

24

Die „grüne“ Spritze für den Motor

Motorsystemtechnologie für strengere
CO₂- und Emissionsziele

Andreas Greff
Alfred Brandl
Johannes Beer

Continental AG

Einleitung

Ungeachtet der schwierigen wirtschaftlichen Phase, die die weltweite Automobilindustrie aktuell durchläuft, gibt es bei den gesetzlichen Anforderungen an Emissions- und Verbrauchsminderung keine Atempause. Im Gegenteil, mit den künftigen Abgasnormen, wie Euro 6 (ab 2014) sowie der CO₂-Gesetzgebung, stehen Otto- und Dieselmotoren vor großen Herausforderungen. Zum einen muss die Emission von Verbrennungsnebenprodukten, wie beispielsweise Stickoxiden (NO_x) und Ruß (Partikel), weiter gesenkt werden. Zum anderen muss der Ausstoß des klimawirksamen CO₂ als originäres Produkt der exothermen chemischen Reaktion im Brennraum sinken – und das geht nur über einen weiter sinkenden Kraftstoffverbrauch.

Zwar mögen sich die klassischen Automarkte Europa und USA/NAFTA nur langsam erholen, aber dafür ist in Asien ein weiter steigender Bedarf an individueller Mobilität zu beobachten, allen voran China. Im Jahr 2011 wird dort womöglich schon wieder das Niveau von 2007 erreicht sein. Die größte Nachfrage gilt dabei dem A- und B-Segment, also jenen Fahrzeugen, in denen Fahrzeughersteller und Zulieferer besonders genau zwischen der eingesetzten technologischen Komplexität und wirtschaftlichen Zwängen abwägen müssen. Für Südamerika sind die Wachstumsraten ähnlich hoch, aber auf einem niedrigeren absoluten Niveau. Fazit: Die Nachfrage ist auf Jahre hinaus vorhanden (Bild 1).

Um diese Nachfrage erfolgreich bedienen zu können, sind weitere Fortschritte in der Motorsystemtechnologie notwendig. Sowohl der Dieselmotor als auch der Ottomotor bieten dafür Potenzial. Beim Ottomotor wird vor allem die Direkteinspritzung (DI) immer größere Verbreitung finden, weil sie den Verbrauch direkt senkt und zudem in Kombination mit der Abgasurboaufladung indirekt eine Verringerung des Hubraums (Downsizing) und damit weitere Effizienzsteigerungen ermöglicht. Der Ottomotor kann damit ähnlich sparsam werden wie ein Dieselmotor. Und auch der Dieselmotor hat weiterhin Potenzial. Gezielte Führung der Verbrennung und eine noch bessere Aufbereitung des Luft-Kraftstoffgemischs ebnet hier den Weg zu höherer Effizienz.

Hinzu kommt, dass beide Motorarten sich immer ähnlicher werden und damit sich auch eng verwandte Herausforderungen stellen. So gewinnen die Themen NO_x-Reduktion und Rußbildung beim DI-Ottomotor eine Relevanz, die sie beim Saugmotor nicht hatten. Dies wirkt sich gleichermaßen in den Bemühungen aus, innermotorisch zu optimieren als auch die Abgasnachbehandlung leistungsfähiger zu machen. Auch der Luftpfad ähnelt sich bei beiden Motorarten zunehmend. Ähnliches gilt für den Trend zu einer größeren Variabilität in der Ventilsteuerung (Öffnungs- und Schließzeiten, Ventilüberschneidung, Ventilhub). Wegen dieser zunehmenden Nähe rücken auch die technologischen Lösungen für beide Motorarten dichter zusammen – bis hin zu aus-

tauschbaren Softwarefunktionen in der Motorsteuerung.

Und noch ein Weiteres kommt hinzu. Unterschiedliche Märkte und unterschiedliche Fahrzeugklassen bringen verschiedenen Randbedingungen für die Motorsystemtechnologie mit. Deshalb gibt es keine Universallösungen. Stattdessen bestimmen in Zukunft mehr denn je die Gewichtsklasse des Fahrzeugs und der Zielmarkt, welche Technologien im Motor verbaut werden. In den aufstrebenden Wirtschaftsnationen (den sogenannten Emerging Markets) beispielsweise werden vielfach kleinere Motoren mit kleiner Zylinderzahl nachgefragt. Dennoch sind die Emissionsanforderungen auch hier sehr hoch. Die Unterschiede in der weltweiten Abgasgesetzgebung werden ab 2014/2015 immer geringer (beispielsweise Euro 5 in vielen Märkten). Im Umkehrschluss heißt das, nur hoch effiziente Systemtechnologie, die die Synergien aus dem mechatronischen Verbund von Software, Elektronik und Hardware nutzt, hat eine Zukunft.

Continental ist auf diese Herausforderungen vorbereitet und bietet den Fahrzeugherstellern mit einem Systemansatz Lösungen für alle Anforderungen. Von der Ebene der mechanischen Komponenten über die elektronische Hardware bis hin zur Software sind die technologischen Lösungen auf allen Ebenen des Systems abgestimmt und auf die künftigen Herausforderungen vorbereitet.

Systemansatz in der Motortechnologie

Wegen der unterschiedlichen Randbedingungen werden sich Euro 6-Systemansätze für Diesel- und Ottomotoren von Fahrzeugmodell zu Fahrzeugmodell unterscheiden. Die Frage, welche Technologie in einem Fahrzeug verwendet wird, richtet sich künftig noch stärker als bisher nach den gesetzlichen und wirtschaftlichen Anforderungen. Von diesen Zielvorgaben aus kann man für jedes Fahrzeug individuell bestimmen, welche Technologie im Motor die jeweils richtige ist.

