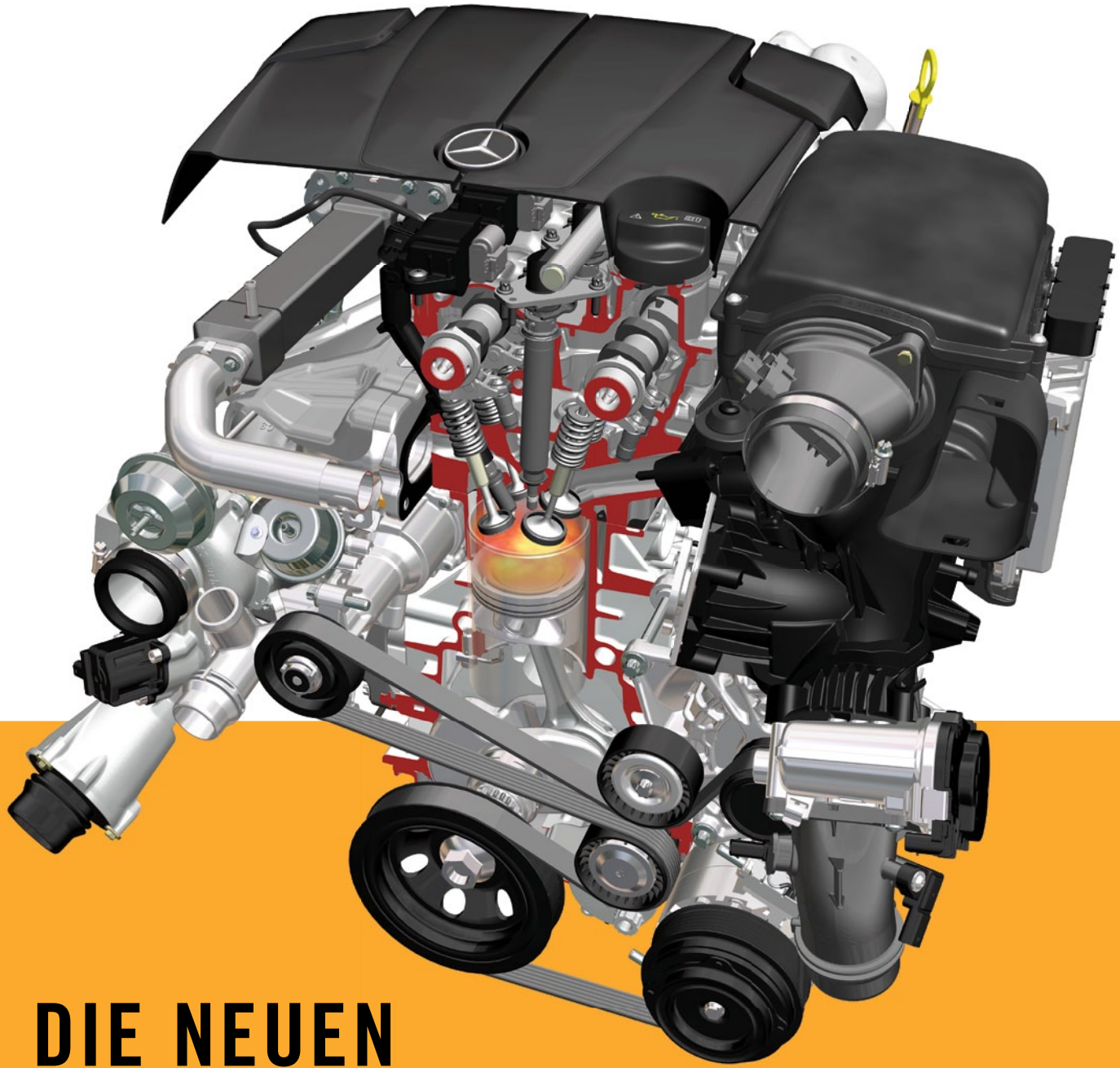


DIE NEUEN VIERZYLINDER-OTTOMOTOREN VON MERCEDES-BENZ

Mit den Vierzylinder-BlueDirect-Ottomotoren M270 und M274 hat Mercedes-Benz eine komplett neue Motorenfamilie entwickelt. Diese zeichnet sich durch ein Höchstmaß an Effizienz, Dynamik und Flexibilität aus. Marktspezifische CO_2-Technologien im Antriebsstrang gewährleisten in Abhängigkeit von der Infrastruktur optimale Verbrauchswerte.

AUTOREN

ING. MARIO MÜRWALD
ist Leiter Ottomotoren und Hybrid-Powertrain bei der Daimler AG in Stuttgart.

DIPL.-ING. ROLAND KEMMLER
ist Projektleiter Vierzylinder-Ottomotoren bei der Daimler AG in Stuttgart.

DIPL.-ING. ANTON WALTNER
ist Leiter der Verbrennungsentwicklung und Applikation Vierzylinder-Ottomotoren bei der Daimler AG in Stuttgart.

DIPL.-ING. FRITZ KREITMANN
ist Leiter Konstruktion und Mechanikentwicklung Vierzylinder-Ottomotoren bei der Daimler AG in Stuttgart.

DIE VIERZYLINDER-MOTORENFAMILIE IM QUER- UND LÄNGSEINBAU

Ende November 2011 wurde die neue Vierzylinder-Motorenfamilie für den Quer- und Längseinbau mit der internen Bezeichnung M270/M274, ❶, mit Piezo-Direkteinspritzung erstmalig von Mercedes-Benz im Markt eingeführt. Die Flexibilität bezüglich Einbauorientierung ermöglicht den Einsatz der Motorenfamilie in allen Fahrzeugsegmenten. Die Abdeckung eines breiten Leistungsspektrums wird durch die beiden Hubraumvarianten mit 1,6 und 2,0 l erreicht.

Viele Technologiebausteine der Vierzylinder-Motorenfamilie wurden von den Sechs- und Achtzylinder-BlueDirect-Motoren übernommen, ❷ [1]. Die Kombination aus Mercedes-Benz-Direkteinspritzung mit Piezoinjektoren, der optimalen Turboauslegung und einem konsequent reibungsreduzierten Grundmotor erfüllt die höchsten Anforderungen an Agilität, Verbrauch und Komfort. Um selbst anspruchsvollste CO_2-Ziele erfüllen zu können, wird dieses Hochleistungs-Basistechnologieportfolio, in Abhängigkeit von marktspezifischen Gegebenheiten, durch drei unterschiedlich wirkende Verbrauchstechnologien ergänzt.

