

Auto & Motor
TECHNIEK

© **WWW.AMT.NL** - Dé internetsite voor de Automotive Professional

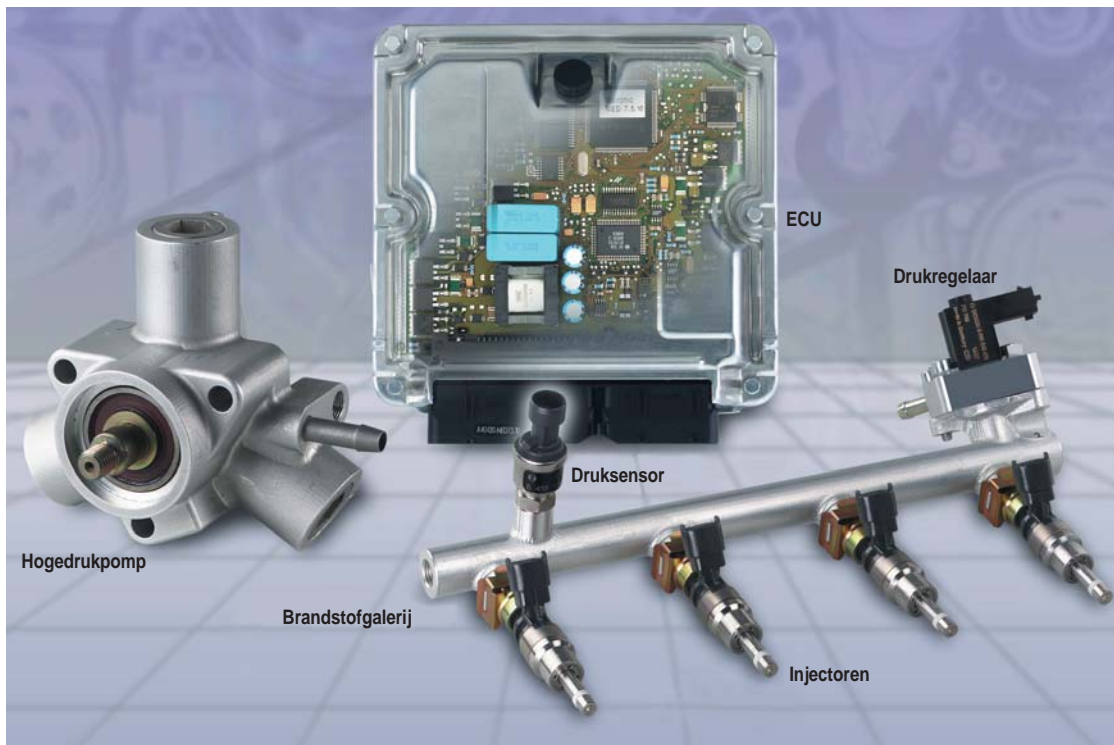
Veel innovatie op inspuitsgebied

Met Bosch direct op alle fronten

Directe injectie, lambda-sondes en meervoudige inspuiting: de verschillen tussen benzine- en dieselmotoren lijken steeds kleiner te worden. Bij Robert Bosch zijn ze al bezig met de eisen voor 2008, maar wordt er nog steeds onderscheid gemaakt tussen systemen met gloeibougies en vonkende varianten.

Reeds in de jaren dertig was Bosch bezig met directe benzine-inspuiting. In die tijd was het primair een methode om hogere motorvermogens te genereren. Nu de technologie directe benzine-injectie toegankelijker maakt voor 'dagelijks gebruik' is het systeem voornamelijk van belang om verbruik en daarmee samenhangend emissies te reduceren. Met directe inspuiting zullen bij benzinemotoren voor verbruik en uitstoot van schadelijke stoffen aanzienlijke stappen voorwaarts gemaakt worden, vergelijkbaar met de ontwikkelingen die de dieselmotor de afgelopen jaren heeft doorgemaakt. Bosch verwacht dat over vijf jaar in West Europa 40% van alle nieuwe benzinemotoren direct wordt ingespoten.