Entwicklung beim Dieselmotor

Betrachtet man beispielsweise die Gesamtkosten für einen Dieselmotor samt zugehöriger Abgasnachbehandlung, so ergibt sich ein vielschichtiges Bild. Bei kleinen Fahrzeugen mit sehr eng gestecktem Kostenrahmen ist ein vordefinierter Gesamtsystemansatz mit Komponenten aus der Schublade erforderlich (EASY-U, s. u.), um die Preisanforderungen erfüllen zu können. Bei mittleren bis schweren Fahrzeugen ist ein flexibler Produktlinienansatz notwendig, um anforderungsgerechte Systemlösungen anbieten zu können (Bild 2).

Bei Motoren für mittelschwere Fahrzeuge (bis zu rund 1,7 t) lassen sich die Emissionsvorgaben (und teilweise auch die CO₂-Ziele) wahlweise durch große-

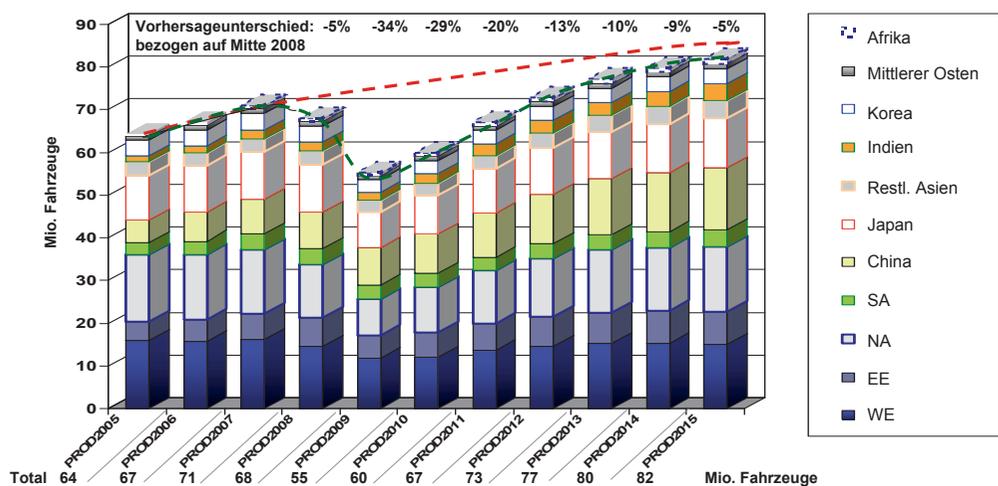


Bild 1 Das künftige Wachstum bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen kommt vor allem aus Asien

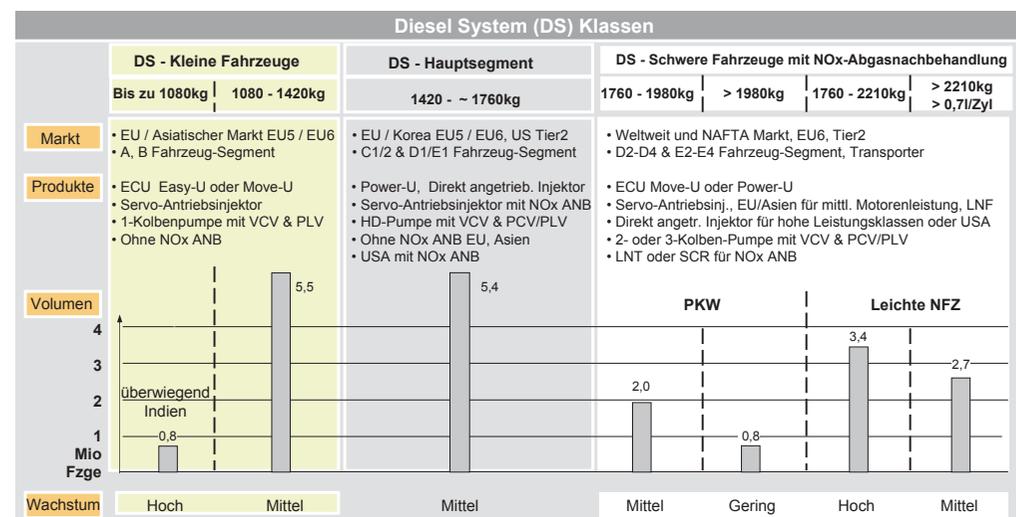


Bild 2 Technologieoptionen bei Dieselmotoren bezogen auf das Fahrzeuggewicht

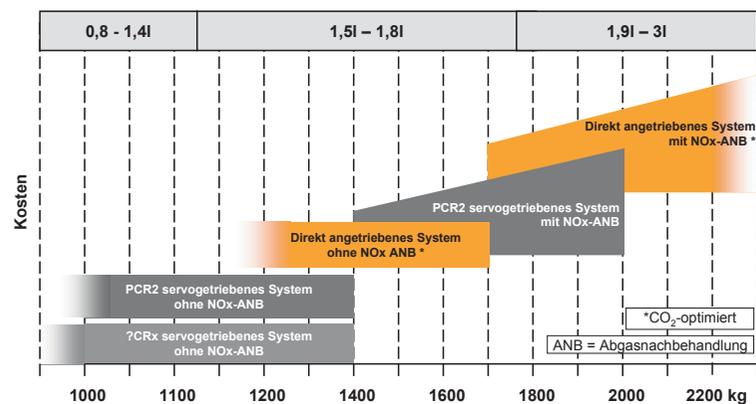


Bild 3 Einfluss des Hubraums und der Fahrzeugmasse auf die Motorsystemtechnologie (PCR2 = aktueller servogetriebener Piezo-Injektor)

ren Einsatz bei der innermotorischen Optimierung mittels höherwertiger Einspritzsysteme erreichen oder durch einfachere Einspritzsysteme und einer umfangreicheren Abgasnachbehandlung. Wegen der direkten Wechselwirkungen zwischen beiden Ebenen der beteiligten Komponenten und Funktionen gibt es hier zu einem Systemansatz kaum eine Alternative.

