

**Auto & Motor**  
**TECHNIEK**

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

# Krachtige Euro 5-motor zonder DeNO<sub>x</sub>-katalysator Groen en pittig

Met de OM651 presenteert Mercedes-Benz een voorbeeldige dieselmotor. De nieuwe vierpitter is dermate krachtig dat deze de lichtste V6 turbodiesel kan vervangen. Zonder complexe uitlaatgasnabehandeling voldoet hij aan de Euro 5-eisen en de stap naar Euro 6 gaat weinig moeite kosten. AMT verdiepte zich in de technische details van deze potente milieudiesel.

De concurrentiestrijd tussen Mercedes-Benz en BMW is in volle gang. Het is leerzaam de beschrijving van BMW's turbodiesel in AMT 2008/9 door te nemen. Er zijn namelijk grote overeenkomsten, maar ook opvallende verschillen tussen beide nieuwkomers.

De nieuwe viercilinder turbodieselmotoren van Mercedes (OM651-serie) zijn bedoeld voor verschillende modellen personenauto's en bestelwagens, met plaatsing in dwars- en lengterichting. Er moest ook rekening gehouden worden met vierwielaandrijving.

Een belangrijk aandachtspunt was een gunstig verbruik, dus lage CO<sub>2</sub>-uitwerp. Om downsizing mogelijk te maken moet de vierpitter de minst krachtige V6 turbodiesel kunnen vervangen. Daarom is een hoogste koppel van 500 Nm nodig en een vermogen van 150 kW om het rij-

gedrag en prestatieniveau van de zescilinder te evenaren. Deze sterkste versie van de OM651 is zojuist geïntroduceerd, lichtere versies volgen binnenkort.

Uiteraard dient de nieuwe motor aan de Euro 5 emissie-eisen te voldoen, en dat is bereikt zonder DeNO<sub>x</sub>-uitlaatgasbehandeling. De Euro 6-eisen moeten met minimale extra inspanningen gehaald kunnen worden.

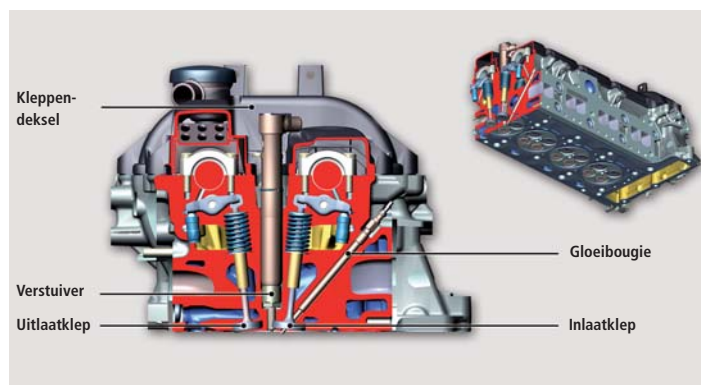
## Stevig motorblok en drijfwerk

Het motorblok is van gietijzer en loopt door tot onder de hoofdlagerkappen. Het heeft 'schorten'. De kopbouten hebben een veel diepere bevestiging in het blok dan bij de vorige motor om de vervorming van de cilinderwanden te beperken. De cilinderwanden zijn fijner gehouwen en de zuigerveren hebben een lagere

