

Auto & Motor
TECHNIEK

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

Direct ingespoten benzinemotor van PSA

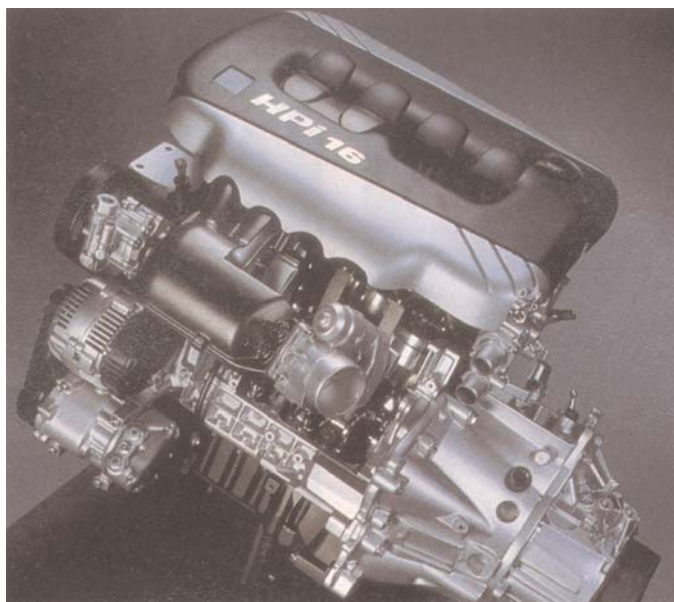
HPi geeft benzinemotor toekomstperspectief

DI-benzine op z'n Frans

De benzinemotor met directe inspuiting is aan z'n opmars begonnen. Mitsubishi krijgt gezelschap van steeds meer fabrikanten. Ook PSA laat van zich horen. Met de HPi motor introduceren Peugeot en Citroën een vooruitstrevende DI-benzinemotor die met arme mengsels prima raad weet.

HPi is de nieuwste loot aan de stam van directe benzine-injectie, die geworteld is bij Bosch in Duitsland. De vliegtuigen van de Luftwaffe vlogen ermee in de Tweede Wereldoorlog. Na de primeur bij de auto's van het kleine merk Gutbrod in de vroege jaren vijftig, beleefde directe benzine-inspuiting een korte bloeiperiode bij Mercedes-Benz in de 300 SL en SLR sport- en W196 racewagens. Pas in de jaren negentig pakten Toyota en Mitsubishi de draad weer op met hun D-4 en GDI genoemde DI-benzinemotoren.

Draaide het vroeger alleen maar om het behalen van hogere motorvermogens, nu zijn het uiteraard de goede mogelijkheden die directe



De direct ingespoten HPi benzinemotor van PSA is goed voor fikse prestaties. Daarbij is het brandstofverbruik opmerkelijk laag en zijn de emissies zeer gunstig.

inspuiting biedt om het brandstofverbruik drastisch te kunnen beperken. Dit dan liefst nog in combinatie met arm draaien onder lage motorbelastingen. Eerder dan PSA was Renault met IDE al zover (echter nog zonder arm draaien!) en Nissan levert directe benzine-injectie op de hier niet verkrijgbare modellen Tino, Cedric en Gloria. DI-benzinemotoren zijn binnenkort ook te verwachten van onder andere VW (FSI), Audi (FDI), Daimler-Chrysler, Opel (BDE) en Ford (DISI).

Veel zuiniger De voluit EW 10 HPi 16 genoemde tweelitermotor voor Peugeot en Citroën is het nieuwste resultaat van het ontwikkelingsprogramma voor modernere benzinemotoren (EW-serie), ter vervanging van de verouderde motoren van de XU-serie. De eerste daarvan, een twee-

litermotor met indirecte inspuiting, werd begin 1999 uitgebracht en nu is daar al een DI-variant uit ontwikkeld. Productie van de motor, te beginnen met 200 per dag, vindt plaats in de motorenfabriek van PSA in Trémery, Lotharingen.

Voor de HPi-motor zijn het aluminium cilinderblok, de drijfstan- gen met vaste zuigerpennen, de gietstalen krukas, water- en olie- pomp en de aandrijving van de hulpaggregaten overgenomen. De zuigers en cilinderkop daarentegen zijn helemaal nieuw.

