

Technologie des moteurs d'aujourd'hui et de demain

De quelles technologies de moteurs disposons-nous aujourd'hui? Et qu'en sera-t-il demain? Pour répondre à ces questions, faisons un petit retour en arrière. Depuis 20 ans, en effet, l'évolution technologique des moteurs a été fortement marquée par des prescriptions de plus en plus strictes sur les gaz d'échappement. De l'instauration d'EURO 1 à la norme EURO 5 en vigueur aujourd'hui, par exemple, la valeur maximale légale pour les oxydes d'azote (NOx) a été abaissée de 75 %, celle des particules (PM) de plus de 80 %.

Evolution de la législation sur les gaz d'échappement

Les exigences futures seront encore plus sévères: pour atteindre la norme EURO 6 sur les véhicules utilitaires routiers tels que poids lourds ou machines communales, ces valeurs devront encore être plus que divisées par deux, celle d'oxydes d'azote même réduite de 80 % ! De plus, les moteurs EURO 6 devront remplir ces critères pendant au moins sept ans ou 700'000 km en toutes conditions, ce qui fera l'objet de contrôles aléatoires. Même les normes sur les gaz d'échappement pour les applications hors route, valables entre autres pour les machines agricoles et les engins de chantier, sont amenées à se durcir. Pour passer de la norme de niveau 3B en vigueur à la norme de niveau 4, il faudra en particulier réduire de 88 % la valeur d'oxydes d'azote. Cela requiert une technologie de pointe, adaptée à la complexité croissante du traitement des gaz d'échappement. Il devient aussi de plus en plus difficile de satisfaire aux différentes exigences en termes de consommation de carburant, de kilométrage, de fiabilité et de longévité.

Développements techniques répondant aux prescriptions sur les gaz d'échappement

Le traitement des gaz d'échappement des moteurs EURO 5 / niveau 3B actuels nécessite des mesures internes et externes au moteur, les mesures internes seules créant un conflit d'objectif entre NOx et PM: la réduction des oxydes d'azote (NOx) et celle des émissions de particules (PM) se font concurrence.

Pour optimiser la combustion interne, par exemple, on utilise le système de recyclage des gaz d'échappement (EGR), qui réintroduit une partie des gaz d'échappement, refroidis ou non, dans l'admission du moteur. Par ce système, une partie de l'air frais aspiré est enrichi de gaz d'échappement, ce qui réduit l'excédent d'oxygène dans les cylindres. Cela entraîne une baisse des pointes locales de température de combustion et donc celle des valeurs d'oxydes d'azote (NOx) dans les gaz d'échappement. Inconvénient de ce processus: l'émission accrue de particules, qui devra être compensée par un filtre à particules, autrement dit une mesure externe au moteur.

Le système de filtre à particules fermé capture d'abord les particules contenues dans les gaz d'échappement dans une structure cellulaire particulière, avant de les brûler en continu (auto-régénération). Le filtre peut, en plus, être précédé d'un catalyseur, ce qui assure une élimination quasi-totale des émissions de particules.

Dans le secteur des voitures de tourisme comme pour les véhicules utilitaires et les machines agricoles, on utilise majoritairement des systèmes de filtres fermés à régénération passive. De plus, la plupart des fabricants proposent des instruments auxiliaires pour la régénération active, par exemple un injecteur supplémentaire devant le filtre à particules ou des injections secondaires réglées par le module de commande, qui génèrent la température nécessaire à la combustion des particules. Ces instruments réagissent activement aux modifications durant la marche du moteur (variation de la



Motorentec

Über welche Motorentechnologien verfügen wir heute? Und was wird in der Zukunft gefragt sein? Um den Antworten auf diese Fragen näher zu kommen, machen wir einen kleinen Schritt in die Vergangenheit, denn seit 20 Jahren ist die Entwicklung in der Motorentechologie stark geprägt von den immer strenger werdenden Abgasvorschriften. So ist beispielsweise seit der Einführung von EURO 1 bis zur heute geltenden Norm EURO 5 der gesetzliche Höchstwert für Stickoxide (NOx) um 75% gesenkt worden, jener der Partikel (PM) um über 80%.



