

Auto & Motor
TECHNIEK

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

VW wil 100 kW/liter-grens doorbreken

Racen met een diesel

Het komt misschien wat onwennig over, maar ook met een moderne diesel kun je racen. Eén van de pioniers is Volkswagen Motorsport. Men prepareerde een Golf-diesel tot succesvolle toerwagen. Met z'n 140 kW en 350 Nm is hij een geduchte concurrent voor z'n otto-tegenstanders.

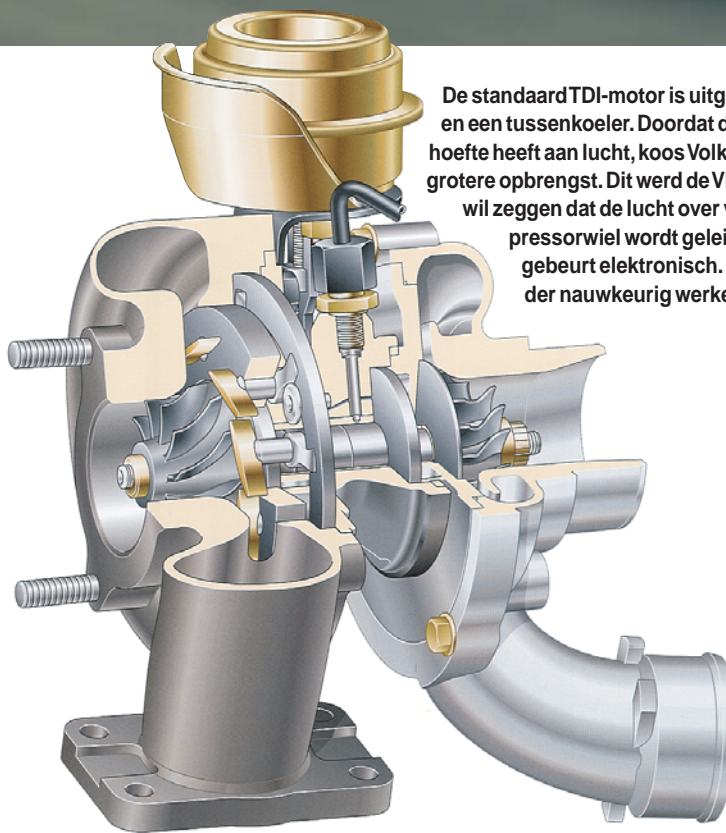
Het racen met auto's, voorzien van een dieselmotor, is een nieuw fenomeen in de autosport. Ze nemen veelal deel aan lange-afstand-races, waar zij temidden van hun broertjes met ottomotor gestaag en toch onverwacht snel hun rondjes afleggen. Zo bieden de reglementen van de 24-uurs races van Spa en de Nürburgring de gelegenheid om een toerwagen met dieselmotor in te zetten. Naast BMW heeft Volkswagen in 1997 van deze gelegenheid gebruik gemaakt. Net zoals in het normale verkeer hoefden de Golfs niet vaak voor het bijvullen van brandstof (100 liter veiligheidstank) aan de pits te komen. Dit is bij lange afstands-races de eerste winst. Naast de algehele preparatie van de Volkswagen Golf TDI (in de wedstrijdversie R*TDI geheten) trokken met name de aanpassingen aan de motor onze aandacht. Hierop gaan we dan ook uitgebreid in, voor zover als Volkswagen Motorsport dat tenminste toeliet.

Volkswagen Motorsport Volkswagen Motorsport is het onderdeel van het VAG-concern dat zich, naast met andere projecten, bezighoudt met de opbouw en preparatie van de Volkswagen Golf TDI. Het bedrijf is gevestigd in Hannover. In principe wordt alles in eigen huis ontwikkeld, tenzij de tijdsdruk ergens anders toe dwingt.

Dat een autobouwerfabrikant ertoe overgaat aan wedstrijden deel te nemen, heeft altijd een marketing-achtergrond. Bij Volkswagen heeft dit echter ook heel duidelijk een technische reden. Zo staan er op de motorproefbanken in Hannover vele en verschillende machines te draaien die eens in een productiemodel van Volkswagen zullen zijn te vinden. Bij Volkswagen Motor-

sport zijn overigens ongeveer 80 personen in dienst; naar verwachting zal dit aantal nog groeien.