Vergeleken met de conventionele EW-motor is de HPi-motor, gemeten tijdens de ECE testcyclus inclusief snelwegtraject en draai- end op benzine met het in de EG maximaal toelaatbare zwavelge- halte van 150 ppm, 10% zuiniger en zelfs 19% vergeleken met de XU-motor van de voorgaande ge- neratie. Gemeten zonder het snel- wegtraject zijn de besparingen re- spectievelijk 11 en 21%! Als de HPi-motor gewoon lambda één draait omdat hij moet presteren (snelweg, helling op, acceleratie of

aanhanger) is hij weliswaar niet zuiniger dan zijn voorganger, maar ten opzichte van de XU-generatie scheelt dat nog altijd 10%.

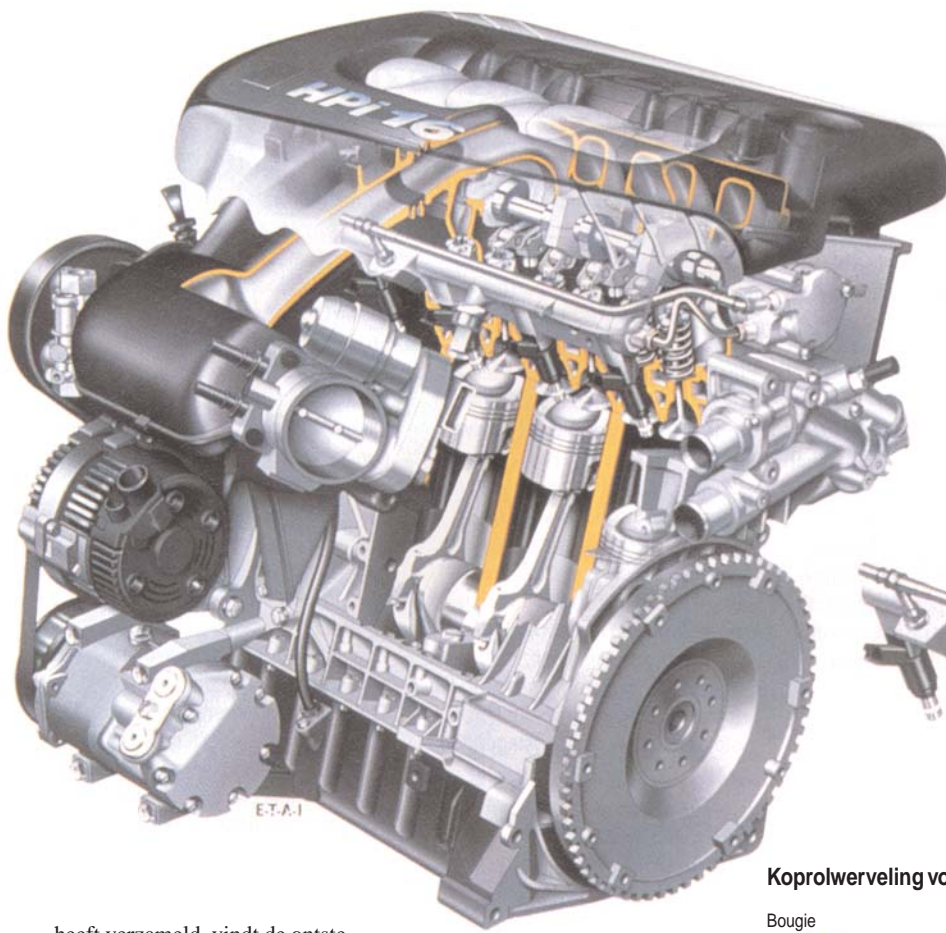
Intensieve samenwerking De HPi-motor kon zo snel ontwik- keld worden omdat er een hechte samenwerking heeft plaatsgevon- den met Siemens, als leverancier van de inspuitapparatuur en de elektronische regeleenheid. Bo- vendien zijn van Mitsubishi de pa- tentrechten gekocht met betrek- king tot de hoofdkenmerken van haar befaamde GDI-technologie. Die hoofdkenmerken betreffen de geraffineerde wijze waarop in het lagere toereengebied en onder ge- ringe motorbelastingen een effi- ciënte gelaagde verbranding tot stand wordt gebracht en de daarmee samenhangende constructie van zuigers en cilinderkop.

