

Derde generatie Audi TFSI

Downsizing en Downspeeding

De nieuwste generatie van de 1.8 Audi vier-in-lijn turbomotor presteert evenveel als de 2.0-uitvoering en dat bij lagere toerentallen dan de vorige 1.8. In generatie 3 van de TFSI Audi-motor is een flink aantal bijzondere technieken toegepast.

De vorige uitvoering van de TFSI beschreven we in AMT 2 van 2007. Nu vallen we met de deur in huis met enkele gegevens van de nieuwe motor. Al vanaf 3800 t/min levert de 1.8 turbomotor 125 kW. Dat is 170 pk. Het hoogste koppel van 320 Nm levert de motor al bij 1400 t/min. Dat komt overeen met een gemiddelde effectieve druk van 22,4 bar. De vorige TFSI kwam op 118 kW, dat is 160 pk, bij 4500 t/min. Het hoogste koppel bedroeg 250 Nm bij 1500 t/min. Hoe hebben de Audi-technici deze resultaten bereikt? Door op de uitlaatnokken een versteller te plaatsen en een nieuwe cilinderkop met geïntegreerd uitlaatspruitstuk te ontwikkelen. Er is geen koelwaterthermostaat meer, een volelektronisch thermomanagement doet het werk. Er is een tweevoudig inspuitsysteem met

zowel DI als IDI verstuivers. Ook de inwendige wrijving en het motorgewicht zijn verlaagd.

Minder gewicht

Had de vorige motor nog een gietijzeren blok met wanddiktes van $3,5 \pm 0,8$ mm, nu zijn de wanden nog maar $3,0 \pm 0,5$ mm dik. Dat is mogelijk door het blok staand in plaats van liggend te gieten. Dat geeft ook meer vrijheid om het gietkernpakket te plaatsen. Zo is de grof-olie-afscheider niet meer aangeflensd, maar in het gietstuk opgenomen. Al met al is er 2,4 kg bespaard. Om de krukas zo stevig mogelijk te ondersteunen zijn de hoofd-lagerkappen met bouten aan het bovendee van de carterpan bevestigd. De kunststof carterpan dempt geluiden en bespaart gewicht.

Drijfwerk en balansassen

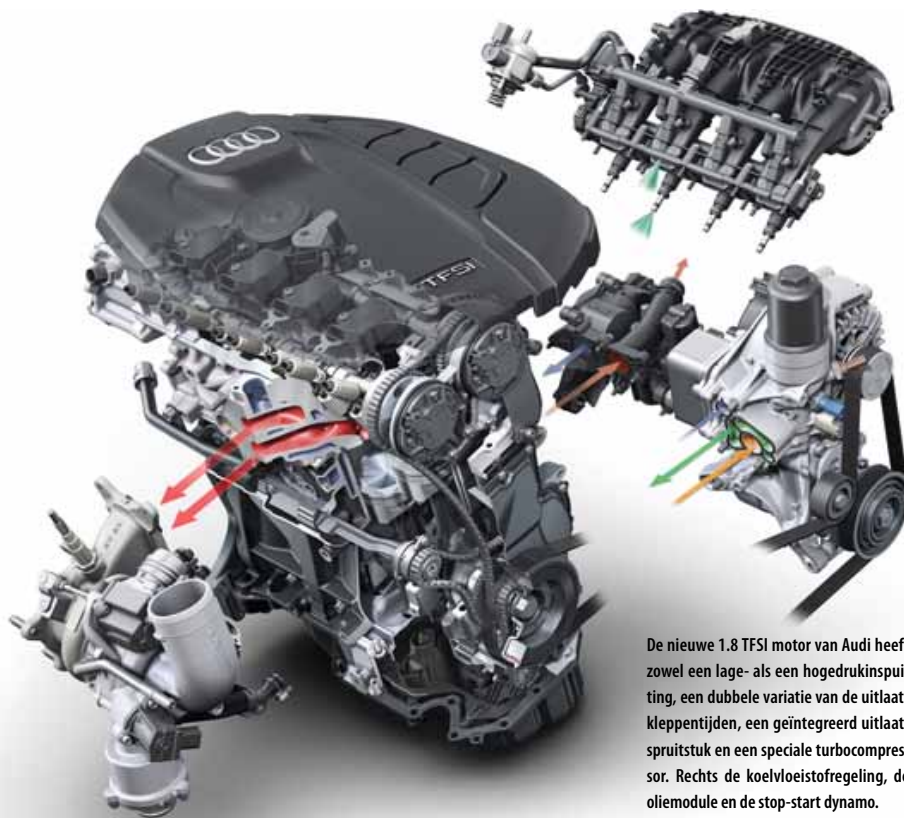
Om de lagerwrijving te verminderen, is de hoofd-lagerdiameter van 52 naar 48 mm teruggebracht. Mede dankzij slechts 4 in plaats van 8 contragewichten weegt de nieuwe krukas 1,6 kg minder. Een nieuwe, sterkere legering biedt meer weerstand tegen torsie- en buigtrillingen. De zuiger-speling is wat groter met als gevolg een lagere wrijving. Een slijtagebestendige laag met nano-deeltjes is op het hemd aangebracht. De beide balansassen draaien in naaldlagers. Al deze maatregelen werken vooral goed bij lage olietemperaturen. O ja, door een optimale vormgeving zijn de balansassen 20% lichter en is hun traagheidsmoment, de vliegwielerwerking, met 30% verminderd. Dat zorgt ervoor dat de motor makkelijker op en van toeren komt.

