

Auto & Motor
TECHNIEK

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

10 jaar Audi TDI Dieselen met trots

Met moderne TDI-motoren heeft Audi de 'burgerlijke' reputatie van de dieselmotor de wereld uit geholpen. Voor dieselrijders staat TDI voor innoverende techniek met een sterk sportief karakter. Drie nieuwe motoren voegt Audi nu toe aan deze unieke generatie DI-turbo-diesels, waaronder zelfs een superpotente V8 voor de supertop!

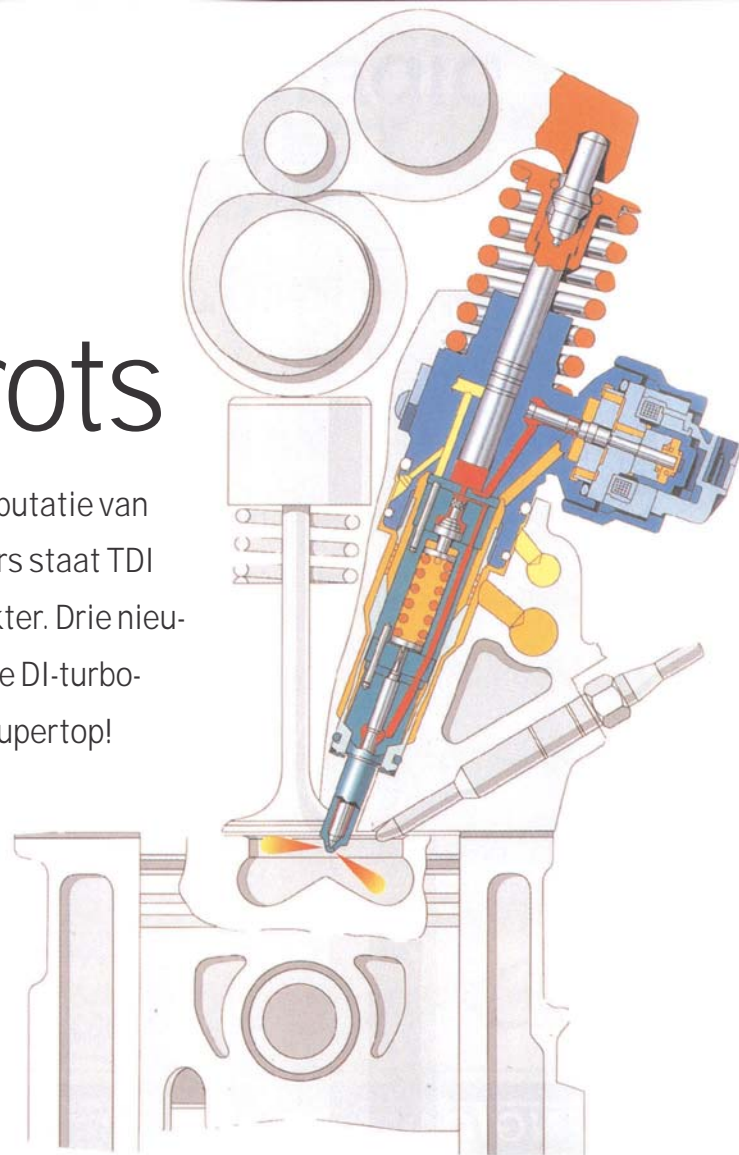
Het is alweer lang geleden dat Volkswagen een krachtige impuls wist te geven aan de ontwikkeling van de lichte dieselmotor. Dat was met de Golf Diesel in 1976, die als een bom insloeg op de automarkt. Voor het eerst kon de automobilist kennismaken met een diesel die nu eens niet per definitie traag en lawaaiig was. De eerste diesel met pep was geboren en gevestigde dieselspecialisten van naam zoals Mercedes-Benz en Peugeot hadden het nakijken. Wéér zo'n typisch voorbeeld van een buitenstaander, die met een frisse aanpak en niet gehinderd door teveel kennis en ervaring in het betrokken vakgebied, een doorbraak tot stand wist te brengen.