Ein Vergleich der Technologieoptionen bei Dieselmotoren macht sehr deutlich, wie groß der Einfluss der Fahrzeugklasse und damit auch des Fahrzeuggewichts auf die Wahl der Technologie ist. Bei kleinen und mittleren Fahrzeugen in Verbindung mit geeigneten Einspritzsystemen, ist es möglich, dass sich die Emissionsvorgaben der Euro 6-Norm ohne zusätzliche Abgasnachbehandlung, wie etwa in Form von Selektiver Katalytischer Reduktion mit Harnstoff (Selective Catalytic Reduction, SCR), werden einhalten lassen. Bei Fahrzeugen mit größerer spezifischer Leistung und höherem Gewicht dagegen wird ein System zur Reduzierung der Stickoxide (NO_x) im konventionellen Antriebsstrang unumgänglich sein (Bild 3).

Schlüsselrolle der Hochdruckeinspritzung

Für die weitere Optimierung des Dieselmotors spielt die Gemischaufbereitung im Brennraum eine Schlüsselrolle. Immer höhere Einspritzdrücke, die immer feinere und gleichmäßigere Zerstäubung des Kraftstoffs, sehr genau dosierte Kraftstoffmengen und Steuerstrategien mit mehreren Einspritzimpulsen (Mehrfacheinspritzung) haben den Dieselmotor zu einem extrem sparsamen Antrieb gemacht. Diese Entwicklung geht weiter. Auch die

Einspritzdrücke werden weiter steigen. 2000 bar und darüber lautet die Roadmap.

Einen großen Schritt nach vorne haben die von Continental entwickelten und im Markt etablierten Piezo-Injektoren für Common Rail Systeme ermöglicht [1]. Wegen ihrer Schaltschnelligkeit und der hohen Präzision eignen sich diese Einspritzventile für anspruchsvolle

Steuerungen, bei denen der Zeitpunkt und die Menge der Kraftstoffzumessung sehr genau und mit hoher Wiederholgenauigkeit (Shot-to-Shot) eingehalten werden muss. Hinzu kommt, dass Piezo-Injektoren eine sehr große Spreizung der Einspritzmenge zulassen, das heißt, sie können sowohl sehr kleine Kraftstoffmengen sehr genau dosieren (sparsam in der niedrigen Teillast) als auch große Kraftstoffmengen zumessen (in der Vollast). Ihre Dynamik ist so groß, dass die Übergänge von einem zum anderen Betriebspunkt sehr schnell erfolgen können. Mit Injektoren dieses Typs lassen sich hoch ausgereifte, emissions- und geräuscharme Verbrennungsstrategien, beispielsweise mit Vor-, Haupt- und Nacheinspritzung, realisieren (Bild 4).

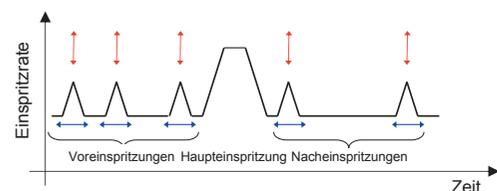


Bild 4 Schaubild/Schema mit drei Vor-, einer Haupt- und zwei Nacheinspritzungen

Inzwischen hat Continental eine neue Generation der Piezo-Injektoren für Einspritzdrücke von 2000...2200 bar entwickelt (Bild 5). Bei diesen NG-Einspritzventilen ist keine hydraulische Verstärkung mehr erforderlich, um die gewünschte Auslenkung der Düsennadel zu erzielen. Weil der Aktor direkt auf die Düsennadel wirkt, erfolgt die Reaktion, also die Einspritzung, noch direkter und unmittelbarer als bei der hydraulisch verstärkten Generation und ohne deren hydraulische Rückwirkungen. Da der NG-Injektor



Bild 5 Piezo-Injektor der neuen Generation (NG) mit direkter Betätigung der Düsennadel

fast keine Leckage aufweist, arbeitet er besonders effizient. Die neue Injektorgeneration macht es zudem mit bis zu neun Einspritzimpulsen je Zyklus möglich, den Verlauf der Einspritzung zu formen (Rate Shaping). Dies ermöglicht eine sogenannte Boot-Einspritzung. Eine kleinere, variable Kraftstoffmenge direkt vor der Haupteinspritzung reduziert dabei unter anderem das Einspritzgeräusch um mehrere Dezibel. Die Ratenverlaufsformung kann in weiten Bereichen flexibel eingestellt werden (Bild 6).

Eine weitere Neuerung besteht darin, die Vielschichtkeramik im Piezo-Injektor als Signalgeber zu nutzen. Weil das elektrische und mechanische Verhalten der Piezo-Keramik bekannt ist, lässt sich die tatsächliche Position der Düsennadel berechnen, wenn die Bestromung des Aktors und die Rahmenbedingungen (Temperatur etc.) bekannt sind. Auf diese Weise kann für jeden Zylinder individuell rechnerisch ermittelt werden, wie viel Kraftstoff tatsächlich eingespritzt wurde [2]. Denn selbst die präzise Piezo-Aktorik unterliegt minimalen, fertigungsbedingten Toleranzen von Injektor zu Injektor und zeigt außerdem eine gewisse Drift über die

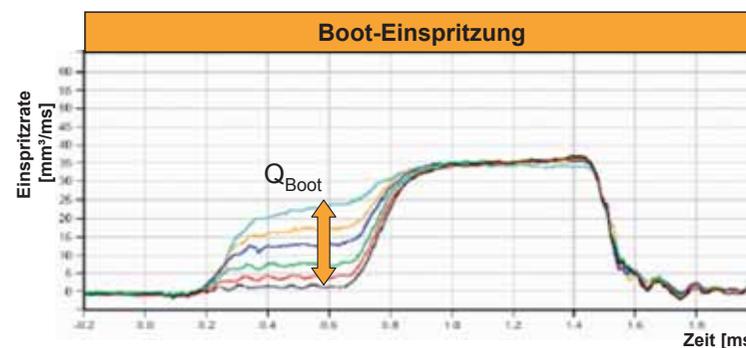


Bild 6 Darstellung der Boot-Einspritzvariabilität direkt vor der Haupteinspritzung mit variierender Menge Q_{Boot}