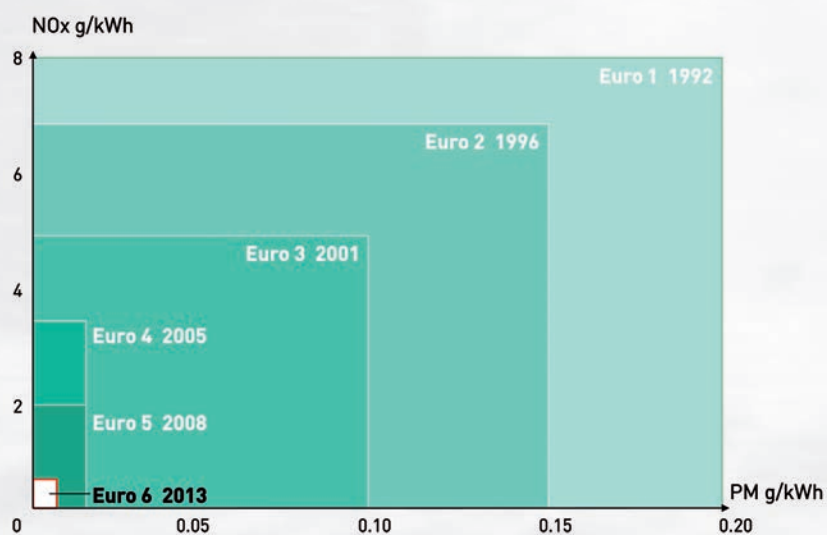
Technologie heute und morgen

Gesetzliche Entwicklung der Abgasvorschriften

Die zukünftigen Anforderungen sind noch strenger: Zur Erreichung der Abgasnorm EURO 6 für On-Road-Nutzfahrzeuge wie LKWs oder Kommunalmaschinen, müssen diese Werte nochmals mehr als halbiert werden, der Stickoxid-Wert sogar um 80% reduziert! Zusätzlich müssen EURO 6-Motoren diese Vorgaben während mindestens sieben Jahren oder 700'000 Kilometer unter allen Einsatzbedingungen erfüllen, was stichprobenartig geprüft werden wird. Auch die Abgasnormen für Non-Road-Anwendungen, die unter anderem für Land- und Baumaschinen gelten, werden immer strenger.

Überblick der Abgasreduktion nach Euro-Norm

Un aperçu de la réduction des gaz d'échappement selon la norme Euro



charge ou autres conditions environnementales) et empêchent ainsi continuellement l'obstruction du filtre à particules.

En principe, sur une longue durée de marche du moteur, il est souhaitable que la part de régénération passive soit la plus élevée possible, autrement dit sans intervention d'aucune aide à la régénération. C'est plus économique et demande moins d'entretien que des instruments supplémentaires de régénération active.

Le traitement des gaz d'échappement selon EURO 6 / niveau 4

Pour satisfaire à la norme EURO 6 / niveau 4 sur les gaz d'échappement, les composants utilisés dans les moteurs EURO 5 / niveau 3B vont être encore perfectionnés et, pour certains, complétés par de nouveaux systèmes, notamment le SCR (réduction catalytique sélective), déjà très répandu chez les poids lourds.

La technologie SCR s'est généralisée auprès de tous les grands constructeurs de véhicules utilitaires pour atteindre les valeurs limites des gaz d'échappement, car elle présente de grands avantages en termes de réduction des émissions d'oxydes d'azote et d'économies de carburant.

Le SCR est une réaction chimique faisant intervenir l'additif à base d'urée AdBlue. Une pompe amène la solution AdBlue du réservoir dédié à l'unité de dosage où elle est mélangée au flux de gaz d'échappement en fonction de la charge du moteur et donc des émissions d'oxydes d'azote. La chaleur des gaz provoque une hydrolyse. L'urée liée dans AdBlue se décompose en ammoniac (NH_3), qui peut alors être envoyé au catalyseur SCR où a lieu, comme son nom l'indique, une catalyse: l'ammoniac réagit avec les oxydes d'azote, nocifs, pour former de l'eau (H_2O) et du diazote (N_2), inoffensif. Des capteurs mesurent la concentration d'oxydes d'azote en amont et en aval du catalyseur SCR afin d'optimiser en permanence l'effet nettoyant et l'injection d'AdBlue.

