

Auto & Motor
TECHNIEK

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

TDI-techniek van uitzonderlijke klasse

Meesterlijk dieselen

Ook in de absolute topklasse slaat een moderne diesel geen slecht figuur. Neem de nieuwe Audi 4.2 liter V8 diesel, goed voor 240 kW. Naast opzienbarende prestaties, vertoont deze dieselgigant een voorbeeldig milieugedrag. De dieseltechniek accelereert in hoog tempo!

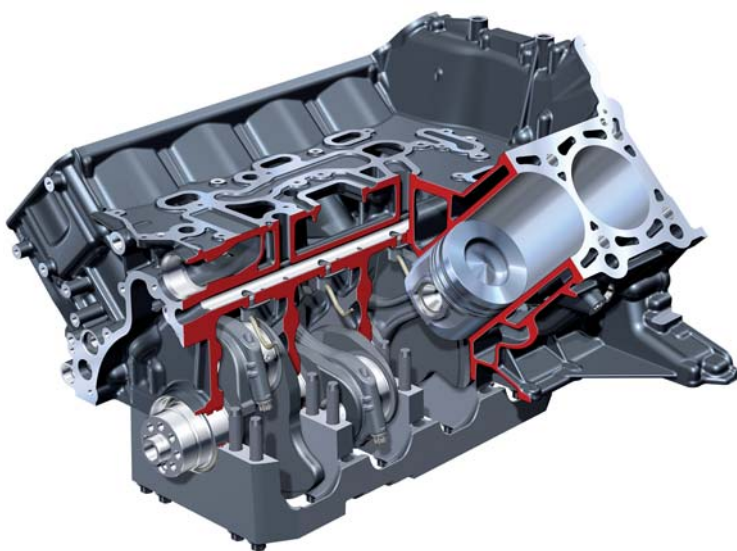
In 1999 ging de eerste Audi V8 diesel in serieproductie. Dat was een 3.3 liter, in 2003 gevolgd door de 4.0 liter met 202 kW. Audi was nog niet tevreden en lanceerde recent de 4.2 liter met 240 kW. Deze is gebaseerd op de 3.0 liter V6 TDI, die in 2004 werd uitgebracht.

De ontwikkeling van de 4.2 liter V8 heeft twee jaar geduurd. Dat lijkt lang, maar het vergroten van de hartafstand en daarmee de cilinderboring met 2 mm maakte een totaal nieuw draaiend deel nodig. Voeg daar de gecompliceerde maatregelen aan toe die nodig zijn om te vol-

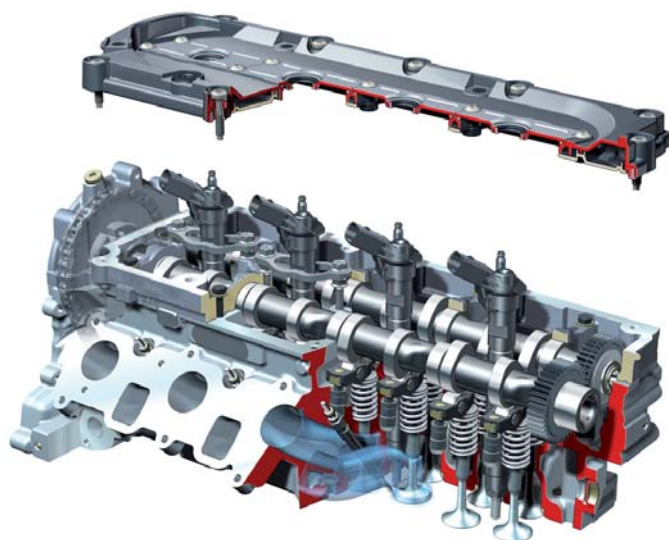
doen aan de emissie-eisen en de tijd lijkt plotse-ling veel korter. Vooral de inspuiting met piëzo-verstuivers, het uitlaatgasrecirculatiesysteem (EGR) en de regeneratiecyclus van de twee roet-filters vroegen veel ontwikkelingstijd. Gelukkig zijn er veel onderdelen gelijk aan die van de andere V-motoren die nu allemaal een ketting-distributie aan de vliegwielszijde hebben. Mede daardoor bouwt de motor zeer kort: 520 mm van transmissieflens tot en met de V-snaarpoe-lie! Ook de fabricage van tal van componenten van de V-motoren (allemaal met 90 graden V-

hoek) kan nu op dezelfde productielijn plaatsvinden.