Wedstrijdpreparatie
Het opbouwen van een auto ten behoeve van wedstrijddoeleinden is, als men een winnaar op het oog heeft, geen kleinigheid. Een totale preparatie kan worden opgedeeld in drie facetten. Dat zijn het klaar-



De standaard TDI-motor is uitgerust met een Garrett VNT15 turbo en een tussenkoeler. Doordat de wedstrijdversie een grotere behoefte heeft aan lucht, koos Volkswagen voor een type turbo met een grotere opbrengst. Dit werd de VNT20 met variabele geometrie. Dat wil zeggen dat de lucht over verstelbare schoepen naar het compressorwiel wordt geleid. De aansturing van de schoepen gebeurt elektronisch. Hierdoor kan de conventionele (minder nauwkeurig werkende) wastegate komen te vervallen

maken van de auto om te worden geprepareerd, de motorpreparatie en vervolgens het onderstel, inclusief de transmissie.

Het voorbereiden van de auto voor preparatie omvat het kaalmaken van het voertuig. Alle componenten worden gedemonteerd. Een aantal kan later weer worden gebruikt en andere zijn in een wedstrijdauto niet gewenst. Het interieur gaat er uit; zo ook de airco en de stereo. Alles wat met luxe te maken heeft, wordt verwijderd. Immers, de auto moet zo weinig mogelijk gaan wegen. Dat wil zeggen dat bij het uiteindelijk afbouwen van het race-voertuig naar het reglementair toegestane minimum gewicht moet worden gestreefd.

Nu is dat bij een bedrijf als Volkswagen Motorsport vanzelfsprekend eenvoudig te regelen. Men begint met een kale carrosserie die van de productielijn wordt geplukt. Het meeste werk komt dan echter nog. Ieder koetsje heeft de nodige flexibiliteit in zich. Om later de wegligging (stabiliteit) zo

optimaal mogelijk te kunnen beïnvloeden, moeten elementen die niet beheersbaar zijn (dus een flexibele en torderende carrosserie) worden geëlimineerd.

Vanzelfsprekend wordt, als de wagen geheel kaal is, een rolkooi ingebouwd. Ook hier wordt niet alleen rekening gehouden met het oorspronkelijke doel van het aan te brengen pijpwerk, zijnde het waarborgen van de veiligheid van de rijder bij een onverhoopte maar niet altijd te vermijden crash, maar ook wordt getracht de stijfheid van de carrosserie te vergroten om de al eerder vermelde reden. Vervolgens wordt de carrosserie doorgeplast. Een carrosserie uit de productie is gepuntlast. Door de bewegingen die de auto zal ondergaan (tijdens races en rally's heftiger dan op de openbare weg) zal de koets steeds meer gaan vervormen. Deze vrijheid wordt geboden door de puntlassen, of liever gezegd, de vrije ruimten ertussen. Deze ruimten worden opgevuld met lasrupsen; om de 2,5 tot 4 cm een lasrup van 2,5-3 cm. Kritieke plaatsen zijn die waar de wielophangingsdelen met de carrosserie zijn verbonden, maar ook vloerdelen en zijpanelen ondergaan deze behandeling. Dit is dus ook de reden dat voor een serieuze wedstrijdpreparatie een kale carrosserie de voorkeur geniet. Naast de vaak honderden uren die in het doorlassen zitten, moet men anders nog een aanzienlijke hoeveelheid tijd uittrekken voor het verwijderen van undercoating en dempingsmateriaal. Dit kan door de carrosserie in een zuurbad te dompelen. De Golf R*TDI weegt overigens 1020 kg.

Afstemming onderstel
Het onderstel (de set-up van de auto) is in principe het belangrijkste onderdeel van de race-auto. De banden (keuze uit diverse compounds) moeten optimaal hun werk kunnen doen. Naast de rijhoogte, die instelbaar is met behulp van de veerpoten, luistert de keuze van veren en schokdempers heel nauw. Het gaat dan om de juiste veerstijfheid en de optimale schokdemperkarakteristiek. De keuze van de veerstijfheid



Eén van de vele snelle bochten op Spa-Francorchamps. De mensen van Volkswagen Motorsport hebben hun huiswerk goed gedaan. De Golf R*TDI helt nauwelijks over. De voorspoiler is geheel in de windtunnel getest. Niet zichtbaar is de volledige beplating onder de motor; deze bevordert ook de downforce (neerwaartse druk). Dit heeft natuurlijk een negatief effect op de motorkoeling, vandaar een grotere radiator, een grote oliekoeler en een grotere en werkzaamere tussenkoeler. De wielen vertonen een negatief camber, waardoor het contactvlak van de banden in de bochten optimaal werkzaam blijft. De spiegels zijn aerodynamisch gevormd (windtunnel), de antenne is voor radiocommunicatie met de pits en het kruis in de wagen vormt een belangrijk onderdeel van de veiligheidskooi