Le réglage en continu des processus EGR et SCR assure un contrôle optimal permettant de réduire les émissions d'oxydes d'azote en deçà de la limite légale.

Parallèlement à cette nouvelle technologie, le moteur lui-même est en permanente évolution. Les composants ne cessent d'être optimisés, que ce soit les

turbocompresseurs, la combustion ou encore l'injection.

De fait, le système «common rail» permet aujourd'hui d'obtenir des pressions d'injection et de combustion particulièrement élevées ainsi que des durées d'injection très variables, ce qui garantit une combustion optimale. En complément, on fait appel à des injecteurs assurant une pulvérisation plus fine (6/7/8 trous). Cela permet d'une part de réduire les émissions et améliorer, d'autre part, le rendement du moteur. Les nuisances sonores et la consommation de carburant diminuent elles aussi.

Les turbocompresseurs à géométrie variable (VTG), utilisés depuis des années sur les véhicules de tourisme, se multiplient à présent dans les moteurs industriels. Les aubes variables côté échappement permettent d'ajuster la pression de manière optimale sur une vaste plage de régimes, ce qui aide à réduire les émissions de gaz d'échappement ainsi que la consommation de carburant. Cela a en outre l'avantage d'améliorer la conduite et la réponse du moteur.

Ces mesures écologiques sont-elles rentables ?

Avec l'ajout de nouveaux composants, l'augmentation du coût des produits est inévitable. L'entretien est également plus onéreux dans la mesure où des outils informatiques, appareils de diagnostic notamment, sont indispensables pour la recherche d'erreurs sur les moteurs de dernière génération. Mais malgré les investissements qu'elle nécessite au départ, cette nouvelle infrastructure permet aussi d'économiser du temps et de l'argent.

Von der heute geltenden Abgasnorm Stufe 3B zur Erreichung der Norm Stufe 4 muss insbesondere der Stickoxid-Wert um 88% vermindert werden. Dafür ist ganz klar hochstehende Technologie notwendig, die für die stets komplexer werdende Abgasnachbehandlung unabdingbar ist. Dabei wird die Herausforderung immer grösser, auch die verschiedenen Anforderungen hinsichtlich Kraftstoffverbrauch, Fahrleistung sowie Zuverlässigkeit und Langlebigkeit zu vereinen.

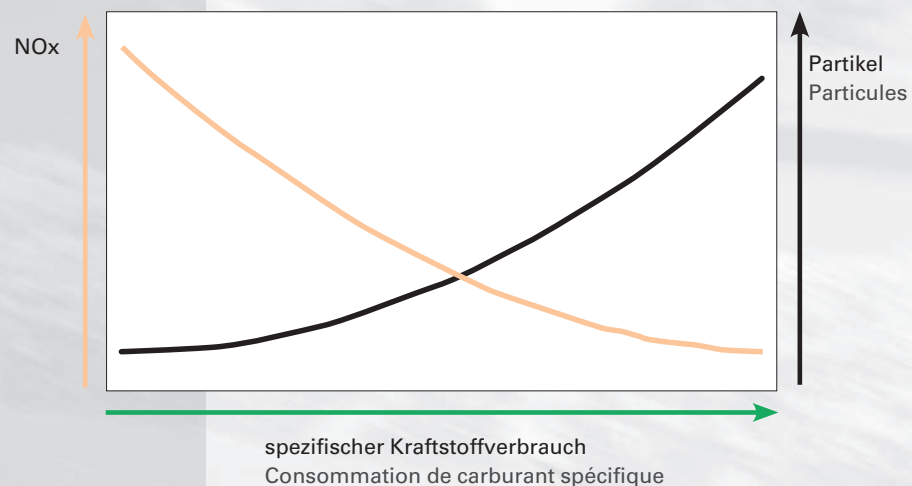
Technische Entwicklungen zur Einhaltung der Abgasvorschriften