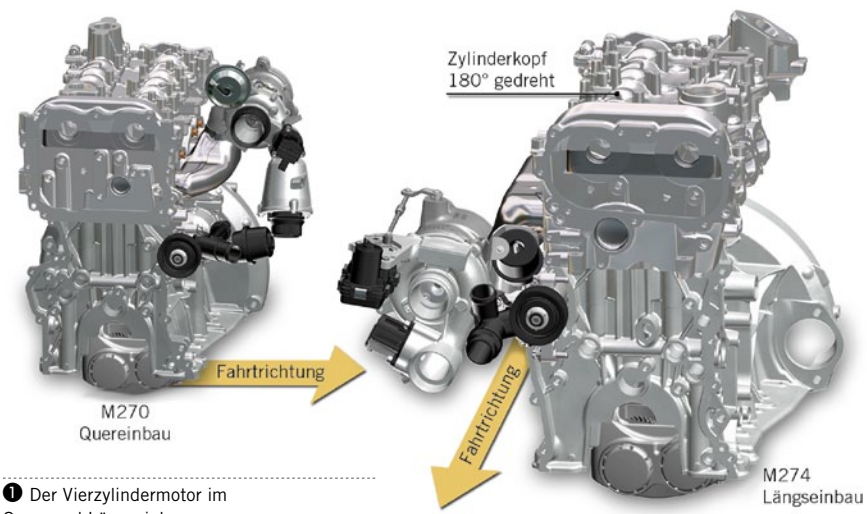
Die beiden Verbrauchstechnologien Camtronic und Magerverbrennung wurden in dieser Motorenfamilie bereits in Serie eingeführt. Den dritten wichtigen Meilenstein markiert die Einführung der Erdgasvariante NGD (Natural Gas Drive). Ende 2013 startet die Serienproduktion der E-Klasse NGD.

Die Verwendung eines flexibel einsetzbaren, innovativen Technologieportfolios mit der Zielsetzung einer nachhaltigen Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs bei Einhaltung der weltweit unterschiedlichen Markt- und Gesetzesanforderungen stellt die Zukunftsfähigkeit dieser neuen Motorenfamilie sicher. Zudem bildet dies die Basis für eine höchst effiziente und souveräne Leistungsfähigkeit des Antriebs.

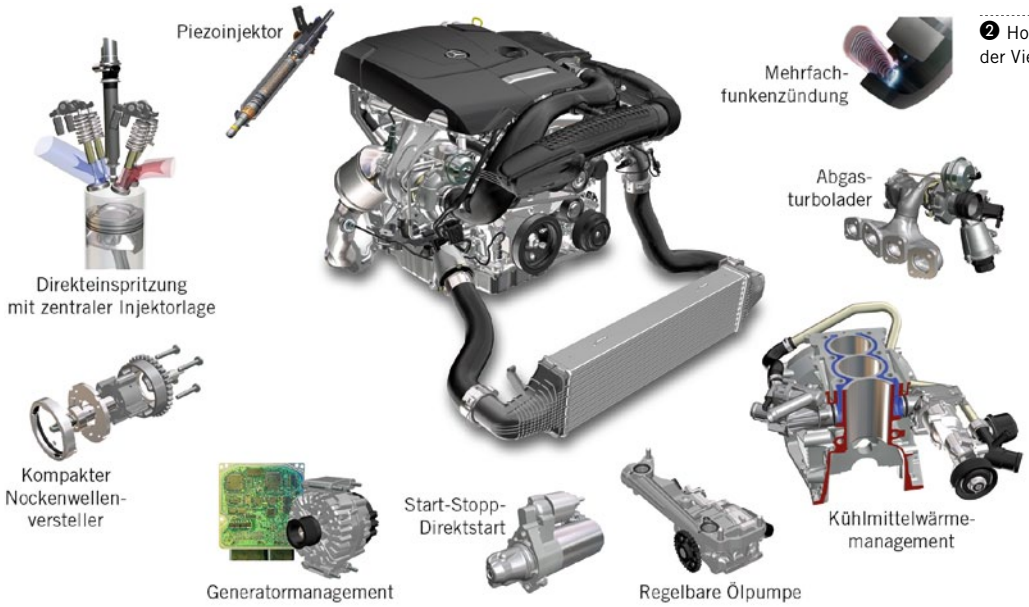
MOTORKONSTRUKTION UND -MECHANIK

Die Entwicklungsziele für das Zylinderkurbelgehäuse aus Aluminium-Druckguss und das Triebwerk beinhalteten eine signifikante Gewichtseinsparung, eine weitere Reduzierung der Triebwerksreibung und die Einführung einer neuen Querstromkühlung. Die Reibung des Triebwerks und des Kettentriebs wurde im Vergleich zum Vorgänger der M270/M274-Motorenfamilie erheblich reduziert. Beim Triebwerk konnte die Reibung um 16 % und beim Kettentrieb um 9 % reduziert werden [1].

Die Gestaltung der Aufladegruppe hinsichtlich Leistung bei geringen Drehzahlen (Low-end Torque) ist bei beiden Hubraumvarianten der Motorenfamilie sehr gut gelungen. Der 2,0-l-Motor erreicht das maximale Drehmoment von 350 Nm bereits bei einer Drehzahl von 1200/min. Das hohe Drehmoment bei niedrigen Lasten erfordert jedoch eine besondere Betrachtung der Brummigkeit des Motors in diesem Drehzahlbereich. Zur Reduzierung des NVH-Niveaus wird ein extrem



❶ Der Vierzylindermotor im Quer- und Längseinbau



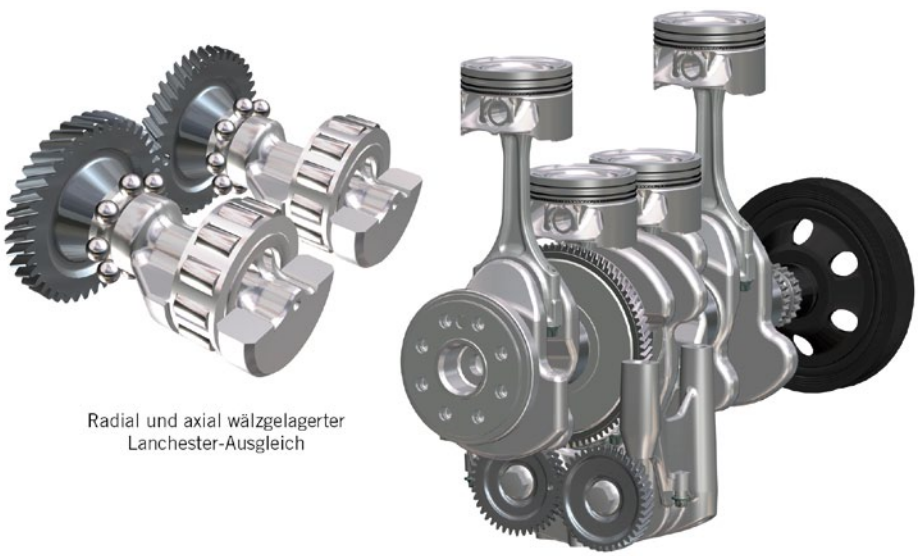
❷ Hochleistungs-Basistechnologieportfolio der Vierzylinder-BlueDirect-Motoren

kompaktes Lanchester-Modul zum Ausgleich der Massenkräfte zweiter Ordnung eingesetzt, ❸. Der Einsatz des Moduls erfordert keine Modifikationen am Grundmotor. Es wird als komplette Einheit von unten gegen den Kurbelwellenlagerstuhl geschraubt. Zur Vermeidung von Panschverlusten im Ölsumpf ist das Modul komplett gekapselt.