De ontwikkeling van zuiniger en schonere motoren wordt deels opgelegd door wetgevers, maar geschiedt ook voor een deel op 'vrijwillige' basis. Wettelijke



De hogedrukpomp is in staat om de brandstofgalerij met benzine te vullen tot een druk van 120 bar. Afhankelijk van de hoeveelheid in te spuiten brandstof zal de drukregelaar deze druk behouden of afbouwen. Dit wordt geregeld door de ECU die z'n informatie via de druksensor binnenkrijgt.

FOTO'S: BOSCH

richtlijnen zorgen ervoor dat in 2005 Euro4-normen van kracht worden. De Europese auto-industrie heeft zich vrijwillig verplicht tot 2008 de emissie van CO₂ met een kwart te reduceren ten opzichte van 1995. De reductie van CO₂ verloopt evenredig met die van het brandstofverbruik. Dit zal in 2008 gemiddeld 5,8 liter per 100 kilometer bedragen. Hierdoor zal de CO₂-uitstoot afnemen van 186 g/km naar 140 g/km.

De eerste stappen naar 2005 voor directe benzine-injectie neemt Bosch met behulp van de

Motronic MED 7. Dit motormanagementsysteem is speciaal ontwikkeld voor direct ingespoten benzinemotoren. Bosch spreekt zelf overigens over een hogedruk-inspuitingsysteem voor benzinemotoren.

Simpel gezegd bestaat het hogedruk-inspuitingsysteem uit een brandstofgalerij die door een hogedrukpomp wordt 'opgeladen'. Aan de brandstofgalerij zitten, net als bij de indirect ingespoten benzinemotoren al het geval was, de elektromagnetische injectoren. Deze spuiten nu direct in de verbrandingsruimte in en niet meer in het inlaatkanaal. De druk in de galerij is variabel, afhankelijk van de hoeveelheid benzine die nodig is. Daarnaast is de hoeveelheid in te spuiten brandstof ook afhankelijk van de openingsduur van de injectoren. Het geheel wordt aangestuurd door de ECU van de Motronic MED 7.

Arm neigt naar diesel
Om in 2005 en 2008 aan de gestelde eisen en verplichtingen te kunnen voldoen zullen de verbrandingsprocessen 'streng' geregeld moeten worden. Ieder brandstofdeeltje moet zo goed mogelijk benut worden, waardoor er absoluut niet méér ingespoten wordt dan het strikt noodzakelijke. Dit betekent een grote behoefte aan goed controleerbare verbrandingen. Met behulp van de Motronic MED 7 ontstaan er grofweg twee verbrandingsprocessen. Het eerste werkt met een gelaagde verbranding, het tweede met een homogene.

Gelaagde verbranding vindt plaats bij een arm mengsel; lambda is groter dan één. Dit is het gebied waar er niet al te veel van de motor gevegd wordt: deellast. Het gaspedaal wordt nauwelijks ingetrapd. Voorheen betekende dit automatisch ook dat de gasklep nauwelijks geopend was. Bij de Motronic

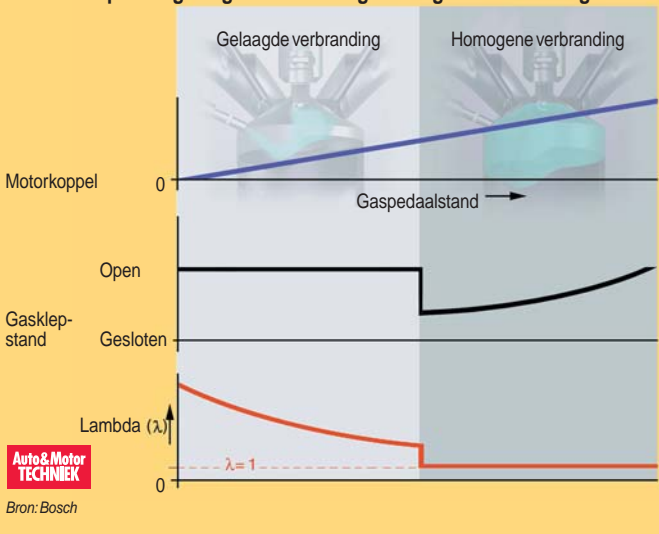
Verbrandingsprocessen bij DI-benzinemotoren