De R*TDI in volle actie. De rijder (Nissen, Abt of Hohenester) voert een remmanoeuvre uit tijdens de 24-uurs race op de Nürburgring. De Golf duikt nauwelijks. Dit is te danken aan de optimale set-up van het onderstel. Ook de remdrukverdeling speelt hierin een rol

wordt gemaakt aan de hand van de massa van de auto en de structuur van het circuit dat moet worden berekend. Op ieder moment zullen de wielen contact moeten houden met de ondergrond. Pas dan kunnen de banden hun werk optimaal verrichten.

Volkswagen Motorsport houdt zich de vrijheid voor die schokdemperfabrikanten te benaderen die voor een specifieke auto de beste schokdempers kunnen leveren en aanpassen aan het beoogde gebruik. Wat op Spa werkt, kan desastreus zijn op een andere baan. Ook hier spelen de reglementen een belangrijke rol. Bij de ontwikkeling van de R*TDI werd Volkswagen bijgestaan door Sachs.

De uiteindelijke afstemming geschiedt met de stabilisatorstangen. Tijdens het componeren van het onderstel wordt de auto veelvuldig

op weegschalen geplaatst, teneinde de wieldrukken te controleren.

High-tech remmen

Het remmen draagt in hoge mate bij aan de voertuigstabiliteit. Tevens kan men door laat remmen tijd winnen. Het credo in de autosport luidt dan ook: laat erin, vroeg eruit. We hebben het dan over bochten.

De R*TDI beschikt over geventileerde schijven voor en achter. De remkracht wordt geleverd door remzadels met zes cilinders (per zadel!) van Alcon. De remdrukverdeling is verstelbaar vanuit de bestuurdersstoel. Afhankelijk van het circuit wordt bezien welk type remblok (frictiemateriaal) wordt gemonteerd. ABS wordt bij dit soort auto's praktisch nooit toegepast. Of het is reglementair verboden of de rijders willen het niet. De



remweg zonder ABS is namelijk korter.

Schakelen zonder koppelen
De transmissie (wisselbak en differentieel) kan ook speciaal voor races worden geprepareerd. Als de reglementen dat toelaten, wordt van die mogelijkheid dankbaar gebruik gemaakt. De Golf R*TDI is uitgerust met een sequentieel geschakelde wisselbak met zes overbrengingsverhoudingen die kunnen worden aangepast aan de structuur van het circuit.

Er wordt bij een sequentieel geschakelde bak opgeschakeld (zonder te koppelen) onder vol vermogen. Het opschakelen gebeurt door het naar achteren bewegen van de pook; het terugschakelen door het naar voren bewegen. Het overslaan van versnellingen is bij dit type wisselbak niet mogelijk. Dus bij het op- en terugschakelen wordt iedere overbrengingsverhouding even ingeschakeld.

De koppeling wordt alleen voor het weggrijden gebruikt. Er worden een enkel vlieg wiel en een enkele droge plaatkoppeling toegepast (Sachs; versterkte uitvoering) en niet de constructie met het gedeelde vlieg wiel uit de standaard Golf.

Er is een zelfblokkerend differentieel gemonteerd; dit werkt variabel afhankelijk van de doordraaiing van het betreffende (voor)wiel.

Bij Volkswagen Motorsport bestudeert men de mogelijkheid de huidige Engelse wisselbak (Gemini) te vervangen door een exemplaar van 'eigen' fabrikaat. Men experimenteert overigens ook met (vooralsnog) het koppelingsgedeelte van de PDK-wisselbak (Porsche-Doppelkupplungs-Getriebe) en wellicht dat men onder de Golf ruimte weet te scheppen voor een complete PDK, zoals die in de Porsche 962C en Audi 80 Quattro is toegepast. Ook de PDK wordt onder belasting geschakeld. In dit opzicht verschilt deze niet van de Gemini-bak.

