-Berichten, einschließlich einer CD mit den Texten in englischer 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. Insgesamt sind über 1400 Vorträge seit 1985 in dieser Datenbank enthalten.

Prof. Lenz führte einleitend aus: "Auf dieser Tagung werden wir eine Fülle bedeutender Fortschritte bei den Verbrennungsmotoren kennenlernen. Fortschritte, die man noch vor einigen Jahren nicht für möglich gehalten hätte. Die Tendenzen zur Entwicklung kleinerer Motoren finden sich auch in diesem Jahr bei allen Marken weltweit. Selbst beim Nfz-Motor lösen Sechszylinder-Reihenmotoren die V8-Maschine ab; sogar die F1-Motoren wurden kleiner. Natürlich gibt es Aus-



BILD 1 Univ.-Prof. Dr. Hans Peter Lenz

nahmen: So ragt ein neuer W12 wie ein Leuchtturm hoch hinaus."

Ohne Elektrifizierung gehe nach Prof. Lenz in Zukunft nichts mehr. Nach seiner Einschätzung zeigen sich die Motoren mit dem Kleiner-werden immer effizienter und immer mehr elektrifiziert: Die Grundlast liefere der Verbrennungsmotor, beim Beschleunigen und Bremsen wirken elektrische Komponenten mit. Auch die Nebenaggregate werden mehr und mehr elektrisch angetrieben, die Motoren riemenlos. Die Basis des Antriebs aber bleibe für mindestens 20 Jahre der Verbrennungsmotor.

"Generell müssen wir zur Kenntnis nehmen", so Prof. Lenz, "dass der Verbrennungsmotor nicht mehr der alleinige Hauptpunkt bei der Entwicklung des Antriebsstrangs ist." Der gesamte Antriebsstrang komme gleichberechtigt dazu. "Wir müssen statt der Verbesserung einzelner Komponenten noch mehr zur Verbesserung der Systeme kommen. Die Vernetzung des Antriebsstrangs mit der Umwelt bekommt immer größere Bedeutung."

Nach der gemeinsamen Plenar-Eröffnungssektion, **BILD 3**, folgten

BILD 2 Eröffnung mit Fanfare



BILD 3 Plenar-Eröffnungssektion v. r. n. l.: M. Sugiyama, J. Fuerst, Dr. R. Bulander, Prof. Dr. P. Gutzmer, Prof. H. P. Lenz, Dr. T. Hametner



3



BILD 4 Festsaal



BILD 5 Zeremoniensaal



BILD 6 Dr. W. Böhme

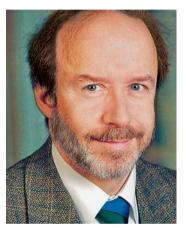


BILD 7 Univ.-Prof. Dr. G. Brasseur



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



BILD 9 Univ.-Prof. Dr. W. Eichlseder



BILD 10 Univ.-Prof. Dr. B. Geringer



BILD 11 Assoc. Prof. Dr. P. Hofmann



BILD 12 Univ.-Prof. Dr. G. Hohenberg



BILD 13 Univ.-Prof. Dr. G. Jürgens

in zwei Parallelsektionen, BILD 4 und BILD 5, die Fachvorträge unter der Leitung von Dr. W. Böhme, 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,

Assoc. Prof. Dr. P. Hofmann, BILD 11, Univ.-Prof. Dr. G. Hohenberg, BILD 12, Univ.-Prof. Dr. G. Jürgens, BILD 13, und Univ.-Prof. Dr. H. P. Lenz, BILD 14. Saalmanager in den Sektionen waren Dipl.-Ing. S. Auer, BILD 15, Dr. T. Hametner, BILD 16, Dipl.-Ing. J.

Spreitzer, BILD 17, und Dr. techn. M. Urbanek, BILD 18.

Eine umfassende und eindrucksvolle Ausstellung neuer Motoren, Komponenten und Fahrzeuge ergänzte die Vorträge, BILD 19, BILD 20, BILD 21, BILD 22, BILD 23 und BILD 24.



BILD 14 Univ.-Prof. Dr. H. P. Lenz



BILD 15 Dipl.-Ing. S. Auer



BILD 16 Dr. T. Hametner



BILD 17 Dipl.-Ing. J. Spreitzer



BILD 18 Dr. techn. M. Urbanek



BILD 19 Ausstellung: Stand von BMW



BILD 20 Ausstellung: Stand von Bosch



Die Begleitpersonen erlebten ein kulturell anspruchsvolles Rahmenprogramm mit einer Fahrt zum vor kurzem eröffneten Campus der Wirtschaftsuniversität Wien und eindrucksvollen Spaziergängen durch die Innenstadt Wiens mit unterschiedlichen Schwerpunkten. Dabei

standen die Besichtigung der berühmten Gemäldegalerie Albertina, der Wiener Stephansdom vom Keller bis zum Dach und Wiens jüdische Museen im Zentrum. Den Abend verbrachten die Teilnehmer beim Heurigen auf Einladung des Bürgermeisters von Wien.



BILD 21 Ausstellung: Stand von Audi

5



BILD 22 Ausstellung: Stand von AVL



BILD 23 Ausstellung: Stand von Audi



BILD 24 Ausstellung: Stand von Volkswagen



BILD 25 Prof. Dr. P. Gutzmer, Schaeffler AG

### PLENAR-ERÖFFNUNGSSEKTION

*Prof. Dr. Peter Gutzmer*, **BILD 25**, Stv. Vorsitzender des Vorstands, Vorstand Technologie, Schaeffler AG, Herzogenaurach: "Die Zukunft des Motors kommt über das Getriebe":

Künftige, besonders emissionsarme Fahrzeugantriebe sind nur zu realisieren, wenn im gesamten Antriebsstrang die auftretenden Verluste reduziert werden. Es gilt daher, Verbrennungsmotor, elektrische Komponenten und Getriebe im Verbund zu betrachten. Dazu gehört es, Verbesserungen im Motorkennfeld, wie sie beispielsweise durch variable Ventiltriebe erreicht werden können, zu berücksichtigen. Gleichzeitig sind sowohl für 48-V- als auch für Hochvolt-

Hybridantriebe geeignete Getriebekonzepte zu entwickeln, die einen hohen Gesamtwirkungsgrad und möglichst geringe Komplexität vereinen.

Dr. Rolf Bulander, BILD 26, Geschäftsführer, Robert Bosch GmbH, Stuttgart: "Die Optimierung des Antriebsstrangs durch umfassenden Systemansatz":

Die Rahmenbedingungen für Mobilität werden in den nächsten Jahren neu definiert werden. Gesetzgeberische Vorgaben werden die Grenzen für CO<sub>2</sub> und Emissionen signifikant reduzieren. Weitere Entwicklungen erfordern die stetig steigenden Ansprüche der Kunden an Fahrkomfort und an Vernetzung und Automatisierung des Automobils. Jede dieser Entwicklungen hat signifikanten Einfluss auf die Ausgestaltung des Antriebsstrangs.



BILD 26 Dr. R. Bulander, Robert Bosch GmbH

Der heute von Verbrennungsmotoren dominierte Markt wird sich voraussichtlich in Richtung Elektrifizierung entwickeln. Ob sich dieser Wandel evolutionär oder revolutionär vollzieht, ist aus heutiger Sicht noch nicht absehbar. Deshalb entwickelt Bosch beide Antriebskonzepte weiter. Darüber hinaus erschließen sich durch die Kombination beider Antriebsarten Potenziale, die gerade dem Verbrennungsmotor neue Chancen zur Erreichung anspruchsvoller Ziele einräumen.

Der Referent zeigt aktuelle und künftige Potenziale durch das Zusammenspiel der unterschiedlichen Antriebskonzepte anhand konkreter Beispiele.

John Fuerst, BILD 27, Vice President Engineering Powertrain Systems, Delphi, Bascharage: "Intelligente und kostenwirksame Powertrain-Strategien":

Das reine Fahrvergnügen steht für die Zulieferindustrie schon lange nicht mehr allein als Ziel im Raum. Innovationen sind gefragt, die den Anforderungen von Fahrzeugherstellern, Autofahrern, von Politik und Gesellschaft gerecht werden.

Das Mobilitätskonzept baut zum großen Teil auf Innovationen im Bereich der Antriebstechnologien auf. Hier entwickelt Delphi Lösungen, die man drei verschiedenen Kategorien zuordnen kann:

- Einfach: intelligente unkomplizierte Ideen mit großer Wirkung
- Einzigartig: ungewöhnliche komplett neue Lösungen, deren Funktionalität einzigartig ist

 Bahnbrechend: Ideen und Innovationen, die Forschungssprünge darstellen, den Markt neu definieren und enorme Vorteile bringen.

Masanori Sugiyama, BILD 28, Executive General Manager of Engine Engineering Field, Toyota Motor Corporation, Aichi, Japan: "Toyota's Antriebsstrangphilosophie für höchste Kundenzufriedenheit":

Die Entwicklung von Kerntechnologien im eigenen Hause ist Teil der Philosophie der Toyota Motor Corporation, um Kunden weltweit optimale Antriebsstränge anbieten zu können. In der Regel entwickelt das Unternehmen Motoren, Getriebe und elektronischen Bauteile selbst. Seit einiger Zeit werden nun auch Elektromotoren, Wechselrichter und Batterien für Hybrid-Elektrofahrzeuge (HEV) im eigenen Haus produziert. Im letzten Jahr hat der Hersteller die Serienproduktion der selbst entwickelten Brennstoffzelle (FC) begonnen.

In den Ländern und Regionen der Welt gibt es jeweils unterschiedliche Bedingungen bezüglich Energie, Straßenverhältnisse und Kundenerwartungen. Daher ist der Einsatz einer einzigen Antriebsstrangtechnologie in allen Regionen keine zielführende Lösung für die Energie- und Umweltfragen.

Ansatz des Unternehmens ist es, mit dem aus der eigenständigen Entwicklung und Herstellung der Antriebsstränge gewonnenen Know-how für jede Region den jeweils effektivsten Antriebsstrang bereitzustellen.

#### **NEUE OTTOMOTOREN 1**

Dr. M. Alt (Vortragender), BILD 29, T. Sutter, K. Fulton, N. Peralta, M. Damen, G. O'Daniel, S. Best, General Motors, Rüsselsheim und Pontiac, MI, USA: "Der neue aufgeladene 1,4 l-Ottomotor mit zentraler Direkteinspritzung":

Der neue aufgeladene 1,4-l-Vierzvlindermotor mit zentraler Direkteinspritzung ist Teil der neu konstruierten kleinen Ottomotorenfamilie. Er ist nicht nur umweltfreundlich. sondern das Vollaluminium-Aggregat setzt auch neue Maßstäbe hinsichtlich des Antriebskomforts. Die Entwicklung eines niedrigen Geräusch- und Vibrationsverhaltens sowie einer hervorragenden Laufruhe waren wesentliches Entwicklungsziel. Dieses wurde durch Maßnahmen wie die Entkopplung der Hochdruckeinspritzventile oder der reibungsarmen Zahnkette übertroffen. Der Motor wurde in verschiedenen Leistungsstufen bis 155 PS und einem Drehmoment von 235 Nm entwickelt. Gegenüber dem Vorgängermotor steigert der neue 1,4-l-Turbomotor seine Performance und sein Ansprechverhalten und reduziert dabei den Kraftstoffverbrauch. Gegenüber einem leistungsgesteigerten Dreizylindermotor macht der 1,4-l-Turbomotor den Schritt vom "Downsizing" zum "Rightsizing", das heißt der optimalen Balance zwischen Niedriglastund Hochlasteffizienz.

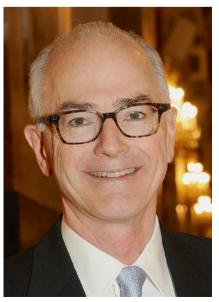


BILD 27 J. Fuerst, Delphi



BILD 28 M. Sugiyama, Toyota Motor Corporation



BILD 29 Dr. M. Alt, General Motors



BILD 30 Dr. A. Schamel, Ford Forschungszentrum



BILD 31 Dr.-Ing. R. Wurms, Audi AG



BILD 32 Dr. T. G. Vlachos, European Commission, Joint Research Centre (JRC)

Dr. A. Schamel (Vortragender), BILD 30, Ford Forschungszentrum, Aachen; Dr. M. Scheidt, Schaeffler AG, Herzogenaurach; Dipl.-Ing. C. Weber, Ford Werke GmbH, Köln; Dr. H. Faust, LuK GmbH & Co. KG, Bühl: "Zylinderabschaltung für aufgeladene Dreizylindermotoren – machbar und sinnvoll?":

Die erforderliche Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs führte in den letzten Jahren zur erfolgreichen Einführung kleinvolumiger, direkteinspritzender Motoren mit Abgasturboaufladung. Dieses Konzept, bekannt unter dem Stichwort "Downsizing", betreibt den klopffesten kleinen Motor mit geringeren Drosselverlusten im wirkungsgradgünstigeren Kennfeldbereich. Der Grad des Downsizing wird dabei von den Drehmomentanforderungen zur Fahrbarkeit des Fahrzeugs begrenzt und verhindert damit eine weitere Reduzierung des Hubvolumens zur Erlangung höherer Verbrauchsvorteile. Ein Motor mit variablem Hubvolumen würde beide Ziele ausreichendes Drehmoment bei kleinen Drehzahlen und eine weitere Verringerung der Drosselverluste – verbinden. Durch Abschaltung eines oder mehrerer Zylinder kann dies umgesetzt werden. Der Referent präsentiert das Ergebnis einer ausführlichen analytischen und experimentellen Untersuchung von Strategien einer Zylinderabschaltung an einem modernen kleinen 1,0-l-Dreizylinder-Ottomotor. Es werden sowohl die

Abschaltung eines fixen Zylinders als auch die umlaufende Abschaltung von Zylindern untersucht.

Dr.-Ing. R. Wurms (Vortragender), BILD 31, Dr.-Ing. R. Budack, Dr.-Ing. M. Grigo, Dr.-Ing. G. Mendl, Dr.-Ing. T. Heiduk, Dr.-Ing. S. Knirsch, Audi AG, Ingolstadt: "Der neue Audi 2,0 l mit innovativem Rightsizing – ein weiterer Meilenstein der TFSI-Technologie":

Der neue 2,0-l-Motor realisiert erstmals bei turboaufgeladenen Ottomotoren ein Brennverfahren mit verlängerter Expansion. Trotz Hubraumerhöhung kann mit diesem Ansatz der Kraftstoffverbrauch des EA888-Motors in der Klasse bis 147 kW gegenüber dem hier bisher eingesetzten 1,8-l-TFSI-Motor signifikant reduziert werden. Der neue 2,0-l-TFSI ist damit der erste Vertreter direkteinspritzender Ottomotoren, der den Weg vom Down- zum Rightsizing geht. Der wesentliche Schritt zur Effizienzsteigerung ist hierbei der Einsatz des Audi Valvelift-Systems auf der Einlassseite. Dieses ermöglicht im Teillastbetrieb eine kurze Einlassventilsteuerzeit und damit eine deutliche Verkürzung der Ansaugphase. In Verbindung mit einem von  $\varepsilon$ =9,6 auf ε=11,7 angehobenem Verdichtungsverhältnis und umfangreichen Brennraumund Einlasskanaloptimierungen konnte ein Brennverfahren dargestellt werden, das bisher noch nicht erreichte Wirkungsgrade bei einem homogen betriebenen Pkw-Ottomotor realisiert.

#### **REAL DRIVING EMISSIONS (RDE) 1**

Dr. T. G. Vlachos (Vortragender), BILD 32, Dr. P. Bonnel, Dr. M. Weiss, European Commission, Joint Research Centre (JRC) – Institute for Energy and Transport, Ispra: "Die Bewertung des Abgasverhaltens von Fahrzeugen im realen Fahrbetrieb – Eine Herausforderung für die europäische Emissionsgesetzgebung":

Zum Ausbau der geltenden europäischen Emissionsgesetze hat die Europäische Kommission ein Testverfahren für die Bewertung des Abgasverhaltens (Real-Driving Emissions, RDE) als Ergänzung zum derzeit geltenden Typ I, Typengenehmigungstest für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge, eingeführt. Der Schlüssel für die Wirksamkeit des RDE-Testverfahrens liegt in einer verlässlichen Bewertung der Fahrweise im realen Fahrbetrieb in Bezug auf die mithilfe von mobilen Emissionsmesseinrichtungen (Portable Emissions Measurement Systems - PEMS) ermittelten Schadstoffemissionen. Der Vortragende beschreibt detailliert beide Datenauswertungsmethoden, die bei dem RDE-Testverfahren angewendet werden. Bei der gleitenden "Mittelwertmethode" (moving averaging windows method) wird der gesamte Test in Abschnitte unterteilt. Anhand der für jeden Abschnitt berechneten Distanz-bezogenen CO2-Emissionen wird beurteilt, ob der jeweilige Abschnitt eine durchschnittliche Fahrweise repräsentiert.



**BILD 33** Dipl.-Ing. C. Lensch-Franzen, APL Automobil-Prüftechnik Landau GmbH



BILD 34 Dr. G. Fraidl, AVL List GmbH



BILD 35 K. Hikichi, Toyota Motor Corporation

Bei der power-binning-Methode werden die momentan gemessenen Emissionen im Fahrbetrieb definierten Leistungskategorien zugeordnet, entsprechend der an den Rädern wirkenden Leistungen. Die resultierenden Anteile in den Leistungskategorien werden mit einer standardisierten Häufigkeitsverteilung für die Leistung verglichen und daraus die durchschnittliche Fahrweise bewertet. Bei beiden Methoden kommen Kriterien zum Einsatz, die sicherstellen, dass die Dynamik in den durchgeführten Tests innerhalb der Grenzen für das RDE-Testverfahren liegt.

Prof. Dr.-Ing. J. Hadler, Dipl.-Ing. C. Lensch-Franzen (Vortragender), BILD 33, Dr.-Ing. M. Gohl, Prof. Dr.-Ing. K. Kirsten, Dr.-Ing. C. Guhr, APL Automobil-Prüftechnik Landau GmbH, Landau; Dr.-Ing. B. Kehrwald, IAVF GmbH, Karlsruhe; Prof. Dr.-Ing. U. Spicher, MOT GmbH, Karlsruhe: "Methoden für die Entwicklung eines RDE-fähigen Antriebs":

Emissionsanforderungen der nahen Zukunft wie die Limitierung der Partikelanzahl auch für (direkteinspritzende) Ottomotoren oder die RDE-Gesetzgebung werden nach heutigen Entwicklungsstandards den zu betreibenden Entwicklungs-, Absicherungs- und Zulassungsaufwand abermals deutlich erhöhen.

Die Stabilität des Brennverfahrens hängt wesentlich von der Steuerungs- und Zumessgenauigkeit der Regelorgane wie Einspritzung, Zündsystem etc. ab. Nicht weniger relevant sind Störfaktoren wie Öleintrag in den Brennraum, Neigung zur Vorentflammung oder Klopfereignisse. Die beschriebenen Phänomene treten bei der RDE-Emissionssicherheit gegenüber dem NEFZ-Zyklus aufgrund höher Last- und Dynamikanforderungen deutlich stärker in den Vordergrund und beeinflussen neben dem hohen Schädigungspotenzial das Emissionsverhalten negativ. Hinzu kommt ein sich in der Regel verschlechterndes Verhalten über der Laufzeit durch Verschleiß, Ablagerungen, Beeinträchtigungen der Abgasnachbehandlung etc.

Die APL Group hat daher eine Methodik zur zielgerichteten Optimierung des Antriebsstrangs mit Fokus auf die Emissionsreduzierung und -stabilität über das Lastkollektiv und die Fahrzeuglaufzeit entwickelt.

Dr. G. Fraidl (Vortragender), **BILD 34**, Dr. P. Kapus, Dr. P. Schöggl, Dipl. Ing. S. Striok, Dipl. Ing. K. Vidmar, Dipl. Ing. M. Weissbäck, AVL List GmbH, Graz: "RDE – Herausforderungen und Lösungen":

RDE-Straßenmessungen weisen enorme Streuungen der Emissionsergebnisse auf. Dabei wirkt der Fahrereinfluss als die weitaus signifikanteste Einflussgröße auf die RDE-Emissionen. Untersuchungen aktueller Serienfahrzeuge zeigen zum Teil dramatische Differenzen zwischen einer für das Kundenfahrverhalten repräsentativen "moderaten" und einer "dynamisch-aggressiven" Fahrweise. Dadurch kommt der Normalisie-

rung des Fahrereinflusses in Richtung statistisch relevanter Betriebsweisen und auch einer realistischen Festlegung von gesetzlichen Grenzwerten eine entscheidende Bedeutung zu. Solche Ansätze sind zwar bei der Grundausrichtung der künftigen RDE-Gesetzgebung berücksichtigt, im derzeitigen Vorschlag jedoch noch nicht ausreichend abgebildet.