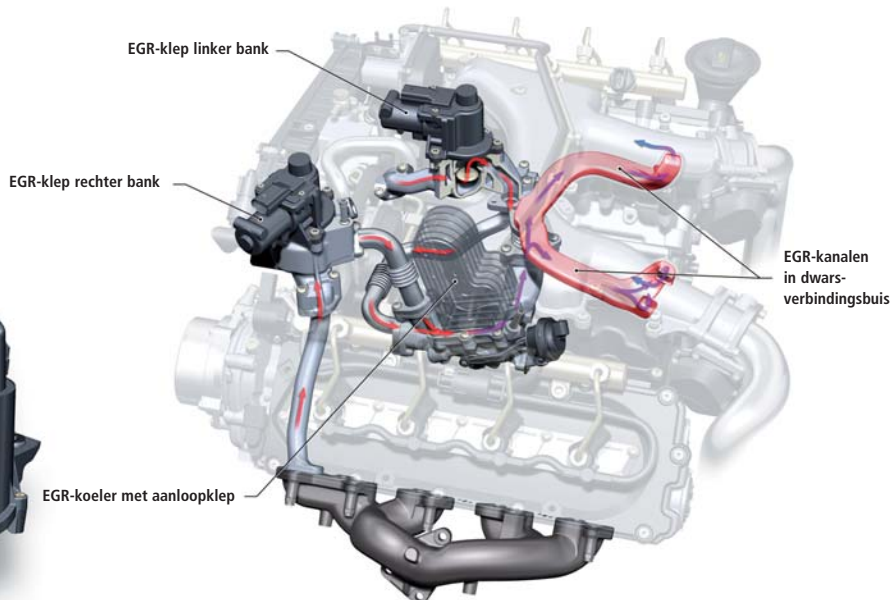
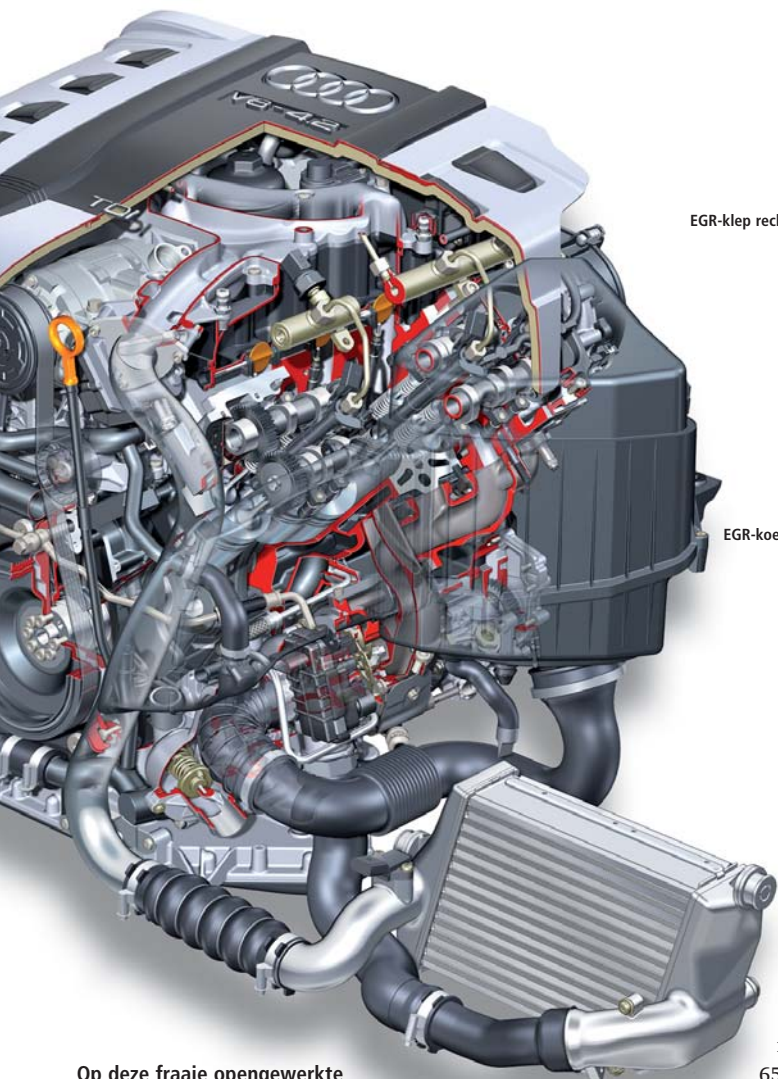
Het nieuwe motorblok weegt ondanks de grote hartafstand slechts 62 kg, dat is 10 kg minder dan het blok van de 4.0 liter V8. De gewichtsvermindering is vooral het gevolg van een consequente wanddiktevermindering. Zo komt het totale gewicht van de motor op 255 kg en dat is 36 kg meer dan de V6. Al met al toch een fors gewicht, dat het gevolg is van de grote gaskrachten die voor een hoog koppel zorgen en het motorblok dus zwaar belasten. Over



Het motorblok is gegoten uit vermiculair gietijzer, de cilinderwanden zijn met een UV-laserstraal gehoond. Het hoofdagerhuis is van nodulair gietijzer en vormt mede dankzij de twintig bouten een stijf geheel met het motorblok.



De nokkenassen hebben nokken die op holle buizen zijn geperst. Let op de plaatsing en de vorm van de inlaatkanalen. Het kleppendecksel is akoestisch ontkoppeld om meetrillen te voorkomen.