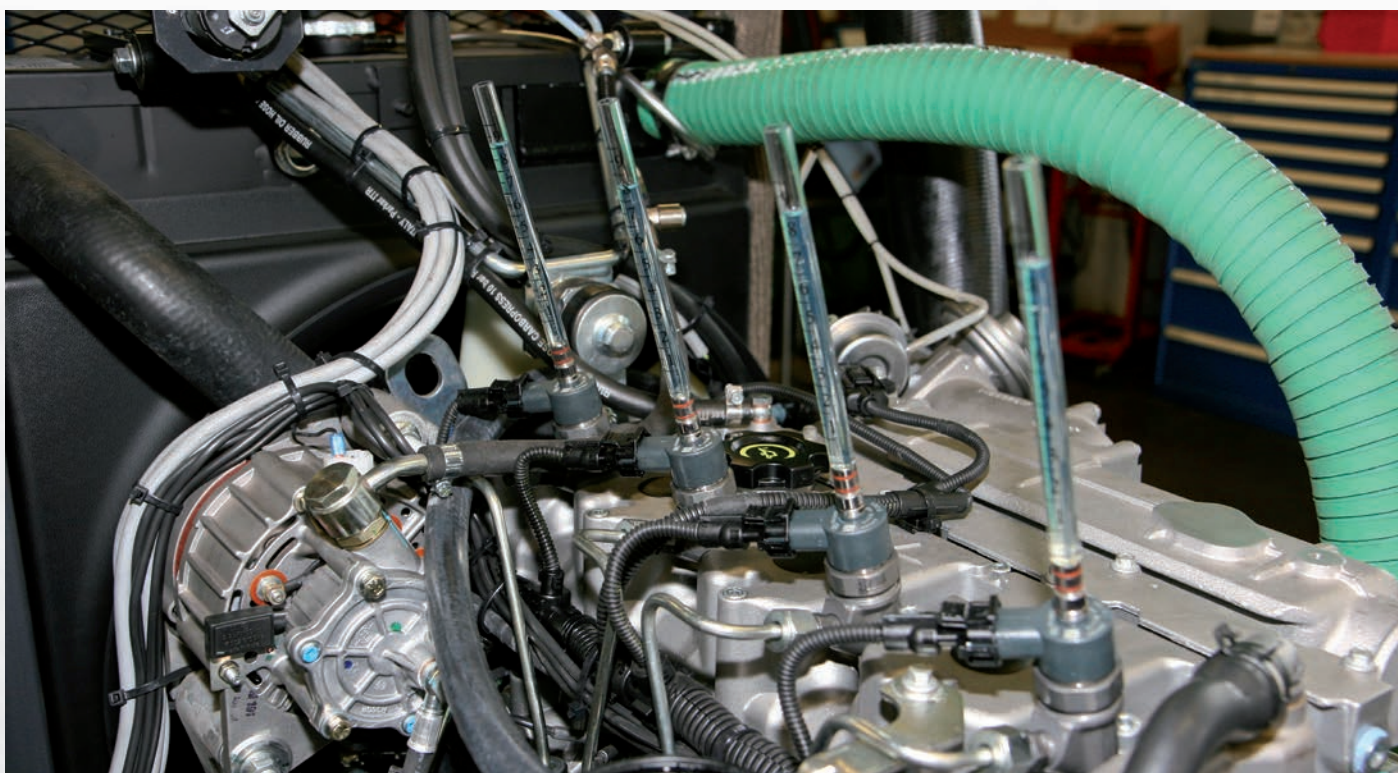
Für die Abgasnachbehandlung der heutigen EURO 5 / Stufe 3B-Motoren werden innermotorische und aussermotorische Massnahmen umgesetzt, da bei rein innermotorischen Massnahmen ein NO_x -PM-Zielkonflikt entsteht: die Reduktion der Stickoxide (NO_x) und der Partikelemissionen (PM) stehen in Konkurrenz zueinander.