Die Analyse aktueller Serienfahrzeuge zeigt beim Dieselmotor die NOx-Emissionen, beim Ottomotor sowohl PN- und teilweise auch NO<sub>x</sub>-Emissionen als Problembereiche auf. Ein nicht unwesentlicher Anteil erhöhter Real Driving Emissions kann dabei auch als eine unbeabsichtigte Folgeerscheinung der konsequenten Verbrauchs-/CO<sub>2</sub>-Reduzierungen betrachtet werden. Dementsprechend zeigen viele Maßnahmen zur Verbesserung der RDE-Thematik klare Trade-Off-Beziehungen zum Kraftstoff- beziehungsweise Harnstoffverbrauch und/oder Herstellkosten und damit das Risiko mangelnder Kundenakzeptanz auf.

# NEUE OTTOMOTOREN 2 / ENTWICKLUNGSTENDENZEN 1

K. Hikichi (Vortragender), **BILD 35**, I. Watanabe, T. Shinagawa, M. Kudo, Toyota Motor Corporation, Toyota, Japan: "Der neue Toyota 1,2-l-ESTEC D-4T-Reihen-Vierzylindermotor":

Mit dem 8NR-FTS-Motor hat Toyota Motor Corporation einen aufgeladenen

1,2-l-Reihen-Vierzylinder-Benzinmotor mit Direkteinspritzung (DI) entwickelt. Basierend auf dem gleichen Konzept wie der 8AR-FTS-Motor beinhaltet dieser neue Motor zahlreiche Technologien zur Verbrauchssenkung, zum Beispiel einen im Zylinderkopf integrierten Abgaskrümmer, den Einsatz des Atkinsonzyklus durch variable Ventilsteuerung mit Mittelpositionsfixierung (VVT-iW) und erhöhte Turbulenz im Zylinder für schnellere Verbrennung. Während das D-4ST-System auch Kanaleinspritzung beinhaltet, fokussiert der 8NR-FTS-Motor auf Kompaktheit und setzt das D-4T-System als reines DI-System ein. In Kombination mit einem Single-Scroll-Turbolader und durch entsprechende VVT-Steuerung kann hohes Drehmoment bereits bei niedrigen Drehzahlen erreicht werden. Die Motorsteuerung nutzt eine Start-Stopp-Strategie für das rasche und schockfreie Wiederstarten durch geschichtete Ladung im ersten Verdichtungszyklus. Der Motor kann entweder mit einem Sechsgang-Schaltgetriebe (6MT) oder einem kontinuierlich variablen Getriebe (CVT) kombiniert werden.

H. Lee M.Sc. (Vortragender), BILD 36, J. Kim M.Sc., K. Hwang M.Sc., Y. Kim B. Sc., Dr.-Ing. W. Kim, H. Kim M.Sc., I. Hwang B.Sc., Dr.-Ing. B. Han, B. Shin M.Sc., Hyundai Kia Motor Group, Namyang, South Korea; Dr.-Ing. M. Winkler, Dr.-Ing. B. Min, Hyundai Motor Europe Technical Center GmbH, Rüsselsheim: "Hyundai Kia's neuer Dreizylinder-DI-Turbo-Motor":

Der aufgeladene Dreizylindermotor mit Benzin-Direkteinspritzung der Kappa-Motorenfamilie vereint ein hocheffizientes Brennverfahren mit hohem dynamischen Ansprechverhalten.

Schwerpunkt der Entwicklung beim Dreizylinder-DI-Turbo-Motor war der Kraftstoffverbrauch bei mittleren und hohen Lasten. Der Abgasturbolader mit elektrischem Waste-Gate-Steller verbessert nicht nur den Teillastverbrauch durch Absenkung der Ladungswechselverluste, sondern auch das dynamische Ansprechverhalten sowie das maximale Drehmoment bei niedrigen Drehzahlen. Getrennte Kühlkreisläufe für Motorblock und Zylinderkopf mit separaten Thermostaten verringern die Klopfneigung. Zusätzlich dazu erlaubt der integrierte Abgaskrümmer einen erweiterten  $\lambda = 1$ -Betrieb durch Verringerung der Abgastemperatur.

Eine konsequente Weiterentwicklung des DI-Einspritzsystems kann



BILD 36 H. Lee M.Sc., Hyundai Kia Motor Group

die aktuellen und künftigen anspruchsvollen Partikel-Grenzwerte erfüllen. Zum Einsatz kommen lasergebohrte Mehrloch-Injektoren mit 200 bar Systemdruck sowie eine optimierte Mehrfach-Einspritzstrategie.

M. Hitomi, BILD 37, Fellow of the Japan Society of Mechanical Engineers, Mazda Motor Corporation, Hiroshima, Japan: "Unsere Entwicklungsrichtung



BILD 37 M. Hitomi, Mazda Motor Corporation

beim Verbrennungsmotor – Überlegungen zum Hubvolumen":

Hauptursachen für die durch Downsizing darstellbare Kraftstoffverbrauchsreduktion sind die Verringerung der Motorreibung sowie der Ladungswechselverluste. Eine Verringerung des Verdichtungsverhältnisses ist deshalb notwendig. Um die Reduzierung des Verdichtungsverhältnisses im Verhältnis zur Downsizing-Rate zu vergleichen, wird der Aufladegrad zur Einhaltung der Leistung erhöht, während das Verdichtungsverhältnis soweit abgesenkt wird, dass sich die gleiche Klopfresistenz ergibt. Der sich daraus ergebende Trade-Off bezüglich mechanischer Motorreibung, Ladungswechselverlusten und Verdichtungsverhältnis wird entsprechend bewertet. Hieraus ergibt sich, dass im Niedriglastbereich Downsizing-Motoren mit Turbolader im Vergleich zu nicht aufgeladenen Motoren mit größerem Hubraum und hohem Verdichtungsverhältnis Vorteile bieten. Im mittleren bis Hochlastbereich allerdings haben nicht aufgeladene Motoren mit hohem Verdichtungsverhältnis Vorteile. Magerverbrennung ist künftig notwendig, um die Effizienz der Verbrennungsmotoren deutlich zu verbessern. Das Konzept von Magerverbrennung in Motoren mit kleinem Hubvolumen bietet geringe Vorteile aufgrund der begrenzten Reduzierung der Ladungswechselverluste. Dank des hohen Fassungsvermögens großvolumiger Motoren lassen sich hohe Drehmomente ohne Kostenanstieg darstellen. Stattdessen kann die Erweiterung des Magerverbrennungsbereichs die Effizienz erhöhen.

# REAL DRIVING EMISSIONS (RDE) 2 / ABGASREINIGUNG

Dr.-Ing. B. Holderbaum, Dipl.-Ing. M. Kind, Dr.-Ing. C. Menne (Vortragender), BILD 38, Dipl.-Ing. (FH) T. Wittka, FEV GmbH, Aachen; G. Vagnoni M.Sc., FEV Italia S.r.l., Rivoli; D. Bosteels M.Sc., MBA, C. Favre, J. May B.Sc., M.Sc., CChem, Association for Emissions Control by Catalyst (AECC), Brüssel: "Potenziale von Euro 6-Pkw mit SCR zur Erfüllung von RDE-Anforderungen":

AECC und FEV haben in einer Studie das Potenzial von SCR-basierten Systemen in Realzyklen mit PEMS (Portable Emission Measurement System) untersucht und die spezifischen Herausforde-



BILD 38 Dr.-Ing. C. Menne, FEV GmbH

rungen im Vergleich mit NEDC und WLTC auf dem Rollenprüfstand analysiert. Das mit einem SDPF (DPF mit SCR-Beschichtung) ausgerüstete E-Segment-Testfahrzeug wurde im ersten Schritt mit der vorhandenen Emissionskalibrierung untersucht, die auf eine Erfüllung der Euro 6b-Anforderungen ausgelegt war. Im RDE-Test führte die reduzierte AGR-Rate bei höheren Motorlasten zu einem signifikanten Anstieg der NOx-Rohemissionen. Obwohl sich die NO<sub>x</sub>-Konvertierung des SDPF gleichzeitig oberhalb von 85 % bewegte, lag der initiale Konformitätsfaktor der NO<sub>x</sub>-Gesamtemission über 3. Dies war die Ausgangsbasis für die folgenden Kalibrierarbeiten am Versuchsfahrzeug. Mit gezielten Anpassungen der AGR-Strategie und der Harnstoff-Dosierung wurde eine deutliche Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen erreicht, sodass in den final gefahrenen RDE-Zyklen NO<sub>x</sub>-Konformitätsfaktoren zwischen 1,1 und 1,6 erzielt wurden.

Die Absenkung der NO<sub>x</sub>-Rohemissionen führte jedoch zu einem Anstieg des Real-Kraftstoffverbrauchs um 1,3 bis 2,7 %. Trotz der abgesenkten NO<sub>x</sub>-Rohemissionen lag der AdBlue-Verbrauch mit 2,5 l/1000 km auf einem höheren Niveau als bei den die aktuelle Norm Euro 6b erfüllenden Fahrzeugen.

Basierend auf den gemessenen und validierten Ergebnissen wurde ein C-Segment-Fahrzeug mit einem alternativen Abgasnachbehandlungssystem im selben Zyklus simuliert. Die Kombination aus NSK und passivem SDPF zeigte hierbei in der Simulation vor allem im höherlastigen Fahrzeugbetrieb eine reduzierte NO<sub>x</sub>-Konvertierung. Für einen RDE-konformen Einsatz eines solchen vereinfachten Abgasnachbehandlungssystems ohne Harnstoffdosierung ist daher neben einer Weiterentwicklung der Katalysatortechnologie das Vermeiden hoher NO<sub>x</sub>-Rohemissionen im hochdynamischen Betrieb, beispielsweise durch optimierte AGR- und Aufladesysteme sowie modellbasierte NO<sub>x</sub>-Regelung, unerlässlich.

Prof. J. Merkisz Ph.D., D.Sc. (Vortragender), BILD 39, Poznan University of Technology, BOSMAL Automotive Research and Development Institute, Bielsko-Biala, Assoc. Prof. J. Pielecha Ph.D., D.Sc., Asst. Prof. P. Fuć Ph.D., D.Sc., Poznan University of Technology: "Emissionsfaktoren aus PEMS-basierter RDE-Prüfung für Fahrzeuge aller Gewichtsklassen":

Zur Ermittlung der gesamten Schadstoffemissionen aus Transportmitteln werden in der Regel die maximalen Werte aus Zulassungsuntersuchungen herangezogen. Die Ergebnisse sind aber nur annähernd richtig und die Aussagekraft damit begrenzt. Die Wissenschaftler an der Poznan University of Technology suchen neue Verfahren, die die tatsächlichen Schadstoffemissionen im Straßenverkehr besser widerspiegeln.



 ${\bf BILD\,40}$  Dipl.-Ing. (FH) R. Brück, Continental Emitec



**BILD 39** Prof. J. Merkisz Ph.D., D.Sc., Poznan University of Technology

Eine der Möglichkeiten sind Messungen im realen Betrieb, die PEMS-Messanlagen (Portable Emission Measurement System) erfordern. Mit den Messungen lässt sich die Abhängigkeit der Schadstoffemissionen von den Fahrzeug- und Motorbetriebsparametern untersuchen. Es können Korrekturfaktoren bestimmt werden, die die Abweichungen zwischen den Grenzwerten aus der Typprüfung und den im Straßenverkehr gemessenen Emissionen wiedergeben. Die durchgeführte Analyse zeigt, dass die Fahrzeuge mit Ottomotoren unter realen Bedingungen die Emissionsgrenzwerte einhalten. Fahrzeuge mit Dieselmotoren überschreiten sie in Bezug auf die Stickstoffemissionen. Das gilt ebenfalls für die schweren Lastkraftwagen und andere Maschinen, die mit Dieselmotoren angetrieben werden.

Dipl.-Ing. (FH) R. Brück (Vortragender), BILD 40, Dipl.-Ing. T. Cartus, Dipl.-Ing. (FH) K. Müller-Haas, Dr. rer. nat. Dipl.-Phys. A. Schatz, Dipl.-Ing. N. Zaldua-Moreno, Dipl.-Ing. M. Karibayev, Continental Emitec, Lohmar: "NO<sub>x</sub>-freies Abgas – der Schlüssel liegt in der AdBlue-Dosierung":

Setzt man den Europäischen Air Quality Immissions-Grenzwert für NO<sub>2</sub> (40 µg/m³) ins Verhältnis zu den Euro 6/VI NO<sub>x</sub>-Grenzwerten, wird deutlich, dass das Abgas von Euro 6/VI-Motoren circa drei Größenordnungen höhere NO<sub>x</sub>-Kon-

zentrationen enthalten darf. In den USA beziehungsweise in Kalifornien geht man bereits mit einer weiteren 90 % Absenkung der NO<sub>x</sub>-Grenzwerte durch die Einführung der SULEV-Gesetzgebung und der diskutierten Nfz-Grenzwerte für Kalifornien ab 2020 einen Schritt weiter.

In Konsequenz verschiebt sich der Fokus für die Entwicklung künftiger Emissionskonzepte auf die NO<sub>x</sub>-Reduktion, verbunden mit der Forderung, CO<sub>2</sub>-Emissionen und damit Kraftstoffverbrauch und Systemkosten weiter zu senken. Die SCR-Technologie wird als Schlüsseltechnologie zur NO<sub>x</sub>-Verminderung so in künftige Antriebssysteme zu integrieren sein, dass NO<sub>x</sub>-Reduktionen ≥ 98 % in weiten Motorkennfeldbereichen darstellbar sind, ohne den Kraftstoffverbrauch zu erhöhen. Voraussetzung hierfür ist neben einer weiter verbesserten SCR-Katalysatortechnik die präzise Zumessung des Reduktionsmittelträgers AdBlue sowie dessen Verdampfung und ablagerungsfreie Zersetzung zum eigentlichen Reduktanten Ammoniak bei kleinstem Bauraumbedarf.

Basierend auf dem Konzept der Gegenstromeindüsung in Kombination mit einem Vorturboladerkonzept zeigt der Referent, wie die beschriebenen Herausforderungen umzusetzen sind.

### **ENTWICKLUNGSTENDENZEN 2**

Dr. W. Schöffmann (Vortragender), BILD 41, Dr. H. Sorger, Dipl.-Ing. F. Zieher, Dr. P. Kapus, Dipl.-Ing. M. Weissbäck, AVL List GmbH, Graz: "Realisierung von Ottound Diesel-Höchstleistungsmotoren":

Für künftige Otto- und Dieselmotoren sind durchgängig aufgeladene Motorfamilienarchitekturen mit Gleichteilen und Gleichbearbeitungskonzept Basisforderungen geworden. Die Leistungsspreizung der Otto- und Dieselvarianten wird dabei maßgeblich von der Komplexität der Aufladesysteme bestimmt. Neben den stückzahldominierenden Verbrauchskonzepten und Effizienzvarianten mittlerer Leistung sind leistungsstarke Spitzenmotorisierungen auch weiterhin ein bedeutender Faktor zur Positionierung der Modellreihen. In den letzten Modellwechseln fand ein durchgängiger Übergang von freisaugenden Motoren auf aufgeladene Varianten statt. Aktuell ist ein Trend zu kleineren Zylinderzahlen und Hubräumen mit signifikant steigenden spezifischen Leistungen festzustellen.

Die Ableitung dieser Höchstleistungsvarianten aus bestehenden Motorenfamilien ist meist eine Prämisse zur Begrenzung der Investitionsaufwände. Dabei können komponentenbezogen Sonderlösungen gegenüber den Volumenvarianten zielführend sein. Der konsequent eingesetzte Design-Validation-Plan (DVP) mit der AVL-Load-Matrix als Schlüsselelement ist dabei die Basis für die weiterführende Integration von Belastungsmodellen und virtueller Sensorik.

Dr.-Ing. M. Winkler (Vortragender), BILD 42, Dipl.-Ing. S. Hoffmann, Dipl.-Ing. B. Unterberger, Dipl.-Ing. S. G. Park; Hyundai Motor Europe Technical Center GmbH, Rüsselsheim; Dipl.-Ing. M. Weissbäck, AVL List GmbH, Graz: "Hyundai Kia's ganzheitlicher Ansatz zum Thema 48 V-Hybridisierung":

Zur Erfüllung der künftigen Gesetzgebung zur Emissionsreduzierung mit Einbeziehung der "real driving emissions" (RDE) und der Forderung, den Flotten-CO<sub>2</sub>-Ausstoß auf 95 g/km bis 2021 zu senken, ist es notwendig, elektrische Antriebssysteme zusätzlich zu den konventionellen Optimierungsmaßnahmen einzuführen. Plug-in- beziehungsweise Voll-Hybrid-Technologien, die eine Systemspannung von bis zu 800 V verwenden, ermöglichen es, diese Ziele zu erreichen. Jedoch treten hierbei hohe zusätzliche Kosten auf. Der Einstieg in die Elektrifizierung wird durch sogenannte "Mild-Hybridisierung" mit einer Batteriespannung von 48 V gebildet. Diese Technologie ist einfacher an bestehende Fahrzeug-Plattformen applizierbar und weist ein günstigeres Kosten-Nutzen-Verhältnis auf. Mit dem Mild-Hybrid besteht durch den Einsatz von Hybrid-Funktionen wie der Lastpunktverschiebung und erweitertem Start-Stopp ein hohes Potenzial, um den Kraftstoffverbrauch zu senken. Weiter eröffnet sich die Möglichkeit, elektrische Aufladesysteme zu verwenden, wodurch die Dynamik des Fahrzeugs gesteigert wird und gleichzeitig durch "downspeeding" die Motordrehzahl drastisch gesenkt werden kann. Insgesamt ermöglicht die Verwendung eines riemengetriebenen 48-V-Systems in Kombination mit einer elektrischen Aufladung an einem D-Segment-Pkw eine CO2-Reduzierung um 15 % mit einem gleichzeitigem Anstieg der Motor-Leistung um 25 %.

Dr.-Ing. H. Zhang (Vortragender), BILD 43, Dr.-Ing. E. Achleitner, Dipl.-Phys. J. Beer, Dipl.-Ing. F. Kapphan, Dipl.-Ing. W. Klügl, Dr.-Ing. O. Maiwald, Dr.-Ing. G. Rösel, Dr.-Ing. J. Ehrhard, Continental, Regensburg und Grünstadt: "Die Zukunft der Benzinmotoren":

Benzinmotoren – sowohl mit Direkteinspritzung als auch mit Saugrohreinspritzung – sind und bleiben für die nächsten Jahrzehnte die am weitesten verbreitete Antriebslösung für die individuelle Mobilität. Neue Testbedingungen wie WLTP (Worldwide Harmonized Light Duty Driving Test Procedure) und die Einhaltung der Emissionen im realen Straßenverkehr



BILD 41 Dr. W. Schöffmann, AVL List GmbH



**BILD 42** Dr.-Ing. M. Winkler, Hyundai Motor Europe Technical Center GmbH

RDE (Real Driving Emissions) sind zu bewältigen. Um künftige  $\mathrm{CO_2}\text{-}\mathrm{Ziele}$  zu erreichen ist die Erhöhung des innermotorischen Wirkungsgrads in Kombination mit einer Elektrifizierung des Antriebsstrangs unabdingbar. Die vorgestellten motorischen Effizienztechnologien sind Verdünnung der Zylinderladung mit Luft oder rückgeführtem Abgas, Ventiltriebsvariabilität zur Nutzung von Miller-Strategien sowie die Kombination aus rückgeführtem Abgas und Miller-Strategie. Die Hybridisierung bekommt bei Fahrzeugen

Ethanol ist unter allen kommerziell erhältlichen Biokraftstoffen der Kraftstoff mit dem größten Potenzial einer günstigen Produktion. In Verbindung mit einem nachhaltigen Herstellungsprozess können 90 % der Treibhausgasemissionen gegenüber fossilen Kraftstoffen reduziert werden. Die hohe Oktanzahl von Ethanol erleichtert die Anwendung bei Ottomotoren, erschwert aber gleichzeitig die Verwendung bei Dieselmotoren. Durch Veränderung der Einspritzparameter und Anpassungen im Motor wird

Dipl.-Ing. M.Sc. O. Berkemeier, Dipl.-Ing. J. Dunstheimer, Ford Werke GmbH, Köln; Dr.-Ing. H. Baumgarten (Vortragender), BILD 45, Dr.-Ing. T. Uhlmann, Dr.-Ing. M. Thewes, Dr.-Ing. J. Scharf, Dr.-Ing. J. Ewald, FEV GmbH, Aachen: "Erdgasspezifisches Downsizing – Potenziale und Herausforderungen":

Der Referent präsentiert Potenziale und Herausforderungen beim Betrieb eines Ottomotors mit Turboaufladung und Direkteinspritzung (DI) mit Erdgaseinblasung. Neben dem Einfluss des



BILD 43 Dr.-Ing. H. Zhang, Continental



BILD 44 E. Iverfeldt M.Sc., Scania CV AB



BILD 45 Dr.-Ing. H. Baumgarten, FEV GmbH

mit Benzinmotoren umso mehr Stellenwert, als der weltweite Trend zu größeren Fahrzeugen anhält.