Gesamtbetriebsdauer. Sogar diese kleinen Toleranzen werden bei den heute erreichten Emissionsanforderungen relevant. Ist die tatsächliche Position der Düsennadel jedoch bekannt, so kann man erstmals einen geschlossenen Regelkreis etablieren, in dem die IST-Menge an Kraftstoff für jeden Zylinder individuell an die SOLL-Zumessung der Motorsteuerung angepasst werden kann. Damit wird nicht nur die Verbrennung sauberer, sondern die einzelnen Zylinder arbeiten auch gleichmäßiger (Zylinderlaufuheregung). Durch den geschlossenen Regelkreis bei der Einspritzung ist auch die Grundlage für eine Selbstdiagnose geschaffen, wie sie in Nordamerika künftig verschärft gefordert sein wird (On-Board-Diagnostics, OBD2/3).

Um den Einspritzdruck für die Injektoren zu erzeugen, steigert Continental gleichzeitig die Effizienz der Diesel-Hochdruckpumpen mit zunächst bis zu 2000 bar Förderdruck. In ihrer konstruktiven Auslegung werden die bisherigen 2- und 3-Kolbenpumpen durch neue Generationen von 1-Kolbenpumpen abgelöst, die für unterschiedliche Förderleistungen und Formen der Integration in den Motor ausgelegt sind. Darunter werden ab 2011 auch druckfeste Ausführungen für Stopp-Start Systeme sein. Mittelfristig werden Kolbenpumpen mit bis zu 2500 bar Förderdruck für Euro 6-Anwendungen zur Verfügung stehen. Sie befinden sich derzeit in der Entwicklung.

Entwicklung beim Ottomotor

Weltweit ist der Ottomotor die klar dominierende Antriebsform im Pkw. Aktuell ist es vor allem der Saugmotor mit Kraftstoffeinspritzung in den Ansaugkanal (Port-Injection), der mit 75 % aller Ottomotoren weltweit vorherrscht. Nun steht der Otto-

motor vor einer Renaissance, die vor allem mit der Direkteinspritzung (DI) verknüpft ist. Die heutige Multipoint Port-Injection (MPI), bei der das Benzin kurz vor dem Einlassventil in den jeweiligen Ansaugkanal eingespritzt wird (sogenannte äußere Gemischbildung), hat ihre Zukunft vor allem in kleineren Motoren. Ab

der Mittelklasse gehört die Zukunft in zunehmendem Maße dem DI Motor. Um möglichst viele Ottomotoren sauberer und sparsamer machen zu können, bedarf es daher Technologien für beide Einspritzsysteme. Der Continental Systemansatz berücksichtigt das (Bild 7) und umfasst Lösungen für alle Segmente und Motorgrößen.

Bei Best Cost Systemen mit MPI-Technologie ermöglichen Continental Injektoren des Typs Deka 7 in Verbindung mit einer in ihrem Funktionsumfang maßgeschneiderten, vorkonfigurierten Motorsteuerung (Easy-U - siehe unten) Anwendungen bis hin zu Euro 6 mit fortschrittlicher On-Board Diagnose (OBD2). In diesem Segment wird der Ottomotor weitestgehend mit einem homogenen Gemisch betrieben, in dem die Luftmenge so gesteuert wird, dass der Kraftstoff genau die richtige Sauerstoffmenge für die vollständige Verbrennung bekommt (Mischungsverhältnis Luft zu Benzin entspricht 14,7:1; Lambda = 1).

Auch bei Ottomotoren mit Direkteinspritzung wird ein Großteil der Stückzahlen beim Homogenbetrieb liegen. Innovative Injektoren, wie die Continental Magnetventilgeneration XL3 (Bild 8), sind für mittlere und größere Motoren ausgelegt, die ebenfalls die Anforderungen von Euro 6 und OBD2 erfüllen müssen. Da im DI Motor keine Wandbenetzung im Ansaugkanal auftritt und zudem besonders günstige Bedingungen für die Vermischung von Luft und Kraftstoff bestehen (innere Gemisch-



Bild 8 Magnetventil-Injektor des Typs XL3 für Mehrfacheinspritzung und Ladungsschichtung

bildung) ist die Direkteinspritzung deutlich emissionsärmer als die MPI. Dafür sind allerdings wesentlich höhere Einspritzdrücke als bei MPI-Systemen erforderlich. Die neuen XL3-Injektoren beispielsweise sind für bis zu 200 bar ausgelegt (Bild 8). Spezielle Ansteuerlektronik ermöglicht eine verbesserte Kleinstmengeneinspritzung, darüber hinaus aber auch die Möglichkeit der Mehrfacheinspritzung, bei der eine sehr kleine, zündfähige Gemischwolke durch zwei bis drei schnell aufeinander folgende Einspritzimpulse erzeugt wird.