Aangepast oliecircuït

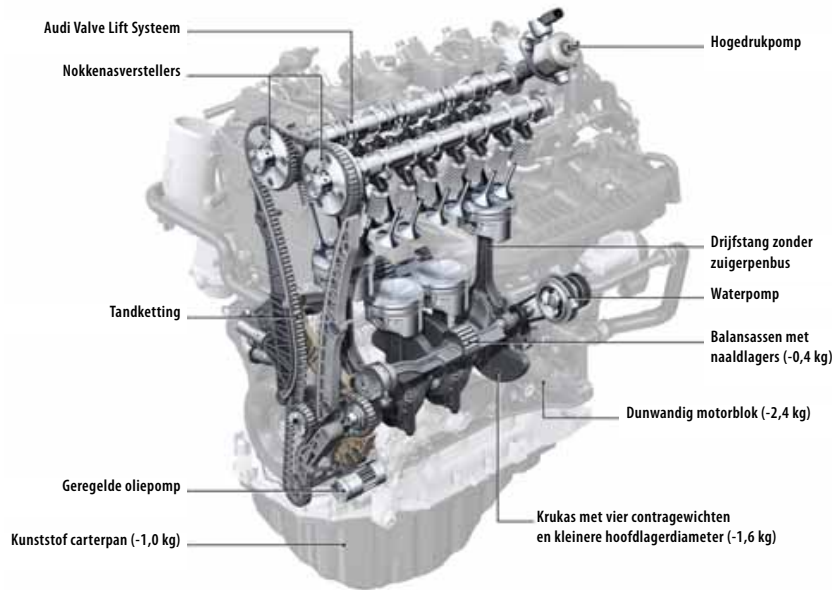
De olietemperatuur bepaalt de oliepomp-opbrengst. Koude olie is viscieuzer, taaiervloeibaarder dan dunne olie. Door een betere vormgeving van de oliekanalen stroomt de olie makkelijker, dus daalt het drukverlies. De eerste druktrap van de oliepomp is verlaagd tot 1,5 bar en pas bij 4500 t/min wordt de hoge druktrap ingeschakeld. De spuitoliekoeling van de zuigers wordt nu elektromechanisch geregeld en wel zo dat als de stroom uitvalt de sproeiers blijven werken. Dankzij de elektromagneten, de solenoïden, is de regeling van de koelolie beter en is de controle ervan via het OBD-systeem mogelijk geworden.

Bijzondere cilinderkop

De generatie 3 motor heeft als eerste turbomotor een uitlaatspruitstuk dat in de cilinderkop is opgenomen. Het integreren heeft een aantal voordelen ten opzichte van een tegen de cilinderkop bevestigd spruitstuk. Het grootste pluspunt is dat er bij vollast bijna geen verrijking van het mengsel meer nodig is, omdat het spruitstuk zoveel warmte afvoert naar het koelwater. Dat betekent dat ook bij sportief rijden het brandstofverbruik daalt. Het tweede pluspunt is dat de koelvloeistof (veel) sneller opwarmt dan voorheen. Voeg daar het derde pluspunt aan toe, een compactere en lichtere (1,4 kg) turbocompressormodule, en het zal duidelijk zijn waarom Audi voor dit systeem



De nieuwe 1.8 TFSI motor van Audi heeft zowel een lage- als een hogedrukinspuiting, een dubbele variatie van de uitlaatkleppentijden, een geïntegreerd uitlaatspruitstuk en een speciale turbocompressor. Rechts de koelvloeistofregeling, de oliemodule en de stop-start dynamo.



gekozen heeft. Maar de wet van behoud van elende geldt ook hier. Er is geen voordeel zonder nadeel. Het grootste probleem is het gieten van zo'n cilinderkop, vooral als het gaat om een grootseriemotor. Er bleek een stalen gietmal, een kookille, met maar liefst twaalf zandkernen voor nodig.

Op de uitlaatnokkenas is nu een versteller geplaatst die de nokkenas 30 krukgraden om zijn lengte-as verdraait. Dat is de helft van de verdraaiing van de inlaatnokkenas. Gebleven is het Audi Valve Lift System dat de kleppentijden en de kleplichthoogten in twee stappen wijzigen kan. In verband met het snel opwarmen van de cilinderkop zonder een te hoge wandtemperatuur te bereiken, wordt de koelvloeistoftemperatuur niet meer bij de waterafvoer, maar bij de watertoevoer naar de kop gemeten.

Veel rekenwerk

Er zijn tal van simulatieprogramma's ontwikkeld om de temperaturen en spanningen in de cilinderkop te kunnen bepalen. Eerst vond er een thermomechanische optimalisering van de cilinderkop plaats. Extreme temperatuurgradiënten zorgen voor te hoge materiaalspanningen en die veroorzaken scheuren. Het rekenmodel moest de specifieke eigenschappen van het uitlaatgas, de koelvloeistof en de aluminiumlegering verenigen. Daaruit bleek dat er veel warmte in de kop vrijkomt zodra er na gasgeven gas wordt losgelaten. Veel van de in het aluminium opgeslagen warmte komt dan vrij, en dat zorgt voor een hogere water-

Een uitgekend smeersysteem zorgt voor de koeling en de smering van de motor. De wijze waarop de koeloliesproeiers worden in- of uitgeschakeld verdient de aandacht. Dankzij deze samenwerking tussen een solenoïde en een mechanische regelklep is er zowel een controle van de goede werking als een fail safe constructie ontstaan. Als de stroom uitvalt, krijgen de zuigerbodems toch koeling.

temperatuur aan de oppervlakte van het materiaal. Tegelijkertijd daalt de waterpomp snelheid omdat het motortoerental daalt. Er ontstaat een warmtestuwing met als gevolg: dampbelvorming. Dat leidt weer tot cavitatie, een ongewenst verschijnsel omdat de implosies stukjes materiaal uit de kop losmaken.