Gelaagde verbranding
Bron: Bosch
Homogene verbranding

Wanneer er gewerkt wordt met lambda-waardes groter dan één, concentreert de verbranding zich zoveel mogelijk rond de bougie, een gelaagde verbranding. Wanneer er meer prestaties gevraagd worden zal de gehele verbrandingsruimte gevuld moeten worden met een homogeen mengsel.

Omschakelproces gelaagde verbranding / homogene verbranding

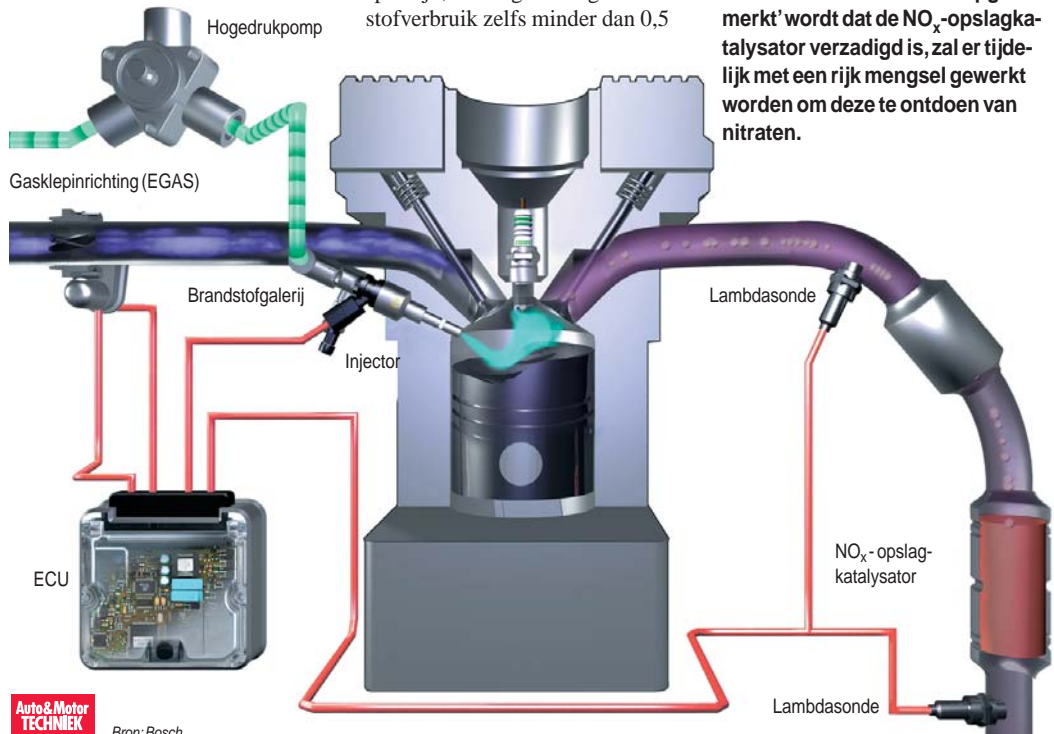


Wanneer er weinig van de motor gevraagd wordt, is een arm mengsel toereikend. De mate van presteren wordt geregeld door de hoeveelheid ingespoten brandstof, de gasklep staat dan ook volledig open. Dit heeft als voordeel dat de stromingsverliezen in het inlaattraject tot een minimum beperkt blijven.

MED 7 staat de gasklep bij geringe belasting juist geheel open. Dit wordt elektronisch geregeld (EGAS). Het voordeel van een wijd geopende gasklep is het ontbreken van stromingsverliezen. De gevraagde prestaties van de motor worden in dit belastingsgebied geregeld via de brandstofinspuiting en niet door de hoeveelheid aangezogen lucht.