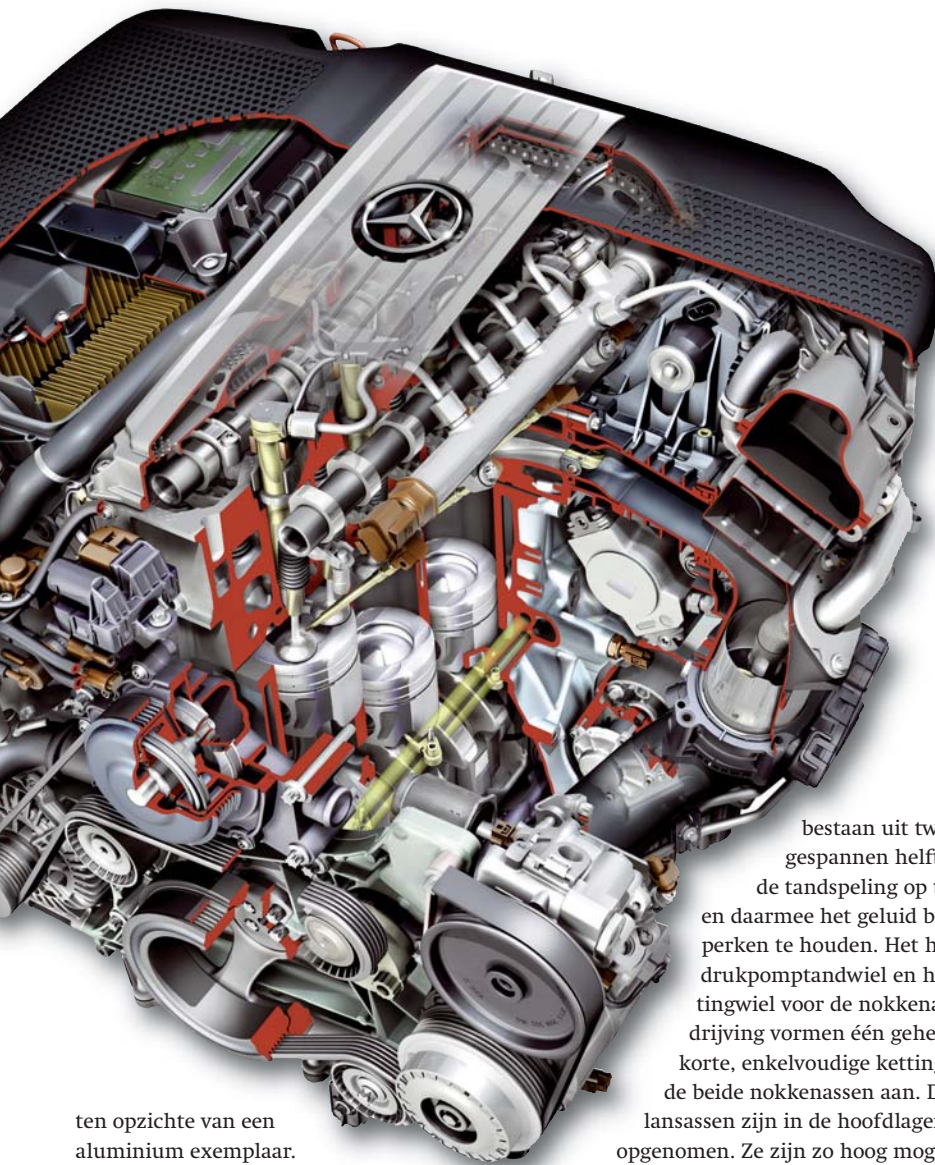
voorspanning. Al deze maatregelen resulteren in een lager olieoverbruik en geringere doorblaas ('blow-by'). Bovendien is het wrijvingsverlies afgenomen, dus is het brandstofverbruik gedaald. Het motorblok wordt afgesloten door een carterpan van glasvezelversterkt kunststof. Er kan 6 liter olie in en er wordt 1,1 kg mee bespaard



Drie dingen zijn ongewoon aan het smeeroliesysteem: de oliepomp met variabele opbrengst, de oliedrukregeling in het hoofdoliekanaal en de regelklep in het oliekanal naar de sproeiers voor de zuigerkoeling.



Voor een dieselmotor is de klephoek van 6° bijzonder. Meestal hangen de kleppen verticaal, dus met een klephoek van 0°. De koeling vindt plaats op twee niveaus in aparte watermantels. De verstuivers staan centraal in de cilindervorm met de gloeibougie schuin tussen de inlaatkleppen.



ten opzichte van een aluminium exemplaar. De distributie is aan de vliegwielszijde geplaatst om deze zo stijf en nauwkeurig mogelijk te maken. Vanaf de krukas worden de twee balansassen, de oliepomp en de hogedrukspuitpomp door schuinvertande tandwielen aangedreven. De tussentandwielen