Tussen de eerste en (voorlopig) laatste Audi TDI direct ingespoten turbodieselmotor liggen tien jaren van gestage doorontwikkeling. Van de 88 kW vijfcilinder van 1989 tot de 165 kW achtcilinder 32-klepper met Common-Rail inspuiting, die samen met twee andere TDI's in juni in het Oostenrijkse Graz is geïntroduceerd en bij ons volgend voorjaar op de markt komt. Met de laatste aanwinst zijn de drie modernste dieselinjectiesystemen bij de TDI-motoren van Audi ver-

De wereldproductie van auto's laat de komende jaren een flinke groei zien. De dieselmotor krijgt daarin een steeds groter aandeel. Bepalend zal wel zijn of de emissies voldoende in de hand kunnen worden gehouden

tegenwoordigd:

1. de elektronisch gestuurde roterende radiaalplunjerinspuitpomp met vóórinspuiting voor motoren tot en met zes cilinders (1850 bar);
2. het pompverstuiversysteem dat vooral voor motoren met drie of vier cilinders en twee kleppen per cilinder geschikt is en dat behalve vóórinspuiting tot de hoogste inspuiddrukken in staat is (meer dan 2000 bar!);
3. het Common-Rail systeem, dat dankzij de grote vrijheid in de optimale keuzes voor inspuiddoseering en -timing (vóór-, hoofd- en na-inspuiting) en inspuiddruk de toekomst heeft, ook al ligt het plafond voor de inspuiddruk op dit moment nog rond de 1350 bar. Pluspunt is hier wel dat de inspuiddruk ook bij lage toerentallen op het gewenste niveau is te krijgen.

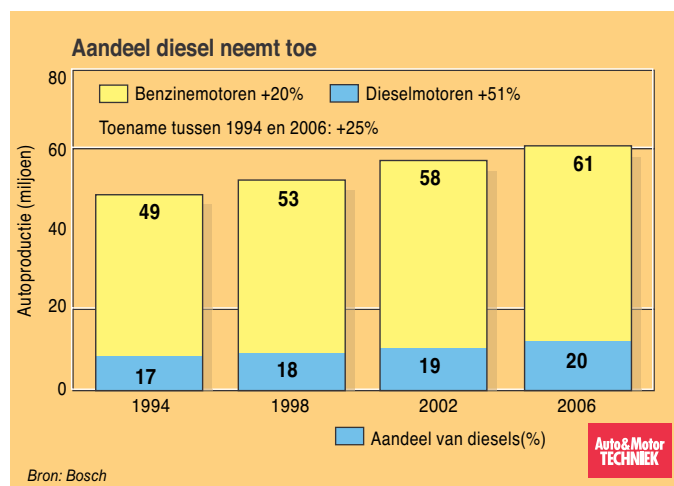


De Bosch pompverstuiver van de 1.9TDI neemt nogal wat ruimte in beslag en is dan ook vooral geschikt voor tweekleppsmotoren.

Een ander voordeel van Common-Rail is het geringe formaat van de verstuivers, die toepassing op motoren met vier kleppen mogelijk maakt, met centrale positie van de verstuiver.

Baanbrekend werk van AVL Bij de presentatie in de universiteit van Graz, de stad waar ook het vernaamde onafhankelijke onderzoeksinstituut AVL List GmbH is gevestigd, kon met drie nieuwe TDI-diesels worden kennisgemaakt: de 1.9 TDI van 85 kW met pompverstuivers voor de A4, de 2.5 TDI van 132 kW met roterende radiaalplunjerinspuitpomp voor de A6 en de al genoemde 3.3 TDI van 165 kW met Common-Rail inspuiting voor de A8 Quattro.

Bij AVL werd al in 1974, op initiatief van professor List en voor eigen rekening, een onderzoeksproject gestart naar de mogelijkheden van directe inspuiting voor personenautodiesels. Logisch, want we zaten toen volop in de eerste oliecrisis en dat maakte de potentiële verbruiksbesparing van 15 tot 20 procent, die met directe dieselinpsuiting moest zijn te be-



halen, natuurlijk hoogst interessant. Overigens kreeg de eerste dieselmotor, die in 1897 bij MAN in Augsburg aan het draaien werd gebracht, zijn brandstof (kolenstof) óók al rechtstreeks in de cilinder toegediend (met behulp van perslucht!).

In 1976 begon de samenwerking met Audi op dit terrein en al een jaar later liep een AVL DI-diesel met pompverstuivers op de proefstand. Onderzoekspunten betroffen het feitelijke verbrandingsproces, de vorm van de verbrandingskamer in de zuiger, de luchtwerveling in de cilinder, de positie van de verstuiver en richting en aantal van de brandstofstralen uit de meergatsverstuiver.