Zoals bekend is de bij GDI en nu dus ook bij HPi toegepaste wij- ze van gelaagde verbranding het resultaat van de combinatie van twee samenwerkende factoren. Enerzijds zuigers met excentrische kom en naar het midden toe oplo- pende kam, anderzijds recht boven en aan één kant van de cilinders geplaatste dubbele inlaatpoorten. Tijdens de compressieslag wordt in genoemde zuigerkom met kam een intensieve koprolwerveling tot stand gebracht, die nog versterkt wordt door de lucht die over de kam heen vanaf de andere zijde wordt weggeperst.

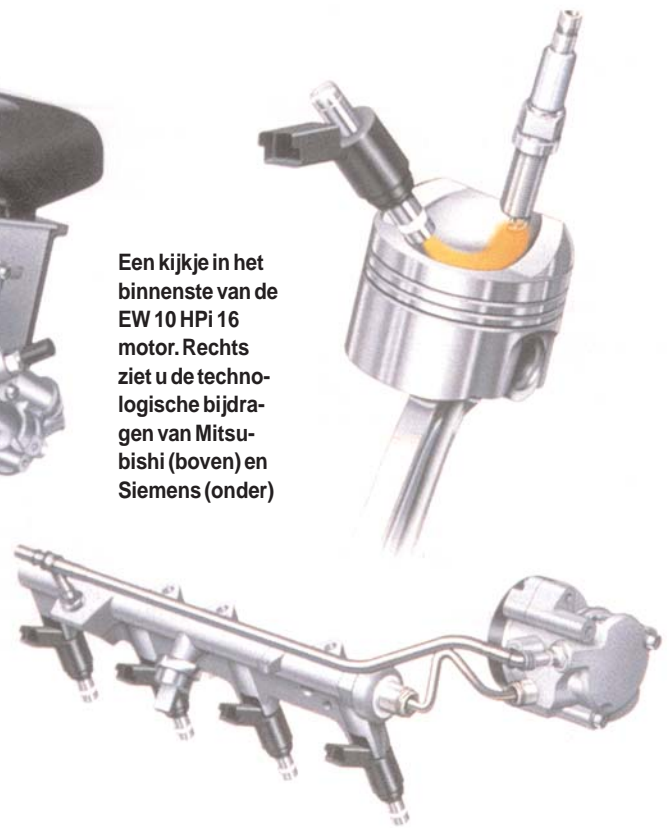
Gelaagde verbranding Bij arm draaien met gelaagde ver- branding, dat hier alleen onder lage belastingen en bij toerentallen tot 3.500 t/min mogelijk is, wordt de benzine tijdens de compressie- slag van opzij ingespoten en wel op enkele tientallen graden vóór BDP. De langs de zuigerkam om- hoogstromende lucht neemt de brandstofkegel mee en deze buigt vervolgens af in de richting van de bougie door toedoen van het laaste restje lucht, dat met kracht uit de squishpleet aan de andere zijde van de zuigerkam wordt wegge- perst. Zodra zich zo nabij de cen- traal bovenin geplaatste bougie een pakketje goed brandbaar mengsel

Feiten van de HPi-motor

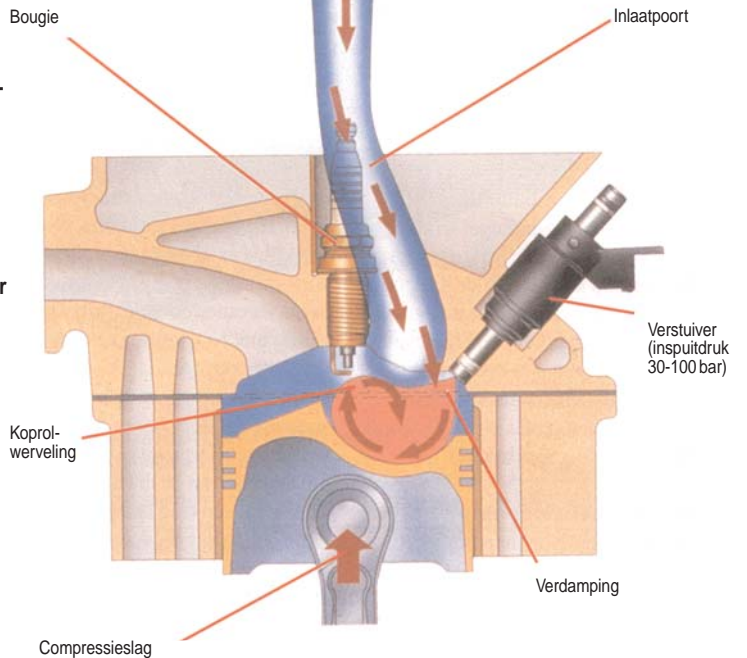
Aantal cilinders4
Cilinderinhoud1998 cm ³
Boring x slag85 x 88 mm
Compressieverhouding11,4 : 1
Klepbedieningvariabel
Aantal kleppen per cilinder4
Max. vermogen103 kW (143 pk) bij 6.000 t/min
Max. koppel192 Nm