Die Weiterentwicklung der Einspritzsysteme zu höheren Systemdrücken, die Optimierung der Düsentechnologie der Injektoren, der erweiterte Arbeitsbereich mit gleichzeitig erhöhter Präzision bei kleinen Einspritzmengen und Mehrfacheinspritzung führen zu einer deutlichen Reduzierung der Partikelanzahl.

## **KRAFTSTOFFE**

E. Iverfeldt M.Sc. (Vortragende), BILD 44, P. Stålhammar M.Sc., H. Sarby M.Sc., C. Ihrfors M.Sc., B. Westman M.Sc., Scania CV AB, Södertälje: "Nachhaltige Logistik durch Nutzung von Ethanol-Kraftstoff bei Dieselmotoren":

es möglich, Ethanol auch in Dieselmotoren zu verwenden und die Vorteile des besseren Wirkungsgrads im Verbrennungsprozess zu erschließen. Scania führte den ersten selbstzündenden Motor für Ethanol 1984 in den Markt ein. Mittlerweile gibt es die vierte Generation von Ethanolmotoren. Der niedrigen Cetanzahl von Ethanol wurde mit dem Zusatz eines Zündverbesserers und durch ein höheres Verdichtungsverhältnis Rechnung getragen. Ethanol verbrennt prinzipiell bei einer geringen Temperatur - das reduziert die Bildung von Stickoxidemissionen. Da der Kraftstoff sauerstoffreich ist, entsteht nur eine äußerst kleine Menge Partikel (PM) bei der Verbrennung.

Dipl.-Ing. C. Weber, Dr.-Ing. U. Kramer, Dipl.-Ing. R. Klein, Dipl.-Ing. C. Hofmann,

Kraftstoffs und der Einblasestrategie auf das Volllast- und Teillastbetriebsverhalten gibt er Einblicke in die Auslegung der Ladungsbewegung und Gemischbildung, in das Potenzial einer auf den Erdgasbetrieb optimierten Auslegung des Turboladers und eines erhöhten Verdichtungsverhältnisses. Erdgas-DI in Kombination mit einem Erdgasspezifischen Turbolader erlaubt ein mit dem Benzinbetrieb vergleichbares Volllastverhalten sowie ein hervorragendes Ansprechverhalten. Durch eine Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses in Kombination mit einer höheren Spitzendruckfestigkeit des Aggregats könnte die hervorragende Klopffestigkeit von Methan noch besser genutzt und deutliche Verbesserungen hinsichtlich Leistung und Verbrauch erzielt werden.

Dr. W. Warnecke (Vortragender),
BILD 46, F. Balthasar M.Eng., Dr. J. Adolf,
Shell Hamburg; J. Cadu, Shell France;
R. Hunter, Shell London; Prof. G. J.
Kramer, Dr. C. Laurens, Shell Netherlands: "Optionen zukünftiger Kraftstoffe im Automobil – basierend auf
Energieperspektiven":

Der Aufwand für weitere CO<sub>2</sub>-Reduzierungen wird in den nächsten Jahren deutlich größer werden. Daher kann die bisherige Umsetzungsrate zur Verbesserung der Fahrzeugeffizienz nicht als Proxy für die Zukunft gesehen werden, wenn weiterhin Mobilität für eine breite Kundenbasis erschwinglich und zugänglich bleiben soll. Der Vortragende prognostiziert, dass bis 2030 optimierte kohlenwasserstoffbasierte Kraftstoffe bei der Verbrennung in optimierten Hubkolbenmotoren eine weitere Verbesserung der Well-to-Wheel CO<sub>2</sub>-bezogenen Emissionen im Pkw-Bereich ermöglichen.

Optionen dazu sind verbesserte Biokraftstoffe und deren vermehrter Einsatz, Ottokraftstoffe mit angepasster Oktanzahl für höhere Wirkungsgrade im Ottomotor oder auch der Einsatz von CO<sub>2</sub>-reduzierendem Erdgas.

Spätestens ab 2030 wird die fortschreitende Energiewende insbesondere in Schlüsselmärkten eine weitere Elektrifizierung in der Mobilität ermöglichen. Neue Mobilitätsoptionen (insbesondere kostengünstige, erneuerbare Elektrizität mit optimierten Netzen und verbesserten

elektrischen Triebsträngen) müssen gemeinsam für diesen Zeitrahmen entwickelt und mögliche Hürden überwunden werden. Neben dem direkten Einsatz von "grünem Strom" in batterieelektrischen Fahrzeugen (PHEVs oder BEVs) wird die Umwandlung von Elektronen in "grünen Wasserstoff" (und Wasserstoff aus saubererem Strom aus Gas mit CCS) eine wichtige Rolle spielen.

#### **NEUE DIESELMOTOREN**

N. Oikawa (Vortragender), BILD 47, Dr. T. Fukuma, Y. Hamamura, T. Yamamoto, H. Kaneko, G. Kishimoto, T. Toda, Toyota Motor Corporation, Toyota, Japan: "Der neue Toyota 2,8-I ESTEC-GD-Reihen-Vierzylinder-Dieselmotor":

Der neue 2,8-l-ESTEC-GD-Reihen-Vierzylinder-Dieselmotor steht im Dieselportfolio von Toyota für hohe Ansprüche an Ökonomie und Zuverlässigkeit, insbesondere in Schwellenländern und Nutzfahrzeugmärkten.

Um den thermischen Wirkungsgrad zu verbessern, sind signifikante Modifikationen in der fundamentalen Struktur des Vorgängermotors (3,0-l-1KD) vorgenommen worden, wie zum Beispiel an Einlass- und Auslasskanälen, am Ventiltrieb und am Abgasnachbehandlungssystem. Durch diese Änderungen kann ein kleinerer Turbolader eingesetzt werden. Der Kraftstoffverbrauch verringerte sich um etwa 15 %. Bei Toyota wird

erstmals ein Harnstoff-SCR-System angewendet, um die Euro 6-Abgasgesetzgebung zu erfüllen. Die Variantenzahl der Abgassysteme wurde von 18 (im Vorgängermodell) auf drei reduziert. Dies ermöglicht eine höhere Flexibilität für die Adaptierung des Motors für Modelle mit Rahmenstruktur.

H. Matsuura (Vortragender), BILD 48, Y. Ishihara, O. Murakami, T. Tabuchi, Y. Sasaki, J. Hatano, H. Fukushima, S. Aoyagi, Y. Matsuo, Honda R&D Co., Ltd. Automobile R&D Centre, Tochigi, Japan: "Der neue 1,6-l-Dieselmotor für den Honda CR-V":

Entwicklungsziele des neuen 1,6-l-Dieselmotors waren hohe Drehmomentund Leistungswerte bei gleichzeitig niedrigsten Abgasemissionen auf Euro 6-Niveau. Außerdem sollten ein deutlich reduziertes Motorgewicht und niedrigster Kraftstoffverbrauch realisiert werden. Um diese Anforderungen zu erfüllen, wurden folgende Technologien eingesetzt:

- Zweistufige Turboaufladung mit Zwei-Waste-Gates und variabler Turbinengeometrie
- NO<sub>x</sub>-Speicher-Katalysator (NSC)
- Zylinderblock und Zylinderkopf in Leichtbauweise
- Neungang-Automatikgetriebe (9AT). Durch konsequentes Downsizing des Dieselmotors auf 1,6 l in Leichtbauweise konnte der Kraftstoffverbrauch des Honda CR-V (Mittelklasse-SUV) deutlich reduziert werden. Außerdem wurde



BILD 46 Dr. W. Warnecke, Shell Hamburg



BILD 47 N. Oikawa, Toyota Motor Corporation



BILD 48 H. Matsuura, Honda R&D Co., Ltd.

durch die Kombination der zweistufigen Aufladung mit dem Neungang-Automatikgetriebe eine Fahrleistung äquivalent zum 2,2-l-Dieselmotor realisiert. Auch der Wirkungsgrad des NO<sub>x</sub>-Speicher-Katalysators hat sich deutlich verbessert. Somit erreicht der CR-V mit dem neuentwickelten Dieselmotor die Euro 6-Grenzwerte mittels verbessertem NSC (NO<sub>x</sub>-Speicher-Katalysator) in Kombination mit nachgeschaltetem Partikelfilter.

Dr. O. Ebelsheiser (Vortragender),
BILD 49, Dipl.-Ing. M.Sc. L. Doleac,
Dipl.-Ing. G. Crapanzano, Dipl.-Phys.
S. Zimmer, Dipl.-Ing. H. Schnüpke,
Dipl.-Ing. G. Langer, Daimler AG, Stuttgart: "OM626: Der neue Einstiegsdieselmotor für die Mercedes-Benz C-Klasse":

Nach dem erfolgreichen Anlauf der neuen Mercedes-Benz C-Klasse wird das Motorenangebot mit einem neuen 1,6-l-Diesel-Einstiegsaggregat ergänzt. Dank einer hocheffizienten Motorenbasis, die vom Kooperationspartner Renault stammt, gepaart mit gezielten Komponentenweiterentwicklungen, setzt der Motor Bestmarken hinsichtlich Umwelt und Komfort in der Premium-Mittelklasse.

Durch den Einsatz von Stahlkolben und eines hocheffizienten SCR-Systems der zweiten Generation konnten Best-in-Class-Emissionswerte realisiert werden.

Der Referent zeigt mögliche Synergien innerhalb der Kooperation Renault/ Nissan-Daimler und den Weg zur Erfüllung höchster Kundenansprüche.

#### **MOTORMANAGEMENT**

K. Takeuchi (Vortragender), BILD 50, Y. Shinohara, A. Kojima, K. Ishizuka, K. Uchiyama, Denso Corporation, Aichi-Ken, Japan; M. Nakagawa, Dr.-Ing. O. E. Herrmann, Denso Automotive Deutschland GmbH, Wegberg: "Weitere Innovationen beim Dieselmotor-Management und Abgasnachbehandlungssystem":

Der Vortragende präsentiert zwei innovative Technologien: ein optimiertes neuartiges Brennverfahren, das mit Injektor und einer neuartigen Düsengeometrie die Wärmeverluste bei der Verbrennung reduziert und somit die Effizienz der Verbrennung verbessert. Zum anderen ein Plasma basiertes Abgasnachbehandlungssystem, das hohe NO<sub>x</sub>-Konvertierungsraten bereits bei niedrigen Abgastemperaturen realisiert. Durch Kombination beider Technologien konnte ein EMS (engine management system) realisiert werden, das bis zu 7 % weniger Kraftstoff verbraucht und gleichzeitig NOx-Konversionsraten von bis zu 80 % im WLTC darstellen kann.

Basierend auf den vorgestellten Innovationen, wie dem 2500-bar-Common-Rail-System, der Einspritzmengenregelung im geschlossenen Regelkreis (i-ART) sowie dem mit Kraftstoffen weltweit kompatiblem EMS, entwickelt Denso weitere Innovationen, die zur Attraktivität des Dieselantriebs auch in Zukunft beitragen werden.

Dr. techn. W. Piock (Vortragender), BILD 51, Dr.-Ing. G. Hoffmann, G. M. Ramsay B.Sc., Dr.-Ing. R. Millen, Dr.-Ing. S. Schilling, D. N. Dalo M.Sc., J. G. Spakowski M.Sc., Delphi Automotive Systems, Bascharage und Rochester, NY, USA: "Delphi's Einspritzsysteme für effiziente und saubere Benzinmotoren mit Direkteinspritzung":

Der Referent präsentiert die nächste Generation der GDi-Einspritzsysteme von Delphi und zeigt, wie die komplexen Anforderungen einschließlich niedriger Partikelemissionen erfüllt werden können. Ein allgemeiner Trend in der Motorenentwicklung ist seit der Einführung der Benzin-Direkteinspritzung die kontinuierliche Erhöhung des Einspritzdrucks, der in der Delphi-Roadmap reflektiert wird. Je nach Motorleistung und Emissionszielen stehen validierte Einspritzkomponenten bis hin zu Kraftstoffdrücken von 400 bar zur Auswahl.

Alle Injektoren mit nach innen öffnendem Ventil und Mehrlochsitz sowie Injektoren mit nach außen öffnendem Ventil sind mit einem konventionellen Spulenantrieb versehen. Ein weiteres sehr wichtiges Design-Merkmal sind gleiche Außenabmessungen, die eine einfache Applikation am Motor ermöglichen. Zurzeit wird ein Einspritzventil zur Direkteinspritzung von Erdgas (CNG) auf Basis der nach außen öffnenden Hochdruckeinspritzventil-Familie entwickelt, das dem Wunsch nach weiterer signifi-



BILD 49 Dr. O. Ebelsheiser, Daimler AG



BILD 50 K. Takeuchi, Denso Corporation



BILD 51 Dr. techn. W. Piock, Delphi Automotive Systems



BILD 52: Dr.-Ing. R. Busch, Bosch Mahle Turbo Systems GmbH & Co. KG



BILD 53 Dipl.-Ing. R. Hummel, RWTH Aachen University



BILD 54 Dipl.-Ing. J. Kahrstedt, Volkswagen AG

kanter CO<sub>2</sub>-Reduzierung bei gleichzeitig verbesserter Fahrdynamik bei niedrigen Drehzahlen Rechnung trägt. Die neue Hochdruckpumpengeneration ist für höhere Kraftstoffdrücke und verbesserten Wirkungsgrad ausgelegt, um schnelleren Druckaufbau beim Startvorgang zu ermöglichen, während die Geräuschemission weiter verringert wurde.

Dr.-Ing. R. Busch (Vortragender),
BILD 52, Dipl.-Ing. J. Jennes, Dr.-Ing.
J. Müller, Bosch Mahle Turbo Systems
GmbH & Co. KG, Stuttgart; Dr.-Ing.
M. Krüger, Dipl.-Ing. D. Naber, Dipl.Ing. H. Kauss, Robert Bosch GmbH,
Stuttgart: "Emissions- und verbrauchsoptimierte Abgasturboaufladung für
Pkw-Dieselmotoren":

Bosch Mahle Turbo Systems (BMTS) und der Geschäftsbereich Diesel Systems der Robert Bosch GmbH haben gemeinsam Ansätze zur Optimierung der Emissionen und des Kraftstoffverbrauchs durch Einsatz optimierter Aufladeaggregate und durch verbesserte Betriebsund Regelstrategien untersucht. Schwerpunkte der Untersuchungen sind die Verringerungen von Verlusten auf der Luftseite des Dieselmotors im stationären und transienten Betrieb:

 Kraftstoffverbrauchsverbesserung durch Reduzierung von mechanischen Verlusten im Abgasturbolader (Reibungsminderung, neue Lagerungskonzepte)

- Kraftstoffverbrauchs- und emissionsoptimiertes Anpassen von Aufladeaggregat und Dieselmotor unter Berücksichtigung von ein- und zweistufigen Konzepten
- Optimierung des transienten Verhaltens von Motor und Luftstrecke durch Maßnahmen am Aufladeaggregat (unter anderem Werkstoffauswahl)
- Unterstützung der transienten Optimierung durch simultane Eingriffe in die Steuerung des Dieselmotors, insbesondere durch Erweiterung der modellbasierten Luftpfadregelung um Funktionen zur simultanen Optimierung von Fahrbarkeit und Emissionsverhalten.

Die Maßnahmen bewirken, dass Kraftstoffverbrauchseinsparungen mit einem guten Kosten-/Nutzenverhältnis bei gleichzeitig günstigem Rohemissionsverhalten erzielt werden können.

#### **NUTZFAHRZEUGMOTOREN**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. L. Eckstein, Dipl.-Ing. R. Hummel (Vortragender), BILD 53, Dipl.-Ing. B. Mohrmann, RWTH Aachen University; Dr. ir. J. Kessels, DAF Trucks NV, Eindhoven: "Hybridisierung und Downsizing für Langstrecken-Lkw – Ergebnisse aus dem EU-Projekt COnVENienT":

Im EU-Projekt COnVENienT (Complete vehicle energy-saving technologies for heavy-trucks) werden verschiedene Maß-

nahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs von Langstrecken-Lkw um bis zu 26 % untersucht. Die Maßnahmen reichen von einer adaptiven Aerodynamik und Reibungsreduzierung in der Antriebsachse über die Elektrifizierung von Nebenaggregaten bis zur Voll-Hybridisierung des Antriebsstrangs. Eine Hybridisierung bietet zudem die Option des Downsizings der Verbrennungskraftmaschine. Der Referent gibt zunächst einen Überblick über das Gesamtprojekt. Anschließend stellt er die Maßnahmen zur Energieverbrauchsreduzierung (in dem von DAF geführten Teilprojekt) vor. Die theoretischen Einsparpotenziale durch eine Hybridisierung in Kombination mit dem Downsizing des Verbrennungsmotors werden simulativ bewertet. Abschließend wird ein Ausblick auf die Umsetzung der Maßnahmen zur Verbrauchsreduktion im Prototypen-Fahrzeug gegeben.

Dipl.-Ing. F. Eichler, Dipl.-Ing.
J. Kahrstedt (Vortragender), BILD 54,
Dipl.-Ing. C. Thomfohrde, Dipl.-Ing.
B. Hahne, Dr. S. Neuendorf, Dipl.-Ing.
E. Vollmers, Dr. E. Pott, Volkswagen AG,
Wolfsburg: "Die neue Generation der
Euro 6-Dieselmotoren in den Volkswagen Nutzfahrzeugen":

Der neue, auf Basis des Modularen Dieselbaukastens (MDB) entwickelte 2,0-l-TDI-Motor feiert mit der Markteinführung im Multivan und Transporter



BILD 55 Dr.-Ing. U. Wiebicke, MAN Truck & Bus AG



BILD 56 Dr. N. Ardey, BMW Group



BILD 57 Dipl.-Ing. R. Straßer, Audi AG

seine Premiere. Mit einem einheitlichen Basisaggregat, das auf die nutzfahrzeugspezifischen Belange angepasst ist, wird bei gleichzeitig erweiterter Leistungsbandbreite der Vierzylinder-Vorgängermotor sukzessive abgelöst. Für die Spitzenmotorisierungen kommt dabei eine neuentwickelte zweistufig geregelte Turboaufladung zum Einsatz. Gegenüber den bisher angebotenen Fahrzeugen konnte eine signifikante Verbrauchsreduzierung bei gleichzeitiger Erfüllung der Euro 6-Emissionsgrenzwerte erreicht werden. Besonderer Wert wurde auf einen zugkraftorientierten Drehmomentverlauf und ein verbessertes Transientverhalten des Abgasturboladers gelegt, sodass neben der Verbrauchs- und Emissionsminderung zusätzlich kundenrelevante Fahrleistungsverbesserungen erzielt werden konnten.

Dipl.-Ing. N. Schatz, Dr.-Ing. U. Wiebicke (Vortragender), BILD 55, MAN Truck & Bus AG, Nürnberg; Dipl.-Ing. H. Klinger, MAN Truck & Bus Österreich AG, Steyr: "Nutzfahrzeugmotor mit höchster Effizienz – der neue 15,2-l-MAN-Motor":

Mit dem D38-Motor hat MAN Truck & Bus AG einen von Grund auf neuentwickelten Antrieb für das obere Leistungssegment der Nutzfahrzeuge vorgestellt. Der Sechszylinder-Reihenmotor hat ein Hubvolumen von 15,2 l und wird mit 520 und 560 PS sowie mit 640 PS für die Anwendung in Schwerlastzugmaschinen

angeboten. Wesentliche Konzeptmerkmale sind die hohe Zünddruckfestigkeit, eine zweistufige Abgasturboaufladung mit Zwischenkühlung, ein Common-Rail-Einspritzsystem mit bis zu 2500 bar Einspritzdruck, eine zweistufige Abgasrückführung sowie die neuartige, sehr leistungsstarke Motorbremse TurboEVBec.

Der D38-Motor ist im Wettbewerbsumfeld und im Vergleich zu seinem V8-Vorgänger, den er ablöst, besonders kompakt und nutzlastoptimiert gebaut. Seine Euro-VI-SCRT-Abgasanlage ermöglicht Fahrgestellbauraum für maximales Tankvolumen, da sie ebenso kompakt aufgebaut ist wie diejenigen der 12-I-MAN-Motoren.