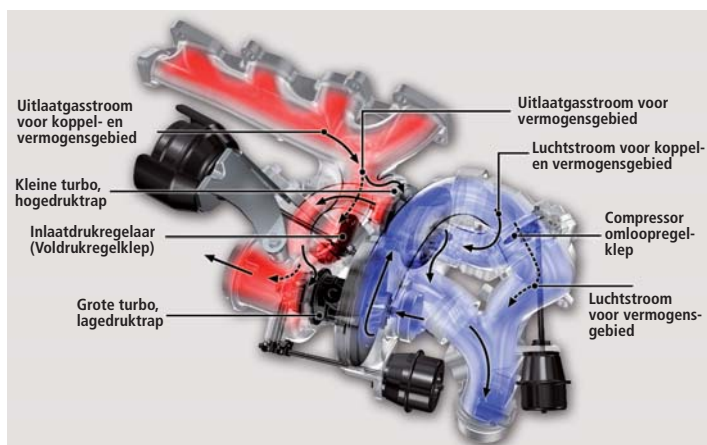
bestaan uit twee voorgespannen helften om de tandspeling op te heffen en daarmee het geluid binnen de perken te houden. Het hogedrukpomptandwiel en het kettingswiel voor de nokkenaanrijving vormen één geheel. Een korte, enkelvoudige ketting drijft de beide nokkenassen aan. De balansassen zijn in de hoofdagerbrug opgenomen. Ze zijn zo hoog mogelijk geplaatst om ruimte te maken voor vierwiel-aandrijving en het draaien in de olie te vermijden. De axiale krachten door de schuine vertanding worden door een kogellager opgevangen, twee naaldlagers zorgen voor minimale wrijving.



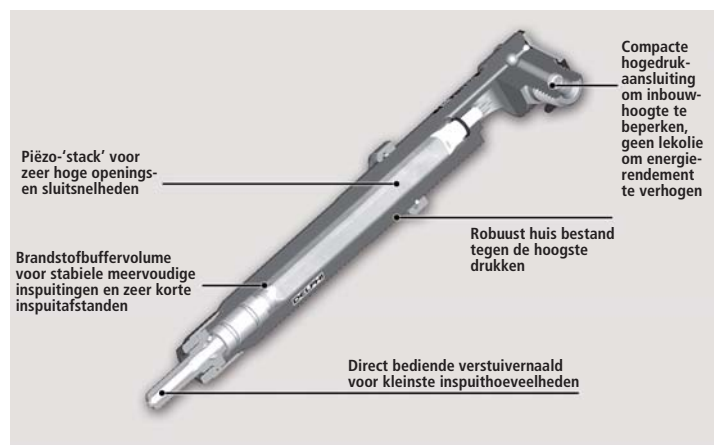
De distributie maakt gebruik van een aantal tandwielen met schuine vertanding en een korte nokkenketting. Het krukastandwiel drijft twee tussentandwielen aan. Het rechter tussentandwiel zorgt voor de ene balansas, het linker tussentandwiel drijft de oliepomp en de hogedrukspuitpomp aan. De oliepomp zorgt voor het omkeren van de draairichting van de tweede balansas.

### Ongewoon smeeroliesysteem

De oliedruk wordt geregeld in het hoofdoliekanaal. Daarmee wordt bereikt dat het oliefilter geen bepalende factor meer is en vuil geen rol meer speelt. Vooral bij koude motor en bij het opstarten van een hete motor is de invloed van de olieviscositeit daardoor sterk verminderd. Bovendien is de koeling van de zuigerbodems uitstekend te regelen. Er is een apart oliekanal voor de oliesproeiers dat door een elektromagnetisch bediende klep wordt gesloten. Een eigen kenveld bepaalt wanneer er koelolie nodig is. Dat is vooral van belang voor het verlagen van de HC-uitwerp tijdens het opwarmen, want de zuigerbodems warmen zonder koelolie sneller op. De oliepomp regelt zelf het benodigd olievolume en past dat aan de omstandigheden aan. Als er minder olie wordt



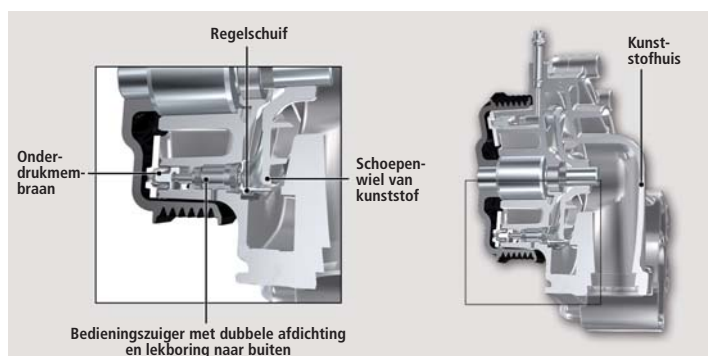
De tweetraps drukvulling is zo compact mogelijk gebouwd met regelingen voor de uitlaatgasstroom en de luchttoevoer.