We zullen nu de drie nieuwe TDI's nader aan u voorstellen.

1.9 TDI met pompverstuivers
Deze motor van 85 kW profiteert van de hoge inspuitdrukken, waartoe de rechtstreeks door de nokkenas bediende individuele pompverstuivers in staat zijn (eerste toepassing bij VAG op VW Passat). En die hoge drukken tot wel 2050 bar leveren een uiterst fijne verneveling van de ingespoten brandstof op die gunstig is voor het thermodynamisch rendement. De A4 is met deze motor dan ook uitermate zuinig in het gebruik, als tenminste het gaspedaal met enige terughoudendheid wordt bediend. Gemeten volgens 93/116/EC moet het brandstofverbruik rond de 5,3 l/100 km uitkomen. Verder profi-

teren emissieniveau en verbrandingsgeluid van de toegepaste vóórinspuiting. De turbo heeft verstelbare luchtgeleideschoepen (ook wel variabele geometrie genoemd), de naar de motor teruggevoerde uitlaatgassen (EGR) worden afgekoeld voor nog betere NOx-beperking en van de twee katalysatoren is de voorste dichtbij de motor aangebracht voor snelle opwarming.

Het aanzienlijke koppel van 285 Nm is al bij 1900 t/min beschikbaar en maakt de motor uitermate soepel in de omgang. Een acceleratie naar 100 km/h in 10,5 seconden (gelijk aan concurrent Alfa 156 1.9 JTD overigens) en een top boven de 200 km/h voor de A4 TDI (óók Avant) zijn indrukwekkende prestaties voor een diesel...