De uitlaatgasrecirculatie heeft veel aandacht gekregen opdat elke cilinder de juiste hoeveelheid uitlaatgas van de juiste temperatuur krijgt.

Op deze fraaie opengewerkte tekening is goed te zien hoe compact de 4.2 liter V8 is gebouwd. Zelfs de ruimte bij de koplampen en de wielkasten is benut om respectievelijk de inlaatlucht-koelers en de luchtfilters onder te brengen. In de V-ruimte is het helemaal vol.

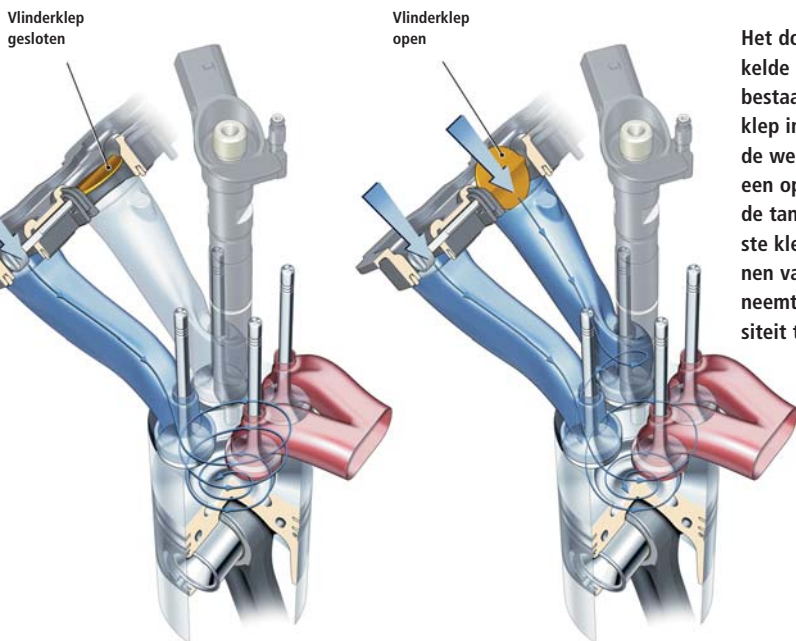
topdruk gesproken: Audi geeft 'slechts' 165 bar op, dat is voor een moderne diesel een lage waarde, want de 3.0 liter V6 TDI van 2004 haalde al 180 bar. Er is dus nog wat reserve. Het maximum koppel is met 650 Nm gelijk aan dat van de 4.0 liter. Kennelijk heeft de zestraps ZF-automaat bezwaar tegen een nog hoger koppel. Overigens haalt deze motor dit enorme koppel van 1600 tot 3500 t/min, de kleinere V8 leverde deze waarde tussen 1800 en 2500 t/min. We praten

dan wel over een gemiddelde effectieve druk van maar liefst 19,8 respectievelijk 21,0 bar. Bij deze analyse moeten we de compressieverhouding niet uit het oog verliezen. De 'oudste' TDI van deze reeks is de 4.0 liter V8 die een waarde van 17,3:1 heeft. De 3.0 liter V6 heeft een compressieverhouding van 17,0:1 en de nieuwe 4.2 V8 heeft slechts een verhouding van 16,5:1, uiteraard om de NO_x -uitwerp te beperken.

Hoogwaardig drijfwerk

Het blok is net zoals bij de andere V-motoren gegoten uit vermiculair gietijzer, dat wil zeggen met wormvormig grafiet. De vijf hoofdagerkapen zijn in één lagerhuis van nodulaair gietijzer gegoten, dus met bolvormig grafiet. Het lagerhuis is met twintig bouten stevig aan het blok vastgezet. De cilinderwanden zijn op de voor Audi bekende manier gehoord, namelijk met behulp van een Ultra Violet-laserstraal die voor een zeer goed afgewerkt oppervlak zorgt. Daardoor is het oliebruik laag, de doorblaas gering en de wrijving minder dan gebruikelijk. De aluminium carterpan sluit als niet dragend deksel het lagerhuis af, dat zorgt voor een geringe geluidsuitstraling.

De zuigers zijn nieuw. Niet alleen is de boring groter, het zuigerveerpakket is ook geoptimaliseerd. Om de koeling van de rand van de kom en de bovenste zuigerveer te verbeteren is het koelkanaal in de zuiger aangepast. Dit kanaal wordt door middel van een zoutkern ingegoten. De komdiameter heeft net als de boring een 2 mm grotere diameter gekregen. De zuigerbodem is vlak, zonder klepuitsparingen. De gesmede krukas bestaat uit chroommolybdeenstaal en heeft net als de V6 hoofdagers van 65 mm doorsnede en krukpenen van 60 mm. De overgangen naar de wangen zijn gerold om de vermoeingssterkte te vergroten. Omdat de krukas de