De piezodirectverstuiver is door Mercedes-Benz en Delphi ontwikkeld. De afmetingen zijn gelijk aan die van de elektromagnetisch bediende verstuivers.

## MOTOREN

Nieuwe Mercedes-Benz viercilinder turbodiesel



De waterpomp is voorzien van een elektrisch bediende schuif die ervoor zorgt dat er onder bepaalde condities geen water wordt rondgepompt.

Foto's/Tekeningen:  
Mercedes-Benz

wanden te koelen. Daar vandaan gaat de koelvloeistof via V-vormige boringen naar de bovenste watermantel. Al met al een uitgekiend systeem dat ervoor zorgt dat de hoge thermomechanische belastingen geen problemen opleveren.

Er worden keramische gloeibougies gebruikt die tot 1250°C heet kunnen worden. Eén van de inspuitsralen spuit vlak langs de gloeibougie en zorgt ervoor dat de motor start tot min 28°C en dan probleemloos warmdraait.

### Koppel vanaf lage toeren

De uitvoeringen tot 120 kW hebben één turbo-compressor met elektrisch verstelbare leid-schoepen. De 150 kW-uitvoering heeft een tweetraps turbocompressor. De kleine turbo zorgt voor een hoge inlaatdruk, de grote turbo voor veel lucht. Dankzij een omloop (by-pass) om de kleine turbo wordt voorkomen dat de turbo overbelast wordt bij hoge vermogens. De vuldrukregelklep werkt op de beide turbines, bij lage toerentallen is het in het turbinehuis opgenomen omloopkanaal door de vuldrukregelklep gesloten. Al het uitlaatgas stroomt dan via de kleine turbine die zeer snel op toeren komt. De hoge inlaatdruk bij deellast is nodig om voldoende koppel bij deellast ter beschikking te hebben en te zorgen voor een snelle gaspedaalreactie bij lage toerentallen. Door het sterk verbeterde inspuitsysteem en de grote hoeveelheid lucht die ter beschikking staat, kan de verbranding dicht bij het BDP plaatsvinden. Daardoor stijgt het verbrandingsrendement, want er wordt minder warmte naar de cilinderwanden afgevoerd. Het is nu ook mogelijk zoveel meer uitlaatgas te recirculeren dat er, afgezien van de oxikat en het katalytisch roetfilter, geen andere uitlaatgasnabehandeling nodig is.

rondgepompt, daalt het aandrijfvermogen van de oliepompe. Daardoor neemt ook het brandstofverbruik af.

### Korte bouw

De cilinderinhoud is nagenoeg gelijk aan die van de huidige Mercedes Evo-dieselmotor, namelijk ruim 2,1 liter. Om een goede koude start mogelijk te maken, is gekozen voor een compressieverhouding van 16,2:1.

Met een vuldruk van 3 bar en een topdruk van 200 bar is het gewenste prestatieniveau van 70 kW/l bereikt. Daarbij zijn echter de mechanische en thermische belastingen zo hoog dat een kleinere boring en een bredere dam tussen de cilinders nodig is. Met 83 mm boring en een 11 mm brede dam komt de cilinderhartafstand op 94 mm. Dat is 3 mm minder dan bij de Evo-motor, en het nieuwe motorblok is 12 mm korter. Bij de Evo-motor komt daar bovendien de distributie nog bij, terwijl bij de nieuwe motor de distributie geen extra ruimte in beslag neemt.