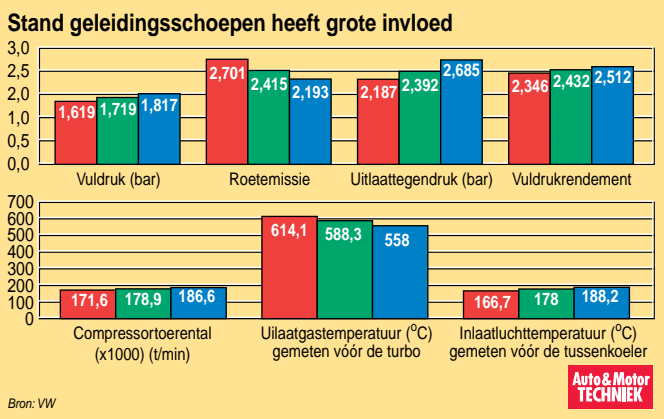
Uitgekiend vleugelwerk
Downforce (oftewel neerwaartse druk) is het sleutelbegrip, als we

het hebben over aerodynamica. Over het algemeen wordt het principe gehanteerd dat een snel circuit (snelle, langgerekte bochten) weinig neerwaartse druk vereist. Men rijdt dan met 'weinig vleugel'. Aan langzame circuits kent men veel neerwaartse druk toe; die is dan onder meer behulpzaam bij het remmen. Nu heeft een toerwagen op dit punt weinig mogelijkheden. Deze worden door de wedstrijdreglementen en homologatie (een soort typegoedkeuring) vast omlijnd. Volkswagen Motorsport heeft voor het (beperkte) vleugelwerk uitgebreid gebruik gemaakt van de windtunnel, waar allerlei situaties zijn gesimuleerd. Zelfs onder de motor is een volledige bepaling aangebracht, teneinde de rijwind zo snel mogelijk er onder vandaan te krijgen.

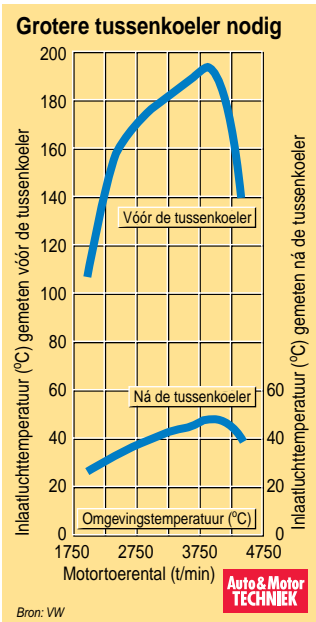
Tunen van de motor
Bij de motorpreparatie draait ook alles weer om de van toepassing zijnde reglementen. Wordt na een race de auto door de Technische Commissie afgekeurd, vanwege foute interpretaties van het reglement of ten gevolge van moedwillige malversaties, dan komt dit de naam van de preparateur nooit ten goede. Sterker nog, het verhaal blijft je jarenlang achtervolgen.

De kunst van het tunen van een motor zit 'em in het optimaliseren van de onderdelen en hun onderling functioneren. De kennis en de toepassing van reglementen staan hier op de voorgrond. Zo zal de cilinderinhoud kunnen worden vergroot naar een fractie onder de toegestane limiet. Dat betekent in de praktijk veel en nauwkeurig meten met gekalibreerde meetapparatuur. Het op gewicht brengen van draaiende en oscillerende onderdelen is ook van groot belang. Ten slotte zullen diverse onderdelen moeten worden uitgebalanceerd.

Andere zuigers
Op zich heeft Volkswagen Motorsport weinig gedaan aan het mechanische gedeelte van de R*TDI. Uiteindelijk heeft men (uiteraard naast het zorgvuldig opbouwen van de motor) slechts andere zuigers gemonteerd en de cilinderkop



Het effect van het veranderen van de stand van de luchtgeleidingschoepen op de roetemissie, uitlaatgendruk, uitlaatgastemperatuur, vuldrukrendement, compressorotoerental en inlaatluchttemperatuur, gemeten vóór de tussenkoeler. De staafdiagrammen geven drie verschillende standen aan van de luchtgeleidingschoepen. Weergegeven is de situatie gedurende het verhogen van de vuldruk bij 4000 t/min, zonder dat de inspuihoeveelheid wordt gewijzigd. Op de Y-as is een willekeurige onderverdeling genoteerd. Uit deze diagrammen kan het volgende worden afgeleid: lage vuldruk = hoge roetemissie = lage uitlaatgastegendruk = laag vuldrukrendement, hetgeen gepaard gaat met (afgezien van natuurlijk een laag compressorotoerental), een hoge uitlaatgastemperatuur gemeten voor het turbinedeel en een lage temperatuur van de inlaatlucht gemeten voor de tussenkoeler