Hier komt de vergelijking met de dieselmotor om de hoek kijken: er wordt gewerkt met een grote luchtvermaat en een variabele inspuihoeveelheid en -tijd. De

Directe benzine-inspuiting
Bosch Motronic MED 7



Auto & Motor
TECHNIEK
Bron: Bosch

luchtvermaat leidt tot lambda-waardes die liggen tussen 1,5 en 3,0.

De gelaagde verbranding ontstaat door kort voor het ontstekingstijdstip brandstof direct in de verbrandingsruimte te injecteren. Hierdoor wordt de verbrandingsruimte verdeeld in twee zones. Vlak rond de bougie vormt zich de eerste zone: een wolk bestaand uit een brandbaar mengsel van lucht en benzine. De andere zone bestaat uit een thermisch isolerende laag van lucht (er is tenslotte een luchtvermaat) en restgas. De wolk brandbaar mengsel wordt door de laag met lucht en uitlaatgas geïsoleerd van de cilinderwand en de zuigerbodem, waardoor warmteverliezen worden beperkt. Dit verhoogt het thermodynamisch rendement.

Fijner dan fijn

Een belangrijke eis die de gelaagde verbranding stelt aan de inspuiting heeft voornamelijk betrekking op de inspuittijd. Doordat zeer kort voor het ontstekingstijdstip de volledige hoeveelheid benzine ingespoten moet worden, is de beschikbare inspuittijd zeer kort. Wanneer de motor stationair loopt, is de inspuittijd, vanwege het lage brandstofverbruik zelfs minder dan 0,5

milliseconde. Dit is een vijfde deel van de tijd die beschikbaar is bij conventionele inspuiting in het inlaatkanaal. Om in de korte tijd tussen inspuiten en ontsteken toch nog een optimaal mengsel te creëren moet de brandstof zeer fijn verstoven worden.

De doorsnede van een brandstofdruppel is bij directe inspuiting kleiner dan 20 µm (micrometer). Ter vergelijking: een mensenhaar is drie maal zo dik en een druppel benzine bij conventionele inspuiting in het inlaatspruitstuk heeft een doorsnede die vijf maal groter is. Naast de afmeting van de benzinedruppels is ook een gelijkmatige verdeling van de brandstof in de inspuitstraal van groot belang. Om zowel de inspuittijd, de druppelgrootte en de gelijkmatigheid van de inspuitstraal goed te kunnen regelen is het van groot belang dat de inspuitventielen extreem nauwkeurig werken. Verder is het voor een verfijnde inspuiting van belang dat in de brandstofgalerij de druk hoog is, maar wel exact valt te regelen.

Belangrijke informatie voor de regeling van brandstof en luchttoevoer wordt geleverd door de lambdasondes. Wanneer 'opgemerkt' wordt dat de NO_x-opslagkatalysator verzadigd is, zal er tijdelijk met een rijk mengsel gewerkt worden om deze te ontdoen van nitraten.