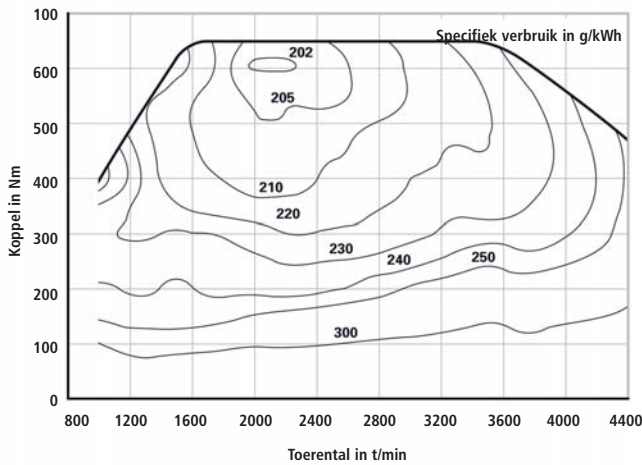


Het door Audi ontwikkelde inlaatsysteem bestaat uit een vlinderklep in het kanaal naar de wervelinlaatklep en een open kanaal naar de tangentiaal geplaatste klep. Door het openen van de vlinderklep neemt de wervelintensiteit toe.

MOTOREN

Techniek Audi 4.2 liter V8 TDI

Lage belasting, gunstig verbruik



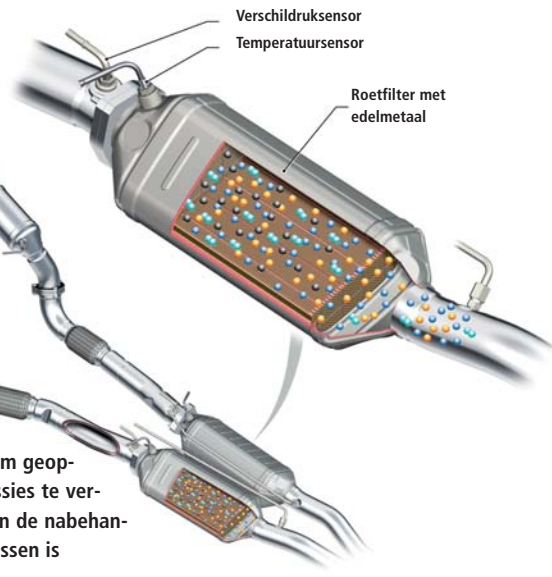
Het eierdiagram van de 4.2 V8 TDI motor. Over de Europese rijcyclus verbruikt de 4.2 liter A8 quattro met automaat 9,4 liter per 100 km, de 4.0 V8 had daar 9,7 l/100 km voor nodig.

bekende V8-vorm heeft, dus met de vier kruk-tappen om de 90 graden, zijn de vrije krachten en momenten van de eerste en tweede orde volledig te balanceren. Er zijn echter extra contra-gewichten aan de uiteinden nodig, te weten bij de V-snaarpoelie en bij het vliegwiel. De V-snaarpoelie met torsietrillingsdemper is gewijzigd ten opzichte van de kleinere V8 om de werking met de juiste hoeveelheid en hardheid van het rubber en de juiste massa te kunnen optimaliseren. Daardoor is er wel een demperrol nodig voor de poly-V-snaar en is de dyna-

mo-aandrijving voorzien van een vrijloop. Al met al is het maximale torsietrillingskoppel met 13% gedaald en dat is goed voor de kruk-as en de geluidsproductie van het motorblok.

Kettingdistributie

De distributie is bekend van de andere V-motoren. Er is wel een andere overbrengingsverhouding gekozen voor de ketting, die de inlaatnokken van de linker bank aandrijft. De cilinderkoppen zijn verlengde uitvoeringen van die van de V6 TDI. De nokken zijn op de holle buizen geperst die ook nog getrompt zijn, dat wil zeggen van binnenuit naar buiten gedrukt. Er is dwarsstroomkoeling om een zo gelijkmatig mogelijke temperatuurverdeling te



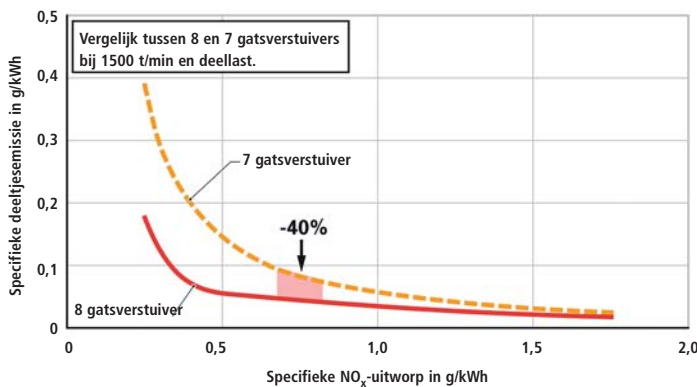
Audi heeft niet alleen het verbrandingssysteem geoptimaliseerd om de emissies te verminderen, maar ook van de nabehandeling van de uitlaatgassen is serieus werk gemaakt.

bereiken. Vanaf de transmissiekant is er in elke kop een EGR-kanaal ingegoten. Dat bespaart ruimte en zorgt voor de eerste koeling van het uitlaatgas.