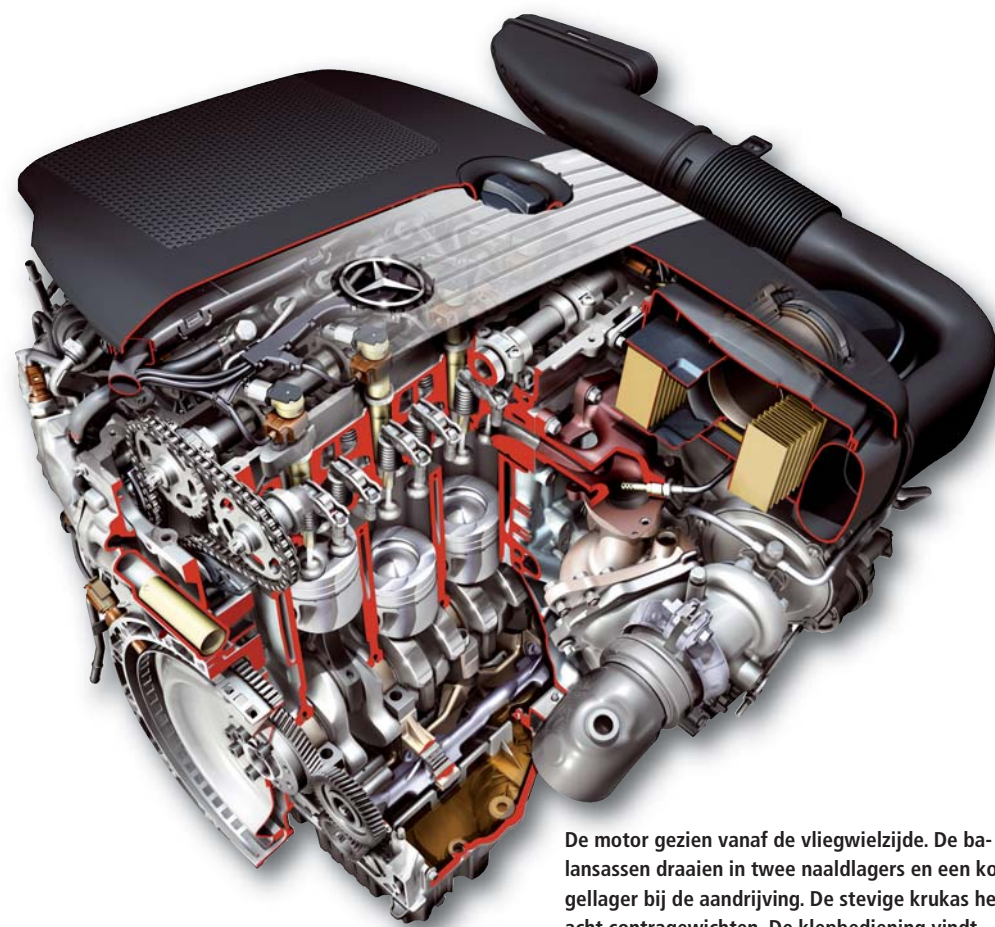
Uiteraard is er dan een langere slag nodig, die is 99 in plaats van 88,3 mm geworden. Er is een stevige, korte krukas toegepast met acht contragewichten. De zeer hoge topdruk zorgt voor buig- en torsietrillingen, die vooral bij lage toerentallen voor bromgeluiden kunnen zorgen. Ook de transmissie heeft het niet makkelijk om het sterk wisselende aandrijfkoppel op te vangen. Een zescilinder draait uiteraard soepeler rond.

### Doordachte koeling

De kleppentijden zijn geoptimaliseerd, de lichthoogte bedraagt 8,5 mm. De wervel- en tangentialkanalen met wervelklepzitting zijn verder ontwikkeld, ze zijn voorzien van een variabele

Dat er voor een bepaald vermogen een bepaalde hoeveelheid lucht nodig is, is goed te zien aan het volumineuze inlaatsysteem met grote inlaatlucht-koeler.





Naast 'downsizing' is er een nieuwe term 'downspeeding' ontstaan. Daarmee wordt bedoeld dat de motor met lagere toerentallen dan voorheen werkt om het brandstofverbruik te verminderen.

### Modulaire luchttoevoer

De luchttoevoer moet grote diameters hebben om de stromingsweerstand laag te houden en van kunststof zijn om het gewicht te beperken. Het luchtfilterhuis zit op de motor en bevat een luchtfilterelement in hoefijzervorm dat voor een gelijkmatige vuilopslag zorgt. Daardoor blijft de aanstroming van de hittefilm-luchtmassameter en de compressoren gelijk. Bovendien neemt de stromingsweerstand door het filter weinig toe tot er vervanging nodig is. De ECU wordt door de aangezogen lucht gekoeld. Vanaf de compressor(en) gaat de lucht via een grote koeler, die de lucht 140° kan afkoelen, naar het gasklep huis. Daar vindt tegenstrooms de toevoer van uitlaatgas plaats om voor een optimale verdeling en menging met de lucht te zorgen. De gasklep zorgt voor een nauwkeurige regeling van de verhouding lucht/uitlaatgas. Lucht en uitlaatgas samen gaan naar het inlaatspruitstuk dat voorzien is van een elektrisch aangestuurde kanaaluitschakelklep. Al deze onderdelen zijn in kunststof uitgevoerd.