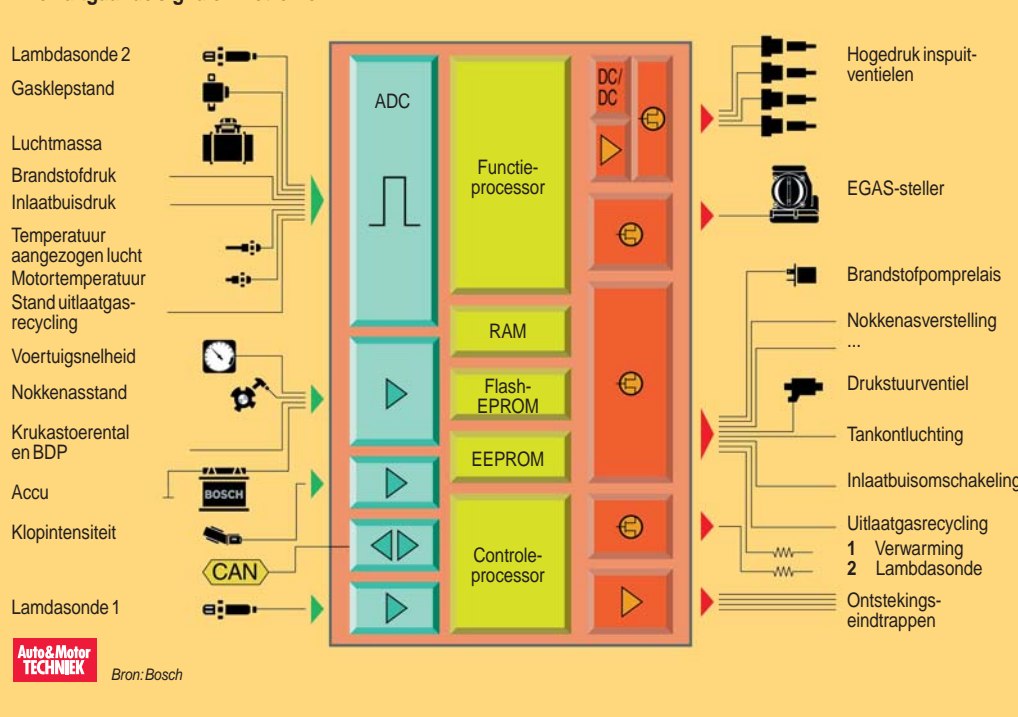
Smoren voor meer vermogen

Wanneer het gaspedaal verder wordt ingetrap en de motor zwaarder wordt belast, zal het in te spuiten brandstofvolume toenemen. De gelaagde wolk zal steeds vetter worden. Dit heeft direct invloed op de samenstelling van het uitlaatgas. In het ongunstigste geval kan dit net als bij dieselmotoren zelfs tot roetvorming leiden. Bij een bepaalde belasting zal de Motronic MED 7 direct reageren en rigoureuus ingrijpen. Gelaagde verbranding is niet meer van toepassing en een geheel geopende gasklep geen vanzelfsprekendheid: het systeem schakelt over op een homogene cilindervulling. Er wordt nu al vrij vroeg in de inlaatslag ingespoten. In vergelijking met indirect ingespoten brandstofsysteem duurt de insputing bij directe insputing onder vollast slechts een kwart van de tijd. Door de vroege insputing ontstaat een goede vermenging van de ingespoten benzine en de aangezogen lucht.

Omdat de brandstof niet alleen meer in de gelaagde wolk zit, maar nu in de gehele verbrandingsruimte aanwezig is, kan er niet meer met een (te grote) luchtvermaat gewerkt worden. Het gelaagde mengsel was namelijk gemiddeld in de hele verbrandingsruimte wel arm, maar in de mengselwolk lokaal toch rijk genoeg om nog te kunnen ontbranden. Er wordt na het 'omslagpunt' van gelaagd naar homogeen niet extreem veel extra brandstof ingespoten. Er moet voorkomen worden dat het mengsel te arm wordt en niet meer kan ontbranden. Dit betekent dat er minder lucht nodig is, er moet dus gesmoord worden. Om de lucht-hoeveelheid te sturen wordt de gasklep weer functioneel. De werkelijke lucht-brandstofverhouding in de verbrandingsruimte is nu ongeveer gelijk aan de theoretisch optimale verhouding (14,7:1), oftewel lambda is één.

Net als bij conventionele (indirect ingespoten) brandstofsysteem wordt de hoeveelheid aangezogen lucht nu weer bepaald door de prestaties die de bestuurder via z'n gaspedaal wenst. De Motronic MED 7 berekent de bijbehorende

In- en uitgaande signalen Motronic MED 7



De in- en uitgaande grootheden bij de Motronic MED 7 verschillen niet veel van wat al bekend was bij de Motronic-systemen met indirecte insputsystemen. Wel heeft een aantal signalen volstrekt andere waarden, dit voornamelijk met betrekking tot de hogere brandstof-druk.

hoeveelheid in te spuiten brandstof uit de hoeveelheid aangezogen lucht en corrigeert dit eventueel nog via de lambda-regeling. Uiteindelijk zal bij vollast de gasklep weer geheel open staan, maar nu heeft dit een iets andere achtergrond dan bij de gelaagde verbranding.