Een kijkje in het binnenste van de EW 10 HPi 16 motor. Rechts ziet u de technologische bijdragen van Mitsubishi (boven) en Siemens (onder)



Koprolwerveling voert benzine naar bougie



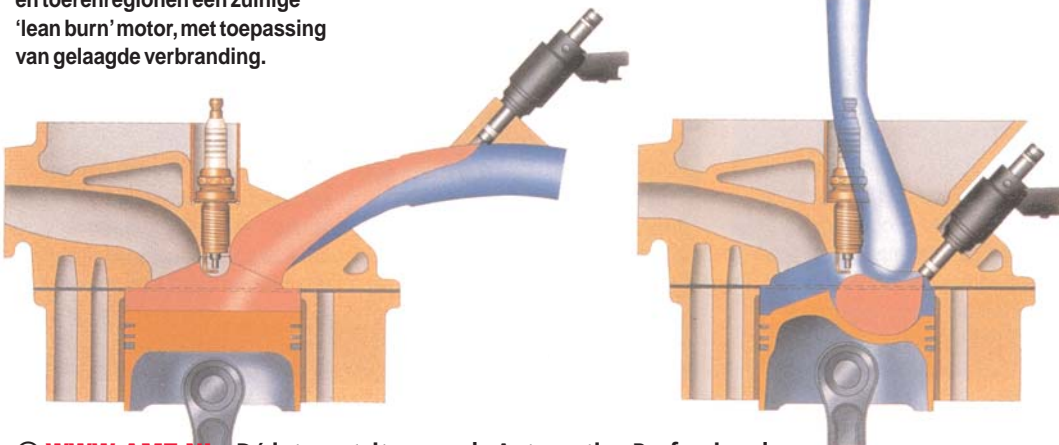
heeft verzameld, vindt de ontsteking plaats. De motor kan zo met een grote mate van luchtoverschot draaien, tot een lucht/brandstofverhouding van 30 op 1 aan toe (nog géén record in motorenland!). Het grote luchtoverschot maakt ook een royale toepassing van maximaal 30% EGR mogelijk, ter beperking van de NO_x -emissies. De resterende stikstofoxiden worden in een speciale katalysator grotendeels onschadelijk gemaakt.

Voor de volledigheid: er is nog een andere dan de hier toegepaste manier om door werveling en geleiding van lucht en benzine een

De toestromende lucht vanuit het verticale inlaatkanaal wordt in de kom van de zuiger daar recht onder intensief aan het koppeltjeduikelen gebracht, als de zuiger tijdens de compressieslag omhoog gaat. Uiteraard kan de lucht tijdens de compressieslag niet blijven toestromen zoals hier getekend is. Zó bijzonder is de HPi-motor nu ook weer niet!

gelaagde verbranding tot stand te kunnen brengen. Dat is die waarbij verstuiver en bougie zó dicht bij elkaar zijn geplaatst, dat de benzine al vrijwel direct bij het begin van de inspuiting ontstoken kan worden en het vuur blijft branden tot de inspuiting beëindigd is. Dat bougie en verstuiver het zo wel erg heet moeten krijgen laat zich af-

De wezenlijke verschillen tussen de indirect ingespoten EW 10 J4 motor (links) en de direct ingespoten EW 10 HPi 16 motor (rechts). De laatste is in de lage belastings- en toerenregionen een zuinige 'lean burn' motor, met toepassing van gelaagde verbranding.



den. Het zal dan ook niet meevalen om dat voldoende betrouwbaar en duurzaam te krijgen.

Deels kwalitatieve regeling
Eén van de voordelen van gelaagde verbranding is, dat die een kwalitatieve brandstofregeling mogelijk maakt zoals bij de dieselmotor. Het verlangde koppel wordt door de ingespoten hoeveelheid benzine bepaald, terwijl de motor vrij kan ademen omdat de smookklep open blijft staan. Het elektronisch gaspedaal maakt dat mogelijk zonder

dat de bestuurder daar iets van bemerkt. Zo staat de smoorklep bij stationair draaien al 20° open (normaal is dat 8 à 10°) terwijl de klep bij hogere toerentallen en belastingen onder arm draaien met gelaagde verbranding zelfs geheel open staat! De vrije ademhaling beperkt onder deze omstandigheden de pompverliezen en levert zo een bijdrage aan het motorrendement. Als echt vermogen van de motor gevraagd wordt draait hij uiteraard lambda één.