Er is een EGR-koeler toegepast in U-bochtmodel, met een elektrisch bediende regelklep. Er is gekozen voor een draaiklep in plaats van schotklep omdat de draaiklep beter regelbaar is en een lagere weerstand heeft. Het klephuis

De motor gezien vanaf de vliegwielzijde. De balansassen draaien in twee naaldlagers en een kogellager bij de aandrijving. De stevige krukas heeft acht contragewichten. De klepbediening vindt plaats met slepers die op een hydraulische stelplunjer rusten.

is watergekoeld. Het uitlaatgas gaat eerst door een voorcoeler voordat het door de hoofdkoeler gaat. Deze wordt afhankelijk van de motorbelasting en het toerental in- of uitgeschakeld. Bij het starten gaat er eerst ongekoeld uitlaatgas naar de motor. Daardoor wordt de uitstoot van HC en CO verlaagd en komt de oxikat sneller op temperatuur. Zodra de oxikat werkt, worden de uitlaatgassen gekoeld.

### High tech inspuiting

Er worden twee typen verstuivers gebruikt, een elektromagnetische en een piëzodirecte. In AMT 2008/10 zijn deze door Delphi geleverde verstuivers uitvoerig besproken. De raildruk kan tot 2000 bar oplopen en er zijn maximaal vijf inspuitingen per verbranding mogelijk. Een hogedrukpomp met twee plunjers wordt met driekwart van het krukstoerental aangedreven. Dit hoge toerental zorgt voor een compacte pomp, korte starttijd en snelle raildrukaanpassingen. Bovendien neemt de pomp minder ruimte in dan een drieplunjerpomp. Er is geen brandstofkoeler nodig omdat er een hoeveelheidsregeling op de inlaat van de pomp is.

De elektromagnetische verstuivers hebben een drukontlaste servo (drukvergroting) vlak bij de naald. Daardoor verbetert de regelbaarheid van de kleinste inspuithoeveelheden bij hoge raildrukken. De zevingats verstuiver heeft een sterker uitgevoerde naaldzitting vanwege de

## Forse prestatiewinst

Motor.....	OM646 Evo	.....	OM651
Bouwwijze.....	R4	.....	R4
Aantal kleppen.....	4	.....	4
Cilinderinhoud (cm <sup>3</sup> ).....	2149	.....	2143
Cilinderhartafstand (mm).....	97	.....	94
Boring (mm).....	88	.....	83
Slag (mm).....	88,3	.....	99
Slag/boringverhouding.....	1,004	.....	1,193
Drijfstaanglengte (mm).....	147	.....	143,6
Max Vermogen (kW).....	125	.....	150
bij toerental (t/min).....	3800	.....	4200
Max koppel (Nm).....	400	.....	500
bij toerental (t/min).....	2000	.....	1600-1800
Compressieverhouding.....	17,5	.....	16,2
Gemiddelde effectieve druk (bar).....	23,4	.....	29,3
Emissienorm.....	Euro 4	.....	Euro 5

De prestaties van de nieuwe OM651 turbodiesel vergeleken met z'n voorganger, de huidige OM646 Evo-motor. De cijfers spreken boekdelen: Mercedes mag trots zijn op het resultaat.

hogere raildrukken en het hogere aandeel bio-brandstof.