Am stärksten lässt sich der Verbrauch bei Benzinmotoren durch Magerbetrieb (mit Lambda >1) in der Teillast senken. Auch dafür eignen sich vor allem XL3-Benzinjektoren gut, weil sie mit ihrer hohen Dynamik und Präzision eine Ladungsschichtung in einem erweiterten Bereich der Teillast ermöglichen. Diese Technologie zu beherrschen ist anspruchsvoll, denn die Kraftstoffstrahlwolke muss

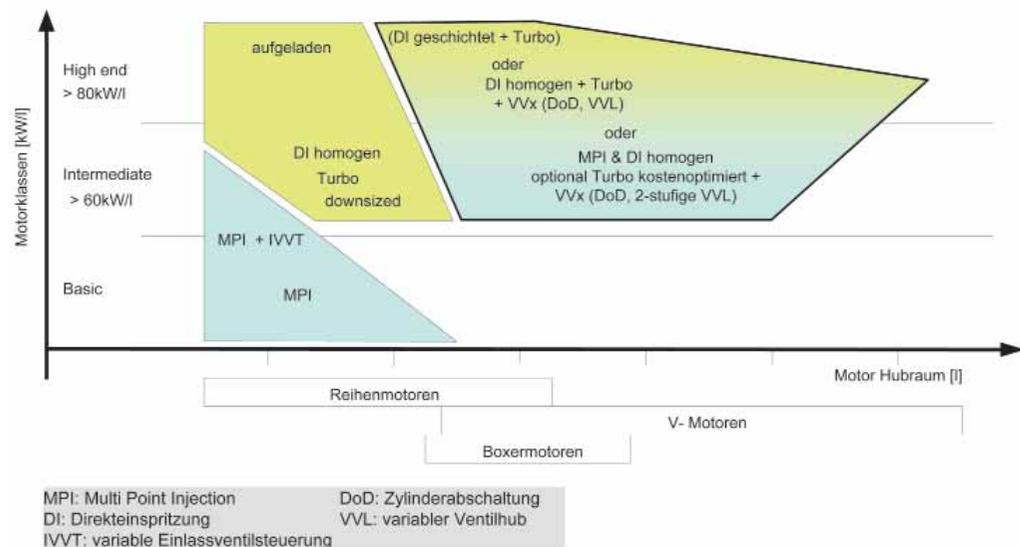


Bild 7 Einsatzbereiche für Einspritztechnologie und Ventiltriebsteuerung im Ottomotor

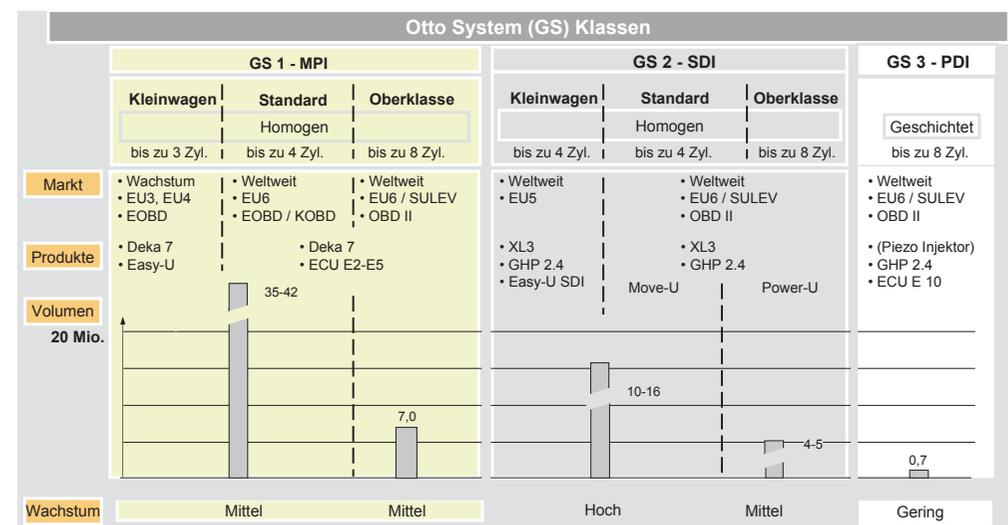


Bild 9 Segmentierung der Technologie für Ottomotoren

trotz stark schwankender Druckverhältnisse im Brennraum immer die gleiche Form und Eindringtiefe aufweisen, um sicher zu zünden. Continental arbeitet derzeit bereits an der Entwicklung weiterer Injektorgenerationen für kommende Gesetzgebungen, für einen weiter optimierten Schichtbetrieb oder für Verfahren der kontrollierten Selbstzündung (CAI Controlled Auto Ignition). Eine Segmentierung der verfügbaren Technologien für Ottomotoren ist in Bild 9 dargestellt.

Etwas macht dabei die Optimierung des Benzinmotors besonders anspruchsvoll: Ab 2015 greift mit der Norm Euro 6 nicht nur eine Begrenzung der Rußmenge auf 4,5 mg/km, sondern auch eine Obergrenze für die zulässige Anzahl an Rußparti-

keln im Abgas. Vor allem bei effizienten DI Motoren muss während der Entwicklung auf eine gute Balance zwischen NO_x-Bildung (bei zu hoher Verbrennungstemperatur) und Rußbildung (bei zu niedriger Verbrennungstemperatur) geachtet werden. Die Injektoren werden dabei immer mehr zur Schlüsselkomponente, denn sie haben maßgeblichen Einfluss auf die Qualität der Verbrennung.

Eine gänzlich neue Aufgabenstellung für Entwickler von Benzinmotoren ist der Einsatz im Range Extender (RE) Elektrofahrzeug. Bei diesem Antriebskonzept dient der Ottomotor ausschließlich dazu, Strom zur Aufladung der Batterie zu erzeugen. An einen Ottomotor für ein RE-Fahrzeug werden ganz andere Anforderungen gestellt als an den Ottomo-