# PLUG-IN-ANTRIEBSSTRANG / GETRIEBE

Dr. N. Ardey (Vortragender), **BILD 56**, Dr. M. Bollig, Dipl.-Ing. S. Juraschek, Dr. M. Klüting, Dr. C. Landerl, BMW Group, München: "Plug and Drive – das neue Plug-in-Hybrid-System von BMW":

Nach dem erfolgreichen Marktstart des Elektrofahrzeugs BMW i3 und des BMW i8 setzt das Unternehmen mit der Einführung von Plug-in-Hybridfahrzeugen in den Kernmarken-Modellen konsequent den eingeschlagenen Weg zu einer modernen und emissionsfreien Mobilität fort. Mit dem elektrischen Fahrerlebnis interpretiert der Hersteller Fahrfreude auf eindrucksvolle Weise neu. Die wich-

tigsten Komponenten der elektrifizierten Antriebstechnologie eDrive werden selbst entwickelt und in die verschiedenen Fahrzeugkonzepte maßgeschneidert integriert. Die Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge in der Längsarchitektur erhalten die für Fahrkomfort, Funktionalität und Alltagstauglichkeit bestens geeignete P2-Topologie, in der das eDrive-Antriebssystem mit einem effizienten Vierzylinder-Motor und dem Achtgang-Automatikgetriebe in Parallelanordnung kombiniert wird. Vernetzte Vorausschau-Funktionen und individuell anwählbare Fahrprogramme bieten eine situative Ausprägung des elektrischen Fahrens.

Dr.-Ing. S. Knirsch, Dipl.-Ing.
R. Straßer (Vortragender), BILD 57,
Dipl.-Ing. (FH) G. Schiele, Dipl.-Ing.
S. Möhn, Dipl.-Ing. W. Binder, Dipl.-Ing.
M. Enzinger, Audi AG, Ingolstadt und
Neckarsulm: "Der Antriebsstrang des
neuen Audi Q7 e-tron 3,0 TDI quattro":

Mit dem Q7 e-tron quattro stellt Audi sein erstes Plug-in-Hybrid-Fahrzeug mit TDI-Motor und quattro-Antrieb vor. Nach der erfolgreichen Einführung der Modelle Audi Q5 hybrid quattro, A6 hybrid und A8 hybrid und des A3 e-tron mit Plug-in-Technologie folgt nun der erste Premium-SUV der Audi e-tron-Familie auf Basis der zweiten Generation des modularen Längsbaukastens. Der kompakte Antriebsstrang integriert zwischen Verbrennungsmotor und Wandler-

Automatikgetriebe ein Hybridmodul mit drehmomentstarker E-Maschine und ermöglicht beeindruckende Fahrleistungen bei Verbrauchswerten mit Bestwert in seiner Klasse.

Der TDI-Motor wurde inklusive eines intelligenten Thermomanagements auf die spezifischen Anforderungen in einem Plug-in-Hybrid-Fahrzeug optimiert. Neuentwicklungen im Antriebsstrang des Audi Q7 e-tron quattro sind auch das Hybridmodul mit hocheffizienter E-Maschine, die dazugehörige Leistungselektronik, die auch das Bordnetz versorgt, und die leistungsfähige Lithium-Ionen-Batterie mit Onboard-Ladegerät.

Dr. C. Dörr (Vortragender), **BILD 58**, *V. Marx*, Daimler AG, Stuttgart: "9G-Tronic, das modulare Automatikgetriebe und seine Vorteile in Mercedes-Benz Triebsträngen":

Das Automatikgetriebe 9G-Tronic ist modular aufgebaut. Es bildet die Basis für den Triebstrang in Mercedes-Benz Fahrzeugen der SECM-Baureihen mit Längs- und Allradantrieb. Vorgestellt werden die modularen Bausteine und Baugruppen wie Wandler, Mechanik, Elektrohydraulik mit Steuergerät und Allradkonzepte der verschiedenen motorspezifischen Derivate. Durch den Modulbaukasten wird eine einfache Adaption an unterschiedliche Fahrzeugvarianten mit Diesel- und Benzinmotoren möglich. Mit der Modularität und dem Gleichteilekonzept entstehen Vorteile bei der Montage in der Produktion und auch in der Darstellung des Triebstrangs für die Fahrzeuge. Der Nutzen des Getriebekonzepts für den Kunden hinsichtlich Fahrkomfort, Schaltzeit und Verbrauch wird an unterschiedlichen Beispielen von Fahrzeugen mit Dieselund Benzinmotoren dargestellt.

## LE MANS / HÖCHSTLEISTUNGSMOTOREN

Dipl.-Ing. F. Eichler (Vortragender),
BILD 59, Leiter Aggregateentwicklung
der Marke Volkswagen, Dr. W.
Demmelbauer-Ebner, Dr. J. Strobel,
Dipl.-Ing. J. Kühlmeyer, Volkswagen AG,
Wolfsburg: "Der neue W12 TSI-Motor
des Volkswagen Konzerns – Perfektion
in Performance und Komfort":

Beim neuen W12 TSI wurden die bislang parallel eingesetzten Brennverfahren, FSI Direkteinspritzung bei Audi und TMPI bei Bentley, gemeinsam mit weiteren technischen Innovationen optimiert und zum erfolgreich etablierten TSI-Verfahren zusammengeführt. Mit den neu applizierten Technologien ist der W12 TSI eines der Aggregate mit der höchsten Technologiedichte weltweit. Das Paket umfasst unter anderem:

- Zylinderlaufbahnen mit APS-Beschichtung
- Ölkreislauf mit schaltbarer Ölpumpe auch für den Off-Road-Einsatz
- Kühlsystem mit integriertem



BILD 58 Dr. C. Dörr, Daimler AG

BILD 59 Dipl.-Ing. F. Eichler, Volkswagen AG

- Thermomanagement
- Duales Einspritzsystem
- Biturbo, Twin-Scroll-Aufladung
- Zylinderabschaltung einer Zylinderbank
- Motormanagement mit zwei Steuergeräten
- Adaptive Motorlagerung
- Start-Stopp.

Die eingesetzten Technologiebausteine machen den neuen W12 TSI zum sparsamsten Zwölfzylindermotor im Premiumsegment. Ein CO<sub>2</sub>-Ausstoß in dieser Klasse von weniger als 250 g/km im NEFZ in Kombination mit einer Leistung von 447 kW und einem Drehmoment von 900 Nm zeigen eindrucksvoll, dass sich in diesem Antrieb Effizienz und Performance perfekt vereinen. Je nach Fahrzeugmodell ermöglicht der Zwölfzylindermotor Beschleunigungswerte von 0 auf 100 km/h in weniger als 4 s und Höchstgeschwindigkeiten von mehr als 300 km/h.

M. Matsumura M.Eng., BILD 60, Chief Operating Officer, Nissan Motorsports International Co., Ltd., Kanagawa, Japan: "Nissan/Nismo LMP2-Klasse Motorentwicklung – VK45DE (V8 4,5-l-Ottomotor)":

Der Vortragende präsentiert die Nissan/Nismo LMP2-Klasse-Motorenentwicklung, speziell den VK45DE (V8 4,5-l-Benzinmotor). Dieser Motor siegte mehrfach in der LMP2-Klasse 24 Stunden von Le Mans. Mit Schwerpunkt auf



BILD 60 M. Matsumura M.Eng., Nissan Motorsports International Co., Ltd.

die Schlüsseltechnologien werden die Details des VK45-LMP2 beschrieben.

W. Hatz, BILD 61, Mitglied des Vorstands, Forschung und Entwicklung, Dr. Ing. h. c. F. Porsche AG, Weissach: "919 hybrid - Le Mans: die Zukunft des Sportwagens":

"Le Mans, 14. Juni 1970. Es schüttet wie aus Kübeln. Zahlreiche Fahrzeuge fallen aus. Für den 42-jährigen Rennfahrer Hans Herrmann ist es das letzte Rennen einer langen Karriere - am Ende wird es zu seinem größten Triumph. Mit dem 'Rennwagen des Jahrhunderts' - einem roten Porsche 917 Kurzheck mit Zwölfzylinder-Motor und 600 PS – gewinnt Herrmann das legendäre 24-Stunden-Rennen in Le Mans, gemeinsam mit dem Briten Richard Attwood. Was für den einen aber das Ende einer erfolgreichen Karriere bedeutet, markiert für andere einen Beginn: Denn mit dem ersten Gesamtsieg in Le Mans begründet Porsche eine jahrzehntelange Ära der Erfolge - bis 1998 insgesamt 16 Gesamtsiege. In fünf Wochen, also genau 45 Jahre nach dem ersten Triumph, ist es nun wieder soweit: Porsche geht am 13. und 14. Juni erneut in Le Mans an den Start. Für uns ist es das zweite Jahr nach der Rückkehr in die Königsklasse."

*Prof. Dr.-Ing. U. Hackenberg*, **BILD 62**, Mitglied des Vorstands, Technische Entwicklung, Audi AG, Ingolstadt: "Audi in

Le Mans: Die Erfolgsgeschichte des TDI – Vom Motorsport auf die Straße":

Motorsport ist Teil der DNA von Audi. Kaum ein anderer Automobilhersteller engagiert sich so nachhaltig und konsequent auf den Rennstrecken der Welt.

Mit systematischem Technologietransfer aus dem Motorsport in die Serie lädt der Hersteller "Vorsprung durch Technik" kontinuierlich neu auf. Die Erfolgsgeschichte des TDI ist ein überzeugender Beleg für diese Strategie. Seit 25 Jahren



BILD 61 W. Hatz, Dr. Ing. h. c. F. Porsche AG

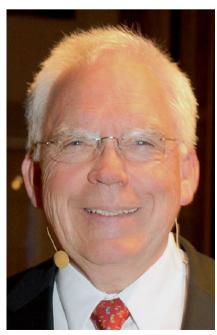


BILD 62 Prof. Dr.-Ing. U. Hackenberg, Audi AG



BILD 63 Dr.-Ing. M. Brauer, IAV GmbH

ist das Unternehmen führend bei direkteinspritzenden und reichweitenstarken TDI-Dieselaggregaten. Mit innovativen Effizienztechnologien prägt es die verantwortungsbewusste Nutzung der verfügbaren Energiereserven für die Mobilität der Zukunft.

#### **MOTORPROZESSE**

Dr.-Ing. M. Brauer (Vortragender),
BILD 63, Dipl.-Ing. C. Schramm, Dipl.-Ing.
A. Werler, Dipl.-Ing. M. Diezemann, Dr.Ing. C. Severin, Dipl.-Ing. M. Kratzsch,
Dr.-Ing. H. Neukirchner, Dipl.-Ing. G.
Buschmann, Dipl.-Ing. K. Blumenröder,
IAV GmbH, Berlin: "Kontinuierlich variable Verdichtung für Downsizing-Dieselmotoren – Lösungswege zur Verbesserung von Wirkungsgrad, Emissionen und Performance":

Der Vortragende beschreibt das Potenzial eines variablen Verdichtungsverhältnisses (VCR) für Pkw-Dieselmotoren. Im Rahmen von Simulationsstudien und Motorversuchen werden das CO2und Emissionspotenzial in der Teillast sowie das Potenzial für eine weitere Leistungssteigerung von Downsizing-Motoren untersucht. VCR wird dabei durch eine variable Ouetschspalthöhe realisiert. Das für die Teillastpunkte angehobene Verdichtungsverhältnis wird durch die Kombination einer normalen Quetschspalthöhe von circa 0,5 mm mit einem kleineren Kompressionsvolumen im Kolben erreicht.

Die Form der Kolbenmulde wurde mit 3D-Simulationen entwickelt und durch Messungen am Einzylindermotor verifiziert. Die Simulationen und Messungen zeigen übereinstimmend, dass durch den Übergang von  $\epsilon=16,2$  auf  $\epsilon=20,0$  eine Reduzierung des indizierten Kraftstoffverbrauchs von circa 5 % erzielt werden kann. Für ein akzeptables Rußemissionsniveaus ist bei  $\epsilon=20,0$  insbesondere im mittleren und oberen Lastbereich eine Anhebung des  $NO_x$ -Rohemissionsniveaus erforderlich.

Durch die Möglichkeit der  $\epsilon$ -Absenkung kann ein Beitrag zur Senkung der  $\mathrm{NO}_x$ - und Ruß-Rohemission im oberen Kennfeldbereich geleistet werden. Dieses Potenzial ist für Downsizing-Motoren im Zusammenhang mit der künftigen RDE-Gesetzgebung relevant.

Dr. rer. nat. A. Eilemann (Vortragender), BILD 64, Mahle Behr GmbH & Co. KG, Stuttgart; Dr.-Ing. P. Wieske, Dr. sc.

techn. M. Warth, Mahle International GmbH, Stuttgart; Dipl.-Ing. J. Stehlig, Mahle Filtersysteme GmbH, Stuttgart: "Kältemittelunterstützte Ladeluftkühlung – Ein Beitrag zur Steigerung von Fahrdynamik und Kraftstoffeffizienz":

Zur Steigerung der Fahrzeuglängsdynamik kann die nach der Fahrgastraumabkühlung vorhandene Überschussleistung des Kältemittelkreislaufs zur Abkühlung der Ladeluft unter Umgebungstemperatur genutzt werden.

Nachdem bereits erste Prüfstands- und Fahrzeugergebnisse in einem Mittelklassefahrzeug mit Dreizylindermotor vielversprechendes Potenzial einer Ladeluftunterkühlung aufzeigen, liegt der Fokus der aktuellen Entwicklung bei Mahle auf der optimierten Integration der Komponenten in eine bestehende Fahrzeugarchitektur unter Berücksichtigung seriennaher Randbedingungen. Die zusätzliche Kühlstufe der Ladeluft wird dazu komplett in das Luftansaugmodul integriert, das die Bereitstellung unterkühlter Ladeluft beschleunigt und den Druckverlust reduziert. Fahrzeuguntersuchungen zeigen, dass eine Ladeluftunterkühlung das Transientverhalten verbessert. Die zur Unterkühlung benötigte Energie kann durch eine entsprechende Betriebsstrategie des Klimakompressors während einer Fahrzeugbremsung durch Rekuperation gewonnen werden. Unter Ausnutzung der Steuerungsmöglichkeiten ist ein komfortneutraler Parallelbetrieb von



BILD 65 Dipl.-Ing. L. K. Cloos, Adam Opel AG



BILD 64 Dr. rer. nat. A. Eilemann, Mahle Behr GmbH & Co. KG

Innenraumklimatisierung und Ladeluftunterkühlung möglich.

Dipl.-Ing. L. K. Cloos (Vortragender), BILD 65, Dr.-Ing. C. Glahn, Dipl.-Ing. A. Königstein, Adam Opel AG, Rüsselsheim; S. Shin, GM Powertrain, Pontiac, MI, USA: "Externe Abgasrückführung am aufgeladenen Ottomotor – Eine Technologiebewertung im Fahrzeug":

Die Adam Opel AG hat den Einsatz von gekühlter, externer Abgasrückführung an aufgeladenen Ottomotoren in einem Demonstratorfahrzeug untersucht. In einem ersten Schritt sind die möglichen Varianten der gekühlten Abgasrückführung am Prüfstand untersucht und bewertet worden. Das ausgewählte System ist anschließend in einen Opel Insignia als Technologiedemonstrator eingebaut worden. Neben den Herausforderungen bei der Fahrzeugintegration steht die Bewertung der Technologie unter realen Einsatzbedingungen im Fokus. Die Ergebnisse von Kraftstoffverbrauchsmessungen, die Ermittlung des Potenzials stöchiometrischen Motorbetriebs und die Fahrbarkeitsuntersuchungen mit AVL-drive stellen Schwerpunkte der Untersuchungen dar. Abschließend präsentiert der Vortragende die Herausforderungen beim Einsatz der gekühlten Abgasrückführung und bewertet das Potenzial der Technologie.

Prof. N. Jackson (Vortragender),
BILD 66, Ricardo plc, Shoreham-by-Sea;

Prof. A. Atkins, J. Eatwell, Ricardo Innovations Ltd., Shoreham-by-Sea; Dr. R. Morgan, University of Brighton: "Möglichkeiten alternativer Prozessführung bei Hubkolbenmotoren":

Ricardo hat einen alternativen Kreisprozess erforscht, der die Abgaswärme intern nutzt. Der Prozess verbindet Aspekte von Diesel- und Ericsson-Prozess. Der wesentliche Unterschied zu konventionellen Verfahren besteht in der isothermen Kompression und der Übertragung der Abgaswärme auf die Ladeluft nach Ende der Verdichtung.

Die Übertragung von Abgaswärme vom Auspuffgas auf die Ladeluft erfordert die Trennung des Viertakt-Verfahrens auf zwei Zylinder. Ansaugen und Verdichtung werden in einem Zylinder und Verbrennung und Expansion in einem anderen Zylinder durchgeführt. Die Luft wird – nahe am oberen Totpunkt beider Zylinder mit hohem Druck durch einen Wärmetauscher, der die Abgaswärme auf die Ladeluft überträgt – vom Kompressions- in den Expansionszylinder geschoben.

Durch isotherme Verdichtung kann Abgaswärme zurückgewonnen und der Prozesswirkungsgrad signifikant verbessert werden. Viele Technologien zur Darstellung der isothermen Verdichtung wurden untersucht, einschließlich der Verwendung von Wassersprühnebel während der Kompression und der



BILD 66 Prof. N. Jackson, Ricardo plc



BILD 67 Prof. Dr.-Ing. T. Weber, Daimler AG

Direkteinspritzung von kryogenem Stickstoff oder kryogener Luft.

Erste Arbeiten fanden an einem großen Stationärmotor mit Wassereinspritzung statt. Die laufenden Arbeiten konzentrieren sich auf eine Konfiguration mit 1 l Zylindervolumen. Die technischen Herausforderungen bleiben bestehen. Die Ergebnisse zeigen, dass thermische Wirkungsgrade von über  $\eta=0.6$  bei weitest gehender Verwendung von konventionellen Motorkomponenten erreichbar sind.

## PLENAR-SCHLUSSSEKTION: BLICK IN DIE ZUKUNFT

Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, BILD 67, Mitglied des Vorstands, Konzernforschung & Mercedes-Benz Cars Entwicklung, Daimler AG, Stuttgart: "Plug-in-Hybrids – Efficiency Meets Performance":

Die Formel-1-Saison 2014 endete für Mercedes-Benz als ebenso großer wie ungefährdeter Triumpf – mit dem Gewinn von Fahrer- und Konstrukteurstitel. Beide Piloten haben das Klassement durchgängig dominiert und einen hervorragenden Doppelsieg errungen. Für das Unternehmen ist dieser Erfolg ein klarer Beleg für die Topleistungen von Lewis Hamilton und Nico Rosberg – und für die Zuverlässigkeit seiner Rennboliden. Mehr noch: Er ist eine Bestätigung dafür, dass Hybridantriebe großes Potenzial für die Zukunft haben. Nicht umsonst hat der Hersteller

auch bei Serienfahrzeugen eine breit angelegte Hybridoffensive gestartet.

Klaus Fröhlich, BILD 68, Mitglied des Vorstands, Entwicklung, BMW AG, München: "Power eDrive – Fahrfreude von morgen":

Die BMW Group stellt sich technologisch bewusst breit auf, um für die verschiedenen Anforderungen der Zukunft weltweit maßgeschneiderte Lösungen anbieten zu können. Es wird verschiedene Antriebe für verschiedene Anforderungen geben. Die Elektromobilität wird noch lange konzept- und marktspezifisch unterschiedlich geprägt sein eine "one-fits-all"-Lösung wird es nicht geben. Der Hersteller sieht langfristig eine Koexistenz von BEV und Hochelektrifizierung. Im kompakten und urbanen Segment wird es eine stabil wachsende Nachfrage nach BEVs geben, aber größere Autos brauchen mittelfristig immer noch einen verbrennungsmotorischen Antrieb. Dennoch wird der Grad der Elektrifizierung massiv steigen. In Folge entwickeln sich Verbrennungsmotoren langfristig zu einem Energielieferanten, zu einer Auxiliary Power Unit. Heute schon ist ein klarer Trend in Richtung fortschreitender E-Performance und E-Anteile erkennbar.

Das Unternehmen wird in den nächsten Jahren die Elektrifizierung der Antriebe in nahezu allen Baureihen einführen und die reine Elektromobilität



BILD 69 Dr. H.-J. Neußer, Volkswagen AG



BILD 68 K. Fröhlich, BMW AG

weiter ausbauen. Der Hersteller leistet damit seinen gesellschaftlichen Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Reduktion.

Anstelle des verhinderten Prof. Dr. Martin Winterkorn übernahm dessen Vortrag Dr. Heinz-Jakob Neußer, BILD 69, Mitglied des Markenvorstands Volkswagen, Leitung Konzern Entwicklung Aggregate, Volkswagen AG, Wolfsburg: "Zeitenwende für das Automobil? Herausforderungen und Lösungen aus Sicht von Volkswagen":

Das Automobil steht vor einer Zeitenwende: Die Reduzierung der CO2-Emissionen, die Elektromobilität und die Digitalisierung stellen die Branche vor große Herausforderungen. Der Konzern will diesen Wandel aus eigener Kraft gestalten und erhöht deshalb in den zentralen lnnovationsfeldern das Tempo. Beim Verbrennungsmotor rechnet das Unternehmen bis 2020 mit weiteren Effizienzsteigerungen von 10 bis 15 %. Dazu wird unter anderem das neuartige Laseraufrauen von Zylinderlaufbahnen in die Großserie gebracht - ein Durchbruch in Sachen Reibungsreduktion. Zugleich bekennt sich das Unternehmen zur Elektromobilität: Mit heute schon zehn Modellen verfügt der Konzern über die größte und breiteste Elektroflotte der Automobilwelt. Die batterieelektrische Reichweite wird in Zukunft deutlich steigen. So strebt der Hersteller mittelfristig den 300-km-e-Golf an. Auch bei der Digi-

talisierung von Fahrzeugen, Fabriken und Handel übernimmt der Konzern eine Vorreiterrolle – von Infotainment bis zur Sensorik, von Big Data bis zur Industrie 4.0. Unter anderem wird der kommende Audi A8 in der Lage sein, bis zu einer Geschwindigkeit von 60 km/h voll automatisch zu fahren. Entscheidend ist, dass das Auto der Zukunft kein freudloses Einheitsfahrzeug wird. Es muss die Menschen unverändert faszinieren: mit neuen Funktionen, mit bislang unerreichter Effizienz und vor allem mit viel Fahrspaß.