Geen thermostaat meer

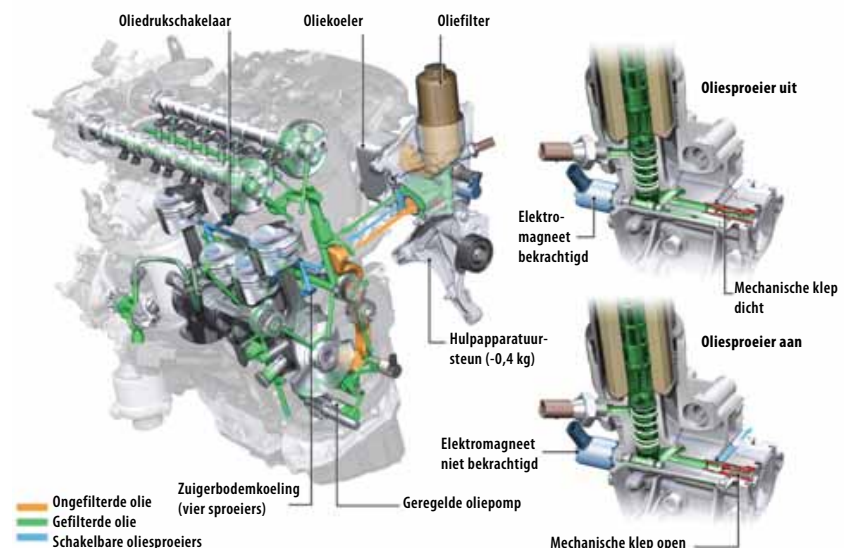
Een speciaal koelsysteem voorkomt al deze narigheid. Bovendien zorgt dat systeem voor snelle opwarming van de motor, de transmissie-olie en het interieur. Het systeem maakt gebruik van twee mechanisch gekoppelde draaischuiven uit kunststof. Een elektromotor drijft met een wormaandrijving één van de schuiven aan. Deze schuif vervangt de klassieke wastermostaat en kan de koelvloeistoftemperatuur snel regelen tussen 85 en 107°C. Bovendien regelt deze schuif de terug-

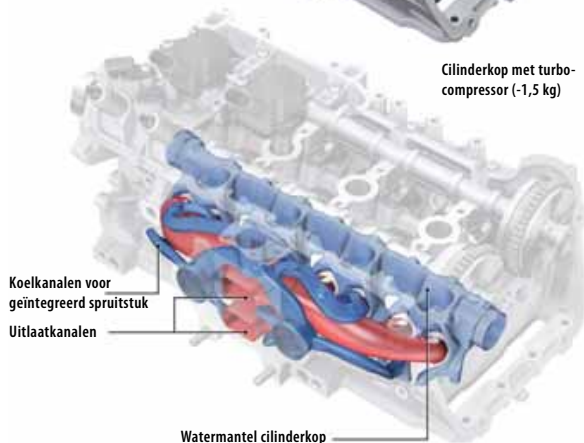
Audi gebruikt een honderd jaar oude constructie met twee balansassen die op ongelijke hoogte liggen en met het dubbele krukstoerental in tegengestelde richting draaien. De bedenker van dit geheel was Lanchester, Mitsubishi bracht het balanceringsysteem weer op de markt.

voer vanaf de motoroliekoeler.

Draaischuif twee sluit bij koude motor de watertoevoer naar de motor helemaal af. Alle koelwaterkleppen staan dicht, er is geen stromend water. Om het interieur snel op te warmen, is er een aparte waterpomp met een eigen watercircuit dat de warmte van het uitlaatspruitstuk benut. Door deze maatregel warmt het cilinderblok even snel op als zonder interieurverwarming. Door het opwarmen van het motorblok neemt de wrijving van het drijfwerk af, deels door toenemende speling, deels door een dunnere oliefilm. Draaischuif twee opent langzaam om de temperatuurstijging niet te vlug te laten verlopen, terwijl draaischuif één de motoroliekoeler van een beetje warm water voorziet. Geleidelijk aan worden beide schuiven verder geopend en komt er voldoende warmte vrij om ook de transmissie-olie op te warmen. Pas als het niet anders kan, stroomt het water naar de radiator. Dan gaat er immers warmte verloren die met behulp van de brandstof is verkregen, puur verlies dus.

Bij lage motorvermogens wordt de koelvloeistof tot 107°C verwarmd om met een lage wrijving een hoog rendement te halen. Bij hogere vermogens gaat de temperatuur omlaag tot 85°C om detoneren, pingelen of kloppen, te voorkomen. De korte reactietijd voorkomt sterke temperatuurschommelingen. Na het afzetten van de motor zorgt de elektrische waterpomp van de interieurverwarming voor een gelijkmatige afkoeling. De draaischuiven worden door de elektromotor in de juiste standen gezet om warmtestuwing in de cilinderkop en het lagerhuis van de turbocompres-

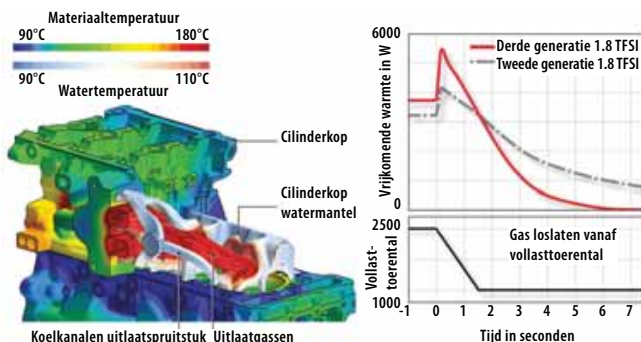




sor te voorkomen. Het motorblok blijft op temperatuur. Al deze maatregelen leveren een besparing van 2,5g CO₂ per km op én zorgen ervoor dat het interieur snel opwarmt als dat nodig is.