De benzine wordt in een draaiende beweging rond de hartlijn van de verstuiver ingespoten, en de brandstofkegel heeft een hoek van 70°. De brandstofdruk varieert van 70 bar bij onbelast draaien tot 100 bar bij vollast. De hoogste inspuitedruk bij vollast geeft aan, dat de benzine ook onder die omstandigheden tijdens de compressieslag wordt ingespoten. Een verschil met GDI, want daar vindt de insputing bij hogere belastingen al tijdens de inlaatslag plaats om de vorming van een homogeen mengsel te bevorderen. De inspuitedruk is dan lager en de brandstofkegel wijder.

Ten behoeve van een rustiger motorloop kan bij HPI de druk ook op een lagere waarde dan de genoemde 70 bar worden afgeregeld en wel tot 30 bar in de overgangsfasen. Of de benzine nu in één of in twee fasen (zoals bij GDI) wordt ingespoten, is niet bekend.

Unieke benzinepomp

De hogedrukbenzinepomp zegt PSA samen met Siemens te hebben ontwikkeld en hij valt op door zijn unieke constructie, beperkte inwendige wrijving, lange levensduur, geringe afmetingen en lage gewicht (900 gram!). De bewegende delen van het feitelijke pompgedeelte met drie pompluniers en roterende, hydrostatisch gelagerde

aandrijfschijf, worden door olie gesmeerd en komen niet in aanraking met benzine. De pomp voert ook het teveel aan benzine af.

Motormanagement

De samen met Siemens ontwikkelde regelstrategie bemoeit zich met de beheersing van de verbrandingsprocessen bij arm draaien (smoorkleppening, ontstekings- en inspuittijdstippen, inspuitedrukken en EGR), met de brandstofdosering (inspuitedruk en inspuiteduur), met het kiezen tussen de twee bedrijfstoestanden (arm draaien en lambda één), met de lambda-regeling (óók wat betreft het functioneren van de NO_x-opslagkatalysator), met EOBD (European On Board Diagnostics) en met de bedrijfsveiligheid (bij storingen activering van een noodloopprogramma om de auto mobiel te houden).

Het smoorklephuis is voorzien van een stappenmotor die door de regeleenheid wordt aangestuurd, afhankelijk van de vermogensbehoefte en het functioneren van de motor (arm draaien of lambda één). Tevens zorgt de regeling ervoor dat de overgangen daartussen, de acceleraties en de uitlaatgasregeling met NO_x-opslagkatalysator, schokvrij verlopen.

De aansturing van de bobine is zodanig, dat deze onder drie verschillende energieniveaus werkt, afhankelijk van de draaiomstandigheden: een laag energieniveau van 50 mJoules bij vollast en lambda één, een energieniveau van 70 mJoules bij matige belastingen en lambda één en een hoog energieniveau van 100 mJoules bij arm draaien met gelaagde verbranding.

Zwavel moet uit de benzine! In de meeste Europese landen heeft de benzine nog een zwavelgehalte dat overeenkomt met het nu nog toelaatbare maximum van 150 ppm. Een zo hoog zwavelgehalte is echter niet alleen slecht voor het milieu, omdat de zwavel bij de verbranding door oxydatie in zwaveldioxyde wordt omgezet. De gevormde zwaveldioxyde is ook schadelijk voor de speciale NO_x-opslagkatalysator, die bij de HPI-