Lagere wrijving

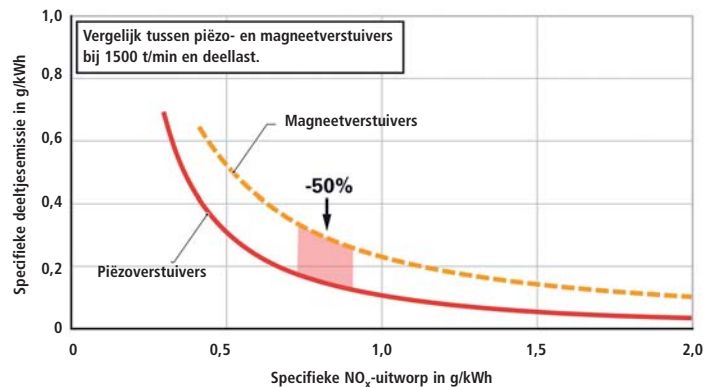
Dankzij het UV-hoonproces met aangepast zuigerveerpakket, de V6-achtige klepbediening, de geoptimaliseerde distributie en de uitgekende aandrijving van de hulpapparatuur, is de wrijving met 15% afgenomen. Dat resulteert in een gunstiger brandstofverbruik, vooral bij lage belastingen. Over de Europese rijcyclus verbruikt de 4.2 liter A8 quattro met automaat 9,4 liter per 100 km, de 4.0 V8 had daar 9,7 l/100 km voor nodig. Bedenk wel dat er voor het rij-

Minder roet met achtgatsverstuivers

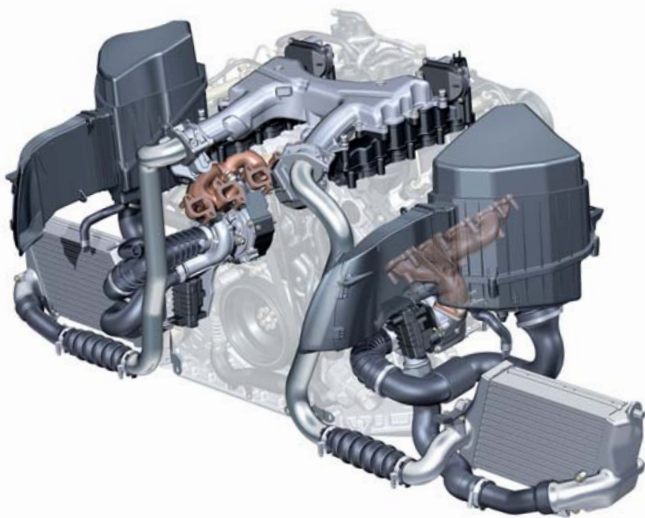


Het toepassen van achtgatsverstuivers levert een 40% lagere deeltjes-emissie op bij een specifieke NO_x-uitwerp van 0,75 g/kWh.

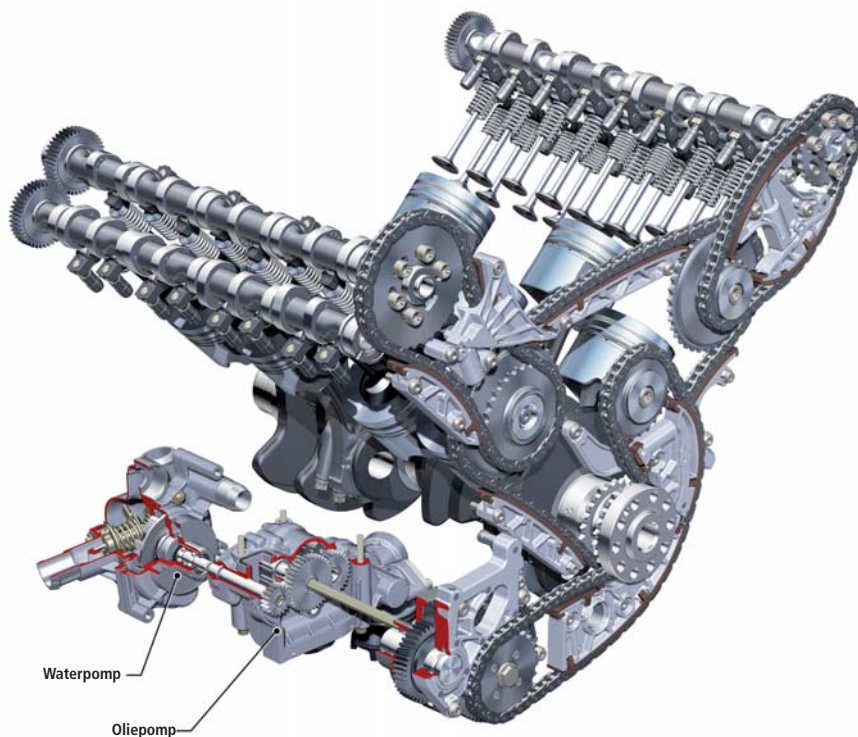
Schoner dankzij piëzoverstuivers



Het gebruik van piëzo- in plaats van magneetverstuivers levert een 50% lagere deeltjes-emissie op bij een specifieke NO_x-uitwerp van 0,75 g/kWh.