Het is de bedoeling dat deze motor geleidelijk de huidige 1.9

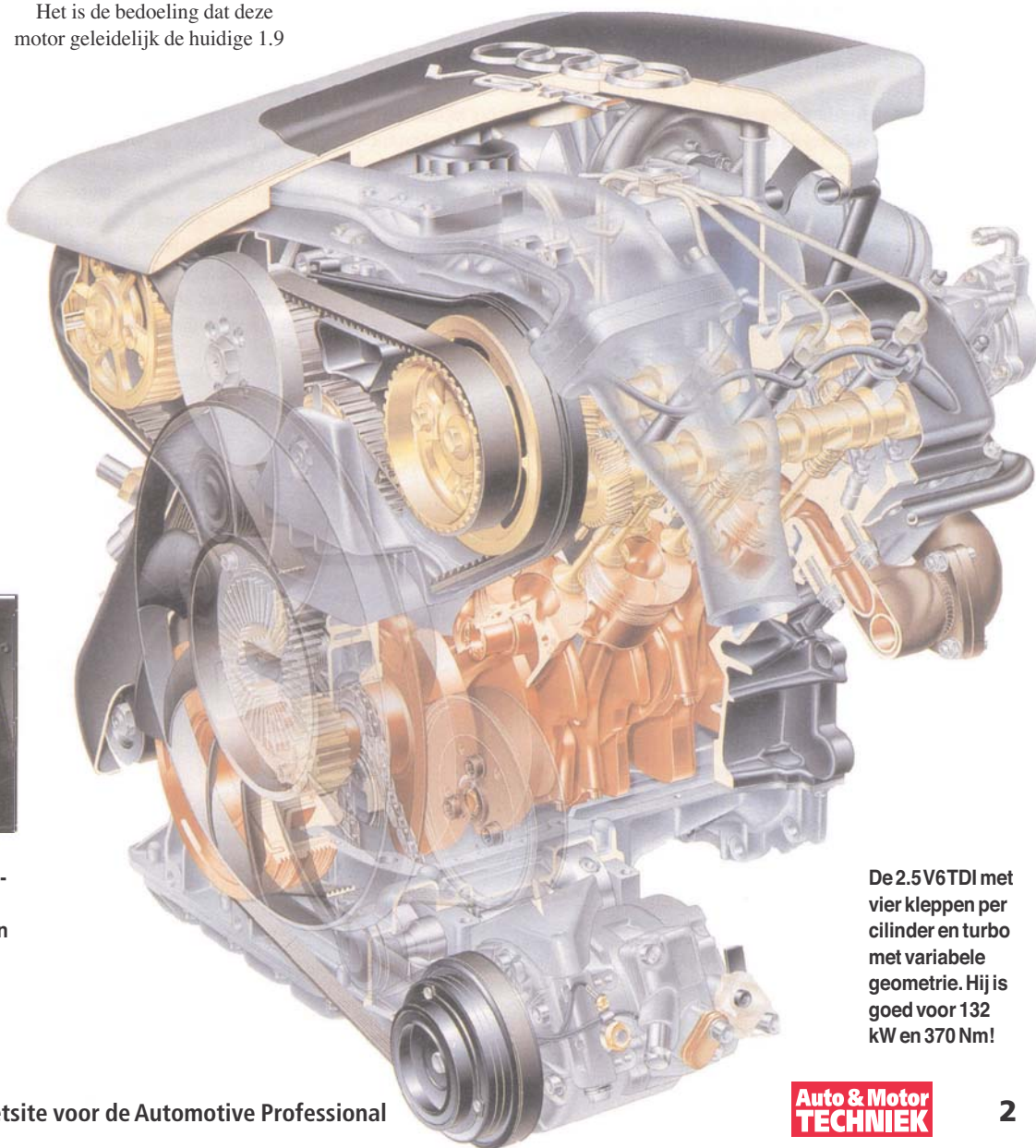
Kroniek van 10 jaar Audi TDI

- 1989** Eerste vijfcilinder TDI van 88 kW en 265 Nm; roterende axiaalplunjer inspuitpomp (bijna 900 bar)
- 1991** Viercilinder TDI van 66 kW en 182 Nm; roterende axiaalplunjer inspuitpomp (950 bar)
- 1993** V8 TDI prototypemotor voor Audi ASF conceptstudie, getoond op IAA van Frankfurt
- 1994** Alle Audi TDI's voldoen aan MVEG-II emissienorm; vijfcilinder TDI van 103 kW en 290 Nm; roterende axiaalplunjer inspuitpomp (1000 bar)
- 1995** Viercilinder TDI van 81 kW en 225 Nm met turbo voorzien van variabele geometrie; roterende axiaalplunjer inspuitpomp (1100 bar)
- 1997** Eerste V6 TDI voor personenauto's ter wereld van 110 kW en 310 Nm met turbo voorzien van variabele geometrie; eerste TDI met vier kleppen per cilinder; roterende radiaalplunjerinspuitpomp (tot 1500 bar)
- 1999** V8 TDI van 165 kW en 480 Nm met vier kleppen per cilinder en twee turbo's voorzien van variabele geometrie; Common-Rail inspuiting (1350 bar)

TDI's met roterende inspuitpomp (81 kW) gaat vervangen.

2.5 TDI met roterende pomp
De allereerste Audi TDI motor was al een 2.5 liter (1989 Audi 100 Avant), maar dan met vijf cilinders in lijn. De nieuwe is de dooront-

wikkelde V6 TDI van twee jaar geleden, met 132 in plaats van 110 kW, die nu als 2.5 TDI door het leven gaat. Het is de sterkste Audi dieselmotor uitgerust met inspuitpomp. De laatste is de roterende Bosch VP44 met drie radiale plunjers en verzorgt een vóórinspuiting



De 2.5V6TDI met vier kleppen per cilinder en turbo met variabele geometrie. Hij is goed voor 132 kW en 370 Nm!



Moderne dieselmotoren, zeker die in de luxeklasse, gaan geheel schuil onder een geluidsisolerende afdekkap. Deze kan in een handomdraai worden verwijderd, geen enkele schroef heeft daarvoor worden losgedraaid. Alleen de oliepeilstok dient eerst te worden verwijderd.

MOTOREN

Diesel-ontwikkelingen bij Audi

tijdens de koude start en de daarop volgende opwarmperiode, geregeld door een elektromagnetische klep. Dat maakt de motor niet alleen stiller, maar laat ook een iets lagere compressieverhouding toe, met als bonus een lager emissieniveau en een hoger vermogen. De verstuivers zijn van het zesgats-type.

Andere technische kenmerken van de motor met zijn specifiek vermogen van maar liefst 52,9 kW/l zijn, naast de vier kleppen per cilinder, de turbo met elektronisch geregelde verstelling van de luchtgeleideschoepen, intercooler, EGR, gewijzigde drijfstangen, lichtere zuigers en twee katalysatoren, waarvan de ene dichtbij de motor. Ook deze motor voldoet, ongeacht het type transmissie, aan de EU-III limieten die vanaf 2000 van kracht worden (EU-IV vanaf 2005).