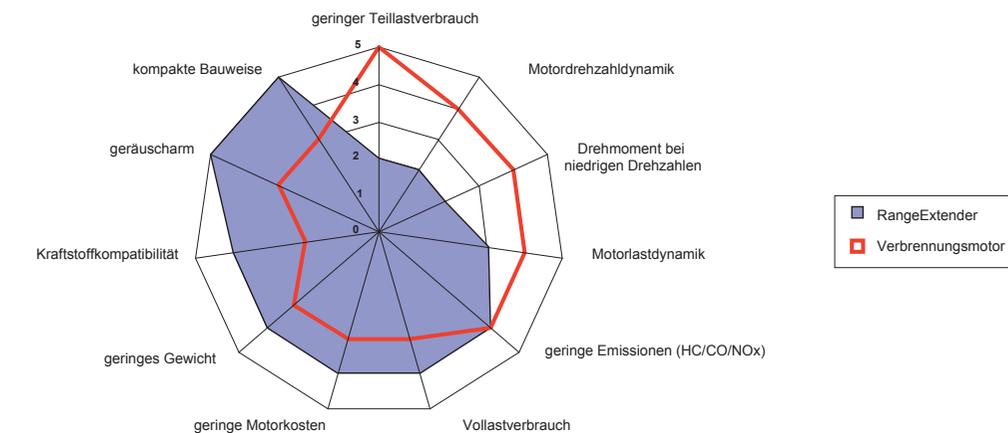


Bild 10 Unterschiede im Anforderungsprofil an Motoren für Range Extender und konventionellen Verbrennungsmotor

tor für ein konventionelles Fahrzeug (Bild 10). Continental hat diese Herausforderung frühzeitig erkannt und bewertet die existierenden Ottomotor-technologien im Hinblick auf ihre Eignung und Relevanz für RE-Fahrzeuge.

Skalierbare Motorsteuerungen

Die vielfältigen Technologieoptionen bei modernen Verbrennungsmotoren bilden sich auch auf der Ebene der Motorsteuerung ab: Zwischen der Steuerung für eine wirtschaftlich eng kalkulierte Motoranwendung im Basissegment und der Steuerung für eine High-End-Anwendung liegt eine erhebliche Bandbreite, die es nicht nur technologisch, sondern auch wirtschaftlich zu beherrschen gilt. So muss ein kostengünstiges, vorkonfiguriertes System trotz vergleichsweise anspruchsvoller Peripherie aus Kostengründen für den OEM schnell applizierbar sein, während eine High-End-Lösung vor allem offen sein muss für die Vielzahl an technologischen Optionen sowie der Einbindung von Software des OEM oder anderer Zulieferer.

Schon früh hat Continental dies mit der Motorsteuerungsplattform EMS2 umgesetzt und damit auf der Ebene der Motorsteuerung in gewisser Weise die

heutige AUTOSAR-Denkweise vorweg genommen. Das Besondere an EMS2 ist die aufeinander abgestimmte Palette an Hardware und miteinander kombinierbaren, wiederverwendbaren Softwarefunktionspaketen (Aggregaten). Die weithin anerkannten Vorteile dieser offenen, skalierbaren Steuerung werden in der neuen Plattformgeneration EMS3 konsequent fortgesetzt und ausgebaut.

Zugleich hat Continental seine Plattformerfahrung genutzt, um eine Motorsteuerungslösung zu entwickeln, die auch für Fahrzeuge in aufstrebenden Märkten optimal applizierbar ist. Unter der Bezeichnung Easy-U umfasst diese kostengünstige Lösung ein Portfolio an Elementen für eine komplette, skalierbare und modular aufgebaute Motorsteuerung für Benzinmotoren mit MPI und bis zu 4 Zylindern (Bild 11). Bild 11 zeigt neben dem Basis-konzept EASY-U die weiteren Produktlinien für flexiblen Einsatz (MOVE-U) und den offenen High-End-Bereich (Power-U).

Für alle Anwendungen oberhalb des Basis-segments bietet die neue AUTOSAR-basierte Motorsteuerungsplattform EMS3 eine konsequent offene Architektur, mit der Continental wahlweise komplette Lösungen aus einer Hand bieten oder Komponenten (Software und Hardware) anderer Hersteller einbinden kann (Bild 12). Die existierende Bibliothek aus Software-Aggregaten kombiniert dabei die Sicherheit erprobter Software mit der