Het inlaatsysteem is, op de dwarsverbindingsbuis na, gescheiden uitgevoerd voor beide banken. Het onderbrengen van alle onderdelen, zoals luchtfilters, turbo's, inlaatluchtcoolers en de bijbehorende slangen en leidingen heeft ongetwijfeld de nodige hoofdbrekers gekost.



den van deze rijcyclus hooguit enkele tientallen kW's nodig zijn, dus grofweg ééntiende van het topvermogen.

Inspuiting verder verbeterd

De 1600 bar common-rail inspuiting met piëzo-verstuivers is verder verbeterd. Er is geen verdeerblok meer zoals bij de 4.0 liter V8. De 'rails' zijn nu gelast in plaats van gesmeed omdat dat proces goedkoper is. Op een naadloos getrokken stalen buis met schroefdraaddoppen op de uiteinden zijn de hogedrukaansluitingen door middel van condensatorontladingen gelast. De gepatenteerde nippelvorm dicht af op de buis zodat de lasnaad niet dicht hoeft te zijn. De raildruksensor en de drukregelklep zijn direct in de rails geschroefd. Er is een voorverwarmd brandstoffilter toegepast.

De verstuivers zijn voorzien van 8 in plaats van 7 gaatjes. Dat levert zowel een 40% lagere deeltjes-emissie als NO_x -uitworp op. Bovendien neemt het motorvermogen toe. De stralen spuiten onder een hoek van 158 graden in. Zowel de vrije straallengte als de punten waar de straal de wand van de kom raakt, zijn belangrijk voor het verbrandingsverloop.

Het evenwicht tussen akoestiek, emissies en verbruik is dankzij de piëzo-inspuiting beter dan bij magneetverstuivers. Een late voorinspuiting zorgt voor een 'stille' verbranding, een vroege voorinspuiting voor gunstige emissiewaarden. Er zijn bij gebruik zonder regeneratie maximaal drie inspuitingen per verbrandingscyclus. Tijdens regenereren loopt dat aantal op tot vijf. Samen met de verbrandingskamervorm, de compressieverhouding en de wervelintensiteit in de kom bepaalt de inspuiting het verbrandingsverloop.

Complexe luchttoevoer

De inlaatlucht wordt via twee luchtfilters en twee inlaatluchtcoolers toegevoerd met een hoogste vuldruk van 2,5 bar. Dat is 0,4 bar meer dan bij de 4.0 V8. De beide cilinderkoppen zijn door middel van een dwarsverbindingsbuis gekoppeld. In deze dwarsbuis wordt ook de EGR toegevoerd om een zo volledig mogelijke vermenging met de schone lucht te krijgen. De inlaatspruitstukken zijn vanwege de hoge temperatuur in aluminium gegoten, de inlaatbuizen zelf in glasvezelversterkt kunststof omdat dat goedkoper te fabriceren is. De vlinderkleppen die in het wervelkanaal zijn aangebracht, zitten in een frame dat vastgelast is op de inlaatbuizen. Met behulp van twee stelmotoren, één per cilinderkop, wordt de stand van de vlinderkleppen ingesteld. Het tweede, tangentiaal aangebrachte inlaatkanaal zorgt voor een krachtige wervel en is ook hoofdbepalend voor de hoeveelheid lucht in de cilinder. Door het openen van de vlinderkleppen daalt de wervelintensiteit en neemt de luchthoeveelheid toe. Ten opzichte van de 4.0 V8 is de spreiding in de intensiteit toegenomen van 1,15 tot 0,47 naar 1,35 tot 0,40. De waarden zijn met bepaalde apparatuur gemeten, het gaat om de verhouding tussen de getallen. De wervelintensiteit is vooral belangrijk om het evenwicht tussen de deeltjesemissie en de NO_x -uitworp zo gunstig mogelijk te kunnen instellen. Bij lage toerentalen en belastingen zijn de vlinderkleppen dicht om zo een laag mogelijke uitworp te krijgen. Bij vollast zijn de kleppen open, bij andere werkpunten nemen de kleppen een tussenstand in.

Emissie maatregelen in de uitlaat

Hoewel er dus tal van maatregelen zijn getroffen

De distributie begint achter het vliegwiel en bestaat uit vier kettingen in twee vlakken. Let op de vele glij- en spanschoenen, elk met een hydraulische spanner. Ook de olie-, water- en de stuurbekrachtigingspompen worden via de kettingen aangedreven.

fen om de verbranding zo schoon mogelijk te laten verlopen, is er nog heel wat meer voor nodig om aan de Euro 4-eisen te voldoen. Als we bedenken dat een dieselmotor driemaal zoveel NO_x mag produceren dan een benzine-motor tijdens de Europese rijcyclus, dan komt de vraag al snel op: hoeveel roet en NO_x produceert zo'n motor als hij echt belast wordt?