Betere mengselvorming

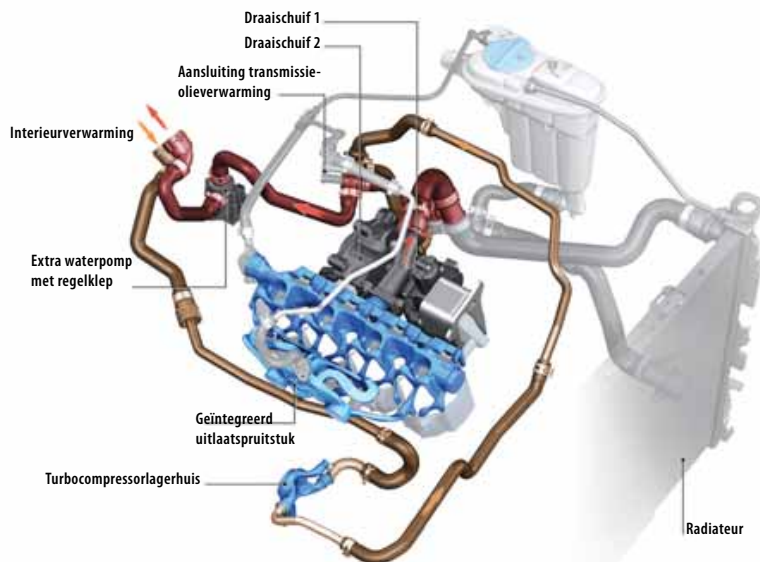
De inspuitedruk is van 150 naar 200 bar verhoogd dankzij een aangepaste hogedrukpomp en aangepaste verstuivers. Maar daarmee is de zaak niet klaar. De hogedrukinspuiting is in zijn geheel herzien. Ook de akoestiek en de kosten speelden daarbij een rol. Maar vooral de roetuitstoot, bepaald door de deeltjesmassa en het aantal deeltjes, baarde grote zorgen. Om aan de Euro 6 emissie-eisen te kunnen voldoen, is er zelfs een ouderwetse multipoint (MPI) inspuiting nodig. Deze indirecte inspuiting (IDI) wordt via een lekleiding met gekalibreerde boring vanaf de DI-verstuivers van brandstof voorzien. Zo blijven deze verstuivers koel, ook als ze buiten gebruik zijn. De DI-verstuivers zijn nauwkeurig gericht op de luchtstroming die door de koproelwervelkleppen bij deelast wordt veroorzaakt. Beide brandstofrails hebben een eigen druksensor. De stalen hogedruk rail zit vast aan de cilinderkop, de kunststof lagedruk rail is bovenop de verstuiver geplaatst. Er is nu een 1-, 2- of 3-voudige DI-inspuiting én een IDI-in-



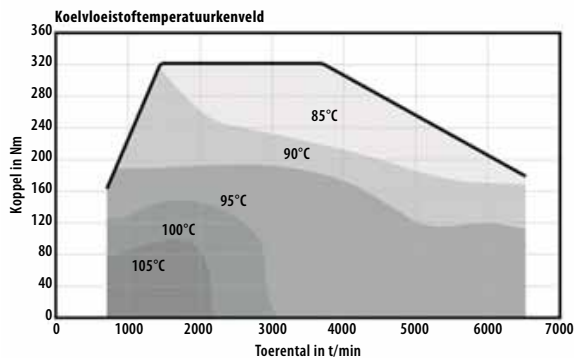
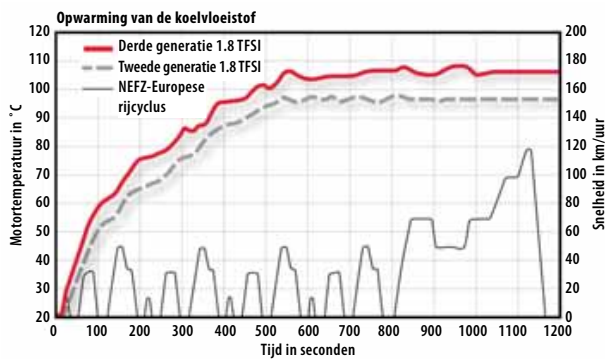
Als we bedenken dat de uitlaatgastemperatuur tot ver over de 1000°C kan oplopen, is het duidelijk dat er vooraf moet worden nagegaan of de materiaal- en watertemperatuur niet te hoog oplopen. Daartoe is er uitgebreid en diepgaand gewerkt met rekenprogramma's die de werkelijkheid nabootsen. Het bleek dat er vooral bij gasloslaten na hoge belasting erg veel warmte wordt afgegeven.