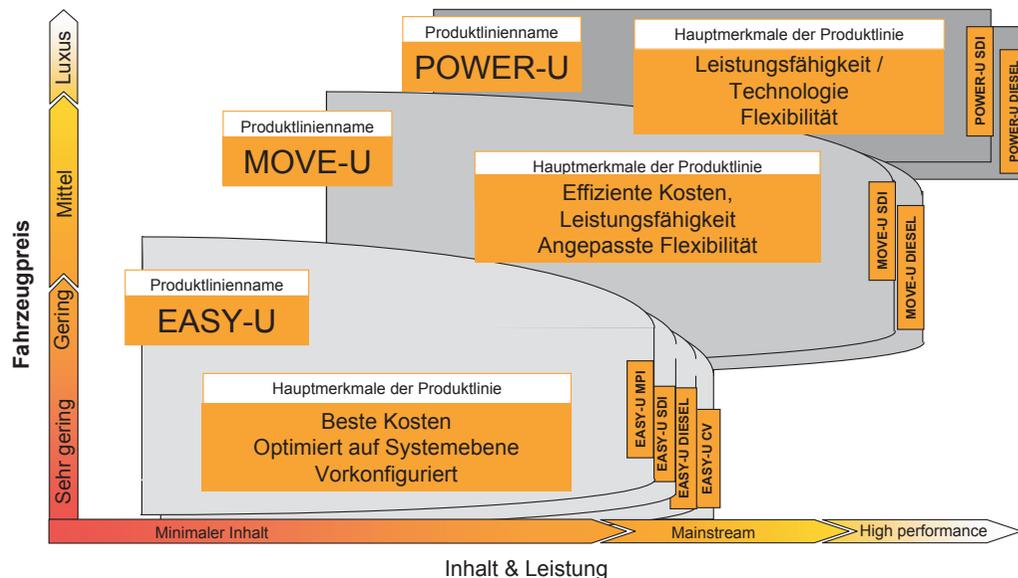


Bild 11 Die Produktlinienstrategie der Continental-Motorsteuerungen

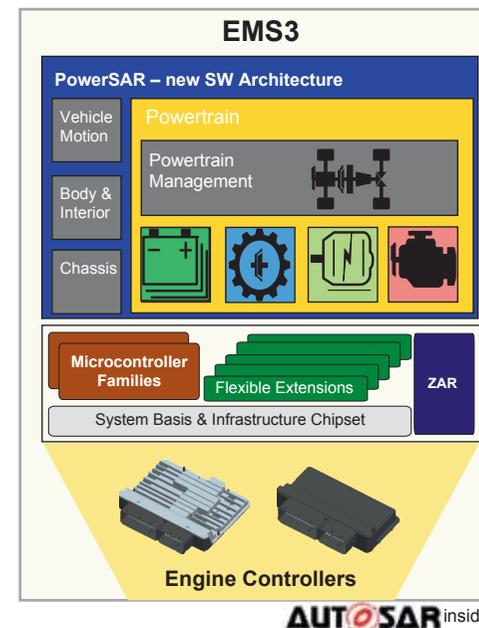


Bild 12 Komplette, skalierbare Lösung und zugleich offen für Integration: EMS3 mit PowerSAR-Architektur (AUTOSAR für den Powertraineinsatz)

Wirtschaftlichkeit des Modulgedankens. Bei identischen Funktionen decken die betreffenden Softwaremodule Diesel- und Ottomotoren in einem gemeinsamen Aggregat ab.

Die zugehörigen Steuergeräteplattformen sind ebenso skalierbar und verkürzen die Entwicklungszeit einer Motorsteuerung trotz hoher funktionaler Komplexität. Für unterschiedlich leistungsfähige Steuerungslösungen umfasst die Hardware Mikrocontroller in hoch integrierter 90 nm Tricore- beziehungsweise PowerPC-Technologie in fünf abgestuften Leistungsklassen und einem im Hinblick auf Bauraum sowie Gewicht optimierten ECU-Gehäusekonzept.

Luftpfad

Neben der sicheren Beherrschung der Einspritzung ist in Zukunft eine noch exaktere Kenntnis und Steuerung der Frischluftzufuhr erforderlich. Die Genauigkeit, mit der der Zufluss an Frischluft erfasst wird und die Beherrschung der Dynamik dieses Vorgangs beeinflussen die Emissionen wesentlich. Nur wenn die Luftzufuhr zum Brennraum

genau bekannt ist, lässt sich die Einspritzung so steuern, dass ein optimales Gemisch entsteht. Eine Abweichung in der Erfassung der Sauerstoffkonzentration von $\pm 1\%$ kann zum Beispiel zu einer Stickoxid-Emissionsmengenänderung von bis zu $\pm 10\%$ führen.

Deshalb hat Continental schon früh mit der Entwicklung modellbasierter Luftpfadfunktionen begonnen und die flexible Steuerung der Luftmenge mittels variabler Ventilsteuerung zur Serienreife gebracht. Eine solche Steuerung kombiniert mehrere physikalische Teilmodelle, ergänzt durch mathematisch numerische Methoden zur Beschreibung von schwer modellierbaren Störgrößen der Luftbewegung im Ansaugkrümmer.

Der große Vorteil bei solchen modellbasierten Steuerungen liegt darin, dass sie dramatisch weniger Aufwand zur Kalibrierung (Berechnung der einzelnen Datenpunkte für Kennfelder) erfordern. So ersetzt die modellbasierte Steuerung in einer Testanwendung insgesamt 48 Kennfelder, die ansonsten bei einer variablen Ventilsteuerung für jedes Fahrzeugmodell neu parametrisiert werden müssten. Im direkten Vergleich liefert die modellbasierte Steuerung zudem eine hervorragende Genauigkeit. Die Präzision ihrer Vorhersagen deckt sich nahezu vollständig mit der Interpolation von Kennfeldwerten (Bild 13)

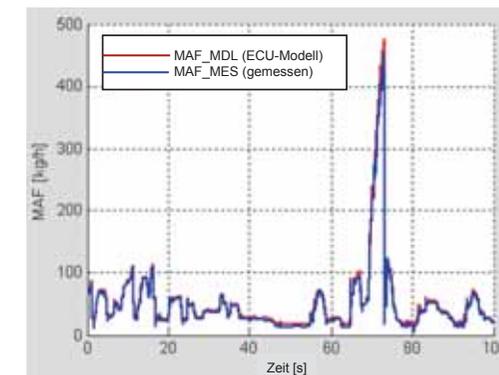


Bild 13 Übereinstimmung der Luftmengenwerte (MAF) auf der Basis von Sensordaten/Kennfeld (blau) und modellbasierter Steuerung (rot)

Mit den zukünftigen, vollvariablen Ventilstellungen, die sowohl die Öffnungszeiten als auch den Ventilhub auf der Einlass- und Auslassseite des Motors flexibel steuern können, lassen sich Emissionen, Verbrauch und Fahrdynamik weiter optimieren. Ein Beispiel für ein solches vollvariables



Bild 14 UniAir-Ventiltriebssystem zur vollvariablen Steuerung der Motorbeatmung

Ventilverstellsystem ist das UniAir-System der Firma Schaeffler, dessen Ansteuerung auch durch Steuergeräte von Continental in Zukunft möglich sein wird (Bild 14).

Abgasnachbehandlung – SCR

Wenn innermotorische Maßnahmen allein nicht genügen, um die künftig gültigen NO_x -Grenzwerte der Norm Euro 6 einzuhalten, dann muss das Fahrzeug mit einem System zur Abgasnachbehandlung ausgerüstet werden. Entsprechende Systeme zur selektiven katalytischen Reduktion (SCR) wandeln die Stickoxide in unschädlichen Stickstoff und Wasser um. Sie basieren auf der Eindüsung einer harnstoffhaltigen, wässrigen Lösung („AdBlue“) in den Abgastrakt.