Angesichts der hochgesteckten Verbrauchsziele ist das Lanchester-Modul vollständig wälzgelagert. Erstmalig in einer Großserie ist sowohl die Radiallagerung über Rollenlager als auch die Axiallagerung über Schrägkugellager dargestellt. Damit konnten die Reibleistungswerte des Lanchesters im betriebswarmen Zustand um 48 % im Vergleich zum Vorgänger reduziert werden.

BRENNVERFAHREN

Das BlueDirect-Brennverfahren von Mercedes-Benz wurde erstmals im Jahr 2006 mit dem CLS 350 eingeführt. In den Folgejahren ist das Brennverfahren sukzessive ausgerollt worden und gehört seit 2012 bei sämtlichen neuen Ottomotoren zum Standardumfang bei Mercedes-Benz. Hauptmerkmal ist der zentral im Brennraum angeordnete Piezoinjektor mit seiner nach außen öffnenden Düse und der in definiertem Abstand Richtung Auslassventile platzierten Zündkerze, ❹. Die ultraschnelle Betätigung der Düsennadel des Piezoinjektors für eine Mehrfacheinspritzung mit kleinsten Einspritzmengen pro Arbeitsspiel, die sehr gute Gemischaufbereitung der A-Düse mit 200 bar Kraftstoffdruck und die äußerst lineare Mengenkennlinie mit hohem statischen Durchfluss (Q_{stat}) ermöglichen den Einsatz eines einzigen Injektorbaumusters über alle Ottomotoren hinweg. Zusammen mit der Mehrfachzündung bilden diese Eigenschaften die Basis für eine partikelarme Verbrennung, eine Kaltstartfähigkeit auch mit hohen Ethanolgehalten, ein verbrauchsoptimales Katheizen sowie eine Reihe weiterer Vorteile.



❸ Vollwälzgelagertes Lanchester-Massenausgleichsmodul

DREI MARKTSPEZIFISCHE TECHNOLOGIEN ZUR CO_2-REDUZIERUNG

Das BlueDirect-Brennverfahren und die bereits aufgeführten Basistechnologiebausteine sind die Grundlage für minimalen Kraftstoffverbrauch. Mit der Einführung des M274 sind drei Verbrauchs- beziehungsweise CO_2-Technologien entwickelt worden, ❺, die in Abhängigkeit von Marktgegebenheiten beziehungsweise der Kundennachfrage eingesetzt werden. Die Ventilhubumschaltung mittels Camtronic dient ausschließlich der

PIERBURG

12%

Bis zu 12 % Verbrauchsreduktion

OB UNIVALVE ODER FLEXVALVE:

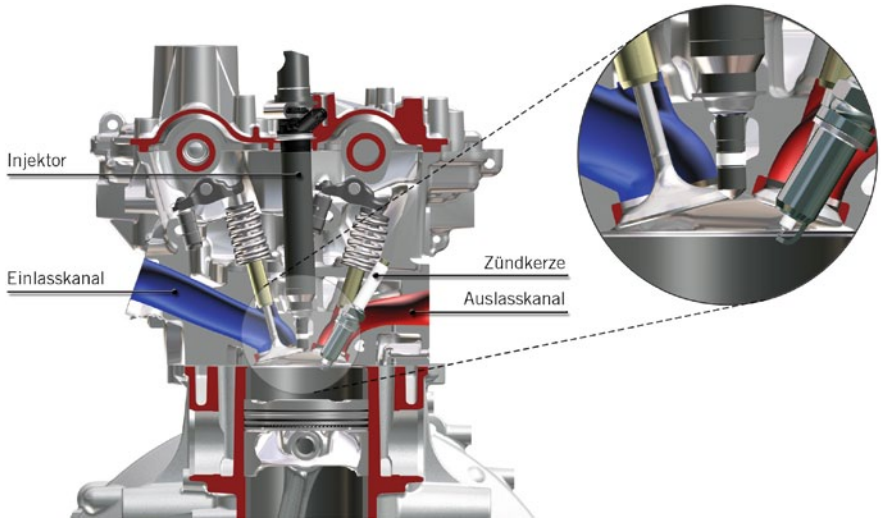
BEI UNS GIBT'S AUF BEIDE PROZENTE.

100%

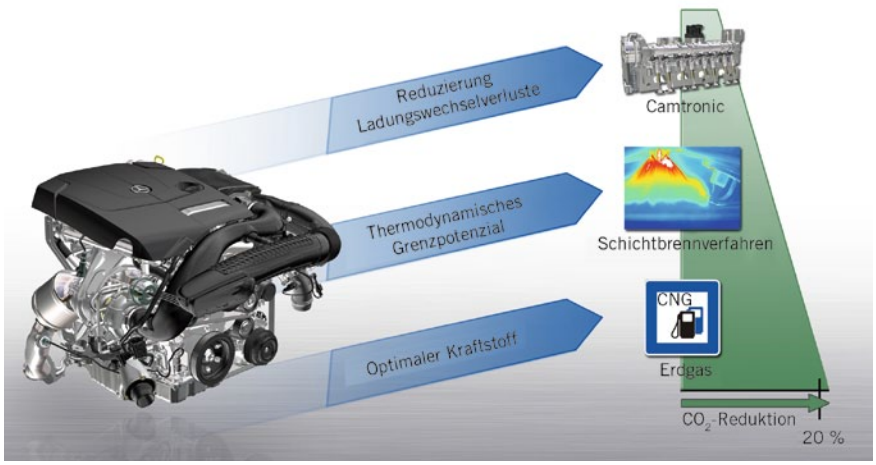
mehr Flexibilität

Minimaler Verbrauch, maximale Leistung; weniger Abgas, mehr Flexibilität. Die Anforderungen an unsere zukünftige Mobilität sind komplex. Zu komplex für nur eine Lösung. Deshalb bieten wir Ihnen zwei Variable Ventiltrieb-Systeme. UniValve sorgt im Ottomotor für einen sinkenden Verbrauch. FlexValve ermöglicht im Dieselmotor ein effizienteres Abgasmanagement bei maximaler Flexibilität. Und beide bringen Ihre Entwicklung hin zum Antrieb der Zukunft deutlich voran. **www.kspg.com**