Zur innermotorischen Verbrennungsoptimierung wird beispielsweise das Abgasrückführungssystem (AGR) eingesetzt, das einen Teil der Abgase gekühlt oder ungekühlt wieder zurück in die Ansaugung führt. Über die Abgasrückführung wird ein Teil der angesaugten Frischluft mit Abgasen angereichert und so der Sauerstoffüberschuss in den Zylindern verringert. Dies bewirkt eine Absenkung der lokalen Verbrennungstemperaturspitzen und somit auch verringert

Abgasverhalten im Dieselmotor

Comportement des gaz d'échappement dans le moteur diesel





Für die optimale Einstellung sind Hightech-Geräte eine Voraussetzung.

Le réglage optimal requiert des appareils de haute technologie.

te Stickoxid-Werte (NO_x) im Abgas. Nachteilig wirkt sich bei diesem Prozess die steigende Partikelemission aus, die mit einem Russpartikelfilter, folglich einer aussermotorischen Massnahme, kompensiert wird.

Das geschlossene Partikelfiltersystem schliesst die im Abgas enthaltenen Partikel erst in einer besonderen Zellstruktur ein und verbrennt sie dann kontinuierlich (selbst-regenerierend). Zusätzlich kann dem Partikelfilter ein Katalysator vorgeschaltet werden. Dieses System beseitigt die Partikelemissionen fast vollständig. Im Personenwagensektor wie auch für Nutzfahrzeuge und Landmaschinen werden mehrheitlich geschlossene Filtersysteme mit passiver Regeneration eingesetzt. Darüber hinaus bieten praktisch alle Hersteller Hilfsinstrumente zur aktiven Regeneration, wie beispielsweise eine zusätzliche Einspritzdüse vor dem Partikelfilter oder vom Steuergerät geregelte Nacheinspritzungen, welche die zum Abbrennen der Partikel geforderte Temperatur erzeugen. Diese Hilfsinstrumente reagieren aktiv auf Veränderungen während des Motorenbetriebs – wie veränderte Motorenlast oder andere Umgebungsbedingungen – und wirken

dem Verstopfen des Partikelfilters kontinuierlich entgegen.

Grundsätzlich ist über einen grossen Zeitraum der Motorenbetriebsdauer ein möglichst hoher Anteil an passiver Regeneration erwünscht, also ohne jegliches Einwirken einer zusätzlichen Regenerationshilfe. Dies ist kostengünstiger und bedarf weniger Wartung als zusätzliche Instrumente zur aktiven Regeneration.

Die Abgasnachbehandlung für EURO 6 / Stufe 4

Zur Erfüllung der Abgasnormen EURO 6 / Stufe 4 werden die in EURO 5 / Stufe 3B-Motoren eingesetzten Komponenten nochmals weiterentwickelt und teils mit neuen Systemen ergänzt, wie beispielsweise mit dem aus dem LKW-Sektor bereits bestens bekannten SCR-System (selektive katalytische Reduktion).

Die SCR-Technologie wird mittlerweile von allen grossen Nutzfahrzeugherstellern zur Erreichung der Abgasgrenzwerte gewählt, denn diese Technologie bietet grosse Vorteile hinsichtlich eines geringeren Stickoxid-Ausstosses und der Kraftstoffeinsparung.

SCR ist eine chemische Reaktion, bei der die Harnstofflösung AdBlue zum

Einsatz kommt. AdBlue wird über eine Fördereinheit vom AdBlue-Tank zur Dosiereinheit geführt. Dort wird es geregelt – abhängig der Motorbelastung und folglich des Stickoxidausstosses – dem Abgasstrom zugeführt. Durch die heissen Abgase findet eine Hydrolyse statt. Der im AdBlue gebundene Harnstoff wird in Ammoniak (NH₃) umgewandelt, das nun in den SCR-Katalysator weitergeleitet wird. Im Katalysator findet eine so genannte Katalyse statt: Das Ammoniak reagiert mit den umweltschädlichen Stickoxiden, wodurch Wasser (H₂O) und harmloser Stickstoff (N₂) entstehen. Dabei messen Sensoren vor und nach dem SCR-Katalysator die Konzentration der Stickoxide, damit die Reinigungswirkung und der AdBlue-Einsatz ständig optimiert werden können.