Rijker worden?

Door de optimale insputing en de grote luchtvermaat bij de processen met gelaagde verbranding worden in vergelijking met de conventionele insputsystemen tijdens deellast de grootste brandstofbesparingen gerealiseerd. Wanneer de motor stationair draait, wordt met directe insputing zelfs tot veertig procent brandstof bespaard ten opzichte van indirecte benzine-insputing.

Lijnrecht tegenover de brandstofbesparing bij deellast staat de verhoogde uitstoot van NO_x , of liever gezegd lijkt de verhoogde uitstoot van NO_x te staan. De stikstofoxiden kunnen in het zeer magere uitlaatgas ondanks uitlaatgasrecycling niet door de standaard drie-wegkatalysator afgevoerd worden. De strenge eisen van de toekomst lijken hierdoor onhaalbaar. Daarom wordt er na de 'standaard' katalysator nog een extra exemplaar gebruikt. Dit is de zogenaamde NO_x -opslagkatalysator. Aan het oppervlak van deze katalysator wordt stikstofoxide (NO_x) met het nog aanwezige zuurstof uit de magere uitlaatgassen omgezet in nitraten (HNO_3).

Dit werkt echter niet geheel onbepaald. Er komt een moment dat de NO_x -kat verzadigd is en geregeerd moet worden. Om de nitraten om te zetten zal de motor kortstondig (en voor de bestuurder onmerkbaar) overschakelen naar een vullingeregeld proces: een vet homogeen verbrandingsproces met een lambda-waarde van 0,8. Er zal tijdelijk een verhoogde uitstoot van koolmonoxide (CO) plaatsvin-

den. Het nitraat zal voor een belangrijk gedeelte samen met de koolmonoxide gereduceerd worden tot onder andere het onschadelijke stikstof (N_2) en zuurstof (O_2). Hierna is het systeem weer geschikt om stikstofoxiden op te slaan en kan het proces weer van vooraf aan beginnen. Omdat het grootste deel van de kilometers afgelegd wordt met een magere mengsel (ruim 70% volgens de standaard Europese rijcyclus) is dit van vrij groot belang.

Bij homogene mengselvorming zegt Bosch dat er met directe benzine-insputing een koppelstijging valt te realiseren van vijf procent. Dit komt enerzijds door het thermodynamische koeffect van de brandstof die direct in de verbrandingsruimte verdampt. Anderzijds is volgens Bosch de stijging van het draaimoment te danken aan de hogere compressieverhouding van een motor met directe benzine-insputing. Door optimaal gebruik te maken van de voordelen die de directe benzine-insputing gecombineerd met de Motronic MED 7 levert, is het volgens Bosch mogelijk om gerelateerd aan de Europese

De toekomst heeft diesel

Aan dieselmotoren worden steeds strengere eisen gesteld. In 2008 mag de vloot van nieuwe auto's gemiddeld per kilometer niet meer dan 140 gram CO₂ uitstoten. Dit komt overeen met een gemiddeld verbruik van 5,8 liter per honderd kilometer. Om zover te komen zal er nog het een en ander aan het verbrandingsproces verfijnd moeten worden.

Verbetering van het verbrandingsproces begint bij dieselmotoren met de inspuiting. Bosch kent een hoge prioriteit toe aan het ontwikkelen van systemen met hogere inspuitdrukken. Hierdoor kan er met kleinere gaatjes in de injectoren gewerkt worden, met als gevolg een geoptimaliseerde brandstofverneveling. Dit is de basis voor lagere emissies.