KSPG
Automotive



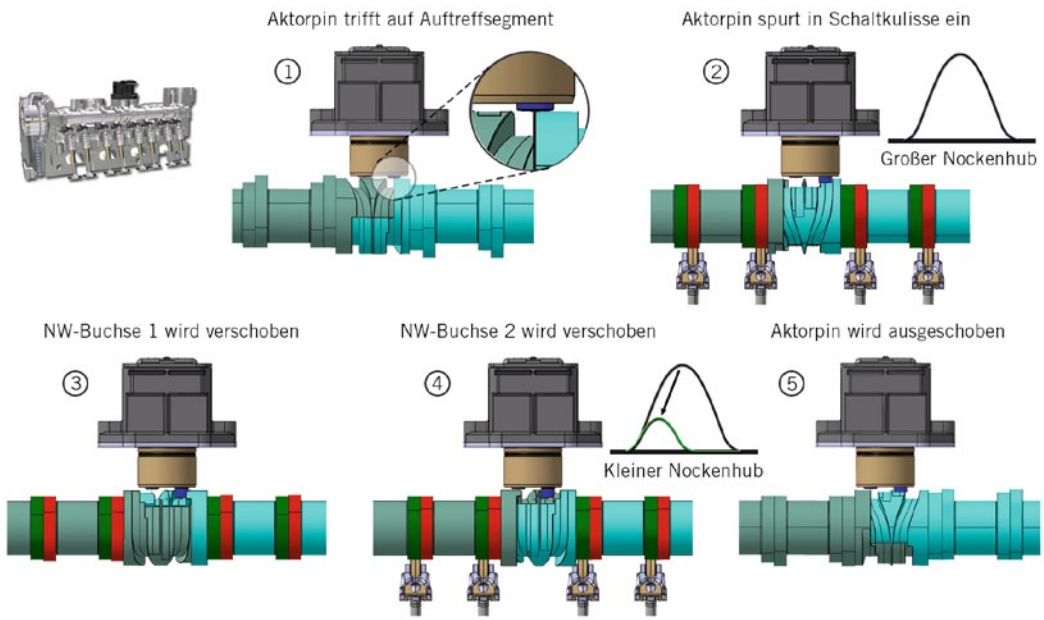
❹ BlueDirect-Brennverfahren



❺ Drei marktspezifische CO_2-Technologien

Reduzierung der Ladungswechselverluste. Mit der Schichtverbrennung wird darüber hinaus auch der Hochdruckwirkungsgrad deutlich verbessert, womit im Benzinbetrieb das Grenzpotenzial des Ottomotors nahezu erreicht ist. Erdgas (CNG, Compressed Natural Gas) bietet allein über die chemische Zusammensetzung enorme CO_2-Vorteile. Im Zusammenhang mit den günstigen Klopfeigenschaften ist CNG der ideale Kraftstoff für einen aufgeladenen Ottomotor.

Die CO_2-Potenziale wachsen von circa 3 bis 5 % mit der Camtronic bis auf über 20 % bei CNG-Betrieb. In der Darstellung in ⑤ steigt das CO_2-Reduktionspotenzial der Technologien von oben nach unten. Gegenläufig zum CO_2-Potenzial sinkt allerdings die Verfügbarkeit geeigneter Infrastruktur für diese Technologien auf dem Weltmarkt. Die CO_2-Technologie Schichtbrennverfahren benötigt schwefelarmen Kraftstoff. Dieser ist bislang jedoch nur in Europa und in Japan flächendeckend an den Tankstellen vorhanden. In den USA wird schwefelarmer Kraftstoff mittelfristig zur Verfügung stehen [2]. Die Verfügbarkeit von Erdgas auf den Weltmärkten ist sehr gut, allerdings spielt Erdgas bei der Verwendung als Kraftstoff aufgrund der gegenüber Benzin aufwendigeren Infrastruktur vorerst eher eine untergeordnete Rolle. Die modulare Bauweise erlaubt es, die verschiedenen Technologien relativ einfach an die sich verändernden Marktsituationen anzupassen.



❻ Technologieset Camtronic (mehr zur Camtronic von Mercedes-Benz unter http://youtu.be/Ks76D_EVfBE)

CO_2-REDUZIERUNG MITTELS VENTILHUBUMSCHALTUNG

Die Ventilhubumschaltung Camtronic stellt eine weltweit einsetzbare Verbrauchstechnologie dar, mit der sich ein Verbrauchs- beziehungsweise CO_2-Vorteil von 3 bis 5 % erzielen lässt. Die Nockenwellenbauweise auf der Einlassseite lässt eine Umschaltung von einem Normalnocken für den oberen Last-/Drehzahlbereich auf einen „kleinen“ Nocken für den Teillastbereich zu. ❻ veranschaulicht die mechanische Funktionsweise. Neben geringeren Reibungsverlusten auf dem kleinen Nocken mit einer maximalen Ventilerhebung von 3,8 mm liegt der Hauptvorteil in der Reduzierung der Ladungswechselverluste. Das frühe Einlass-Ende führt in einem relativ großen Kennfeldbereich zu einem nahezu drosselfreien Betrieb. Die Lastregelung erfolgt dabei ausschließlich über die kontinuierlich arbeitenden Nockenwellenphasenversteller. Eine große Herausforderung stellt die Umschaltung vom kleinen auf den großen Nocken und umgekehrt dar. Neben den hohen Komfortansprüchen sind vor allem Abgas- und Verbrauchsaspekte bei den Umschaltungen zu betrachten. Das BlueDirect-Technologiepaket erlaubt hier mit den enormen Freiheitsgraden der Einspritzzeiten und der Mehrfachfunkenzündung, im Zusammenwirken mit der Nockenwellenphasenverstellung, der Drosselklappe und der Ladedruckregelung, diese Forderungen voll zu erfüllen [4].

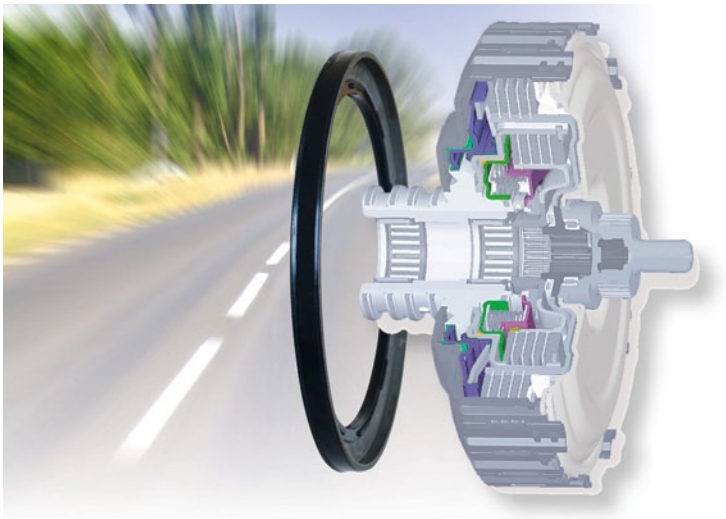
CO_2-REDUZIERUNG MITTELS SCHICHTBRENNVERFAHREN

Das Schichtbrennverfahren wurde für die Vierzylinder-Motorenfamilie erstmals in Kombination mit Turboaufladung entwickelt. Mit diesem Brennverfahren wird bei niedrigen Lasten das maximale thermodynamische Verbrauchspotenzial erreicht. Bislang ist der Einsatz des Schichtbrennverfahrens auf den europäischen und den japanischen Markt beschränkt. Mit einer flächendeckenden Verfügbarkeit von schwefelarmem Kraftstoff kann die Technologie auch auf weitere Märkte wie den US-Markt ausgerollt werden [2].