De piëzodirecte verstuiver is een grote stap vooruit. De toegenomen raildruk en de constructie zorgen er voor dat er 2,3 maal zoveel brandstof kan worden ingespoten. Het volume aan brandstof dat om de stapel plaatjes (de 'stack') zit, zorgt voor een veel betere demping van de drukgolven. Dat verbetert de regeling van de meervoudige inspuiting en de 'shot to shot'-strooiing (opeenvolgende inspuitingen). Bij dit type verstuiver is er geen lekoliestroom, dat scheelt 1 kW pomp aandrijfvermogen. De driemaal snellere inspuiting is onafhankelijk van de raildruk. Dankzij zelf ontwikkelde regellogica kan de snelheid tijdens het inspuiten worden aangepast. Het resultaat is dat het verbrandingsverloop nauwkeuriger kan worden geregeld en dat is gunstig voor het drukverloop in de cilinders. De motor loopt rustiger stationair, produceert lagere emissies en verbruikt minder. Van elke verstuiver wordt er tijdens het testen op 550 meetpunten een volledig kenveld gemaakt. Alle afwijkingen (vooral van het inspuitsbegin) ten opzichte van een referentieverstuiver worden in een data-matrixcode opgeslagen en op de verstuiver aangebracht. Zo weet de ECU precies welke correcties nodig zijn om ongewenste strooiingen te voorkomen.

### Schakelbare waterpomp

Er wordt een uitschakelbare waterpomp gebruikt met een elektromagnetisch geregelde schuif die de afvoer volledig kan afsluiten. Bij 6000 t/min van de pomp is er ongeregeld 2,1 kW vermogen nodig. Als de schuif dichtstaat is er nog maar 0,65 kW nodig. De regeling van de schuif wordt bepaald door de temperatuur van

## MOTOREN

Nieuwe Mercedes-Benz viercilinder turbodiesel

de buitenlucht, inlaatlucht, EGR-koeler, motorolie, transmissie-olie en koelvloeistof. Ook het rijgedrag, de rijnsnelheid en de warmtevraag in het interieur worden in de regeling betrokken. Door de regelbare pomp worden de verbrandingskamers en de cilinders sneller warm, daardoor nemen de emissie van de koude motor en het brandstofverbruik af.

De basistemperatuur van de koelvloeistof is 100°C, deze wordt tot 80°C verlaagd op grond van de belasting, het toerental en het rijgedrag. Bij hoge buitentemperaturen en motorbelastingen wordt de temperatuur tot 70°C verlaagd om de NO<sub>x</sub>-emissies te verminderen. Het gaat om de temperatuur van het water dat uit de motor komt, de aanvoertemperatuur past zich vanzelf aan door de temperatuurval over de motor. Hoe hoger de motorbelasting hoe hoger de temperatuurval. De EGR-koeler is aangesloten op de koelvloeistofingang, de cilinderkop heeft een aparte koelvloeistoftoevoer zonder opwarming door het motorblok. Door deze maatregelen gaat de NO<sub>x</sub>-uitwerp omlaag. Als de temperatuur in het EGR-circuit te laag



Met een geluiddempend deksel erop ontstaat er een rustige indruk van de compacte turbodieselmotor. Bij een dieselmotor is het luchtverbruik voor een bepaald vermogen groter dan dat van een benzinemotor. Vandaar dat er aan de in- en uitlaatkant zoveel ruimte nodig is. Let op de lange poly-V-snaar.

wordt, gaat deze omhoog om condensatie, dus vervuiling, te voorkomen.

De oliepomp is zelfregelend uitgevoerd, het gaat om een vleugelcellenpomp die het volume automatisch regelt afhankelijk van de vraag.

### Trotse resultaten

Mercedes-Benz is er in geslaagd een nieuwe stap in de dieselmotorontwikkeling te zetten. Zonder DeNO<sub>x</sub>-katalysator voldoen de motoren aan de vanaf september 2009 geldende Euro 5 emissie-eisen. De prestaties zijn enorm, de gemiddelde effectieve druk is met 29,3 bar ongekend hoog. De motoren reageren spontaner dan

voorheen op bevelen van het gaspedaal. Als er bij 1600 t/min plotseling volgas wordt gegeven, bereikt de huidige Evo-motor na 3 seconden een koppel van 310 Nm, de nieuwe motor met tweetrapsturbo zit dan al op 460 Nm. Ook is het bruikbare toerengebied vergroot. De huidige Evo-motor haalt het hoogste vermogen bij 3800 t/min en het hoogste koppel bij 2000 t/min. Bij de nieuwe 150 kW-motor gebeurt dat bij respectievelijk 4200 en 1600 t/min. Bovendien zijn de waarden hoger, dus zijn de prestaties toegenomen. ●

**Paul Klaver**