Durch eine fortwährende Abstimmung der AGR- und der SCR-Prozesse wird eine optimale Emissionskontrolle gewährleistet, wodurch der Ausstoss von Stickoxiden unter die gesetzliche Höchstgrenze reduziert werden kann.

Nebst dieser neuen Technologie geht die Entwicklung des Motors immer weiter. Es werden laufend Optimierungen wie beispielsweise an den

L'appareil de diagnostic localise en effet les erreurs plus rapidement, puis les transmet aux spécialistes par e-mail ou télémaintenance, ce qui assure une réparation plus rapide du moteur.

Les nouvelles technologies respectueuses de notre environnement ne sont pas nécessairement plus coûteuses à l'entretien. C'est ce que montre la technologie SCR qui permet de réduire les émissions de gaz d'échappement tout en optimisant la consommation de carburant du moteur. Les économies ainsi réalisées compensent les coûts générés par la solution AdBlue.

Développements techniques répondant aux besoins des clients

Les constructeurs doivent relever un double défi: se conformer aux exigences légales, et maintenir voire accroître la rentabilité du véhicule. A cela s'ajoutent tous les souhaits particuliers des clients. Les innovations techniques suivantes dans le domaine des moteurs contribuent dans une large mesure à satisfaire ces besoins.

A commencer par les divers calibrages du boîtier de commande électronique (ECU) que l'on peut aujourd'hui sélectionner et qui optimisent le kilométrage et la conduite. De plus, des commandes auxiliaires configurables en option donnent aux constructeurs une certaine liberté lors du développement et leur permettent de proposer à leurs clients des véhicules multifonctionnels et conviviaux. Un autre aspect concerne l'encombrement du moteur. Les nouveaux systèmes de traitement des gaz d'échappement augmentent le volume et le poids. Or le constructeur veut un moteur compact, offrant un maximum de liberté de conception. Le client, pour sa part, souhaite avoir un véhicule maniable et flexible. Ce conflit d'objectif peut être réglé si l'on intègre dès le départ le moteur, en tant que principale unité d'entraînement, au projet de véhicule. Les espaces pourront ainsi être exploités de manière optimale.

En matière de rentabilité, la longévité et la fiabilité du moteur sont toujours un argument de poids. Les fabricants de moteurs veillent également à en optimiser l'entretien. C'est ainsi que les intervalles de vidange ont pu être espacés malgré la charge importante à laquelle est soumise aujourd'hui l'huile. Enfin, les propriétaires de véhicules peuvent économiser de l'argent par une gestion active du moteur. Grâce aux différents systèmes intégrés

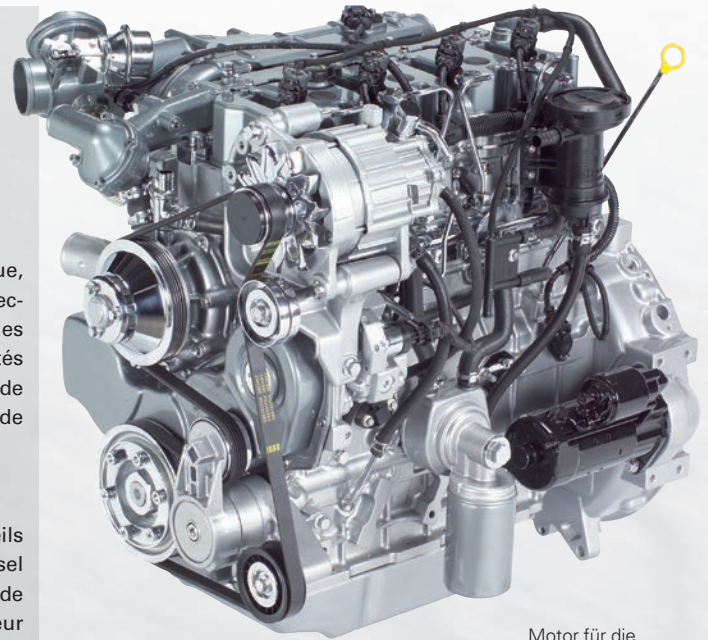
au moteur, ce dernier communique, pour ainsi dire, avec nous par voie électronique et enregistre en continu les paramètres essentiels. Les possibilités d'optimisation de la consommation de carburant, par exemple avec le mode éco, sont immédiatement payantes.