Audi heeft niet alleen het EGR-systeem verbeterd maar ook nog twee katalytische roetfilters gebruikt om de uitlaatgassen zo schoon mogelijk te krijgen. Naar het Engels 'Catalysed Soot Filters' worden de roetfilters met de letters CSF aangeduid. Ze zijn ontworpen met een zodanig groot volume dat ze de levensduur van de auto meegaan. Net als de moderne driewegkatalysatoren is er een laag met katalytisch materiaal aangebracht in een keramisch blok van siliciumcarbide, kortweg SiC. Audi heeft gekozen voor een blok met een 37% kleinere wanddikte dan gebruikelijk. Dat zorgt niet alleen voor een 20% lagere tegendruk, maar ook voor een grotere celdichtheid met een groter actief oppervlak en dus een kortere regeneratietijd.

Het regenereren zelf vindt plaats op grond van de tegendruk en op basis van een simulatieprogramma. Dat rekenprogramma werkt met de statische en dynamische roetvorming en de roetverbranding door oxidatie met NO_2 en door thermische verbranding. De temperaturen na de oxidatie en voor het roetfilter leveren belangrijke informatie terwijl uit de lambda-waarde de

MOTOREN

Techniek Audi 4.2 liter V8 TDI

hoeveelheid zuurstof (O₂) wordt berekend. Deze berekeningen lopen continu en worden per uitlaatsysteem van elke bank uitgevoerd. Tijdens het regenereren zorgen één of twee na-inspuitingen voor een verhoogde uitlaatgastemperatuur. In de oxikat verhoogt de onverbrande brandstof de temperatuur nog verder. Als vóór de turbine de temperatuur 530 °C is, is deze al 660 °C na de oxikat en voor het roetfilter nog 590 °C dankzij de dubbelwandige buizen. In het roetfilter wordt de temperatuur weer verhoogd tot 610 °C. Overigens begint de regeneratie pas boven de 580 °C dus zijn de genoemde temperaturen kenmerkend. Het regenereren vindt om de 2000 km plaats afhankelijk van de rijomstandigheden.

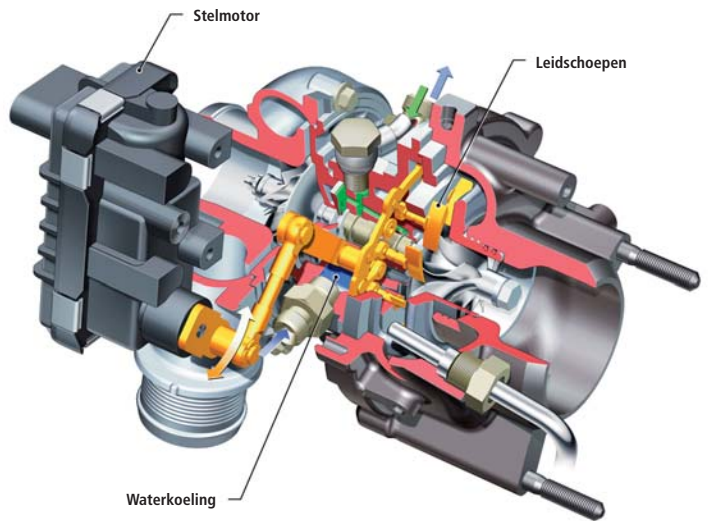
Tijdens het regenereren wordt ook de hoeveelheid lucht naar de motor gesmoord en de EGR-hoeveelheid beperkt om de uitlaatgastemperatuur te verhogen met behoud van voldoende zuurstof.

Het EGR-systeem is voorzien van een koeler die een omloopleiding heeft. Door de koeler intelligent te gebruiken wordt ook de uitworp van CO en HC gereduceerd. Een te lage EGR-temperatuur zorgt voor vervuiling omdat er condenswatervorming optreedt. Dat kan door de omloopleiding worden voorkomen. De uitlaatgassen worden kort na de smoorkleppen toegevoerd en wel zodanig dat het topvermogen niet door de toevoeropeningen of een vernauwing wordt beperkt.