Beim Schichtbrennverfahren wird eine getaktete Kompressionshubeinspritzung eingesetzt. Bei dieser Taktung dient die letzte Einspritzung kurz vor der Zündung zur Stabilisierung der Gemisch- und Tur-

Schalten mit Mehrwert

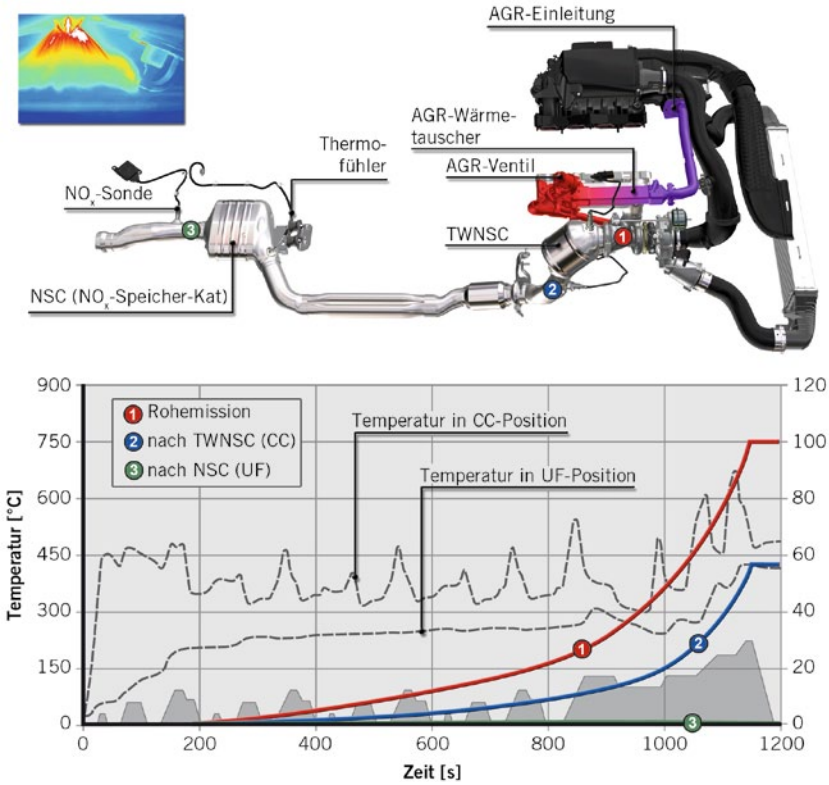
Optimale Schaltvorgänge und hohe Dauerfestigkeit



Höchste Druckbeständigkeit, gleichmäßig niedrige Reibung, optimale Hysterese – Schaltkolben von KACO bieten mehr als reine Dichtungs- und Lebensdauerfunktionen. Deutschlands größter Hersteller von Schaltkolben für Doppelkupplungen und moderne Automatikgetriebe liefert Lösungen mit Mehrwert. Ein Beispiel sind die millionenfach bewährten Verbundkolben aus AEM-Hochleistungselastomeren. Optimale Schaltvorgänge und eine hohe Dauerfestigkeit sind bei ihnen selbstverständlich.

Erfahren Sie mehr unter www.kaco.de

KACO GmbH + Co. KG
Rosenbergstraße 22
74072 Heilbronn/Germany
Telefon: +49 7131 636-334
Fax: +49 7131 636-418
vertrieb@kaco.de



❼ Abgasnachbehandlung für das Schichtbrennverfahren (CC: Closed-Coupled, motornah; UF: Unterflur) (mehr zum BlueDirect-Magerbrennverfahren von Mercedes-Benz unter http://youtu.be/6UHVjDwYOpA)

bulenzbedingungen. Dadurch werden stabil nahezu stöchiometrische Gemische im Funkenbereich erzeugt. In Kombination mit der Mehrfachfunkenzündung werden somit unter allen Last- und Drehzahlbedingungen beste Entflammungsbedingungen geschaffen. Der Schichtbetrieb umfasst Kennfeldbereiche von Leerlaufdrehzahl bis zu 3500/min und Mitteldrücke bis zu 5 bar effektiv (p_{me}). Dies entspricht ungefähr halber saugmotorischer Volllast.

Im Lastbereich oberhalb von 5 bar p_{me} wird die speziell für den Einsatz im aufgeladenen Vierzylindermotor weiterentwickelte Betriebsart HOS (Homogen-Schichtverbrennung) eingesetzt. Hier wird eine Kombination aus Saughubeinspritzung und einer späten Kompressionshubeinspritzung in Kombination mit Aufladung genutzt, um den mageren Betriebsbereich bis zur Saugvolllast auszuweiten. Der darüber liegende Lastbereich wird stöchiometrisch betrieben, da die Drosselklappe bereits voll geöffnet ist.

Beim Einsatz des Schichtbrennverfahrens werden aufgrund der auftretenden niedrigen Abgastemperaturen im Fahrzyklus hohe Herausforderungen an die Abgasnachbehandlung bezüglich System- und Katalysatorleistung gestellt. Hierfür wurde für die neuen BlueDirect-Vierzylindermotoren mit Turboaufladung die in ❼ (oben) dargestellte Konfiguration der einflutigen Abgasanlage entwickelt. Durch die konsequente Weiterentwicklung des motornahen Katalysators wird erstmalig eine neue Technologie in Serie eingeführt, welche neben der Dreiwege-Funktionalität auch die NO_x-Einspeicherung unter mageren Abgasbedingungen ermöglicht. Dabei handelt es sich um einen Dreiwege-Stickoxidspeicherkatalysator (TWNSC). Dieser unterstützt das NO_x-Management im Magerbetrieb bei niedrigen Motorlasten und den damit verbundenen niedrigen Abgastemperaturen, ⑦ (unten). Darüber hinaus verfügt der TWNSC über ein hohes HC-Verminderungspotenzial bei niedrigen Abgastemperaturen. Durch die Weiterentwicklung des im Unterboden angeordneten Stickoxidspeicherkatalysators (NSC) konnte eine weitere Verbreiterung des NO_x-Einspeicherfensters bei gleichzeitiger Verbesserung der Entschwefelbarkeit bei niedrigen Temperaturen erzielt werden. Neben der Verbesserung der NO_x-Umsetzung konnte eine Verminderung des Edelmetallgehalts um 30 % gegenüber in Serie befindlichen NO_x-Speicherkatalysatoren realisiert werden. Somit wurden die Gesamtsystemkosten entscheidend reduziert.