L'homme et la technique

Common rail, EGR, SCR, appareils de diagnostic... les moteurs diesel sont de plus en plus respectueux de l'environnement, plus flexibles et leur commande plus confortable. Mais la complexité croissante des technologies exige également davantage des hommes qui commandent et entretiennent ces systèmes. D'où l'importance de favoriser la collaboration entre conducteur, garage, constructeur et fabricant du moteur. Un partenariat au fil des différents cycles de vie du moteur et du véhicule (de la conception à l'assistance sur le terrain) est amené à jouer un rôle accru.

Ce sujet revêt également une grande importance au niveau de la formation des jeunes spécialistes. Les futurs professionnels doivent se familiariser dès que possible avec les nouvelles technologies. La formation ne doit pas se limiter à des connaissances théoriques, mais permettre d'acquérir de premières expériences pratiques. Le centre de formation de l'USM dispose à cette fin de deux moteurs d'étude de la société Hans Wegmüller AG: le moteur diesel VM 4 cylindres EURO 5 R754EU5 et le moteur diesel VM à injection directe D703TE2 permettent de simuler différents états de fonctionnement, offrant des conditions d'apprentissage pratiques aux futurs spécialistes. ■

Hans Wegmüller AG
Pfaunweg 2-3
3613 Steffisburg
www.hwag.ch



Motor für die Abgasnorm Euro 6.

Un moteur aux gaz d'échappement conformes à la norme Euro 6.

Turboladern, an der Verbrennung beziehungsweise an der Einspritzung umgesetzt.

Tatsächlich ermöglicht das Common Rail-System heute beachtlich hohe Einspritz- und Verbrennungsdrücke sowie Einspritzzeiten über ein grosses Spektrum, wodurch eine bestmögliche Verbrennung garantiert wird. Zur ergänzenden Optimierung werden zudem Einspritzdüsen mit einer feineren Zerstäubung eingesetzt (6/7/8-Loch). Dadurch werden einerseits die Emissionen reduziert, andererseits die Leistung des Motors optimiert. Zugleich können eine tiefere Lärmemission und weniger Kraftstoffverbrauch realisiert werden.

Seit Jahren werden im PKW-Sektor Turbolader mit variabler Geometrie (VTG-Lader) verwendet, welche inzwischen vermehrt auch bei Industriemotoren anzutreffen sind. Durch die verstellbaren Leitschaufeln auf der Abgasseite kann der Ladedruck über einen weiten Drehzahlbereich optimal angepasst werden. Dies hilft mit, die Abgasemissionen und den Kraftstoffverbrauch zu optimieren. Eine verbesserte Fahrbarkeit und Ansprechverhalten des Motors sind weitere Vorteile.

Rechnet sich Ökologie?

Durch die neuen einzusetzenden Komponenten sind steigende Produktkosten nicht zu vermeiden. Auch die Wartung wird kostenaufwändiger, denn insbesondere

für die Fehlersuche sind für Motoren der neusten Generation Informatik-Hilfsmittel wie Diagnosegeräte ein Muss. Obwohl jedoch anfänglich in diese neue Infrastruktur investiert werden muss, hilft diese auch, Geld und Zeit zu sparen. Denn mittels eines Diagnosegeräts können Fehler schneller lokalisiert, per E-Mail oder mittels Fernwartung an den Spezialisten übermittelt und danach der Motor schnell wieder instand gestellt werden.

Dass neue Technologien zugunsten unserer Umwelt jedoch nicht zwingend kostenintensiver im Unterhalt sein müssen, zeigt sich am Beispiel der SCR-Technologie. Diese ermöglicht die notwendige Reduzierung der Abgasemissionen bei gleichzeitiger Optimierung des Motors hinsichtlich Treibstoffverbrauch. Die erzielten Einsparungen beim Treibstoffeinsatz helfen mit, die Zusatzkosten für Ad-Blue zu kompensieren.