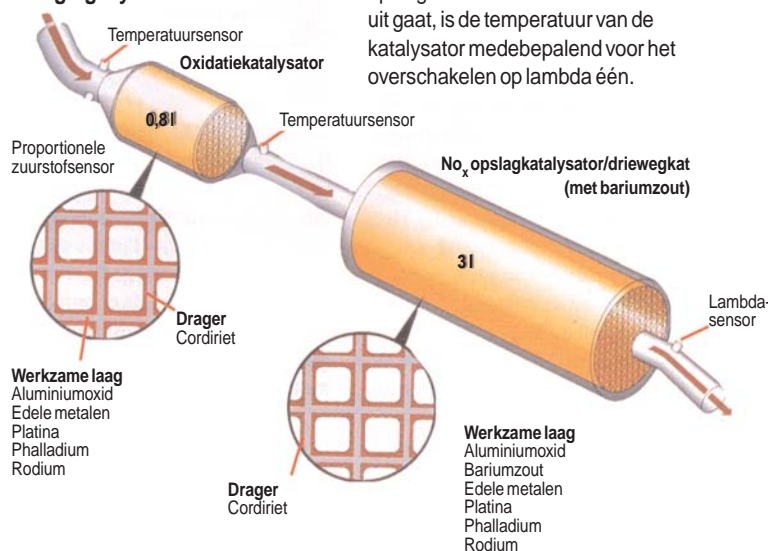
Schoon dankzij oxidatiekatalysator en opslagkat

PSA heeft in samenwerking met de katalysatorfabrikant Degussa-Hüls een uitlaatgasreinigingssysteem ontwikkeld, nodig vanwege het kunnen draaien van de motor met een groot luchtoverschot. Het is dan namelijk niet meer mogelijk om alle drie de schadelijke emissiecomponenten in de gebruikelijke driewegkatalysator onschadelijk te maken. Een oxidatiekatalysator dichtbij de motor behandelt de koolmonoxyden en onverbrande koolwaterstoffen en in een veel grotere zogenaamde opslagkat onder de auto, die ook als driewegkat kan functioneren als de motor lambda één draait, worden de bij arm draaien en ondanks de EGR toch nog te grote hoeveelheden stikstofoxyden tijdelijk opgeslagen. Op

het moment dat verzadiging dreigt gaat de motor enkele seconden rijk draaien, om de opgeslagen NO_x met het nu in voldoende mate aanwezige CO en CH weer vrij te kunnen maken en alsnog de gebruikelijke reductieprocessen erop los te laten. Dit alles vindt gemiddeld één keer per minuut plaats. Voor de opslag van NO_x zorgt een zout dat is afgeleid van het aardalkalmetaal barium en dat een bijzondere chemische affiniteit met NO_x vertoont. Bij arm draaien van de motor wordt NO_x door de platina coating volledig tot NO₂ geoxydeerd en vervolgens aan het bovengenoemde bariumhoudende materiaal als bariumnitraat gebonden.

De optimale werkteemperatuur van de opslagkatalysator ligt tussen 300 en 450°C. De stikstofoxyden worden dan voor meer dan 90 procent onschadelijk gemaakt. Doordat de NO_x-opslag boven de 500°C snel achteruit gaat, is de temperatuur van de katalysator medebepalend voor het overschakelen op lambda één.

Doeltreffend uitlaatgasreinigingssysteem



motor wordt toegepast. Met het daarin aanwezige bariumzout gedraagt de SO₂ zich namelijk net zoals de stikstofoxyden: ze bindt zich eraan en wordt in bariumsulfaat omgezet, dat chemisch stabiel is dan het bariumnitraat dat met de NO_x wordt gevormd. Hierdoor neemt geleidelijk de NO_x-omzettinggraad van de katalysator af. Veelvuldig regenereren is dus noodzakelijk om de kat operationeel te houden, waar echter een tijdelijke verhoging van de uitlaatgastemperatuur en een rijkere verbranding voor nodig zijn. Dat kost uiteraard extra brandstof.

Minder zwavel in de benzine beperkt de frequenties waarmee de regeneratieprocessen moeten

plaatsvinden en daarmee dus ook het benzineverbruik en de CO₂-emissie. Ook kunnen dan betere NO_x-katalysatoren worden toegepast. Geen wonder dat de Europese autofabrikanten de aardolimaatschappijen steeds meer onder druk zetten om in alle landen van de gemeenschap benzine met een zwavelgehalte van maximaal slechts 10 ppm op de markt te brengen om op die manier de voordelen van de DI-benzine-injectie ten volle uit te kunnen buiten. De auto-industrie is er reeds klaar voor en nu zijn dus de oliemaatschappijen en ook de Europese Commissie aan zet.

Dik Boosman

Zo schoon is de HPI motor

	CO	CH	NO _x
Euro 3 (2001)	2,3	0,2	0,15
HPI-motor	0,5	0,075	0,06
Euro 4 (2005)	1	0,1	0,08

De waarden zijn in g/km en gemeten tijdens de gemengde cyclus