Common-Rail-injectoren zullen vanaf 2002 voorzien worden van piëzo stelelementen. Deze zijn compacter en werken nauwkeuriger dan de momenteel toegepaste magneetvarianten. De piëzo injectoren zijn geschikt voor meervoudige inspuiting met zeer flexibele tijdsintervallen tussen de afzonderlijke injecties. Door de nauwkeurige werking meent Bosch voorinspuitingen te realiseren van

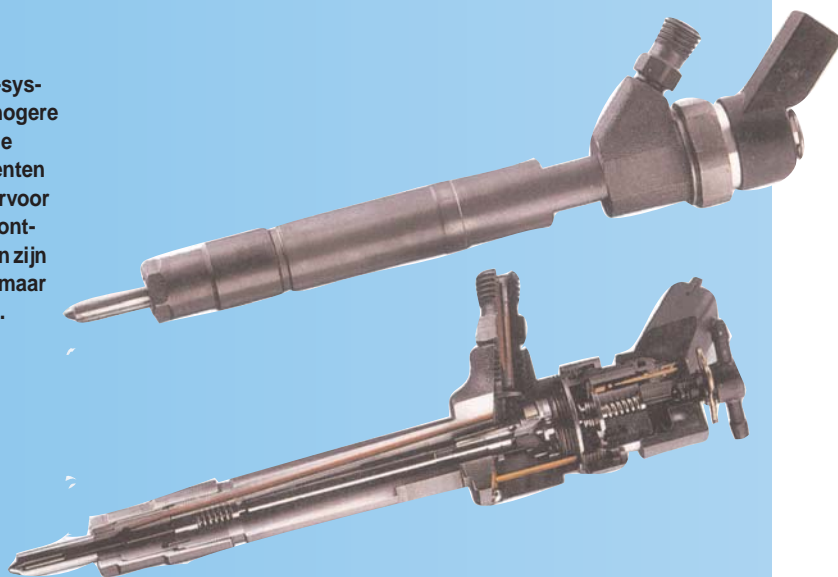
rijcyclus een gemiddelde besparing van vijftien procent te halen.

Tijdens de Europese testcycli wordt voor benzinemotoren over het algemeen gerekend met een rendement van dertien procent. Dit betekent dat nog geen achtste deel van de energie uit benzine omgezet wordt in bruikbare bewegingsenergie. Door toepassing van directe injectie in combinatie met de Motronic MED 7 heeft Bosch de verliezen met enkele procenten weten te reduceren. Deze reductie komt voor een groot deel door de verbranding te laten verlopen bij lambda-waarden die groter zijn dan één. Dit is verbrandingstechnisch zeer gunstig. Verder wordt een groot deel van de winst gerealiseerd door het omzeilen van stromingsverliezen als gevolg van een (deels) gesloten gasklep. De reductie van de verliezen met enkele procenten heeft verhoudingsgewijs een grote invloed op het rendement. Het rendement wordt dan ook met meer dan tien procent verbeterd.

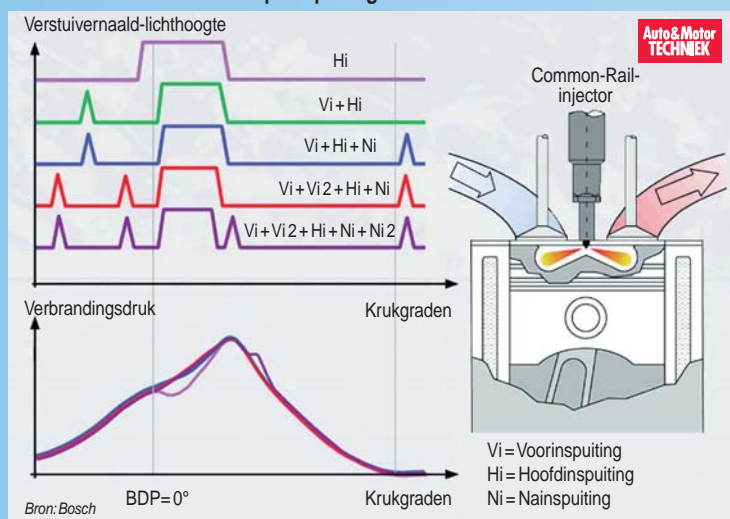
De tweede generatie Common-Rail-systemen moet bij Bosch zorgen voor hogere inspuitdrukken. Het opvoeren van de druk vraagt echter wel om componenten die dat aan kunnen. Bosch heeft hiervoor een nieuw type pomp en injectoren ontwikkeld. De hier getoonde injectoren zijn geschikt voor drukken tot 1600 bar, maar werken nog met magneetbediening.