De nieuwe cilinderkop is een giet-technisch hoogstandje omdat het uitlaatspruitstuk in de kop is aangebracht. De rechthoekige, boven elkaar geplaatste uitlaattoeren combineren cilinders 1 en 4 en 2 en 3 om optimaal gebruik te maken van de uitlaatgasdrukpulsen. Er zijn al motoren zonder drukvulling, bijvoorbeeld van Honda, die ook zo'n gekoeld uitlaatspruitstuk hebben.

spuiting mogelijk, met als belangrijkste resultaat dat de Euro 6 emissie-eisen worden gehaald en het verbruik is gedaald. Eenvoudig is het afstellen niet. Het gaat immers om een compromis tussen het verbrandingsrendement, het detonatiegedrag, de emissies, de (roet)deeltjesmassa en het aantal deeltjes, de brandstof op de cilinderwand (zie de vraag van de maand in AMT 10 van 2005 in het maandossier op AMT.nl) en de drukstijging per krukgraad als maat voor een rustig verbrandingsverloop. Bij (extreem) lage temperaturen en bij hogere belastingen tijdens warmdraaien wordt er met een 3-voudige inspuiting tijdens de compressie gewerkt. Tijdens het opwarmen vinden er twee inspuitingen plaats, één in de inlaatslag en één tijdens de compressieslag. De ontsteking staat laat om de uitlaatgastemperatuur zo snel mogelijk omhoog te brengen. Daardoor loopt de motor



Audi is weer een stap verder gegaan met het thermomanagement, er is zelfs geen thermostaat meer. Let op het zeer gecompliceerde koelwaterverloop in de cilinderkop. Een olie-koelwaterwarmtewisselaar zorgt ervoor dat de olie snel opwarmt en niet te heet wordt.



Dat het nieuwe thermomanagement werkt, bewijzen deze twee grafieken. In de bovenste zien we dat de koelwatertemperatuur sneller en hoger oploopt tijdens het rijden van de Europese rijcyclus. Onder worden de watertemperaturen weergegeven die worden ingesteld bij bepaalde toerentallen en motorkoppels. Let daarbij op het golvende verloop van de overgangen tussen de gebieden, het is een nauwkeurige, traploze regeling.

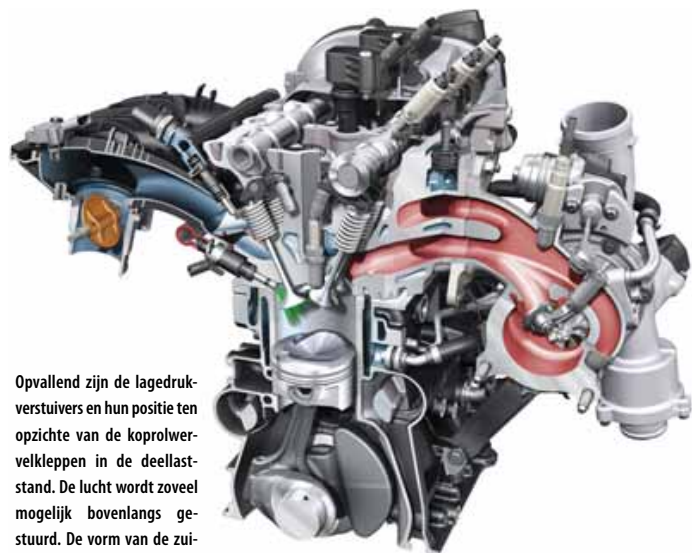
rustig, ook bij verschil in brandstofsamenstelling zijn de emissies minimaal en warmt de driewegkatalysator snel op.

Na het warmdraaien werkt de lagedrukinspuiting in het deellast werkgebied waarin geen detonen optreedt. Om detonen te voorkomen, wordt er bij (nog) hogere belasting overgeschakeld op een tweevoudige inspuiting die ook de olieverdunning en de deeltjesemissie beperkt. De rol van de koprolwervelkleppen is nog belangrijker geworden. De hogere vuldruk maakt een nieuwe vormgeving nodig om ook bij deellast een voldoende intensieve koprolwervel mogelijk te maken. De RVS-as is nu uit één geheel, dus torsiestijf met een positieherkenning door een contactloze hoeksensor. De kleppen worden in de geopende stand klemgezet om te voorkomen dat ze gaan 'wapperen' in de luchtstroom. Een elektro-pneumatische bediening heeft de onderdrukdoos vervangen en de kleppen hebben nog steeds twee standen: open of dicht.

Uitgekiend verbrandingsverloop

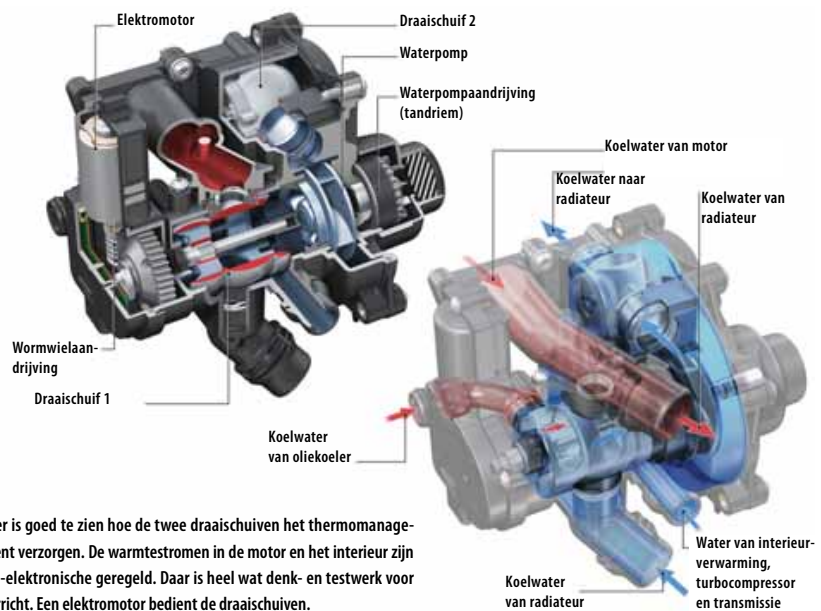
Tal van details zijn gewijzigd om detonen en voortijdige ontsteking te voorkomen. Ook de lambdawaarden zijn aangepast, vooral door het toepassen van het geïntegreerde uitlaatspruitstuk. De energie-omzetting van de verbranding

loopt wat vertraging op, overeenkomend met een 1 à 2 krukgraden later ontstekingsstijp. Dit probleem is opgelost door de koprolwervelsnelheid te verhogen. Dat maakt een ander inlaatkanaal-