Met deze motor accelereert de A6 Quattro volgens de fabrikant in minder dan 9 seconden naar 100 km/h en de top ligt boven de 220 km/h. Volgens 93/116/EC gemeten komt het verbruik uit op 8 l/100

km, goed voor een actieradius van meer dan 780 km.

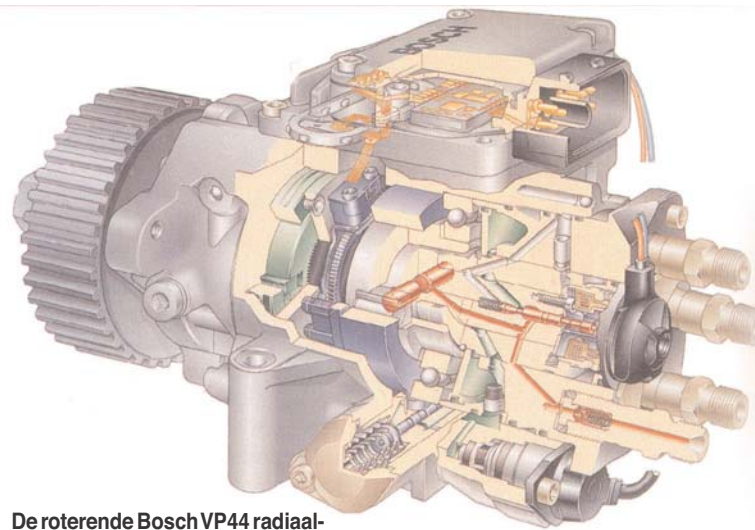
3.3 TDI met Common-Rail
Ook de volumineuze V8 voldoet aan de EU-III emissienorm en beschikt onder andere over twee turbo's met variabele geometrie, Common-Rail insputing en een koelvloeistof/lucht intercooler. Met zijn 165 kW en 480 Nm (tussen 1800 en 3000 t/min) is hij de kleinste en minst sterke van de drie Duitse V8 turbodiesels van Audi, BMW en Mercedes-Benz. Desalniettemin accelereert hij de ondanks zijn aluminium carrosserie toch nog 1860 kg zware A8 Quattro in 8,2 seconden naar 100 km/h en de top ligt bij 242 km/h. Het brandstofverbruik volgens genoemde testnorm van circa 9,7 l/100 km maakt een actieradius mogelijk van ongeveer 980 km.

Hoewel blokhoek, cilinderafstand, boring en slag zijn overgenomen van de V6 om beide motoren op dezelfde productielijn te kunnen bewerken, is het cilinder-



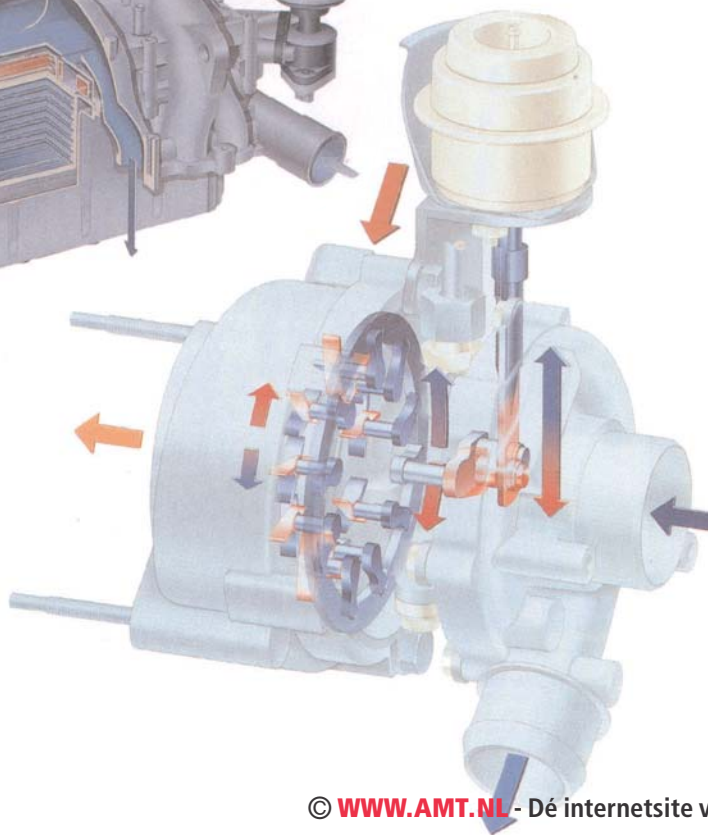
De vloeistofgekoelde intercooler van de V8. Het koelcircuit is voor een beter koeleffect geheel gescheiden van dat van de motor. De naar de motor teruggevoerde uitlaatgassen worden wél door de koelvloeistof van de motor afgekoeld.