minder dan 1 mm³/slag. Vijfvoudige inspuiting is in 2002 de gewoonste zaak van de wereld. Tegen die tijd geldt dit ook voor de hieruit voortvloeiende zaken als reductie van de geluidsproductie en lagere emissies. De ontwikkelingen van onder meer de piëzo injectoren leiden tot een snel reagerend motormanagementsysteem met reken- en geheugen capaciteiten die overeenkomen met een Pentium II-computer. De benodigde informatie komt voor een belangrijk deel van een lambda-regeling, waarbij de luchthoeveelheid in het uitlaatgas gemeten wordt. In een gesloten regelkring met de lambda-meting worden de inspuithoeveelheid en de mate van uitlaatgasrecycling geregeld. Verder kan het lambda-signaal gebruikt worden voor OBD-functies.

Om het verbrandingsgeluid bij lage temperaturen terug te dringen wordt gewerkt aan keramische gloeibougies. Hierdoor klimt de voorgloeitemperatuur tot 1200 °C met een voorgloei-tijd van minder dan twee seconden. De energiebehoefte voor deze bougies is lager dan die van de huidige generatie.



Grote toekomst voor meertrapsinspuiting

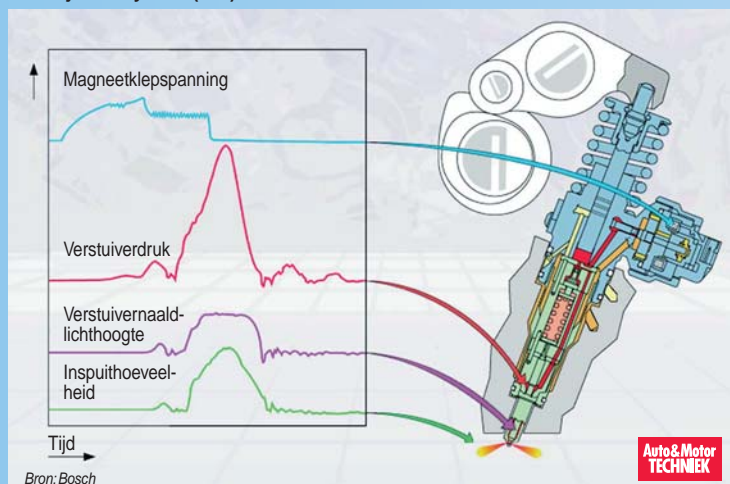


Het verloop van de verbrandingsdruk is door meervoudige inspuiting gunstig te beïnvloeden. Duidelijk is te zien dat de drukval aan het begin van de arbeidslag door meervoudige inspuiting opgeheven wordt en dat een extra nainspuiting nog wat extra druk geeft nadat het maximum al bereikt is.

Elektronisch geregeld hogedrukgebied

Vergeleken met andere systemen levert de pompverstuiver, ook wel het Unit Injector System (UIS) genoemd, met 2050 bar de hoogste druk. Het voordeel van UIS is dat pomp en injector in één module zitten en er dus weinig drukvoerende delen nodig zijn. De nieuwe generatie pompverstuivers zal compacter zijn en daardoor meer geschikt voor motoren met vier kleppen per cilinder. Momenteel wordt via een mechanisch-hydraulische eenheid de voorinspuiting geregeld. De volgende reeks zal elektronisch gestuurd zijn, met als resultaat een flexibeler voorinspuiting.

Unit Injector System (UIS)



Cornelis Kit