CO_2-REDUZIERUNG MITTELS CNG

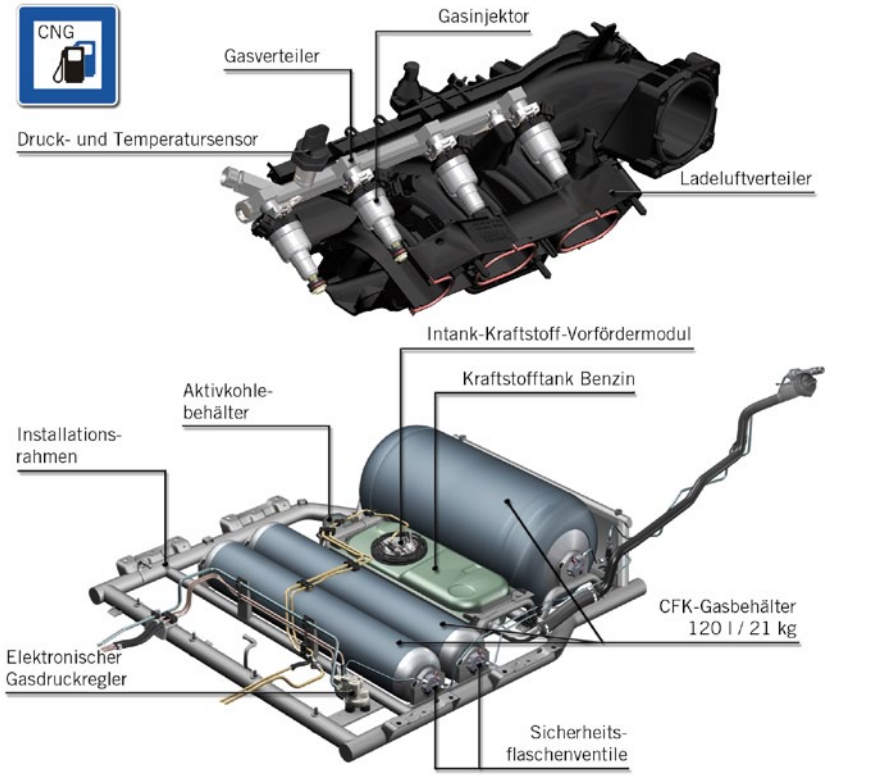
Neben den CO_2-Technologien Camtronic und Schichtbrennverfahren wurde die Motorenfamilie zusätzlich um die CNG-Fähigkeit erweitert. Die Entwicklung von umweltfreundlichen Erdgasmotoren hat bei Mercedes-Benz eine erfolgreiche Tradition in der E-Klasse. Insbesondere Taxi- und andere Flottenbetreiber schätzen die niedrigen Betriebskosten dieser Fahrzeuge im Gasbetrieb, bei gleichzeitig sehr hohen Gesamtreichweiten durch den zusätzlich vorhandenen Benzinmodus. Bei der bivalenten Erdgasvariante wurde ein hoher Verblockungsgrad zum Komponentenbaukasten der BlueDirect-Motoren umgesetzt.

ANPASSUNG DER MOTORKOMPONENTEN AN DEN CNG-BETRIEB

Der Betrieb mit CNG macht folgende Modifikationen am Triebwerk erforderlich:

- Anpassung des Abgasturboladers
- Kolben mit angehobener Verdichtung und beschichteten Ringträgern
- Zylinderkopf mit geändertem Sitzring- und Ventilwerkstoff.

Zur Einblasung von CNG wurde der Ladeluftverteiler im Bereich der Saugarme zur Aufnahme von je einem Gaseinblasventil pro Zylinder modifiziert und mit entsprechenden Düsentassen versehen, ❽ (oben). Die Gaseinblasventile werden kurzzeitig mit sehr hohen Stromstärken von bis zu 6 A (Peak-and-Hold-Ansteuerung) betrieben. Dies hat den Vorteil, dass noch bei sehr tiefen Außentemperaturen von bis zu -25 °C sicher gestartet werden kann. Zum Schutz anderer Komponenten, beispielsweise des Druckreglers, wird jedoch der reine Erdgasstart nur bis -15 °C freigegeben. Darunter erfolgt ein Benzinstart mit einer kühlwasser- und gastemperaturabhängigen automatischen Freigabe des Gasbetriebs.

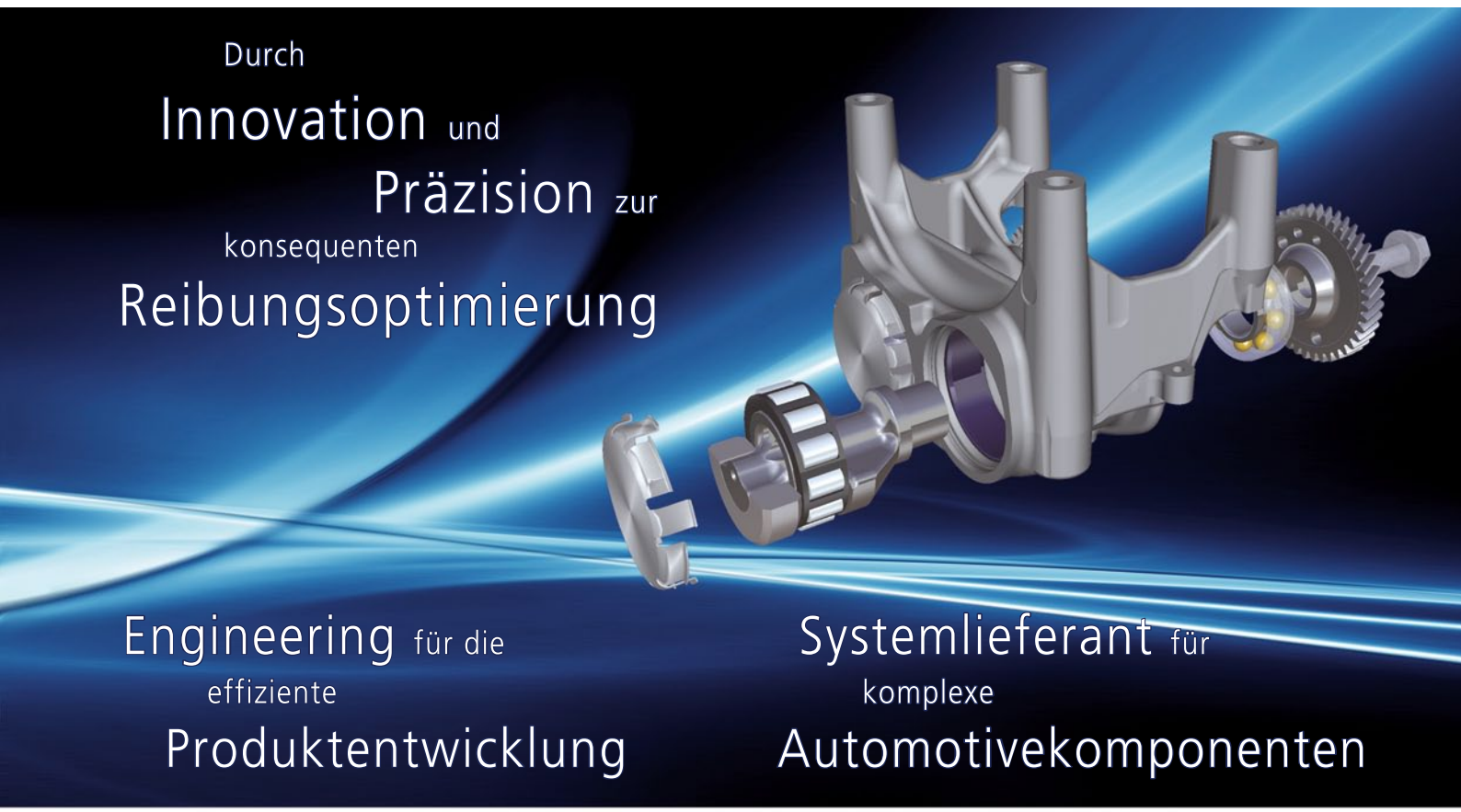


❽ Ladeluftverteiler mit Gaseinblasdüsen (oben) und das Erdgastankmodul (unten)