Zo werkt de turbo met variabele geometrie, dat wil zeggen verstelbare luchtgeleideschoepen. Die brengen de turbo sneller op toeren.



De roterende Bosch VP44 radiaal-plunjerinspuitpomp voor de V6 TDI. Deze verzorgt een vóórinspuiting tijdens de koude start en de daarop volgende opwarmperiode, geregeld door een elektromagnetische klep.

blok van de V8 toch geheel nieuw ontworpen. Het is van speciaal gietijzer vervaardigd waarvan het grafiet in een afgeplatte bolvorm (zeg maar wormvormig) voorkomt in plaats van bolvormig zoals in nodulair gietijzer. Het is ten opzichte van grijs gietijzer 10 procent lichter en ongeveer twee keer zo sterk. Opmerkelijk is wel dat Audi als voorvechter van gewichtsbesparing door gebruik van aluminium, dit metaal niet voor het cilinderblok heeft gebruikt zoals Mercedes wel heeft gedaan voor haar V8 superdieselmotor...



Voor de vereiste sterkte en geluidsisolatie eindigt het cilinderblok op de krukshartlijn en zijn de onderste hoofdagerkappen geïntegreerd in een gemeenschappelijke lagersteun, uitgevoerd als een stijf dragend frame dat ook zijdelings wordt ondersteund.

De lichtmetalen cilinderkoppen volgen het ontwerp van die van de V6. De inlaatnokkassen worden aangedreven door een tandriem, die elk op hun beurt met een geruisloze tandwieloverbrenging de naastliggende uitlaatnokkassen aandrijven.

De Bosch Common-Rail insputing werkt met een brandstofdruk die varieert naar gelang de behoefte (energiebesparing en minder verhitte van de brandstof) en in de retourleiding is een brandstofkoeler opgenomen. Een door de regelbaarheid aangestuurde elektromagnetisch bediende klep in de verstuivers regelt de vóór- en hoofdinspuiting. Naast de regelvrijheid lagen ook praktische overwegingen en de gunstige kostprijs ten grondslag aan de keuze voor Common-Rail op deze motor. Meerkleppentechniek laat zich bijvoorbeeld moeilijk combineren met de relatief fors bemeten pompverstuivers.

Twee turbo's en intercooling
Aardig detail is de voor meerdere doeleinden gebruikte warmtewisselaar, die keurig een plaats heeft gevonden tussen de beide cilinderblokken. Primaire functie is natuurlijk de koeling van de gecompriëerde inlaatlucht, en wel door koelvloeistof die echter geheel gescheiden circuleert van het koelcircuit van de motor en dus een lagere temperatuur heeft. De naar de motor teruggevoerde uitlaatgassen (EGR, ter beperking van NOx)

Diesel-evolutie zet door

De high-tech diesel van dit moment is technisch nog lang niet uitontwikkeld.

Dit staat ons nog te wachten:

- hogere inspuitdrukken
- meervoudige inspuiting
- geringere productietoleranties en toleranties in de brandstofdosering
- lambda-regeling in gesloten kringloop
- piëzoverstellers in verstuivers
- betere sensoren
- keramische gloeibougies

Grootste wens van de industrie: zwavelarme brandstoffen!

worden wèl door de koelvloeistof van de motor afgekoeld. Een gunstig bijeffect is de verminderde roetvorming, maar in ruil daarvoor is wel de emissie van koolmonoxide en koolwaterstoffen iets toegenomen. Dat laatste maakte de toepassing van twee direct achter de turbo's gemonteerde oxidatiekatalysatoren noodzakelijk. De hoofdkatalysatoren zijn verderop in het uitlaatsysteem opgenomen. Al met al voldoet ook de grote V8 TDI aan de EU-III limieten en wacht de fabrikant met roetfilters tot de nog strengere EU-IV limieten van kracht worden. Wat dat betreft is PSA met het automatisch regenererende roetfiltersysteem toch wat voortvarender te werk gegaan, want geen roet is nog altijd beter dan een beetje roet. Overigens wordt het hoog tijd dat de oliemaatschappijen het zwavelgehalte van de brandstof drastisch gaan beperken, zodat de uitlaatgassen ook van de laatste resten schadelijke componenten kunnen worden gereinigd. Naast katalysatoren en roetfilters hebben vooral de nieuw ontwikkelde NO_x-opslagkatalysatoren van de zwavel te lijden.