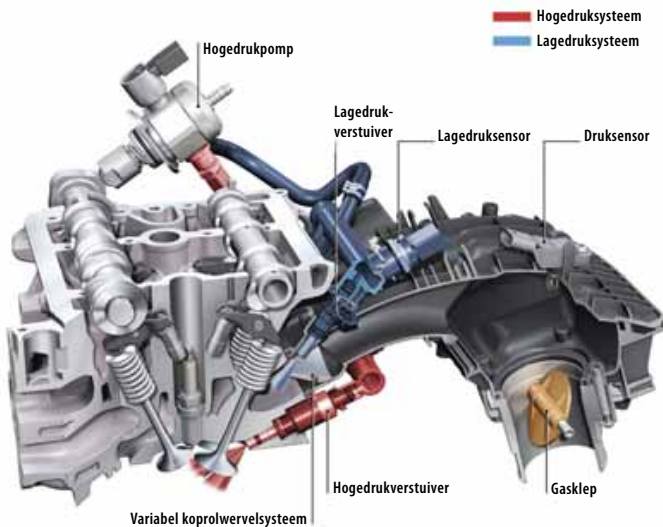


Opvallend zijn de lagedrukverstuivers en hun positie ten opzichte van de koprolwervelkleppen in de deellaststand. De lucht wordt zoveel mogelijk bovenlangs gestuurd. De vorm van de zuigerkom is, net als de hogedrukverstuiverpositie, geoptimaliseerd voor een compressieverhouding van 9,6:1. Andere details zijn: de koelvloeistofaansluiting naar de turbocompressor, de permanente ontluchting van het koelsysteem via de cilinderkop en het geïntegreerde uitlaatsysteem.

verloop nodig. Let wel: met niet werkende wervelkleppen is er vrijwel niets veranderd. Dat is belangrijk voor het snel opwarmen van de katalysator, want de kleppen bepalen de snelheid van de inlaatlucht, daarmee van de koprolwervel en daardoor de verbranding en de uitlaatgastemperatuur. De hogedrukverstuivers zijn iets naar buiten verplaatst (zie het artikel in AMT 2 van 2007 in het maanddossier) om een homogener (met meer gelijkmatige lambdaverdeling) mengsel en een lagere verstuivertijmpunt te bereiken. Het Audi Valve Lift-systeem met twee kleplichthoeken voor de uitlaatkleppen heeft er een nokkenasversteller bij gekregen. Daardoor is het aantal variabelen nog groter geworden. Door een geschikt compromis is het vermogen vergroot, de gaspedaalreactie versneld en het verbruik zo laag mogelijk geworden. Een waarde onder de 250



Hier is goed te zien hoe de twee draaischijven het thermomanagement verzorgen. De warmtestromen in de motor en het interieur zijn vol-elektronisch geregeld. Daar is heel wat denk- en testwerk voor verricht. Een elektromotor bedient de draaischijven.



g/kWh is inderdaad, zeker voor een turbobenzinemotor, laag. Het laagste specifieke verbruik is met 230 g/kWh eveneens gunstig. Het geringe verschil tussen deze waarden is opvallend.

Volledig nieuwe turbocompressor

Op basis van de IHI RHF4-turbocompressor is er een nieuw ontwerp ontstaan, dat zorgt voor meer koppel onderin, meer vermogen en meer dynamiek bij gaspedaalbewegingen. Niet alleen de turbine- en compressorwielen zijn nieuw, ook de bijbehorende huizen. De elektrische wastegateversteller werkt sneller en nauwkeuriger dan de onderdrukdoos en bovendien zonder invloed van de vuldruk. Opvallend is de plaats van de lambdasensor: vóór de turbine. Het gietstalen turbinehuis heeft twee toevoerkanaalen, één voor cilinders 1 en 4 en één voor cilinders 2 en 3. Er is dan geen gescheiden toevoer in het turbinehuis nodig, vandaar dat Audi een 'mono-scroll' turbinehuis gebruikt. Het turbinewiel zelf is bestand tegen 980°C dankzij een Inconel legering die een hoog nikkelgehalte heeft. Het is in feite een bekend uitlaat-

kleppenmateriaal. Het compressorwiel is gefreesd om de akoestiek te verbeteren en een hoger toerental mogelijk te maken. Het compressorhuis heeft een luchtpulsatiedemper en een elektrisch verstelbare luchtomloopklep die bij gasloslaten de turbine-as op toeren houdt. Het zal niet verbazen dat de complete drukvulgroep 40% minder weegt dan de vorige uitvoering. Bovendien volstaan vier tapeinden met moeren plus een steun als bevestiging. Het aluminium compressorhuis is voorzien van aansluitingen voor de carter- en tankontluchtingen.