Bild 15 SCR-Dosiereinheit zur Eindüsung harnstoffhaltiger Reduktionsflüssigkeit in den Abgastrakt

Um eine erfolgreiche Reduktion der Stickoxide zu gewährleisten, muss diese Eindüsung sehr genau erfolgen. Dazu gehört neben der exakten volumetrischen Zureichung vor allem ein Sprühkegel mit gleichmäßig feiner Zerstäubung des Reduktionsmittels. Zusätzlich muss sichergestellt werden, dass die Harnstofflösung auch bei tiefen Temperaturen in flüssiger Form eingespritzt wird. Wegen ihres geringen Querschnitts müssen daher vor allem die Leitungen vor niedrigen Umgebungstemperaturen geschützt werden. Continental hat dazu Dosiereinheiten (Bild 15), Steueralgorithmen (Software), das SCR-Steuergerät und beheizte Leitungen entwickelt, mit denen wesentliche Schlüsselkomponenten für SCR-Systeme bereit stehen. Continental NO_x -Sensoren liefern die Grundlage für die Berechnung der jeweils erforderlichen Zureichung des Reduktionsmittels. Weitere Komponenten und Know-how kommen von dem Entwicklungspartner Emitec, einer 50 %-Tochter von Continental, die auch die Systemintegration als Systemanbieter durchführt.

Ausblick

Sowohl beim Dieselmotor als auch beim Ottomotor werden die Einspritzdrücke weiter steigen, weil mit höherem Druck eine bessere Aufbereitung des Luft-Kraftstoffgemischs und damit eine noch sauberere Verbrennung möglich werden. Bereits heute sind vor allem Dieselinjektoren, aber zunehmend auch Benzininjektoren, eine mechatronische Spitzentechnologie, die wegen ihrer Genauigkeitsanforderungen teilweise im Reinraum montiert werden muss, um Verunreinigungen im Mikrometerbereich auszuschließen. Auf der Steuerungsseite werden die technischen Möglichkeiten dieser Injektoren in effiziente und saubere Einspritzstrategien umgesetzt, wobei immer mehr Einspritzimpulse dazu dienen, neben der Gemischaufbereitung auch die Abgasnachbehandlung beziehungsweise deren Regeneration zu ermöglichen. Künftig werden noch leistungsfähigere Injektoren die Voraussetzung für weiter entwickelte Brennverfahren, wie die kontrollierte Selbstzündung (CAI) beim Benzinmotor und die homogene Kompressionszündung (HCCI) beim Dieselmotor schaffen.

Für die weitere Optimierung des Ottomotors spielt die Zündung eine wesentliche Rolle. Conti-

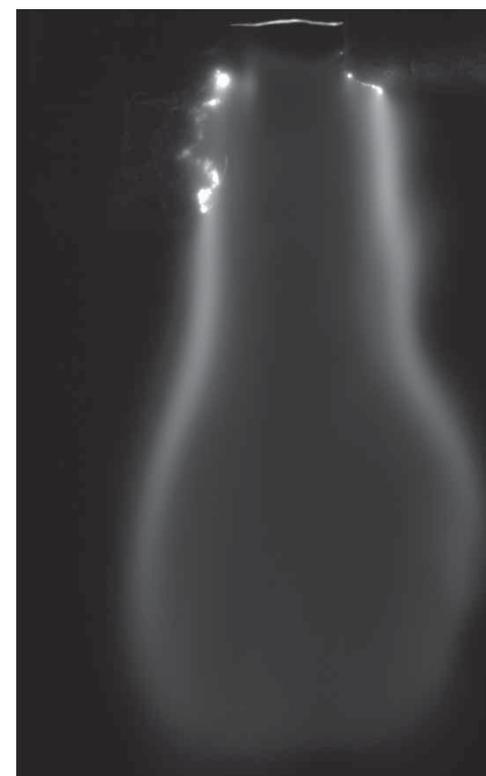


Bild 16 Zündfunkenausbreitung bei dem Konstantstrom-Zündverfahren

ental entwickelt derzeit beispielsweise ein Konstantstrom-Zündverfahren für hoch aufgeladene Ottomotoren. Bei dem entsprechenden Systemprototyp wird die Brenndauer des Zündfunken signifikant verlängert, mittels eines kontinuierlich nachgeladenen Funkens (Bild 16). Trotz höherer

Zündfunkenenergie verspricht diese Technologie eine wesentlich verbesserte Lebensdauer der Zündkerze. Gleichzeitig wird die vom Funken erfasste Region vergrößert und die Form des Funkens durch Regelung der Energiezufuhr innerhalb eines geschlossenen Regelkreislaufts definiert. Dies ist eine weitere Möglichkeit, um vor allem magere oder geschichtete Gemische ($\lambda > 1$) sicher zu zünden, oder Fettaussetzer zu entflammen. Erreicht wird dies durch eine größere Eindringtiefe in den Brennraum und einen größeren Energieinhalt.

Eine wichtigere Rolle wird in Zukunft die Abgasrückführung (AGR) spielen, weil sie zum einen die Temperatur im Brennraum senkt und damit die Bildung von Stickoxiden begrenzt. Zum anderen kann die AGR bei niedrigen Motordrehzahlen den Abgasvolumenstrom vergrößern und damit ein früheres Ansprechen des Turboladers unterstützen. Continental forscht hierzu an der optimalen Art und Weise, Abgas in den Brennraum zurück zu führen.

Literatur

- [1] Egger, K.; Warga, J.; Klügl, W.: Neues Common-Rail-Einspritzsystem mit Piezo-Aktuatorik für Pkw-Dieselmotoren, MTZ (Jg. 63), Ausgabe 9, September 2002
- [2] Wallentowitz, H.; Reif, K. (Hrsg.): Handbuch Kraftfahrzeugelektronik, Vieweg Verlag, Wiesbaden 2006, Kapitel 2.1.2.5.1, S. 21