#### **POSTERPRÄSENTATIONEN**

Dipl.-Ing. E. Ramschak, Dipl.-Ing. M. Oswald, Dipl.-Ing. F. Zieher, Dr. P. Schöggl, Prof. Dr. U. D. Grebe, AVL List GmbH, Graz; Ing. R. Breinl, qpunkt GmbH, Hart: "Thermomanagement – Gesamtansatz für Powertrain und Fahrzeug":

Die Präsentation zeigt einen ganzheitlichen Ansatz zur Reduktion von CO2-Emissionen bei gleichzeitiger Optimierung von kundenrelevanten Fahrzeugattributen. Das Thermalmanagement stellt aufgrund der vernetzten Entwicklungsabläufe mit der Notwendigkeit der simultanen Optimierung teils konkurrierender Anforderungen einen wichtigen Aspekt dar. Die thermische Optimierung in Verbindung mit einer Erweiterung von AVL-Drive und einer validierten Fahrdynamiksimulation eröffnet neue Möglichkeiten zur CO2-Minimierung, Kosteneffizienz und balancierten Fahreigenschaften zur markentypischen Einstellung des Fahrzeugcharakters.

Dipl.-Ing. J. Ogrzewalla, FEV GmbH, Aachen: "ePGS: der Package-optimierte Hybridantrieb":

Für den Front-Quereinbau ist die Umsetzung eines einfachen Parallelhybridkonzepts oftmals nur durch eine starke Begrenzung der elektrisch verbauten Leistung möglich. Dennoch werden aufgrund der aktuellen und künftigen CO<sub>2</sub>-Gesetzgebung in allen Fahrzeugklassen Plug-in-Hybride eingeführt werden. Für die Hersteller gilt es daher, Konzepte zu entwickeln, die modular mit unterschiedlichen Getrieben zu kombinieren sind und für unterschiedliche Fahrzeugklassen ausreichend Leistung bieten, um dem Kunden neben dem geringeren Kraftstoffverbrauch auch ausreichend Mehrwert in Bezug auf Performance und Fahrspaß zu bieten.

Dipl.-Ing. M. Kolczyk, Dr.-Ing. G.-M. Klein, Dipl.-Ing. G. Kraft, Dr.-Ing. H. Banzhaf, Dipl.-Ing. J. Reyinger, Mann+Hummel GmbH, Ludwigsburg: "Diesel-Kraftstofffilter und -Wasserabscheider: "Enabling-Technology' für den globalen Rollout zukünftiger Dieselmotoren":

Die Qualität und Verfügbarkeit von Dieselkraftstoff ist ein entscheidender Hemmnisfaktor für den flächendeckenden und globalen Rollout der modernen Dieselmotorentechnologie, denn in Wachstumsmärkten wie Asien, Russland oder Südamerika sind die anzutreffenden Dieselkraftstoffqualitäten deutlich schlechter. Es finden sich teilweise hohe Kontaminationen mit Feststoffpartikeln und Wasser in den Kraftstoffen, die zu Schäden durch Verschleiß, Kavitation oder Korrosion führen können. Damit wird eine Kraftstoffkonditionierung durch modernste und hocheffiziente Filtration und Separation zum Key-enabler für den Einsatz der Dieselmotoren neuester und CO2-effizientester Bauart.

Mit der Entwicklung immer leistungsfähigerer und feinerer Filter steht ein neuer Technologiesprung bevor, der erhebliche Leistungssteigerungen bei Standzeiten, Filterfeinheit und Wasserabscheidegrad bringt.

*Dr. M. Hinterhofer, Ao. Univ.-Prof. Dr. P. Sturm, Ing. T. Nöst*, Technische Universität Graz: "NO<sub>x</sub>, PM10 und ausgewählte Schwermetall-Emissionsfaktoren basierend auf aktuellen Tunnelmessungen":

Um den Beitrag des Straßenverkehrs bezogen auf PM10 und NO<sub>x</sub> besser einschätzen zu können, wurden aktuelle flottenspezifische PM10- und NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren im Plabutschtunnel ermittelt. Dabei zeigte sich vor allem in Bezug auf PM10 non-exhaust, dass das Befahren von Tunnelstrecken zu einer deutlich verminderten Emissionsmenge verglichen mit

Freilandstrecken führt. Aus diesem Grund sind für Streckenabschnitte in Tunnelanlagen deutlich geringere Emissionsfaktoren anzusetzen. Aufgrund der Länge sowie der Verkehrsdichte im Plabutschtunnel kann bei hohem Verkehrsaufkommen eine Abnahme der PM10-Emissionsmenge beobachtet werden. Trägt man dieser Beobachtung Rechnung und adaptiert das verwendete Regressionsmodell um den Interaktionsterm (Anzahl Pkw × Anzahl Lkw) so weist dieser für die Messungen im Jahr 2012 einen negativen Wert auf. Bei den Messungen im Jahr 2013 führt die Erweiterung zu keiner Änderung der Emissionsfaktoren, sowohl für Pkw als auch Lkw. Damit ist der Interaktionsterm vernachlässigbar. Vergleicht man die gemessenen NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren mit jenen aus der Modellrechnung mittels Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA 3.1) so werden vor allem jene für schwere Nutzfahrzeuge unterschätzt, bezogen auf die eine spezifische Fahrsituation (Autobahn 100 km/h). Die gemessenen Schwermetallbelastungen im Staub sind aufgrund des sehr gleichmäßigen Fahrverhaltens im Tunnel gering.

Dipl.-Ing. G. Silberholz, Ao. Univ.-Prof. Dr. S. Hausberger, Technische Universität Graz; Dipl.-Ing. C. Six, Univ.-Prof. Dr. B. Geringer, Technische Universität Wien: "Neue alternative Methode für die Emissionszertifizierung von Verbrennungsmotoren in Hybrid-Nutzfahrzeugen":

Die Einflüsse einer Antriebsstrang-Hybridisierung auf das Emissionsverhalten und den Betrieb des Verbrennungsmotors finden aktuell keine Berücksichtigung bei der Typprüfung für den Einsatz in schweren Nutzfahrzeugen. Abhängig von der Hybridsystemausführung kann der Motorbetrieb jedoch merklich vom aktuell vorgeschriebenen WHTC-Motorprüfzyklus abweichen und ein für den Straßenbetrieb repräsentatives Emissionsverhalten bei der Typprüfung ist nicht mehr gegeben.

# **TAGUNGSBÄNDE**

Die Vorträge des 36. Internationalen Wiener Motorensymposiums sind im vollen Wortlaut in den VDI-Fortschritt-Berichten, Reihe 12, Nr. 783, Band 1 und 2 (einschließlich CD in englischer Sprache), nebst Zusatzheften enthalten. Die Unterlagen sind beim Österreichischen Verein für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK) erhältlich.

## **EINLADUNG**

Das 37. Internationale Wiener Motorensymposium findet am 28./29. April 2016 im Kongresszentrum Hofburg Wien statt, wozu schon heute herzlich eingeladen wird. Rechtzeitige Anmeldung nach Programmbekanntgabe im Internet ab 9. Dezember 2015 wird dringend empfohlen. Vortragsvorschläge mit kurzer Zusammenfassung können ab sofort eingereicht werden.

Im Rahmen des Abänderungsvorschlags Nr. 3 der Globalen Technischen Richtlinie Nr. 4 wurden daher zwei Testverfahren entwickelt, die für Verbrennungskraftmaschinen in Hybrid-Nutzfahrzeugen eine Prüfung des gesamten Hybrid-Antriebsstrangs ermöglichen.

Die Präsentation zeigt die entwickelten Testmethoden und die dafür notwendigen Begleitmaßnahmen, um die Vergleichbarkeit zur Testmethode für Motoren in Nutzfahrzeugen mit konventionellen Antriebssystemen und deren Emissionsgrenzwerten zu gewährleisten.

Dipl.-Ing. D. Zechmair, Dipl.-Ing. M. Forissier, Dipl.-Ing. W. Fabre, Dipl.-Ing. D. Durrieu, Dipl.-Ing. C. Cherreau, Dipl.-Ing. S. Potteau, Valeo, Pontoise: "Valeo Electric Supercharger: Eine neue Technologie, um Effizienz und Leistung von Verbrennungsmotoren zu steigern":

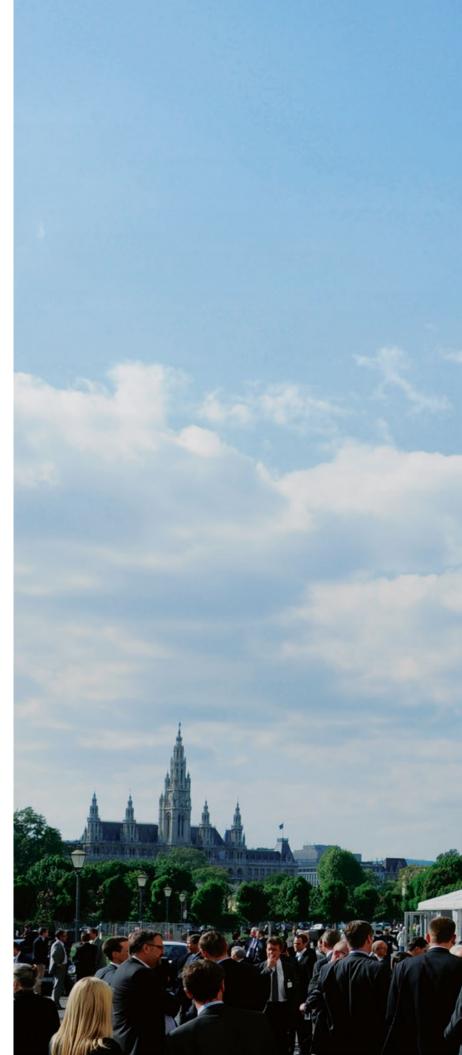
"Advanced Boosting" bietet eine Lösung, für die mit dem Downsizing und größeren Turboladern einhergehenden Probleme. Elektrisch angetriebene Verdichter eröffnen interessante neue Lösungsansätze für effizientere Motoren sowie für modulare Motorkonzepte und Baukastensysteme.

Valeo präsentiert die grundlegenden und hervorzuhebenden Eigenschaften seines elektrischen Superchargers. Ein Schwerpunkt liegt auf den Anwendungsmöglichkeiten und deren Auswirkungen auf den Motor als Ganzes. Modulare Motorkonzepte können mit unterschiedlichen Bordnetzlösungen realisiert werden, mit traditionellen 12 V oder auch auf Basis fortschrittlicherer 48 V. Jede dieser Architekturen bietet ein unterschiedliches Kosten/CO<sub>2</sub>-Nutzenverhältnis. Das Unternehmen stellt in dieser Posterpräsentation einige Anwendungsbeispiele und die damit zusätzlich verbundenen Vorteile (zum Beispiel Segeln) dar.

# **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





As in previous years, more than 1000 leading engine development experts and scientists from all over the world met at the 36th International Vienna Motor Symposium in Vienna, which was held on May 7th and 8th, 2015. 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 36<sup>th</sup> 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 diskette with the texts in English. 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 Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik (Austrian Society of Automotive Engineers) 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. In total, this data base, which was created in 1985, now comprises more than 1400 lectures.

In his introduction, Prof. Lenz pointed out: "At this symposium we will hear about a large number of significant advances made in the development of the internal combustion engine. These advances would not have been



FIGURE 1 Univ.-Prof. Dr. techn. Hans Peter Lenz

considered possible a few years ago. The global trend towards the development of smaller engines for all brands can again be observed this year. Even in the category of commercial vehicle engines, six-cylinder in-line engines are replacing the V8 versions. Even F1 engines have become smaller. Of course, we can also see exceptions: a new 12 W engine towers over the engine scene like a lighthouse.

The future of engines appears inconceivable without electrification. With progressive downsizing, engines boast

greater efficiency and a higher degree of electrification. Whereas the internal combustion engine will continue to be the main source of power, ever more electric components will be used for acceleration and braking.

More electric components will also be employed for driving ancillary units in engines without belt transmission. But for at least the coming two decades, the internal combustion engine will remain the basic source of power.

However, we will have to realize that today the internal combustion engine no

FIGURE 2 Opening with fanfare



FIGURE 3 Plenary opening session, from right to left: M. Sugiyama, J. Fuerst, Dr. R. Bulander, Prof. Dr. P. Gutzmer, Prof. H. P. Lenz, Dr. T. Hametner





FIGURE 4 View into the Aula



FIGURE 5 Ceremonial hall



FIGURE 6 Dr. W. Böhme



FIGURE 7 Univ.-Prof. Dr. G. Brasseur



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



FIGURE 9 Univ.-Prof. Dr. W. Eichlseder



FIGURE 10 Univ.-Prof. Dr. B. Geringer



FIGURE 11 Assoc. Prof. Dr. P. Hofmann



FIGURE 12 Univ.-Prof. Dr. G. Hohenberg



FIGURE 13 Univ.-Prof. Dr. G. Jürgens

longer constitutes the sole element in powertrain development since nearly as much attention is now being paid to the design of transmission systems.

Instead of focusing on the improvement of single components, our efforts must be concentrated more strongly on improving systems as a whole. The interconnectivity of powertrains and their environment is gaining ever greater importance."

After the joint opening plenary, FIGURE 3, two parallel sessions, FIGURE 4 and FIGURE 5 were held in which techni-

cal papers were presented under the chairmanship of *Dr. W. Böhme*, 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, *Assoc. Prof. Dr. P. Hofmann*, FIGURE 11, *Univ.-Prof.* 



FIGURE 14 Univ.-Prof. Dr. H. P. Lenz



FIGURE 15 Dipl.-Ing. S. Auer



FIGURE 16 Dr. T. Hametner,



FIGURE 17 Dipl.-Ing. J. Spreitzer



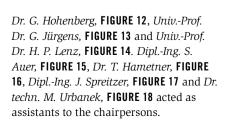
FIGURE 18 Dr. techn. M. Urbanek



FIGURE 19 Exhibition: booth of BMW



FIGURE 20 Exhibition: booth of Bosch



A comprehensive and impressive exhibition of new engines, components and vehicles complemented the lectures, FIGURE 19, FIGURE 20, FIGURE 21, FIGURE 22, FIGURE 23, and FIGURE 24.

Accompanying persons were offered a culturally sophisticated social programme



FIGURE 21 Exhibition: booth of Audi



FIGURE 22 Exhibition: booth of AVL



FIGURE 23 Exhibition: booth of Audi



FIGURE 24 Exhibition: booth of Volkswagen



FIGURE 25 Prof. Dr. P. Gutzmer, Schaeffler AG

which included a tour of the recently inaugurated campus of the Vienna University of Economics and impressive walks through the city centre with a thematic focus on diverse locations. These included a visit to the famous picture gallery Albertina as well as a guided tour of St. Stephen's cathedral which took participants from its basement to its roof and a visit to Vienna's Jewish museums.

In the evening, the participants and accompanying persons attended a reception given by the Mayor of Vienna.

### PLENARY OPENING SESSION

*Prof. Dr. Peter Gutzmer*, **FIGURE 25**, Deputy CEO, Chief Technology Officer (CTO),

Schaeffler AG, Herzogenaurach: "The Future of Engines Is Strongly Influenced by Transmissions":

Vehicle drives of the future with ultralow emissions can only become reality if the losses occurring in the entire drivetrain can be reduced. Therefore, the internal combustion engine, electric components and transmission systems have to be seen as a whole. This means that improvements to the engine data map which can be achieved by means of variable valve trains, for example, also have to be considered. At the same time, transmissions concepts have to be devised hat are suitable for both 48-V and high-voltage hybrid drives and combine high overall efficiency with the lowest possible level of complexity.



FIGURE 26 Dr. R. Bulander, Robert Bosch GmbH

Dr. Rolf Bulander, FIGURE 26, Member of the Board of Management, Robert Bosch GmbH, Stuttgart: "Powertrain Optimization Using a Comprehensive Systems Approach":

Over the next few years, the framework conditions for mobility will be redefined. Legislation will significantly lower the mandatory limits for CO<sub>2</sub> and other emissions. Other developments will also play a role. We will see a continuing rise in customers' expectations with regard to driving comfort, as well as a universal trend towards interconnected and automated vehicles. All of these developments will have a significant impact on powertrain design.

It can be expected that the market which is dominated by combustion engines today will move towards electrification. From today's perspective, it cannot be predicted whether this change will be revolutionary or evolutionary. For this reason, Bosch continues to develop both powertrain concepts further. In addition, the combination of these two types of powertrains opens up new potential, which gives the combustion engine in particular new chance of achieving ambitious goals.

The present paper highlights the current and future potential arising from the interplay of these different power-train concepts, and illustrates this potential by giving practical examples.

*John Fuerst*, **FIGURE 27**, Vice President Engineering Powertrain Systems, Delphi,

Bascharage: "Smart and Cost-Effective Powertrain Strategies":

For quite some time, pure driving pleasure has not been the only objective the supplier industry set itself. Today, innovations are needed that meet the demands of a broad range of stakeholders: vehicle manufacturers, consumers, governments and society at large.

This mobility concept is largely based on advances in powertrain technology. Accordingly, Delphi is devising solutions of varying orders of magnitude which can be classified as follows:

- Simple: smart ideas with little complexity that have a big impact
- Unique: previously unimagined solutions that get the job done in a unique way
- Game-changing: ideas and inventions that represent huge leaps forward in research redefine the market and offer major benefits.

Masanori Sugiyama, FIGURE 28, Executive General Manager of Engine Engineering Field, Toyota Motor Corporation, Aichi, Japan: "Toyota's Powertrain Philosophy for Customer's Smile":

The in-house development of core technologies is the key element of Toyota Motor Corporation's philosophy which is aimed at delivering optimum powertrains to customers in every region of the world.

Historically, Toyota has developed its engines, transmissions, and electronic components in-house. More recently,

Toyota has extended this approach to motors, inverters, and batteries for hybrid electric vehicles (HEVs). Furthermore, last year, Toyota started series production of its fuel cells (FC) developed in-house.

In all countries and regions of the world conditions vary with regard to the energy situation, road conditions, and customer expectations. Therefore, rolling out a single powertrain in every region at the same time is unlikely to provide an effective solution to energy and environmental problems.

It is Toyota's approach to make available the most efficient powertrains for every region on the basis of the knowhow gained through its experience with in-house development and production of a wide range of powertrains.

#### **NEW OTTO ENGINES 1**

Dr. M. Alt (lecturer), FIGURE 29, T. Sutter, K. Fulton, N. Peralta, M. Damen, G. O' Daniel, S. Best, General Motors, Rüsselsheim / Pontiac, MI, USA: "The New 1.4 l Central Direct Injected Turbo Gasoline Engine from General Motors":

The new turbocharged 1.4-l four-cylinder engine with central direct injection stands out in the new family of small gasoline engines from General Motors. It is not only powerful and climate-friendly but this all-aluminium power unit also sets a new benchmark for refinement. Extremely low sound and vibration lev-

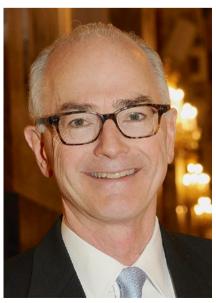


FIGURE 27 J. Fuerst, Delphi



FIGURE 28 M. Sugiyama, Toyota Motor Corporation



FIGURE 29 Dr. M. Alt, General Motors

29



FIGURE 30 Dr. A. Schamel, Ford Forschungszentrum



FIGURE 31 Dr.-Ing. R. Wurms, Audi AG



FIGURE 32 Dr. T. G. Vlachos, European Commission, Joint Research Centre (JRC)

els as well as best-in-class smoothness were among the primary development targets. To this end, a number of measures were taken, such as the structural isolation of the high-pressure fuel injectors and a low-friction inverted-tooth chain. The engine was designed for a power output of up to 155 HP and a peak torque of 235 Nm. As compared to its predecessor, the new 1.4-l turbocharged engine boasts higher performance and improved response combined with lower fuel consumption. In contrast to a high-output threecylinder turbocharged engine, the 1.4-l version is the outcome of the step taken from downsizing to rightsizing, i.e. it achieves the optimum balance between low and high load efficiency.