De resultaten mogen er zijn: 320 Nm bij 1400 t/min, een wastegate die ook bij deellast open staat en voor een lagere inlaatdruk zorgt met als gevolg een lager verbruik. Het scheelt 1,2g CO₂ per km, gemeten tijdens de Europese rijcyclus. Door het openen van de wastegate tijdens het opwarmen wordt het uitlaatgas sneller warm, dus

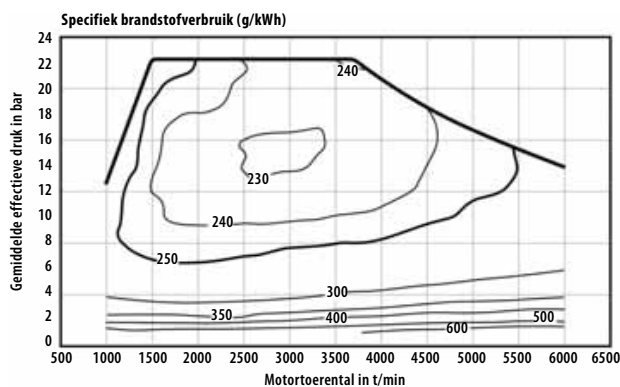
de kat ook. Vandaar de lagere emissies. De hoge reactiesnelheid van de elektrische versteller zorgt voor een onmiddellijke inlaatdrukverlaging bij gas loslaten. Dat beperkt ongewenste bijgeluiden zoals brabbelen, blazen of sissen. Bij gasgeven komt de turbine snel op toeren omdat de wastegate zo snel gesloten wordt.

Lambdasensor vóór de turbo

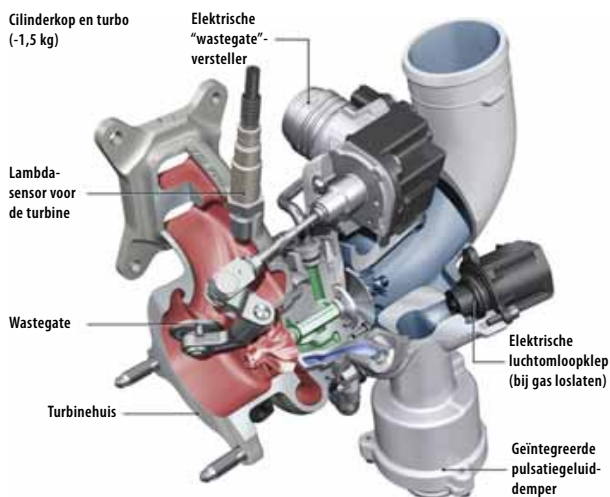
Het is de eerste keer dat een lambdasensor bij een turbomotor vóór de turbine is geplaatst. Het dauwpunt wordt veel sneller bereikt, daardoor begint de lambda-regeling sneller en werkt de cilinderselectieve regeling beter. Het koelen van het uitlaatgas houdt de uitlaattemperatuur binnen de perken, maar het is toch heel wat puzzelen geweest om de lambdasensor zo te plaatsen dat hij niet te heet wordt. Speciale computersimulatieberekeningen van de gasstroming aan de uitlaatkant tot aan de katalysator, aan de compressor kant, inclusief de carter- en tankventilatie met de luchtomloopklep waren nodig om alles optimaal te krijgen. Bovendien zijn de drukverliezen zo klein mogelijk geworden en de temperatuurgradiënten en materiaalspanningen zo laag mogelijk. Het was een echt stapje-voor-stapje rekenproces dat aangeduid wordt met Design of Experiments (DoE) dat inspuitmomenten, het ontstekingstijdstip, de nokkenasverstellingen en andere parameters zodanig combineert dat het gewenste resultaat zo dicht mogelijk benaderd wordt.

Resultaat mag er zijn

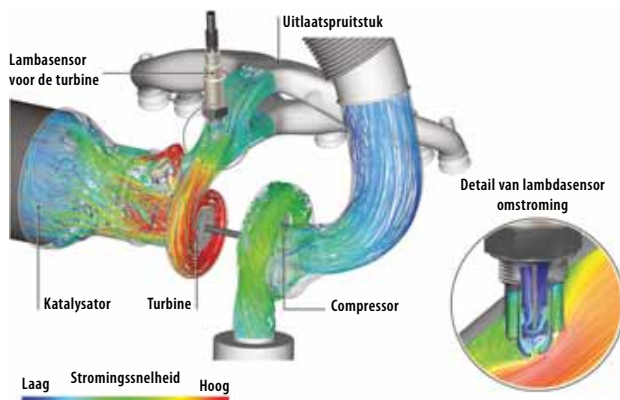
De resultaten hiervan zijn een opvallend hoog en breed koppelgebied en een zeer hoog en breed vermogensgebied met nog wat ruimte voor meer vermogen. Plus een snellere gaspedaalrespons dan bij alle vorige turbo-ottomotoren en een 14%



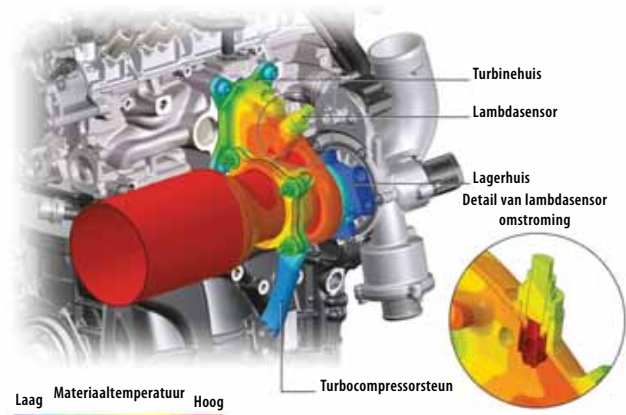
Als we het specifieke brandstofverbruik uitzetten in een grafiek met de gemiddelde effectieve druk en het motortoerental op de assen krijgen we een eierdiagram. De eieren zijn de gebieden binnen de waarden 230, 240 en 250 g/kWh. Opvallend zijn de lage waarden in een groot gebied, dat zorgt voor een laag verbruik in dagelijks gebruik.