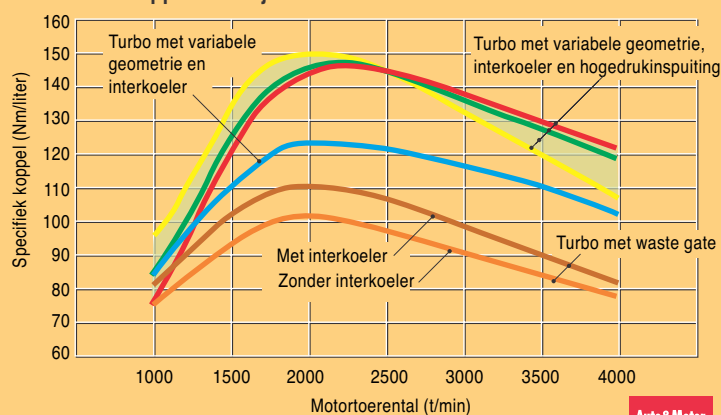
De regeling en synchronisatie

van de beide turbo's geschiedt aan de hand van een tweevoudige luchtmassameting met behulp van hittedraad (meting per cilinderrij).

Optimale vulling

De positie van het viertal kleppen per cilinder is iets verdraaid ten opzichte van de krukashartlijn, om een optimale positie van de in- en uitlaatpoorten mogelijk te maken. De primaire inlaatpoort dient zoals gebruikelijk voor het in werveling brengen van de luchtstroom in het lagere belastingsgebied. De secundaire poort dient voor maximale vulling in het hogere belastingsgebied. Doordat de beste mengselvorming ook hier met een zesgatsverstuiver wordt bereikt (de naald sluit de zes gaten af zodat geen nadruppelende brandstofresten tot extra emissie van koolwaterstoffen kunnen leiden), is de in de zuigerbodem uitgespaarde verbrandingskamer nogal breed uitgevallen. Het gunstige effect van de vóórinspuiting op het motorgedrag bij koude start, liet een naar verhouding lage compressieverhouding toe van 18,5:1. Dit leverde een meer bevredigend compromis op tussen prestaties en emissies enerzijds en kou-

Meer koppel dankzij turbo-innovatie



Bron: Bosch

Auto & Motor
TECHNIEK

Het ontwikkelingsniveau van drukvulling heeft grote invloed op het specifiek motorkoppel. Variabele geometrie, intercoeling en hogedruk-inspuiting geven de diesel aanzienlijk meer pit.

de start-gedrag anderzijds. Een aardig detail is nog dat de invloed op de brandstofdosering van drukgolven die zich in de Common-Rail en de leidingen naar de

verstuivers heen-en-weer bewegen, door de rekeneenheid per cilinder afzonderlijk worden gecompenseerd aan de hand van waargenomen onregelmatigheden in de draaiing van de kruk. Dit verklaart mede de hoge rekencapaciteit die een moderne dieselmotor zoals deze V8 TDI nodig heeft!

De 3.3V8TDI is een high-tech diesel waarvoor alles uit de kast is gehaald wat dieseltechniek en elektronica op dit moment te bieden hebben. Hij beschikt over twee turbo's en intercoeling.

Rudolf mag trots zijn. Met de direct ingespoten personenautodiesels van VW/Audi, de Fiat Groep, Mercedes-Benz, PSA en BMW is een technisch niveau bereikt dat zelfs de stoutste verwachtingen van uitvinder Rudolf Diesel nog ver te boven zal zijn gegaan. Alvorens nu meteen in een stemming van pure euforie te geraken, is het echter goed erop te wijzen dat er vooral aan die topdiesels van BMW, Audi en Mercedes een wel heel fors prijskaartje hangt. Ga er maar vanuit dat ze in productie, met alle toeters en bellen, meer dan het dubbele zullen kosten vergeleken met een benzinemotor met hetzelfde vermogen.

Dik Boosman