Dr. A. Schamel (lecturer), FIGURE 30, Ford Forschungszentrum, Aachen; Dr. M. Scheidt, Schaeffler AG, Herzogenaurach; Dipl.-Ing. C. Weber, Ford Werke GmbH, Köln; Dr. H. Faust, LuK GmbH & Co. KG, Bühl: "Is Cylinder Deactivation a Viable Option for a Downsized Three-Cylinder Engine?":

Over the past few years, small gasoline engines with turbo-charging and direct fuel injection have successfully entered the market in response to the need for fuel reduction. This concept, known as downsizing, relies on the benefit of knock-resistant combustion in combination with de-throttling to operate the engine in a more favourable map area.

The degree of downsizing is limited by the torque characteristics that determine the driveability of the vehicle and thus prevent a further reduction of the engine displacement aimed at better fuel economy. An engine with variable displacement would meet both objectives: adequate low-end torque in the low speed range and a further reduction of throttling losses. The deactivation of one or more cylinders represents one of the methods to achieve this.

This paper describes the outcome of a detailed analytical and experimental investigation regarding a cylinder deactivation strategy for a modern, highly downsized 1.0-l three-cylinder gasoline engine. Furthermore, it contains a comparison of rolling and fixed cylinder deactivation.

Dr.-Ing. R. Wurms (lecturer), FIGURE 31, Dr.-Ing. R. Budack, Dr.-Ing. M. Grigo, Dr.-Ing. G. Mendl, Dr.-Ing. T. Heiduk, Dr.-Ing. S. Knirsch, Audi AG, Ingolstadt: "The New Audi 2.0-l Engine with Innovative Rightsizing – A Further Milestone in the TFSI Technology":

In the new 2.0-l engine a combustion process for turbocharged gasoline engines that features an excellent expansion stroke has been applied for the first time. Despite the increased displacement of this engine, this approach has been successful in significantly reducing fuel consumption of the EA888 engine in the power class of

up to 147 kW as compared to its predecessor, the 1.8-l TFSI engine. Therefore the new 2.0-l TFSI is a pioneer amongst direct-injection gasoline engines making the move from downsizing to rightsizing.

The application of the Audi Valvelift System on the intake side was the major step taken to boost efficiency. It allows a short intake valve opening time under part load which significantly shortens the induction stroke.

In conjunction with a compression ratio that has been increased from  $\epsilon$ =9.6 to  $\epsilon$ =11.7 and extensive optimizations of the combustion chamber and the intake ports, the combustion process attains a level of efficiency never before reached in a homogeneous charge gasoline engine for passenger cars.

#### **REAL DRIVING EMISSIONS (RDE) 1**

Dr. T. G. Vlachos (lecturer), FIGURE 32, Dr. P. Bonnel, Dr. M. Weiss, European Commission, Joint Research Centre (JRC) – Institute for Energy and Transport, Ispra: "Evaluating the Real-Driving Emissions of Light-Duty Vehicles: A Challenge for the European Emissions Legislation":

With a view to strengthening the current emissions legislation, the European Commission introduced a real-driving emissions (RDE) test procedure for complementing the current "type I" type-approval test for passenger cars and com-



FIGURE 33 Dipl.-Ing. C. Lensch-Franzen, APL Automobil-Prüftechnik Landau GmbH

mercial vehicles. Key to the effectiveness of the RDE test procedure is a robust evaluation of on-road operating conditions and pollutant emissions as measured with Portable Emissions Measurement Systems (PEMS). This paper gives a detailed description of the two data evaluation methods implemented in the RDE procedure. With the Moving Averaging Windows Method, the test is divided into sub-sections (windows) and the distance-specific averages of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions of each window are measured in order to assess the normality of operating conditions. With the Power Binning Method, instantaneous on-road emissions are categorized according to power bins based on the corresponding power at the wheels. The resulting power distribution is determined by comparison with a standardized wheel power frequency distribution which serves as the basis for assessing the average driving style. Both methods use criteria to ensure that every realized test covers the dynamic boundary conditions set by the RDE test procedure.

Prof. Dr.-Ing. J. Hadler, Dipl.-Ing. C. Lensch-Franzen (lecturer), FIGURE 33, Dr.-Ing. M. Gohl, Prof. Dr.-Ing. K. Kirsten, Dr.-Ing. C. Guhr, APL Automobil-Prüftechnik Landau GmbH, Landau; Dr.-Ing. B. Kehrwald, IAVF GmbH, Karlsruhe; Prof. Dr.-Ing. U. Spicher, MOT GmbH, Karlsruhe: "Methods for the Development of a RDE-Capable Powertrain":



FIGURE 34 Dr. G. Fraidl, AVL List GmbH

Emission standards that will apply in the near future, such as maximum permissible particulate numbers also for direct injection gasoline engines or the RDE (Real Driving Emissions) legislation will once again result in a massive intensification of efforts for development, validation and compliance.

The stability of the combustion process depends, to a great extent, on the control and metering accuracy of the control devices such as injectors, the ignition system, etc. Interference factors like oil entering the combustion chamber, the tendency to preignition or engine knocks are not less relevant. Compared to the NEDC, the described phenomena take centre stage with RDE emissions robustness due to higher load and dynamic requirements and, alongside their high damage risk, have a negative effect on emission characteristics. In addition, this behaviour as a rule deteriorates over service life due to wear, deposits, impaired exhaust gas aftertreatment and similar phenomena.

Therefore, the APL Group developed a methodology for the targeted optimisation of the drive train focusing on bringing down emissions and safeguarding low emissions over the entire load range and service life of the vehicle.

Dr. G. Fraidl (lecturer), FIGURE 34, Dr. P. Kapus, Dr. P. Schöggl, Dipl.-Ing. S. Striok, Dipl.-Ing. K. Vidmar, Dipl.-Ing. *M. Weissbäck*, AVL List GmbH, Graz: "RDE – Challenges and Solutions":

RDE measurements reveal enormous differences in emission levels. Here the driver plays the most significant role as he or she influences real driving emissions to a greatest extent.

Investigations of most of today's series-produced vehicles reveal enormous differences between a "moderate driving style", which is characteristic of an average customer's driving behaviour, and a "dynamic-aggressive" driving style. Therefore, on the one hand, the influence of the driving style has to be normalized so that a statistically representative vehicle operation mode can be obtained and a realistic definition of statutory limit values can be found on the other. Whereas such approaches have been taken into account in the drafting of the future RDE legislation, the current draft still fails to adequately reflect these.

An analysis of state-of-the-art series-produced vehicles demonstrates the problem areas: for diesel engines there are  $NO_x$  emissions, and for gasoline engines both PN and partly also  $NO_x$  emissions. A major portion of increased real driving emission levels may be regarded as an unintended consequence of the consistent reduction of fuel consumption and  $CO_2$  emissions. Accordingly, many measures taken to improve RDE emission levels are clear trade-offs with regard to fuel and/or urea consumption and/or manufacturing cost and thus harbour the risk of poor customer acceptance.

# OTTO ENGINES 2 / DEVELOPMENT TRENDS 1

K. Hikichi (lecturer), FIGURE 35, I. Watanabe, T. Shinagawa, M. Kudo, Toyota Motor Corporation, Toyota, Japan: "The New Toyota Inline Four-Cylinder 1.2-L ESTEC D-4T Engine":

With its 8NR-FTS engine, Toyota Motor Corporation developed a turbo-charged 1.2-l in-series four-cylinder gasoline engine with direct injection (DI). Based on the same concepts as the 8AR-FTS engine, the 8NR-FTS incorporates various fuel efficient technologies, such as a cylinder head with an integrated exhaust manifold, using the Atkinson cycle with a centre-spooled variable valve timing with a mid-position lock system (VVT-iW), and intensi-



FIGURE 35 K. Hikichi, Toyota Motor Corporation

fied in-cylinder turbulence to achieve high-speed combustion. Whereas the D-4ST system incorporates both port and direct injection, the 8NR-FTS features compactness as the D-4T system is only applied for direct injection in each cylinder. In combination with a single-scroll turbocharger and by means of VVT control, high torque is achieved already at low engine speeds. This engine is also based on a stop and start



FIGURE 36 H. Lee M.Sc., Hyundai Kia Motor Group

control strategy for a speedy and shockfree re-start performance by means of stratified injection in the first compressed cylinder. The engine can be equipped with either a six-speed manual transmission (6MT) or a continuously variable transmission (CV).

H. Lee M.Sc. (lecturer), FIGURE 36, J.
Kim M.Sc., K. Hwang M.Sc., Y. Kim B.Sc.,
Dr.-Ing. W. Kim, H. Kim M.Sc.,
I. Hwang B.Sc., Dr.-Ing. B. Han, B.
Shin M.Sc., Hyundai Kia Motor Group,
Namyang, South Korea; Dr.-Ing. M.
Winkler, Dr.-Ing. B. Min, Hyundai
Motor Europe Technical Center GmbH,
Rüsselsheim: "Hyundai-Kia's New
Three-Cylinder 1.0-L Turbo GDI Engine":

This supercharged three-cylinder gasoline engine of the Kappa engine family with direct injection combines a highly efficient combustion process with rapid dynamic response.

In the development of the three-cylinder DI turbocharged engine, special attention was given to fuel consumption in the medium and high load ranges.

The turbocharger with an electric waste gate actuator not only assures higher fuel efficiency under part load by reducing pumping losses but also improves transient response and low-end torque in the low load range. Split cooling of the engine block and cylinder head with an optimized cooling design (separate thermostats) suppresses the knock tendency. In addition, an integrated exhaust manifold expands the  $\lambda = 1$  control range by lowering the exhaust temperature for improved high speed fuel economy.

In order to meet current and upcoming stringent particulate emission standards, the GDI fuel injection system has been improved by means of advanced laser drilled multi-hole injectors with 200 bar fuel pressure and a sophisticated multiple injection strategy.

M. Hitomi, FIGURE 37, Fellow of the Japan Society of Mechanical Engineers, Mazda Motor Corporation, Hiroshima, Japan: "Our Direction for ICE (Internal Combustion Engine) – Consideration of Engine Displacement":

The higher fuel economy that can be achieved with downsizing results mainly from a reduction of engine friction and pumping losses. At the same time, it is necessary to lower the compression ratio.

In order to compare the reduction of the compression ratio with the degree of

downsizing, the level of turbocharging needed for maintaining the same engine output is raised, whereas the compression ratio is lowered to the extent that the same knock resistance is ensured. The resulting trade-off between mechanical friction, pumping losses and compression ratio is measured. As a result, it can be demonstrated that in the low load range, downsized turbocharged engines with large displacement and higher compression ratios offer advantages as compared to engines without turbocharging. However, in the medium and high load ranges, large displacement, naturally aspirated engines with high compression ratios offer benefits. In the future, leanburn operation will be necessary in order to heighten the efficiency of internal combustion engines dramatically. The concept of lean-burn combustion is hardly desirable as pumping losses can be reduced only to a limited extent. Thanks to the high volumetric efficiency of large displacement engines, high torque can be reached without additional costs. Instead, a widening of the lean-burn area can result in higher efficiency.

# REAL DRIVING EMISSIONS (RDE) 2 / EMISSION CONTROL

Dr.-Ing. B. Holderbaum, Dipl.-Ing. M. Kind, Dr.-Ing. C. Menne (lecturer), FIGURE 38, Dipl.-Ing. (FH) T. Wittka, FEV GmbH,



FIGURE 37 M. Hitomi, Mazda Motor Corporation

Aachen; *G. Vagnoni M.Sc.*, FEV Italia S.r.l., Rivoli; *D. Bosteels M.Sc.*, MBA, *C. Favre, J. May B.Sc.*, *M.Sc.*, CChem, Association for Emissions Control by Catalyst (AECC), Brussels: "Potential for Euro 6 Passenger Cars with SCR to Meet RDE Requirements":

In the present study, AECC and FEV investigated the RDE compliance potential of SCR-based systems in on-road driving tests with Portable Emission Measurement Systems (PEMS) and demonstrated the specific challenges in comparison with NEDC and WLTC emissions tests conducted on chassis roller dynamometers.

As a first step, the E-segment test vehicle with SCR-coated DPF (SDPF) was investigated with the available emission calibration, which was targeting Euro 6b emission limits. In the RDE test, the reduced EGR rate caused a significantly elevated level of NOx raw emissions in the higher engine load range. Even though the NO<sub>x</sub> conversion of the SDPF system was at the same time higher than 85 %, NO<sub>x</sub> tailpipe emissions exceeded the initial conformity factor of 3. This was the starting point for the calibration work using the existing aftertreatment system of the test vehicle. By means of a dedicated recalibration of both the EGR and urea dosing a significant reduction of the NO<sub>x</sub> raw and tailpipe emissions was achieved, so that in the final

FIGURE 38 Dr.-Ing. C. Menne, FEV GmbH

RDE-cycle NO<sub>x</sub> conformity factors between 1.1 and 1.6 were reached.

However, the reduction of the NO<sub>x</sub> raw emissions however caused an increase in the real-world fuel consumption by between 1.3 and 2.7 %. Despite the lower NO<sub>x</sub> raw emission level, the AdBlue consumption of approximately 2.5 l/1000 km reached a higher level than commonly known for current Euro 6b compliant vehicles.

Based on these measured and validated results obtained with the test vehicle, a C-segment vehicle with an alternative EGR and aftertreatment system was simulated over the same route. In this simulation, the combination of LNT and passive SDPF showed reduced NO<sub>x</sub> conversion efficiencies, especially during transient phases under higher engine loads. For the RDE compliant use of such simplified aftertreatment systems without urea dosing it is therefore even more important, alongside improvements in catalyst technology to avoid high NO<sub>x</sub> raw emissions in highly dynamic operation, e.g. by using optimized EGR and boosting systems as well as model-based NO<sub>x</sub> control.

Prof. J. Merkisz Ph.D., D.Sc. (lecturer), FIGURE 39, Poznan University of Technology, BOSMAL Automotive Research and Development Institute, Bielsko-Biala, Assoc. Prof. J. Pielecha Ph.D., D.Sc., Asst. Prof. P. Fuć Ph.D., D.Sc., Poznan University of Technology: "LDV and HDV Vehicle Exhaust Emission Indexes in PEMS-Based RDE Tests":

In order to determine total pollutant emissions from transport, as a rule the maximum admissible values defined in the exhaust emission homologation standards are used as the yardstick. In this scenario, the results are only near correct, so their validity is limited. Therefore new procedures are sought which allow a more reliable measurement of real-driving exhaust emissions from road traffic. One option consists in the measurement of emissions under actual operating conditions by means of portable emission measurement systems (PEMS). The Poznan University of Technology is conducting comprehensive research on this topic. Thanks to this research method, exhaust emissions can be analysed as a function of vehicle and engine operating parameters. In addition, correction coefficients can be introduced which reflect the deviations of the limit values determined in the course of

homologation tests and the emissions actually measured in road traffic. This analysis demonstrated that vehicles with gasoline engines operated under real life conditions comply with emission standards whereas vehicles with diesel engines exceed the maximum permissible values for nitrogen emissions. This also applies to heavy-duty trucks and other vehicles driven by diesel engines.

Dipl.-Ing. (FH) R. Brück (lecturer),

FIGURE 40, Dipl.-Ing. T. Cartus, Dipl.-Ing.
(FH) K. Müller-Haas, Dr. rer. nat. Dipl.Phys. A. Schatz, Dipl.-Ing. N. ZalduaMoreno, Dipl.-Ing. M. Karibayev,
Continental Emitec, Lohmar: "NO<sub>x</sub>-free
Exhaust Gas – AdBlue Dosing Is the
Key":

A comparison of the European air quality emission limit for  $NO_2$  ( $40\mu g/m^3$ ) and the Euro 6/VI limits for  $NO_x$  reveals that the exhaust gas of Euro VI/6 engines is allowed to contain approximately three orders of magnitude higher  $NO_x$  concentrations. The US, specifically California, is taking one step further by lowering  $NO_x$  limits by 90 % with the introduction of SULEV legislation and the current debate on limits for commercial vehicles in California from 2020 onwards.

As a result, the focus on the development of future emission concepts will shift toward NO<sub>x</sub> reduction, which will, of course, go hand in hand with the requirement to further lower CO<sub>2</sub> emissions and



**FIGURE 39** Prof. J. Merkisz Ph.D., D.Sc., Poznan University of Technology



FIGURE 40 Dipl.-Ing. (FH) R. Brück, Continental Emitec

thus also fuel consumption and system costs. As a key technology for NOx reduction, SCR will have to be integrated into future powertrains in such a way as to reduce  $NO_x$  emissions by  $\ge 98$  % over a wide engine map range without increasing fuel consumption. Alongside a more advanced SCR catalyst technology, a prerequisite will be the precise metering, evaporation and deposit-free decomposition of the reducing agent AdBlue to form the real reductant ammonia in a system with minimum space requirement. This paper explains how the above-described challenges can be met by systems based on the counterflow injection of the reducing agent in combination with a specific pre-turbocharger design.

#### **DEVELOPMENT TRENDS 2**

Dr. W. Schöffmann (lecturer), FIGURE 41, Dr. H. Sorger, Dipl.-Ing. F. Zieher, Dr. P. Kapus, Dipl.-Ing. M. Weissbäck, AVL List GmbH, Graz: "Realization of Gasoline and Diesel Top Performance Engines":

Common turbocharged engine family architectures based on the commonality of parts and processing concepts have become fundamental requirements for future gasoline and diesel engines.

In this context, the power range of gasoline and diesel variants is, to a great extent influenced by the complexity of turbocharging systems. Alongside fuel consumption and efficiency variants issues of medium performance engines which predominate in terms of production volume, high performance engines will continue to play a major role in the positioning of model series.

Alongside fuel consumption concepts and efficiency variants of medium performance engines that dominate production volume. Previous changes in the model range have seen a continuous transition from naturally aspirated engines to turbocharged variants and currently an ever stronger trend towards a lower number of cylinders and smaller displacements with significantly higher specific power is manifesting itself.

Creating derivatives of such high performance variants from existing engine families often constitutes a precondition for limiting investments in development efforts, with special solutions for individual components emerging as the better choice than volume variants.

If consistently applied, the design validation plan with the AVL matrix as a core element constitutes the basis for the further integration of load models and virtual sensor technology.

Dr.-Ing. M. Winkler (lecturer),
FIGURE 42, Dipl.-Ing. S. Hoffmann,
Dipl.-Ing. B. Unterberger, Dipl.-Ing.
S. G. Park; Hyundai Motor Europe
Technical Center GmbH, Rüsselsheim;
Dipl.-Ing. M. Weissbäck, AVL List
GmbH, Graz: "Hyundai-Kia's Holistic
Approach on 48 V Hybridization":

In order to be able to comply with future legislation aimed at reducing emissions, including real driving emissions (RDE) and in view of the requirement to lower CO<sub>2</sub>-fleet emissions to 95 g/km by 2021 it is essential to introduce electric drive systems in addition to adopting conventional optimization measures. Plug-in and/or full-hybrid technologies using voltage-levels of up to 800 V can offer an option to reach these goals. But these solutions incur high additional expenses.

Electrification can best be started with the so-called mild hybridization with a battery voltage level of 48 V. This technology can more easily be integrated into existing vehicle platforms and shows a more favourable cost-benefit ratio. The mild hybrid technology has a high potential for improving fuel economy by applying hybrid functions such as load levelling and an enhanced start/



FIGURE 41 Dr. W. Schöffmann, AVL List GmbH

stop system. In addition, it allows the use of electric superchargers which results in higher vehicle dynamics and, at the same time, a drastic reduction of the engine speed through down-speeding. Overall, the use of a belt-driven 48 V system in combination with an electric supercharger (abbreviated as "e-charger") in a D-segment passenger car permits a reduction of  $\mathrm{CO}_2$  emission of approximately 15 % while the engine output can be simultaneously raised by 25 %.



FIGURE 42 Dr.-Ing. M. Winkler, Hyundai Motor Europe Technical Center GmbH



FIGURE 43 Dr.-Ing. H. Zhang, Continental



FIGURE 44 E. Iverfeldt M.Sc., Scania CV AB



FIGURE 45 Dr.-Ing. H. Baumgarten, FEV GmbH

Dr.-Ing. H. Zhang (lecturer), FIGURE 43, Dr.-Ing. E. Achleitner, Dipl.-Phys. J. Beer, Dipl.-Ing. F. Kapphan, Dipl.-Ing. W. Klügl, Dr.-Ing. O. Maiwald, Dr.-Ing. G. Rösel, Dr.-Ing. J. Ehrhard, Continental, Regensburg / Grünstadt: "The Future of Gasoline Engines":

Gasoline engines with both direct and port injection at present are and in the next decades will remain the most widely used powertrain solution for individual road vehicles. New test procedures, such as the WLTP (Worldwide Harmonized Light Duty Driving Test Procedure) and the need to comply with emission standards under realworld driving conditions constitute new challenges that have to be met.