Een grotere tussenkoeler was voor de beoogde wedstrijdstandigheden onontbeerlijk. De temperatuur van de door de turbo gecomprimeerde inlaatlucht kon hiermee worden verlaagd met 143 °C (bij een motortoerental van 4000). Overigens heeft men de stromingscapaciteit van de tussenkoeler ook geoptimaliseerd

bewerkt. De redenen hiervoor hebben alles te maken met compressieverhouding, vuldruk, effectieve druk en vullingsgraad. Overigens werd ons op bovenvermelde onderdelen geen blik gegund!

Het meer vermogen en draaimoment genereren bij een dieselmotor kan men rangschikken onder de noemer rendementsverbetering of plat gezegd 'opvoeren'. Hiervoor worden andere methoden gehanteerd dan bij een ottomotor. Bij een dieselmotor wordt alleen lucht aangezogen. De brandstof wordt bij de R*TDI direct in de verbrandingsruimte gespoten.

Bij het verhogen van het motorvermogen (en dan bedoelen we het effectief motorvermogen dat aan het vliegwielt wordt gemeten) komt een drietal facetten onder de aandacht. Dit zijn de gemiddelde effectieve druk, het slagvolume en het toerental (rotatiefrequentie).

a. De gemiddelde effectieve druk kan worden beschouwd als de gemiddelde druk op de zuiger. Naast een belangrijke invloed op het vermogen, oefent de gemiddelde effectieve druk een grote invloed uit op het draaimoment.

b. Hoe groter het slagvolume, des te meer brandstof in warmte kan worden omgezet. De R*TDI behield de standaard cilinderinhoud.

c. Hoe hoger het toerental, hoe vaker het kunstje van de arbeidscyclus kan worden vertoond. Ook hier is de diesel in het nadeel ten opzichte van de ottomotor. De huidige grens van de R*TDI ligt nog onder de 5000 toeren.

Een facet dat nog niet is vermeld, maar dat van grote betekenis is voor de prestaties van de motor, is de vullingsgraad. De vullingsgraad geeft de mate aan waarin de cilinder met lucht (of een lucht-/brandstofmengsel) kan worden gevuld in verhouding tot de theoretische vulling. Juist op dit punt scoort de dieselmotor met turbo.

De grenzen die inherent zijn aan de dieselmotor zijn van thermische en mechanische aard. Dit in tegenstelling tot de ottomotor, die haar grens kent in het fenomeen detonatie. Aan de onderzijde worden de grenzen van de dieselmotor bepaald door rookontwikkeling. Het doel van Volkswagen Motorsport was om, ondanks de beoogde wedstrijdtoepassing, de motor van de R*TDI te laten voldoen aan de Euro 2 norm.

Chiptuning geen succes
Men heeft in Hannover in eerste instantie eens geprobeerd meer vermogen aan de TDI-motor te onttrekken door het tegenwoordig populaire chiptunen. Bij nader onderzoek kwamen de nadelen van deze methode al snel naar boven.

Men koos voor een chip die door 'de handel' voor ongeveer DM 1000,- op de markt wordt gebracht met de belofte van 20 procent meer vermogen. Wat werd geconstateerd? Wel, de chip zorgde ervoor dat de inspuihoeveelheid toenam met 23 procent en de vuldruk met 11 procent. Dit resulteerde in een vermogen van 92 kW (standaard 81 kW) rond de 4150 t/min.

Omdat het rendement lager bleek te zijn dan dat van de standaard 81 kW motor werd de opbrengst per pompslag verhoogd naar 47,5 mg bij 4150 t/min. Als



Het 'kantoor' van de Golf R*TDI. Het standaarddashboard maakte plaats voor een type van koolstof, waarin veel elektronica is ondergebracht. De grote pook bedient de sequentiële wisselbak; alleen voor- en achteruit te bewegen. Naast de bestuurdersstoel, op de tunnel, is de handle van de remdrukverdeling aangebracht. Op de plaats van de passagier heeft het Bosch EDC systeem een plaats gevonden, tezamen met een datarecorder. Het buiswerk langs de flank is de veiligheidskooi; de potten bij de linker en rechter deurstijl zijn de hydraulische cricks

het brandstofsysteem niet verder wordt aangepast, betekent dit een verlenging van de inspuittijd tot 44° (krukas).