MOTORSTEUERUNG UND CNG-KOMPONENTENVERNETZUNG

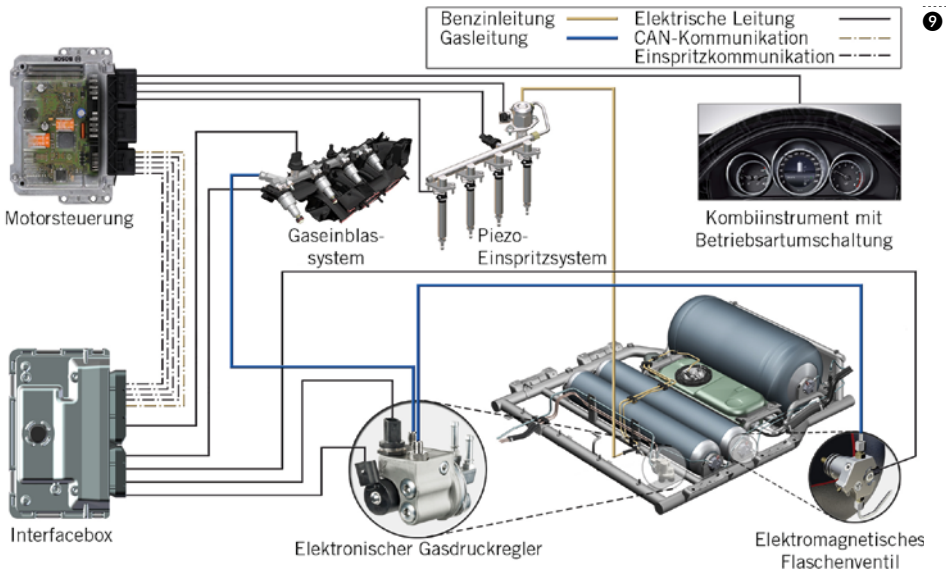
Beim M270/M274 kommt die Motorsteuerung MED17.7 von Bosch zum Einsatz. Aufgrund des modularen BlueDirect-Komponentenpakets ist sie mit den noch zur Verfügung stehenden freien Ein- und Ausgängen nicht in der Lage, alle CNG-Komponenten wie Flaschenventile, Druckregler oder Gaseinblasventile anzusteuern. Darüber hinaus hätte die Endstufenintegration für die Gaseinblasventile eine tiefgreifende Architekturanpassung in der Hardware der Motorsteuerung bedeutet.

Die Lösung konnte durch die bei Gasfahrzeugen von Mercedes-Benz im leichten Nutzfahrzeug- und im Pkw-Bereich bisher durchgängig zur Anwendung kommende Hardwaretopologie dargestellt werden. Dabei fungiert eine Interfacebox als Port-Expander. Eine Übernahme der Motorsteuergeräte-Hardware des bestehenden Benzinfahrzeugs als Gleichteilkomponente war damit möglich, ❾.



HERZOG INTERTEC GmbH
D – 78601 Mahlstetten
www.herzog-intertec.de

Schmidt Maschinenbau GmbH
D – 73463 Westhausen
www.schmidt-cnc.de



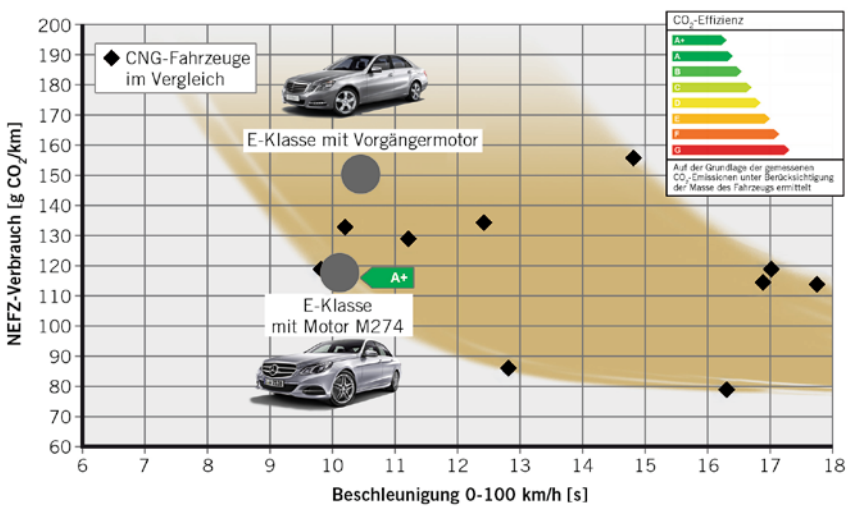
❾ Hardwaretopologie

Um jedoch die erhöhten Anforderungen an Funktionalität und Eigensicherheit zu erfüllen, wurde die Interfacebox der Firma Continental in einer 32-Bit-Architektur mit einer eigenen Überwachungsebene neu entwickelt. Die Zukunftsfähigkeit wurde bereits in der Entwicklungsphase in Form einer sechskanalig ausbaubaren Platinenauslegung durch Bestückoption berücksichtigt.

Alle Gasfunktionalitäten, einschließlich der getrennten Fehlerspeicherverwaltung für beide Betriebsarten, laufen komplett in der Motorsteuerung. Dagegen werden alle Gaskomponenten einschließlich der Regelkreisansteuerung für den elektronischen Druckregler aus der Interfacebox bedient. Innerhalb der Interfacebox laufen alle elektrischen Diagnosen der einzelnen Gaskomponenten. Über einen eigenen CAN werden mögliche Fehlereinträge sowie die Sensorwerte der Motorsteuerung als Rohdaten mitgeteilt. Die Motorsteuerung ihrerseits übermittelt die CNG-Freigabe sowie die Drucksollvorgabe für den einzustellenden Gasdruck. Über vier zusätzliche Steuerkanäle wird ein digitales Signal von der Motorsteuerung zur Ansteuerung der Gaseinblasinjektoren an die Interfacebox gesendet. Die unabhängige Ansteuerung der Piezoinjektoren der Benzindirekteinspritzung erfolgt ebenfalls durch die Motorsteuerung.