Technische Entwicklungen zur Erfüllung der Kundenbedürfnisse

Die Fahrzeughersteller stehen vor der Herausforderung, die Anforderungen des Gesetzgebers zu erfüllen, unter Beibehaltung respektive Steigerung der Wirtschaftlichkeit des Fahrzeugs. Darüber hinaus wollen etliche individuelle Kundenwünsche erfüllt sein. Folgende technische Neuentwicklungen im Motorenbereich tragen wesentlich dazu bei, diese Bedürfnisse decken zu können. Beginnen wir mit den verschiedenen, heute wählbaren ECU-Kalibrierungen, die zur optimalen Fahrleistung und Fahrbarkeit beitragen. Des Weiteren geben Nebenabtriebe mit optionaler Konfiguration den Fahrzeugherstellern Freiraum in der Entwicklung und sie können ihren Kunden multifunktionale und anwenderfreundliche Maschinen anbieten. Ein weiteres Thema ist die Kompaktheit des Motors. Einerseits erhöhen sich aufgrund der neuen Abgasnachbehandlungssysteme das Volumen und das Gewicht, andererseits will der Fahrzeughersteller einen kompakten Motor für viel Designfreiheit und der Fahrzeugbesitzer ein wendiges und anpassungsfähiges Fahrzeug. Die-

sem Zielkonflikt wird entgegengewirkt, indem der Motor als zentrale Antriebseinheit bereits im Anfangsstadium eines Fahrzeug-Projekts mit einbezogen wird. Damit können die einzelnen Bauräume optimal ausgenutzt werden.

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit ist auch die Langlebigkeit und Zuverlässigkeit des Motors immer ein bedeutendes Argument. Darüber hinaus lassen die Motorenhersteller auch Optimierungen im Motorenunterhalt nicht ausser Acht. Demzufolge konnten die Ölwechselintervalle erhöht werden trotz der hohen Belastung, die heute im Betrieb auf das Öl einwirkt. Und nicht zuletzt können Fahrzeugbetreiber mit einem aktiven Motormanagement Geld sparen. Durch die verschiedenen im Motor eingesetzten Systeme kommuniziert der Motor via Elektronik sozusagen mit uns und zeichnet laufend die wesentlichen Betriebswerte auf. Die dadurch mögliche Treibstoffverbrauchsoptimierung, beispielsweise durch Spargänge (Ecomode), macht sich augenblicklich bezahlt.

Der Mensch und die Technik

Common Rail, AGR, SCR, Diagnosegeräte... die Dieselmotoren werden immer umweltfreundlicher, flexibler und komfortabler in der Bedienung. Mit komplexeren Technologien steigen jedoch auch die Anforderungen

an die Menschen, die diese Systeme bedienen und instand halten. Dadurch wird eine gute Zusammenarbeit zwischen Fahrzeugführer, Werkstatt, Fahrzeughersteller und Motorenhersteller immer wichtiger. Eine partnerschaftliche Kooperation während den verschiedenen Lebenszyklen des Motors und Fahrzeugs – von der Fahrzeugentwicklung bis zum Support im Feld – wird noch mehr an Bedeutung gewinnen.

Auch bei der Ausbildung von jungen Fachkräften ist diesem Thema eine grosse Bedeutung zuzuschreiben. Die angehenden Profis sollen sich schon früh mit den neuen Technologien vertraut machen und nicht nur theoretische Kenntnisse vermittelt bekommen, sondern auch erste praktische Erfahrungen machen dürfen. Die SMU hat dafür zwei Schulungsmotoren von der Hans Wegmüller AG in ihrem Schulungszentrum zur Verfügung. Mit dem VM 4-Zylinder EURO5-Dieselmotor R754EU5 und dem direkt eingespritzten VM-Dieselmotor D703TE2 können verschiedene Betriebszustände simuliert und dadurch den angehenden Fachspezialisten praxisnahe Lernbedingungen ermöglicht werden. ■

Hans Wegmüller AG
Pfaunweg 2-3
3613 Steffisburg
www.hwag.ch