In order to be able to meet future CO<sub>2</sub> emission limits it is indispensable to improve the thermodynamic efficiency of the engine in combination with hybridization of the powertrain. The engine efficiency technologies illustrated in this article comprise dilution of the cylinder charge combination of recycled exhaust gas under the Miller strategy.

As the global trend toward larger vehicles continues, the hybridization of vehicles with gasoline engines becomes ever more important.

The further development of injection systems for higher system pressure, the optimization of injector nozzle design, the enhancement of the injector dynamic range and, at the same time,

higher precision for small injection quantities as well as multiple injection strategies lead to a significant reduction of particulate numbers.

### **FUELS**

E. Iverfeldt M.Sc. (lecturer), FIGURE 44, P. Stålhammar M.Sc., H. Sarby M.Sc., C. Ihrfors M.Sc., B. Westman M.Sc., Scania CV AB, Södertälje: "Sustainable Transportation by Using Ethanol in Diesel Engines":

Ethanol is the fuel with highest potential of low-cost production amongst all commercially available biofuels. With its sustainable production process, ethanol can lower greenhouse gas emissions by more than 90 % as compared to fossil fuels. Ethanol has a very high octane number which makes it suitable for gasoline engines but challenging to use in diesel engines. However, with altered fuel ignition methods and engine adaptations it is possible to use ethanol in diesel engines as well and benefit from the more efficient combustion process. Scania launched its first auto-ignited engine for ethanol on the market in 1984 and is now developing the fourth generation of ethanol engines. In view of the low cetane rating of ethanol a fuel ignition improver as well as a high compression ratio are used. Ethanol burns naturally at a low combustion temperature, leading to low amounts of nitrogen oxide emissions. Since the fuel is rich in oxygen, only an extremely low number of particulates (PM) are produced during combustion. This paper presents the development of the next generation ethanol engine.

Dipl.-Ing. C. Weber, Dr.-Ing. U. Kramer, Dipl.-Ing. R. Klein, Dipl.-Ing. C. Hofmann, Dipl.-Ing. M.Sc. O. Berkemeier, Dipl.-Ing. J. Dunstheimer, Ford Werke GmbH, Cologne; Dr.-Ing. H. Baumgarten (lecturer), FIGURE 45, Dr.-Ing. T. Uhlmann, Dr.-Ing. M. Thewes, Dr.-Ing. J. Scharf, Dr.-Ing. J. Ewald, FEV GmbH, Aachen: "CNG-Specific Downsizing – Potentials and Challenges":

This paper deals with the potential and challenges in the operation of turbocharged engines with direct and compressed natural gas (CNG) injection. In addition to describing the influence of the fuel and the injection strategy on full and part-load characteristics, the paper gives insights into charge motion layout and mixture formation, the potential of a turbocharger design optimized for CNG injection and a higher compression ratio. CNG DI in combination with a CNG-specific turbocharger (TC) results in full-load characteristics similar to those of gasoline engines as well as excellent response.

By raising the compression ratio and peak pressure capability of the engine, the excellent knock resistance of methane offers a particular benefit while engine output as well as fuel economy can be markedly improved.

Dr. W. Warnecke (lecturer), FIGURE 46, F. Balthasar M.Eng., Dr. J. Adolf, Shell Hamburg; J. Cadu, Shell France; R. Hunter, Shell London; Prof. G. J. Kramer, Dr. C. Laurens, Shell Netherlands: "Routes for Future Automotive Fuels – Based on an Energy Perspective":

Efforts aimed at further lowering CO<sub>2</sub> emissions will have to be intensified in the years to come. Hence the pace of improvements of vehicle efficiency over the past decade cannot be regarded as a proxy for the future if mobility is to remain affordable and accessible to a broad customer base. Shell believes that between now and 2030 optimized hydrocarbon-based fuels for reciprocating piston engines could lead to new credible, cost-effective technologies to drive a further improvement of the WtW (well-towheel) CO2 footprint of light duty mobility. Such options include advanced biofuels and their more widespread use, high octane gasoline for higher engine output or compressed natural gas.

By 2030 at the latest, as the energy transition will have progressed, especially in key markets, electrification of mobility will play a major role. New mobility options (especially low-cost, renewable energy with optimized grids and improved electric transmission lines) will need to be jointly developed and potential hurdles will have to be overcome. Alongside the direct use of "green electricity" in battery-electric

vehicles (i.e. PHEVs or BEVs), the conversion of electrons into "green hydrogen" (and hydrogen from clean electricity from gas with carbon capture CCS) will play a vital part.

#### **NEW DIESEL ENGINES**

N. Oikawa (lecturer), **FIGURE 47**, Dr. T. Fukuma, Y. Hamamura, T. Yamamoto, H. Kaneko, G. Kishimoto, T. Toda, Toyota Motor Corporation, Toyota, Japan: "The New Toyota Inline Four-Cylinder 2.8-L ESTEC GD Diesel Engine":

The new 2.8-1 l4 ESTEC (Economy with Superior Thermal Efficient Combustion) 1GD diesel engine is being introduced into Toyota's diesel line-up as one of the attractive solutions for economy and reliability, especially in developing countries and commercial vehicle markets.

In order to improve the engine thermal efficiency, significant improvements were made in fundamental structures, as compared to the previous model (the 3.0-1 1KD engine), such as modifications of the intake and exhaust ports, the valve train and the exhaust gas aftertreatment. As a result of these modifications, a down-sized turbocharged engine can be used. Moreover, fuel consumption was lowered by 15 %.

In addition, Toyota introduced, for the first time, a urea SCR system with a view to complying with the Euro 6 emission legislation. The number of exhaust system versions was reduced from 18 (in the predecessor model) to three. This has resulted in greater flexibility for adapting the engine to all of Toyota's frame-type vehicles.

H. Matsuura (lecturer), FIGURE 48, Y. Ishihara, O. Murakami, T. Tabuchi, Y. Sasaki, J. Hatano, H. Fukushima, S. Aoyagi, Y. Matsuo, Honda R&D Co., Ltd. Automobile R&D Centre, Tochigi, Japan: "New Generation 1.6-l Diesel Engine for the Honda CR-V":

The new in-line 1.6-l diesel engine was developed with a view to achieving high torque and high power output, low exhaust emissions meeting Euro 6 standards, light weight and good fuel economy at the same time. In order to be able to meet these requirements, the below-described technologies were applied:

- a dual-stage twin turbo charger equipped with two waste gates and variable turbine geometry
- a NO<sub>x</sub> storage catalyst (hereafter NSC)
- a light-weight engine block and cylinder head
- a nine-speed automatic transmission (9AT).

Thanks to consistent downsizing of the diesel engine to 1.6-l in light-weight design, the fuel consumption of the Honda CR-V (medium-class SUV) was significantly lowered. In addition, the combination of the dual-stage turbocharging system and the nine-speed



FIGURE 46 Dr. W. Warnecke, Shell Hamburg



FIGURE 47 N. Oikawa, Toyota Motor Corporation



FIGURE 48 H. Matsuura, Honda R&D Co., Ltd.

automatic transmission resulted in a driving performance equivalent to that of the 2.2-l diesel engine. Furthermore, the efficiency of the  $NO_x$  storage catalyst was markedly improved. Thus the Honda CR-V with the redesigned diesel engine complies with the Euro 6 maximum permissible values thanks to its improved  $NO_x$  storage catalyst (NSC) and a downstream particulate trap.

Dr. O. Ebelsheiser (lecturer), FIGURE 49, Dipl.-Ing. M.Sc. L. Doleac, Dipl.-Ing. G. Crapanzano, Dipl.-Phys. S. Zimmer, Dipl.-Ing. H. Schnüpke, Dipl.-Ing. G. Langer, Daimler AG, Stuttgart: "OM626: The New Entry Type Diesel Engine for the Mercedes-Benz C-Class":

Following the successful launch of the new Mercedes-Benz C-Class, the engine range is now being broadened with the addition of a new 1.6-l entry-level diesel engine. Thanks to a highly efficient base engine, developed by the co-operation partner Renault and continued, targeted component development, the engine sets a new benchmark with regard to environmental friendliness and comfort in the premium middle-class segment.

By employing steel pistons and a highly efficient second-generation SR system, best-in-class emission levels have been achieved.

This article describes the synergies resulting from the highly efficient and successful co-operation between Renault/Nissan and Daimler and high-

lights the paths taken in order not only to meet but even exceed the most exacting customer expectations.

#### **ENGINE MANAGEMENT**

K. Takeuchi (lecturer), FIGURE 50, Y. Shinohara, A. Kojima, K. Ishizuka, K. Uchiyama, Denso Corporation, Aichi-Ken, Japan; M. Nakagawa, Dr.-Ing. O. E. Herrmann, Denso Automotive Deutschland GmbH, Wegberg: "Further Innovations for the Diesel Engine Management and Aftertreatment System":

In this paper, two innovative technologies are presented: A novel optimized combustion process which, thanks to a further optimized fast actuated injector and a special nozzle hole geometry, reduces heat losses during combustion, thus increasing the efficiency of the combustion. Secondly, a plasma-based exhaust gas aftertreatment system assures high NOx conversion rates even at low exhaust gas temperatures. By combining the two technologies, a diesel EMS (engine management system) has been devised which results in up to 7 % better fuel economy with NO<sub>x</sub> conversion rates of up to 80 % in the WLTC driving cycle.

Based on the previously introduced innovations, such as the 2500 bar common rail system, the closed-loop injection control (i-ART) and the globally available fuel compatible diesel EMS, Denso has introduced further innovations that will

contribute to the attractiveness of diesel engines in the future as well.

Dr. techn. W. Piock (lecturer), FIGURE 51, Dr.-Ing. G. Hoffmann, G. M. Ramsay B. Sc., Dr.-Ing. R. Millen, Dr.-Ing. S. Schilling, D. N. Dalo M.Sc., J. G. Spakowski M.Sc., Delphi Automotive Systems, Bascharage / Rochester, NY, USA: "Delphi's Fuel Injection Systems for Efficient and Clean Gasoline Engines with Direct Injection":

This paper describes the new generation of Delphi's GDi injection systems and solutions for meeting complex requirements, such as low particulate emissions. Since the introduction of gasoline direct injection engines, the general trend has been to steadily increase injection pressure as mirrored in Delphi's road maps. Depending on engine performance and emission targets, a variety of validated GDI injectors has been designed for fuel pressure rates of up to 400 bar. All injectors using inward opening valves and multiple spray nozzles as well as injectors equipped with outward opening valves feature conventional solenoid actuation. Another common characteristic are identical external dimensions which permit easy mounting on the engine. In addition, the outward-opening injector family also includes a version for direct compressed natural gas (CNG) injection which is still in its initial development phase, and which will meet the dual target of a further significant reduction of CO2 emis-



FIGURE 49 Dr. O. Ebelsheiser, Daimler AG



FIGURE 50 K. Takeuchi, Denso Corporation



FIGURE 51 Dr. techn. W. Piock, Delphi Automotive Systems



FIGURE 52 Dr.-Ing. R. Busch, Bosch Mahle Turbo Systems GmbH & Co. KG



FIGURE 53 Dipl.-Ing. R. Hummel, RWTH Aachen University



FIGURE 54 Dipl.-Ing. J. Kahrstedt, Volkswagen AG

sions and improved driving dynamics in the low speed range.

The new pump generation has been designed for higher fuel pressure levels and improved pumping efficiency for faster pressure build-up during starting and simultaneously for lower noise emissions.

Dr.-Ing. R. Busch (lecturer), FIGURE 52, Dipl.-Ing. J. Jennes, Dr.-Ing. J. Müller,
Bosch Mahle Turbo Systems GmbH & Co.
KG, Stuttgart; Dr.-Ing. M. Krüger, Dipl.-Ing.
D. Naber, Dipl.-Ing. H. Kauss, Robert Bosch
GmbH, Stuttgart: "Emission and Fuel Consumption Optimized Turbo Charging of
Passenger Car Diesel Engines":

Bosch Mahle Turbo Systems (BMTS) and the Diesel Systems Division of Robert Bosch GmbH have jointly investigated potential concepts for optimizing emissions and fuel consumption by using optimized turbocharging devices as well as the most advanced operating and control strategies. Research studies focused on a reduction of losses in the air system of the diesel engine during steady-state and transient operation:

- improved fuel economy through a reduction of mechanical losses in the exhaust gas turbocharger (lower friction, new bearing concepts)
- optimized matching of the turbocharging system and the diesel engine in terms of fuel consumption and emissions, with due regard for single-stage and two-stage concepts

- optimization of the transient behaviour of the engine and the air flow by modifying the turbocharging system (e.g. selection of materials)
- transient-mode optimization supported by simultaneous diesel engine control interventions, especially by enhancing the model-based air-flow control by means of functions aimed at the simultaneous optimization of driveability and emissions.

It can be shown that with all of these measures it is possible to simultaneously lower engine-out emissions and achieve fuel savings, resulting in a favourable cost benefit ratio.

#### **COMMERCIAL VEHICLE ENGINES**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. L. Eckstein, Dipl.-Ing. R. Hummel (lecturer), FIGURE 53, Dipl.-Ing. B. Mohrmann, RWTH Aachen University; Dr. ir. J. Kessels, DAF Trucks NV, Eindhoven: "Hybridization and Downsizing for Longhaul Trucks – Results from the EU-Project COnVENienT":

The EU funded project COnVENienT (complete vehicle energy-saving technologies for heavy-trucks) investigates different measures for fuel savings for longhaul heavy duty trucks. The ambitious target is to reduce fuel consumption by 26 %. The measures comprise active aerodynamics, a friction reduced rear axle, an electrification of auxiliaries and

a full hybrid electric drive train. Hybridization offers the option of downsizing the internal combustion engine. This paper illustrates the project and gives an overview of the measures of the subproject led by DAF. In addition, theoretical fuel savings through hybridization in combination with a downsized combustion engine are assessed on the basis of simulation studies. An outlook is given of the measures implemented in the prototype truck.

Dipl.-Ing. F. Eichler, Dipl.-Ing. J.
Kahrstedt (lecturer), FIGURE 54, Dipl.-Ing.
C. Thomfohrde, Dipl.-Ing. B. Hahne, Dr. S.
Neuendorf, Dipl.-Ing. E. Vollmers, Dr. E.
Pott, Volkswagen AG, Wolfsburg: "The
New Generation of Euro 6 Diesel Engines
for Volkswagen Commercial Vehicles":

The new 2.0-l TDI engine developed on the basis of the modular diesel engine kit (MDB) celebrated its premiere with its market launch in the Multivan and Transporter. The predecessor four-cylinder engine is being successively replaced by a standard base engine with a broader power range adapted specifically to the needs of commercial vehicles. The top engine variants will feature a newly designed two-stage turbo-charging system. Compared with vehicles offered previously, the new engine achieves a significant reduction in fuel consumption, while complying with Euro 6 emission limits. Particular emphasis was placed on realizing a forceful torque curve and improved



FIGURE 55 Dr.-Ing. U. Wiebicke, MAN Truck & Bus AG



FIGURE 56 Dr. N. Ardey, BMW Group



FIGURE 57 Dipl.-Ing. R. Straßer, Audi AG

transient characteristics for the turbocharger, with a view to achieving additional improvements in customer-relevant performance, alongside a reduction in fuel consumption and emissions.

Dipl.-Ing. N. Schatz, Dr.-Ing. U. Wiebicke (lecturer), FIGURE 55, MAN Truck & Bus AG, Nuremberg; Dipl.-Ing. H. Klinger, MAN Truck & Bus Österreich AG, Steyr: "Heavy Duty Truck Engine with Maximum Efficiency – The New 15.2-l Engine from MAN":

With its D38 engine, MAN Truck & Bus presented a completely redesigned drive unit for the upper power segment in the commercial-vehicle sector.

The six-cylinder in-line engine has a capacity of 15.2 l and is available with ratings of 520 and 560 HP and with a rating of 640 HP for use in heavy-duty tractors.

The concept's main features include high ignition-pressure strength, two-stage turbo-charging with intercooling, a common-rail injection system designed for an injection pressure of up to 2500 bar, two-stage exhaust-gas recirculation and a new and very powerful engine brake designated as TurboEVBec.

In its competitive environment and in comparison with its V8 predecessor, which it replaces, the D38 engine is particularly compact and optimized for payload. With its Euro VI SCRT exhaust system, which is just as compact as that of MAN's 12-l engines, sufficient space

is available in the chassis for maximum tank capacity.

## PLUG-IN POWERTRAIN / TRANSMISSION

Dr. N. Ardey (lecturer), FIGURE 56, Dr. M. Bollig, Dipl.-Ing. S. Juraschek, Dr. M. Klüting, Dr. C. Landerl, BMW Group, Munich: "Plug and Drive – The New Plug-In-Hybrid System of BMW":

After the successful market launch of the electric vehicles BMW i3 and BMW i8, BMW is consistently following the chosen path to modern and emission-free mobility with the introduction of plug-in hybrid vehicles in the category of its core brand models. BMW once again impressively redefines driving pleasure with these electric vehicles. The key components of the electrified drive technology eDrive are developed in-house by BMW allowing customized integration into the different vehicle concepts. The BMW plug-in hybrid vehicles with longitudinal architecture are fitted with the P2 topology, excellently suited for driving comfort, functionality, and high performance in everyday operation. This topology combines the eDrive drive system with an efficient four-cylinder engine and an eight-gear automatic transmission mounted in parallel. Networked anticipatory (look-ahead) functions and individually selectable driving programmes assure electric driving adapted to given situations.

Dr.-Ing. S. Knirsch, Dipl.-Ing. R. Straßer, (lecturer), FIGURE 57, Dipl.-Ing. (FH)
G. Schiele, Dipl.-Ing. S. Möhn, Dipl.-Ing.
W. Binder, Dipl.-Ing. M. Enzinger, Audi
AG, Ingolstadt / Neckarsulm: "The Powertrain of the New Audi Q7 e-tron 3.0
TDI quattro":

With the Q7 e-tron quattro Audi presents its first plug-in hybrid vehicle with a TDI engine and a quattro powertrain. Following the successful introduction of the Audi Q5 hybrid quattro, A6 hybrid and A8 hybrid models, and the A3 e-tron with plug-in technology, this is the Audi e-tron family's first premium SUV, based on the second generation of the modular longitudinal matrix.

The compact drivetrain integrates a hybrid module with a high-torque electric motor between the internal combustion engine and the automatic transmission torque converter. This means impressive driving performance with best-in-class fuel consumption.

The TDI engine was optimized for the specific requirements in a plug-in hybrid vehicle, including intelligent thermal management. New developments in the Audi Q7 e-tron quattro drivetrain also comprise a hybrid module with highly efficient electric motor, matching power electronics, which also supply the electric vehicle system, and a powerful lithium-ion battery with an on-board charger.

MTZ extra 39

*Dr. C. Dörr* (lecturer) **FIGURE 58**, *V. Marx*, Daimler AG, Stuttgart: "9G-Tronic, the Modular Automatic Transmission and Advantages in Mercedes-Benz Drivetrain":

The automatic transmission 9G-Tronic has a modular design. It represents the base unit for the drivetrain in Mercedes-Benz vehicles of the SECM-model series with rear- and all-wheel drive. This paper presents the modular components and sub-assemblies, such as torque converter, mechanical components, electro-hydraulics with a control unit and the all-wheel drive concepts for different torque variants. The modular matrix allows a simple adaptation to different vehicles with diesel and gasoline engines.

The modularity and the common parts concept offer a number of advantages with regard to assembly in production and the manufacturing of different drivetrains. The benefit of this transmission concept for customers in terms of driving comfort, response time and fuel consumption are illustrated for different vehicles with diesel and gasoline engines.

## LE MANS / HIGH PERFORMANCE ENGINES

Dipl.-Ing. F. Eichler (lecturer), FIGURE 59, Head of Powertrain Development Volkswagen Brand, Dr. W. Demmelbauer-Ebner, Dr. J. Strobel, Dipl.-Ing. J. Kühlmeyer, Volkswagen AG, Wolfsburg: "The New W12 TSI Engine from the Volkswagen Group – Perfection in Performance and Comfort":

In the new W12 TSI, the combustion processes that have previously been used in parallel – FSI direct injection at Audi and TMPI at Bentley – have both been improved with further technical innovations and combined to form the successfully established TSI process. With the newly applied technologies, the W12 TSI now exhibits one of the highest technology densities of any engine worldwide. The package comprises, among other things:

- cylinder liners with APS coating
- an oil circuit with a variable oil pump also for off-road operation
- a cooling system with integrated thermal management
- a dual injection system
- bi-turbo, twin-scroll turbo-charging

- cylinder deactivation of one cylinder bank
- engine management with two control units
- adaptive engine mounts
- a start/stop system.