Der klopffeste Kraftstoff Erdgas ermöglicht trotz des angehobenen Verdichtungsverhältnisses von 9,8:1 auf 11:1 im gesamten Kennfeld einen Betrieb unter idealer Verbrennungsschwerpunktlage von 8 bis 10 °KW nach OT. Das frühe Verbrennungsende und die verlängerte Expansion führen zu äußerst geringen Abgastemperaturen. In Verbindung mit der Wärmesenke des Abgasturboladers liegt das Abgastemperaturniveau in der Volllast deutlich unter der zulässigen Katalysatorgrenztemperatur. Im Bestpunkt kann ein spezifischer Verbrauch von 195 g/kWh im CNG-Betrieb ausgewiesen werden. Durch das günstige C-H-Verhältnis des Methanmoleküls CH_4 in Kombination mit den idealen Verbrennungseigenschaften wird im Vergleich zum Benzinbetrieb deutlich weniger CO_2 emittiert. So erreicht beispielsweise die E-Klasse einen NEFZ-Verbrauch von 116 g CO_2/km und erhält damit ein A+ Label als Verbrauchszertifikat.

Die Summe aller Motor- und Fahrzeugmaßnahmen ergeben bei der E-Klasse im



❿ Fahrleistung und Verbrauch der E-Klasse NGD im Wettbewerbsvergleich

Vergleich zum Vorgängerfahrzeug Verbrauchseinsparungen bis zu 22 % bei gleichzeitiger Verbesserung der Beschleunigung. Mit diesen Werten liegt die E-Klasse im Wettbewerbsvergleich deutlich am unteren Ende des Streubands, ⑩ [3].

FAZIT UND WEITERENTWICKLUNG

Die Vierzylinder-Motorenfamilie M270/M274 ist durch die flexibel einsetzbaren Verbrauchstechnologien Camtronic, Schichtbrennverfahren und Erdgasfähigkeit hervorragend gerüstet. Mercedes-Benz verfolgt aufgrund der künftig strengeren CO_2-Gesetzgebungen weltweit zwei strategische Stoßrichtungen: Auf der einen Seite wird der Einsatz der Technologien Schichtbrennverfahren und CNG in weiteren Märkten angestrebt [2]. Diese infrastrukturelle Herausforderung kann nur bei einer ausreichenden Verfügbarkeit von geeignetem Kraftstoff erreicht werden. Auf der anderen Seite kann die gute Basis der konventionellen Vierzylinder-Ottomotorenfamilie bei sich verschärfenden CO_2-Gesetzgebungen durch eine Hybridisierung des Triebstrangs weiter optimiert werden.

DANKE

Die Autoren danken Guido Vent, Dr. Norbert Merdes, Dr. Ralph Weller, Helmut Herwig, Dr. Rolf Wunsch, Klaus Wunderlich und Jens Virnekäs, alle Daimler AG, für ihre Unterstützung bei der Erstellung dieses Beitrags.

LITERATURHINWEISE

[1] Merdes, N.; Enderle, C.; Vent, G.; Kreitmann, F.: Der neue R4-Ottomotor mit Turboaufladung von Mercedes-Benz. 20. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, 2011

[2] Enderle, C.; Kemmler, R.; Vent, G.; Waltner, A.: Der magerbetriebene Ottomotor – ein Konzept für den weltweiten Einsatz. 34. Internationales Wiener Motorensymposium, 2013

[3] Wunderlich, K.; Waltner, A.; Merdes, N.; Vent, G.; Kreitmann, F.; Weller, R.: Die neue CNG-Motorengeneration von Mercedes-Benz aus der M270/M274-BlueDirect-Motorenfamilie. 22. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, 2013

[4] Merdes, N.; Pätzold, R.; Ramsperger, N.; Lehmann, H.G.: Die neuen R4-Ottomotoren M270 mit Turboaufladung. In: ATZextra 17 (2012), Nr. 4, S. 58-63

[5] Vent, G.; Enderle, C.; Merdes, N.; Kreitmann, F.; Weller, R.: The New 2.0-l Turbo Engine from the Mercedes-Benz 4-Cylinder Engine Family. 21. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, 2012

[6] Lückert, P.; Doll, G.; Waltner, A. et al.: BlueDirect – Das Innovative Technologiekonzept der Ottomotoren bei Mercedes-Benz. 11. Internationales Stuttgarter Symposium Automobil und Motorentechnik, 2011

[7] Wunsch, R.; Schön, C.; Vent, G.; Hoyer, R.; Dufour, D.; Eckhoff, S.: Exhaust Gas Aftertreatment for BlueDirect Gasoline Engines with Lean Combustion – Potential for Future Applications. 21. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, 2012

DOWNLOAD DES BEITRAGS
www.springerprofessional.de/MTZ

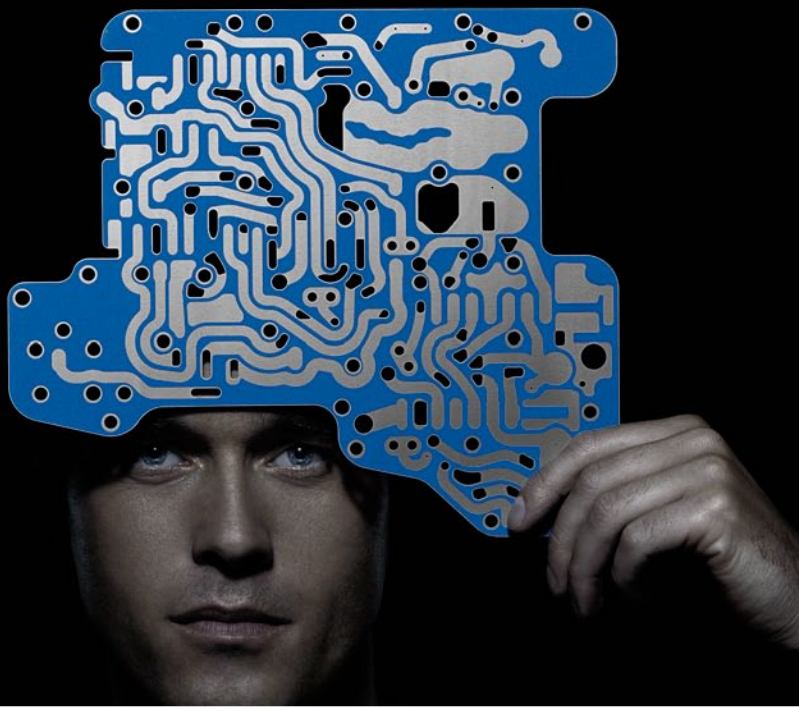
READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
order your test issue now:
springervieweg-service@springer.com

Unsere Dichtungssysteme bestehen aus:

Metall, Elastomer und ...

100% Innovation
COMMITMENT

... fordern Sie uns!



www.reinz.com

DANA VICTOR REINZ®
Sealing Products