Verfijnde turbocompressoren

Een belangrijke rol bij een motor met drukvlaming is weggelegd voor de beide Generatie 3 GT17 Honeywell Garrett turbocompressoren. Omdat deze zo dichtbij de cilinderkoppen zijn geplaatst, kon er een gietijzeren uitlaatspruitstuk worden toegepast. Dat is stijver en goedkoper dan het plaatstalen exemplaar van de 4.0 V8. Er zijn nu elektrische stelmotoren voor de leidschoepen van de turbine terwijl de maximum werktemperatuur 30 graden hoger ligt dan bij de 4.0 V8. Het maximum toerental van 200.000 t/min is gelijk gebleven, maar het ren-

De Honeywell-Garrett GT17 turbocompressoren hebben een watergekoeld lagerhuis en elektrisch verstelbare turbineleidschoepen. Deze zijn, met de verstelring, thermisch ontkoppeld van het turbinehuis.



dement van de compressor, de turbine en de leidschoepen is verbeterd. Het turbinewiel is eenzijdig gesloten, de leidschoepen met hun stelmechanisme zijn thermisch en mechanisch ontkoppeld van het turbinehuis. De temperatuursensor voor elke turbine bewaakt de hoogste temperatuur en zorgt ook voor het hoogste vermogen. Er is een tweevoudige afdichting aan de turbinekant om doorblaas bij een verhoogde tegendruk voor het regenereren te beperken.

Complex management

Twee Electronic Control Units met gelijke hardware werken samen in een meester-slaaf verhouding via een eigen CAN verbinding. De programmatuur is anders, iedere ECU bevat een bepaalde hoeveelheid data voor de actuatoren en sensoren. Het gaat om EDC 16 CP's van Bosch met 32 bit processoren en een klokfrequentie van 66 MHz. Er is een geheugencapaciteit van meer dan 13.000 applicatieparameters.

Een tweede CAN zorgt voor de communicatie

met de ECU's van ESP, ASR, ACC, AT etc.

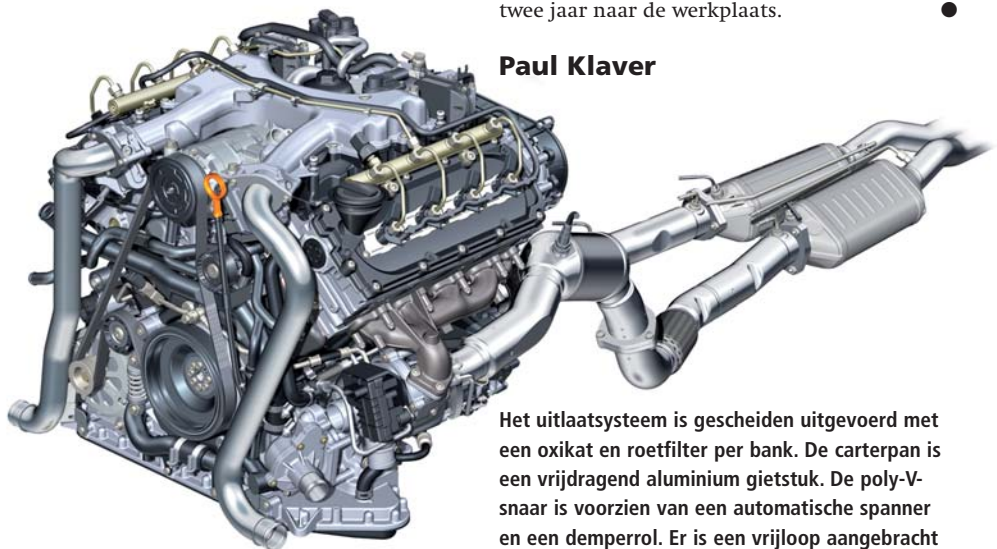
Extra aanpassingsfuncties zorgen voor de stabiliteit van de emissies, akoestiek en het rijgedrag gedurende de levensduur van de auto. Dat wordt bereikt door het inspuitgedrag van de piezoverstuivers aan te passen.

Indrukwekkende prestaties

Als we de niet zo fraaie emissiewaarden tijdens hoge belastingen even vergeten, zien we indrukwekkende prestaties. Een 0 tot 100 km/uur tijd van 5,9 seconden en een acceleratie tot 200 km/uur in 22,4 seconden zijn gelijk aan die van menig sportauto.

Van 60 tot 120 km/uur zijn er slechts 6,9 seconden nodig, dus kan het inhalen veilig gebeuren. Het is verbazingwekkend hoe snel de dieselmotorontwikkeling gaat. Daarbij mag de geringe onderhoudsfrequentie niet onvermeld blijven. Dankzij de uitgekiende carterontluchting, een olie-warmtewisselaar, olieniveau- en temperatuursensor én 9,5 liter speciale motorolie, hoeft de A8 slechts om de 30.000 km of twee jaar naar de werkplaats. ●

Paul Klaver



Het uitlaatsysteem is gescheiden uitgevoerd met een oxikat en roetfilter per bank. De carterpan is een vrijdragend aluminium gietstuk. De poly-V-snaar is voorzien van een automatische spanner en een demperrol. Er is een vrijloos aangebracht in de aandrijving van de dynamo, hoog in de V.

www.AMT.nl

Dé internetsite voor de Automotive Professional

Het is overigens interessant deze Audi V8 diesel te vergelijken met de nieuwe Mercedes V8 diesel. Zie voor een uitgebreid verslag AMT 7/8 2006 in het Archief op AMT.nl, rubriek Motoren, subrubriek Mercedes-Benz.