The technology elements applied here make the new W12 TSI the most economical twelve-cylinder engine in the premium segment. CO<sub>2</sub> emissions in this class of less than 250 g/km in the



FIGURE 58 Dr. C. Dörr, Daimler AG

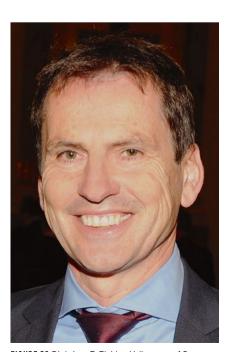


FIGURE 59 Dipl.-Ing. F. Eichler, Volkswagen AG

NEDC, paired with a power output of 447 kW and torque of 900 Nm, demonstrate in an impressive manner that efficiency and performance are in perfect unison in this drive. Depending on the vehicle model, the twelve-cylinder boasts acceleration from 0 to 100 km/h in less than 4 s and top speeds in excess of 300 km/h.

M. Matsumura M.Eng., FIGURE 60, Chief Operating Officer, Nissan Motorsports International Co., Ltd., Kanagawa, Japan: "Nissan / Nismo LMP2 Class Engine Development – VK45DE (V8 4.5L Gasoline Engine)":

This paper describes Nissan / Nismo LMP2 class engine development – VK45DE (V8 4.5-l gasoline engine). This engine has scored many victories in the LMP2 class of the Le Mans 24 hour race. The details of the VK45-LMP2 are described in this paper which focuses on the key technologies applied.

W. Hatz, FIGURE 61, Member of the Executive Board – Research and Development, Dr. Ing. h. c. F. Porsche AG, Weissach: "919 hybrid - Le Mans: The Future of the Sports Car":

"Le Mans, June 14, 1970. It's absolutely pouring rain. Conditions on the circuit are extremely challenging and many cars drop out of the race. This will be the last race for Hans Herrmann after a long career, and in the end it will also be the greatest triumph ever achieved by the



FIGURE 60 M. Matsumura M.Eng., Nissan Motorsports International Co., Ltd.

42-year-old driver. At the wheel of the 'race car of the century' – a red Porsche 917 short-tail with a twelve-cylinder engine delivering 600 HP – Herrmann goes on to win the legendary 24 Hours of Le Mans together with Richard Attwood from the UK.

However, the race that marked the end of a successful career for Herrmann also ushered in a new era of decades-long success for Porsche, as this first overall victory in Le Mans was followed by 15 more between 1971 and 1998.

In five weeks, exactly 45 years after that first triumph, Porsche will once again contest the legendary race in Le Mans on June 13 and 14, 2015. This is its second year back in the elite racing class."

Prof. Dr.-Ing. U. Hackenberg, FIGURE 62, Member of the Board of Management, Technical Development, Audi AG, Ingolstadt: "Audi in Le Mans: The Success Story of the TDI – From Motorsport onto the Road":

Motor sport is part of Audi's DNA. Hardly any other car manufacturer is as active on the world's racetracks in such a sustained and consistent manner. With the systematic technology transfer from motor sport to series production, Audi continually recharges its slogan "Lead through Technology." The success story of the TDI is convincing evidence of this strategy. For 25 years now, the company has led the way with direct-injection

and long-range TDI diesel engines. With their innovative efficiency technologies, they epitomise the responsible use of available energy resources in order to ensure the mobility of the future.

#### **COMBUSTION PROCESSES**

Dr.-Ing. M. Brauer (lecturer), FIGURE 63, Dipl.-Ing. C. Schramm, Dipl.-Ing. A. Werler, Dipl.-Ing. M. Diezemann, Dr.-Ing. C.



FIGURE 61 W. Hatz, Dr. Ing. h. c. F. Porsche AG

Severin, Dipl.-Ing. M. Kratzsch, Dr.-Ing. H. Neukirchner, Dipl.-Ing. G. Buschmann, Dipl.-Ing. K. Blumenröder, IAV GmbH, Berlin: "Continuously Variable Compression Ratio for Downsizing Diesel Engines – Approach to Improve Efficiency, Emissions and Performance":

This paper describes the potential of a variable compression ratio (VCR) for diesel engines in passenger cars. The CO<sub>2</sub> and emission-reducing potential at part load as well as the potential for further performance improvements in downsized engines was assessed in simulation studies. The variability of the compression ratio is realized by a variable quench gap height at the top dead centre. The shape of the piston bowl was developed using 3D combustion computations and validation measurements on a single-cylinder engine. Both computations and tests showed that increasing the geometric compression ratio from CR = 16.2 to CR = 20.0 leads to a 5 %reduction in the indicated fuel consumption. However, an increase in NOx engine-out emission must be tolerated in order to reduce particulate-matter emissions to an acceptable level.

The possibility of decreasing CR can contribute to lowering engine-out  $NO_x$  and particulate emissions at high loads. In the context of the upcoming RDE legislation, this potential is relevant to downsizing

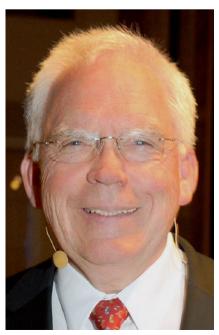


FIGURE 62 Prof. Dr.-Ing. U. Hackenberg, Audi AG



FIGURE 63 Dr.-Ing. M. Brauer, IAV GmbH



FIGURE 64 Dr. rer. nat. A. Eilemann, Mahle Behr GmbH & Co. KG

Dr. rer. nat. A. Eilemann (lecturer),

FIGURE 64, Mahle Behr GmbH & Co. KG,
Stuttgart; Dr.-Ing. P. Wieske, Dr. sc. techn.

M. Warth, Mahle International GmbH,
Stuttgart; Dipl.-Ing. J. Stehlig, Mahle
Filtersysteme GmbH, Stuttgart: "Charge
Air Subcooling – Enabler for Improved
Driveability and Fuel Economy":

For improving longitudinal dynamics, the surplus capacity of the air conditioning circuit available after the passenger compartment has been cooled down can be used to cool the charge air below ambient temperature. Initial dynamometer and test results of a middle-class vehicle with a threecylinder engine have demonstrated the promising potential for charge air sub-cooling. Mahle's current development is now focused on an optimized integration of the components into an existing vehicle architecture with due regard given to near-series requirements. To this end, the additional charge air cooling stage has been completely integrated into the intake manifold, which makes the subcooled charge air available within a shorter time and reduces pressure losses.

Vehicle tests indicate that charge air sub-cooling improves transient response and that, with the appropriate operating strategy for the air conditioning compressor, the energy required for sub-cooling can be generated during



FIGURE 65 Dipl.-Ing. L. K. Cloos, Adam Opel AG

recuperative braking. The control system can be used to run the interior air conditioning and charge air sub-cooling systems in parallel without a negative impact on driving comfort.

Dipl.-Ing. L. K. Cloos (lecturer),

FIGURE 65, Dr.-Ing. C. Glahn, Dipl.-Ing. A.

Königstein, Adam Opel AG, Rüsselsheim;
S. Shin, GM Powertrain, Pontiac, MI, USA:
"Cooled Exhaust Gas Recirculation on
Boosted SI-Engines – An In-Vehicle Technology Evaluation":

In the present study, Adam Opel AG investigated cooled external EGR on boosted gasoline engines using a demonstration vehicle. In a first step, several possible cooled, external EGR system variants were analysed and compared on the basis of dynamometer test results. Subsequently the optimum system was selected and integrated into an Opel Insignia. The study focused not only on the challenges of integration, but also on evaluating this technology under real-life operating conditions. In these investigations, particular emphasis was placed on measuring fuel consumption, assessing the potential of stoichiometric engine operation and evaluating driveability by means of the AVL drive. Finally, this paper deals with the challenges associated with cooled external EGR and the potential of this technology.

Prof. N. Jackson (lecturer), FIGURE 66, Ricardo plc, Shoreham-by-Sea; Prof. A. Atkins, J. Eatwell, Ricardo Innovations Ltd., Shoreham-by-Sea; Dr. R. Morgan, University of Brighton: "An Alternative Thermodynamic Cycle for Reciprocating Piston Engines":

Ricardo has explored an alternative approach to recover exhaust energy from a diesel engine. This combines both diesel and Ericsson cycles into an integrated process. The key changes to the four-stroke configuration to implement the integrated cycle are isothermal compression and heat addition from the exhaust gas to the charge air after the end of compression.

Transfer of exhaust gas heat at the end of compression requires the use of a "split cycle", where the fourstroke sequence is split into two separate elements; intake and compression are carried out in one cylinder and combustion plus expansion and exhaust in another. Gas is transferred from the compression cylinder to the expansion cylinder via a heat exchanger that trans-

fers heat from the exhaust to this high pressure gas.

The use of isothermal compression enhances the recovery of exhaust gas waste heat and significantly improves cycle efficiency. A number of isothermal compression technologies have been explored, including use of a water spray during compression and also direct injection of cryogenic nitrogen or air.

Initial work was based on a large stationary engine using water injection, whilst current work is focused on a medium-duty one litre/cylinder configuration. Whereas a number of technical challenges remain, results show that this concept has the potential to achieve thermal efficiencies of over 60 % whilst using relatively conventional reciprocating engine components.

#### PLENARY CLOSING SESSION: A VIEW TO THE FUTURE

Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, FIGURE 67, Member of the Board of Management, Group Research & Mercedes-Benz Cars Development, Daimler AG, Stuttgart: "Plug-In- Hybrids – Efficiency Meets Performance":

As we all know, the 2014 Formula One season was a great, unchallenged triumph for Mercedes-Benz which won both the drivers' and constructors' titles. Our two drivers consistently dominated



FIGURE 66 Prof. N. Jackson, Ricardo plc



FIGURE 67 Prof. Dr.-Ing. T. Weber, Daimler AG

the rankings to record an outstanding one-two finish. For us, this success is clear proof of the outstanding achievements of Lewis Hamilton and Nico Rosberg – as well as of the reliability of our racing cars. What is more, it confirms the great future potential of the hybrid drive. Not without reason, Mercedes-Benz has launched a broadbased strategic hybrid initiative with its standard-production vehicles as well.

Klaus Fröhlich, FIGURE 68, Member of the Board of Management, Development,

BMW AG, Munich: "Power eDrive – Sheer Driving Pleasure of Tomorrow":

The BMW Group has deliberately created a broad technological basis in order to be able to offer customers worldwide customized solutions for various future requirements.

In the future, there will be different drives for different purposes and requirements - Electric mobility will continue to be characterised by a variety of concepts and market-specific demands for a long time to come; there will not be a one-fits-all solution.

In the long term, the Group expects the coexistence of BEV and high electrification. In the compact and urban segments, there will be stable growth in demand for BEVs. However, larger cars will still require a combustion engine in the medium term. But the level of electrification will anyway increase mas-

sively. Consequently, the combustion engine will develop in the long run into an energy supplier, an auxiliary power unit. At present, a clear trend towards increased e-performance and electric driving can be observed.

In the next few years, the Group will introduce electrification of the powertrain in almost all BMW model series and take full electric mobility to the next level, making a social contribution to reducing CO<sub>2</sub> emissions.

Instead of Prof. Dr. Winterkorn who was unable to attend due to other commitments, *Dr. Heinz-Jakob Neußer*, **FIGURE 69**, Member of the Board of Management Volkswagen Brand, Head of Group Powertrain Development Volkswagen Group, Volkswagen AG, Wolfsburg presented the former's lecture on his behalf entitled: "Has the Automobile Come to a Turning Point? Challenges and Solutions from a Volkswagen Perspective":

The automobile has come to a turning point: CO<sub>2</sub> emission regulations, electric mobility and digitalization are the big challenges facing the industry.

The Volkswagen Group will shape this change under its own steam and steps on the accelerator in the relevant fields of innovation. The company expects the efficiency of internal combustion engines to increase by 10 to 15 % by 2020. To this end, Volkswagen

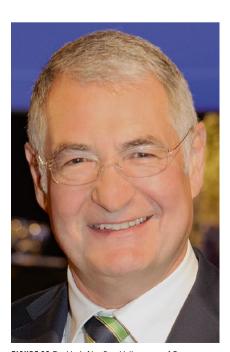


FIGURE 69 Dr. H.-J. Neußer, Volkswagen AG



FIGURE 68 K. Fröhlich, BMW AG

will introduce the innovative laser roughening technology in large-scale production, thus achieving a breakthrough in terms of reducing friction. At the same time, the company is fully committed to electric mobility. Today, the Group has the largest and most diverse fleet of electric cars in the automotive world. The all-electric driving range will significantly increase in the future. Consequently, the medium-term objective is to launch an e-Golf with a range of 300 km. The Group will also take the lead in the fields of digitalization of vehicles, factories and sales, covering topics such as infotainment and sensor systems, big data and Industry 4.0. Among other things, the upcoming Audi A8 will be able to drive autonomously up to a speed of 60 km/h. In this context, it is essential for the company that the car of the future not be a dull, standardized unit. Cars must continue to fascinate people: with innovative features, with hitherto unmatched efficiency and, above all, with genuine driving pleasure.

#### **POSTER PRESENTATIONS**

Dipl.-Ing. E. Ramschak, Dipl.-Ing. M. Oswald, Dipl.-Ing. F. Zieher, Dr. P. Schöggl, Prof. Dr. U. D. Grebe, AVL List GmbH, Graz; Ing. R. Breinl, qpunkt GmbH, Hart: "Thermal Management –

MTZ extra 43

A Comprehensive Approach Engine plus Vehicle":

The poster presentation gave a comprehensive survey of methods to reduce CO<sub>2</sub> emissions and, at the same time, illustrated an optimization of vehicle attributes relevant to end customers. Thermal management is a major aspect because of interlinked development processes and the need for simultaneous optimization of partly contradictory requirements. Thermal optimization in combination with an extended AVL-Drive and validated dynamic vehicle simulation offer new options with regard to minimizing CO<sub>2</sub> emissions, cost efficiency and well-balanced driving attributes aimed at preserving the typical brand characteristics of vehicles.

Dipl.-Ing. J. Ogrzewalla, FEV GmbH, Aachen: "ePGS: Package Optimized Hybrid Powertrain":

In many cases, a simple parallel hybrid concept, especially for front transverse mounting, can only be implemented by markedly limiting the installed electric performance. Owing to the current and future CO<sub>2</sub> emission legislation, plug-in hybrids will be introduced in all vehicle categories. Therefore, manufacturers will have to devise concepts based on a modular system that can be combined with different transmissions and ensure sufficiently high performance in order to offer customers the benefit of higher fuel economy as well as added value in terms of performance and fun to drive.

Dipl.-Ing. M. Kolczyk Dr.-Ing. G.-M. Klein, Dipl.-Ing. G. Kraft, Dr.-Ing. H. Banzhaf, Dipl.-Ing. J. Reyinger, Mann+Hummel GmbH, Ludwigsburg: "Diesel Fuel Filters and Water Separators: 'Ena-

bling-Technology' for the Global Roll-Out of Future Diesel Engines":

The quality and availability of diesel fuel is an important barrier to the global roll-out of modern diesel engine technology, as the quality of the diesel fuel available in growth markets such as Asia, Russia or South America is very poor. In some cases, such diesel fuels are highly contaminated with dust particles and water which can lead to damage through wear, cavitation or corrosion. Therefore, the conditioning of fuel with the aid of ultra-modern and highly efficient filtration and separation methods serves as a key enabler for the application of the latest generation of diesel engines with low CO2 emissions. With the development of ever more efficient and finer filters a new leap in technology is imminent which will considerably increase the performance during service life, due to filter fineness and water separation efficiency.

*Dr. M. Hinterhofer, Ao.Univ.-Prof. Dr. P. Sturm, Ing. T. Nöst,* Graz University of Technology: "NO<sub>x</sub> PM10 and Heavy Metal Emission Factors Based on Current Tunnel Measurements":

In order to be able to assess the contribution of traffic to PM10 and  $\mathrm{NO}_x$  emissions more accurately, current fleet-specific PM10 and Nox emission factors were measured for the Plabutschtunnel: these measurements demonstrated that driving in tunnels causes markedly lower emissions than driving on open air routes. For this reason, markedly lower emission factors have to be applied to sections driven in tunnels. On account of the length and traffic density in the Plabutschtunnel, a decrease of the PM10 emission level can be observed with very

heavy traffic. If this observation is taken into account and the regression model applied is adapted to the interaction term (number of passenger cars by number of trucks) this term shows a negative value for the measurements made in 2012. With the measurements made in 2013, the application of the interaction term did not result in a change of the emission factors for both passenger cars (PC) and trucks (HGV), which means that the interaction term is negligible. When measured NO<sub>x</sub> emission factors are compared to those determined in the model calculation described in the Emission Factors Manual (HBEFA 3.1), especially emissions of heavy-duty commercial vehicles are underestimated with regard to one specific driving situation (i.e. driving on highways at a speed of 100 km/h). The measured heavy metal loads in the dust are low because of the very uniform driving behaviour observed in tunnels.

Dipl.-Ing. G. Silberholz, Ao.Univ.-Prof. Dr. S. Hausberger, Graz University of Technology; Dipl.-Ing. C. Six, Univ.-Prof. Dr. B. Geringer, Vienna University of Technology: "New Alternative Method for Emission Type-Approval of Internal-Combustion Engines in Heavy-Duty Hybrid Vehicles":

Currently, the effects of powertrain hybridization on the operation and emission behaviour of combustion engines are not considered in the emission type approval of engines used in heavy-duty commercial vehicles (HDV). Dependent on the hybrid system's design, engine operation can differ distinctly from the current WHTC type approval test cycle. These deviations can lead to an emission behaviour in the type approval

# CONFERENCE DOCUMENTATION

All lectures presented at the 36<sup>th</sup> International Vienna Motor Symposium are contained, in their in extenso versions, in the VDI progress reports, series 12, no. 783, 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).

### INVITATION

The 37th International Vienna Motor Symposium will be held on April 28th and 29th, 2016 in the Conference Centre of the Vienna Hofburg. We should like to invite you to this Symposium already now. We urgently recommend that you apply in good time once the programme has been published on the internet (from 9th December 2015). Proposals for lectures, including a brief abstract, may be submitted forthwith.

test which is no longer representative of real-world operation.

As part of the Draft Amendment 3 to Global Technical Regulation No. 4, two test procedures were developed for internal combustion engines which allow testing of the entire hybrid powertrain used in heavy-duty commercial vehicles.

This paper describes the newly developed test procedures and illustrates the accompanying measures that are necessary in order to allow a comparison of test procedures for engines in HDVs with conventional powertrains and their respective emission limits.

Dipl.-Ing. D. Zechmair, Dipl.-Ing. M. Forissier, Dipl.-Ing. W. Fabre, Dipl.-Ing. D. Durrieu, Dipl.-Ing. C. Cherreau, Dipl.-Ing. S. Potteau, Valeo, Pontoise: "Valeo Electric Supercharger: A New Technology Enabler for a Wide Array of Efficient and Performing Powertrain Applications":

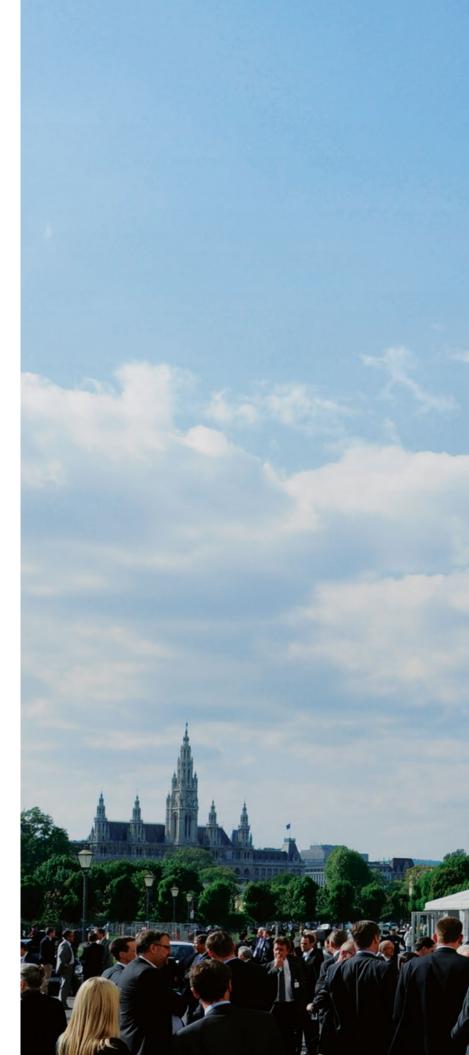
Advanced boosting offers a solution to the problems associated with engine downsizing and larger turbochargers. Furthermore, electrically driven compressors open up new options for higher engine efficiency and modular concepts and systems.

In this paper, Valeo presents the fundamental and unique features of its electric supercharger with a focus on its potential applications and their impact on the engine as a whole. Modular engine concepts can be implemented by means of different vehicle electric systems for both the traditional 12 V and the more advanced 48 V unit. Each of these architectures shows a different cost/CO<sub>2</sub> benefit ratio. Valeo gives some examples of additional benefits (e.g. coasting) that can be achieved.

## CONTACT

Austrian Society of Automotive Engineers (ÖVK)
A-1010 Vienna
Elisabethstrasse 26
Tel. + 43/1/5852741 - 0
Fax + 43/1/5852741-99

E-Mail: info@oevk.at Homepage: www.oevk.at







# 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