De nieuwe uitlaatgasdrukvluggroep, kortweg turbo, is lichter omdat het turbinehuis zo compact is. De uitlaatgaskanalen zijn goed te zien evenals de uitlaatgasomloopklep, kortweg wastegate, die nu elektrisch wordt bediend. Ook de omloopklep in de inlaat wordt elektrisch bediend. Dat maakt een nauwkeurige elektronische regeling mogelijk.



Computersimulatie van de complete gasstroming in het uitlaat- en inlaatsysteem. De lambdasensor kreeg veel aandacht, want die zit voor het eerst vóór de turbine. Bedenk dat het uitlaatspruitstuk in de cilinderkop zit en via acht uitlaatkleppen wordt gevoed.

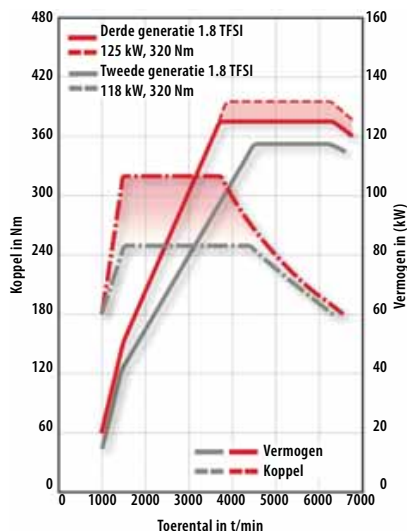


Opnieuw maakt een nauwkeurige computersimulatie het mogelijk om de temperatuurverdeling van de turbocompressor, de lambdasensor en de katalysator te bepalen. Zelfs de turbosteun is in de berekening meegenomen.

lager verbruik over de Europese rijcyclus. Downsizing heeft dus effect. Volgens Audi is motortechnisch gezien (uiteraard speelt ook de langere overbrenging een rol) het resultaat te danken aan: de versteller op de uitlaatnokkenas (het Audi Valve Lift System), de elektrische wastegate-versteller en het dubbele inspuitsysteem. Dat de

emissies zo laag zijn dat ze al aan de toekomstige Euro 6-eisen voldoen, komt door het verhogen van de inspuiddruk en de betere positie van de hogedrukverstuivers, het compacte uitlaatsysteem met een gering oppervlak, de lambdasensor vóór de turbine, de kortere opwarmtijd met open wastegate en de dunwandige keramische monoliet met een nieuwe edelmetaalhoudende grenslaag. Voeg aan dit alles nog een stop-start- en een rem-

energieterugwinsysteem toe en het is duidelijk dat deze motor er weer jaren tegen kan. De productie is gestart in Hongarije in één van de grootste motorenfabrieken ter wereld en zal later ook in China en Mexico plaatsvinden. De motor wordt ook in VW-, Skoda- en Seat-modellen toegepast en over de hele wereld verkocht. Gezien de enorme hoeveelheid hightech in de motor is dat echt bijzonder.



Vergoings- en koppelverloop en dynamische koppeltoename bij 1500 t/min van de vorige en de nieuwe motor. Er komt kennelijk een krachtiger versie, zie de rode stippevergoingslijn.

Downspeeding, downsizing en de toekomst

Met downspeeding wordt bedoeld dat de nieuwe motor hetzelfde vermogen en koppel levert als de vorige motor, maar bij lagere toerentallen. Dan kan de overbrenging langer worden gekozen zonder dat de prestaties achteruit gaan. Op deze manier wordt brandstof bespaard omdat de motor bij elke rijnsnelheid minder toeren draait. Het comfort vaart er wel bij als de trillingen in de transmissie in toom worden gehouden. Bromgeluiden, alsof de motor onder toeren draait, zijn onacceptabel.

Downsizing is een inmiddels welbekend begrip. Een kleine motor levert dezelfde prestaties als een grotere. Eén van de methodes is een V12 te vervangen door een V8, een V8 door een V6, een V6 door L4 en een L4 door een L3. De tweede manier van downsizing bestaat uit het verkleinen van de cilinderinhoud. Als dat goed gebeurt, kan een kleine L4 een grotere L4 vervangen. Drukavulling speelt hierbij een belangrijke rol, vandaar het grote aantal turbomotoren.

Zowel downspeeding als downsizing zijn pas echt op gang gekomen door transmissies met een grote spreiding, dat is de verhouding tussen de grootste en kleinste overbrengingsverhouding. Hoe meer overbrengingen, des te groter de spreiding kan zijn. Maar al die overbrengingen maken het wel nodig het schakelen te automatiseren.

Cilinders deactiveren krijgt een nieuwe kans nu de elektronica genoeg reken capaciteit heeft. Denk aan de Bentley Mulsanne (zie het artikel uit AMT 3/2010 in het maandossier op AMT.nl) en andere motoren die bij deellast cilinders uitschakelen of dat in het verleden hebben gedaan. Zo doet zich nu de vraag voor of vier-in-lijn motoren niet beter op drie of twee cilinders kunnen draaien dan dat ze worden gedownsized tot motoren met drie of twee cilinders.

Meer achtergrond over Audi's 1.8 TFSI
 In het maandossier op www.AMT.nl/november2011 staat het allemaal bij elkaar. Het artikel over de vorige generatie TFSI, de vraag en het antwoord over het lastige compromis tussen rendement en emissies, Het artikel, waarin de positie van de DI-injectoren aan de orde komt en het artikel over de Bentley-motor die cilinders uitschakelt als ze niet nodig zijn.