Vervolgens heeft men het inspuutbegin vervroegd met 2° (krukas). Dit resulteerde in een toename van de topdruk met 15 bar,

zijnde een verhoging die ook gedurende 50 procent van de hoekverdraaiing van de krukas langer stand hield. Voorts constateerde men een aanzienlijke verhoging van de NO_x-uitstoot.

De chip zorgde er ook voor dat het einde van de insputing, in ver-

gelijking met de standaard motor, 6° (krukas) later plaatsvond. Dit zorgde voor een verhoging van de uitlaatgastemperatuur met 150 °K en een rookgasvermeerdering (K-waarde!) van 2.4 naar 5.2!

Alleen het aanpassen van de chip biedt niet die vermogensverbetering die men voor races nodig heeft. Er moet dus (nog) meer lucht in de motor worden gepompt. Dat kan dan door het monteren van grotere kleppen, het aanpassen van de nokkenastiming, het verhogen van de vuldruk en het monteren van een grotere en meer effectieve tussenkoeler. Dit werd ook uitgevoerd.

Echter, van de kinetische energie van de gasbewegingen kan men bij een diesel minder gebruik maken dan bij een ottomotor. Het toerental van de dieselmotor is niet hoog genoeg. Het later sluiten van de inlaatklep met 10° (krukas) resulteert bij de TDI in een verhoging van de effectieve druk met 0,3 bar. En dat alleen boven de 4250 t/min, daaronder lijdt de TDI aan stromingsverliezen. Bij het ontwikkelen van de R*TDI heeft men zich dan ook in het bijzonder gericht op het inspuutbegin en de aanvang van de verbranding. Dit resulteerde in een inspuittijd van 36° (krukas). Hierdoor ontstond er ook minder druk op het pompmechanisme, dan bij de 44° van de 'confectiechip' het geval was. De inspuithoeveelheid bedraagt 65 mg per slag. Ondanks de hogere vuldruk bedraagt de topdruk in de R*TDI maximaal 185 bar. De K-waarde is dan maximaal 2.5.

Lagere compressieverhouding

Deze resultaten zijn het gevolg van een verlaging van de compressieverhouding. De derde generatie R*TDI heeft een compressieverhouding van rond de 17.5:1 (standaard 19.5:1). Men heeft zelfs geëxperimenteerd met 15:1. Hierbij is dus naar een zekere balans gestreefd tussen compressieverhouding en vuldruk. Als namelijk de vuldruk toeneemt (bij de R*TDI tot 2,87 bar), nemen de compressiedruk en de ontstekingsdruk ook toe. In principe kan de



compressieverhouding van de dieselmotor met drukvulling, vanwege de hoger gecompriëerde vulling en de hogere temperatuur (in vergelijking met de vrij aanzuigende motor), worden verlaagd. Afhankelijk van de grootte van de motor en het verbrandingsproces heeft dit tot een bepaald punt geen lager rendement tot gevolg. Dit komt omdat de meer gecompriëerde lucht en de iets grotere verbrandingsruimte betere omstandigheden bieden voor de verbranding van een grotere brandstofhoeveelheid. Door het verkleinen van de compressieverhouding is de wrijving ook lager geworden. Dit compenseert een vermindering van het rendement.

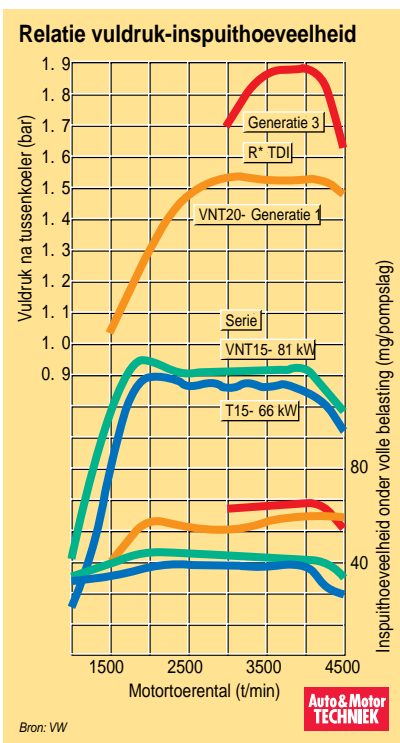
Insputing en prestaties

De insputing wordt geregeld door een Bosch EDC 15 systeem met een 16-bits microprocessor, de (axiaal) verdeelpomp is een Bosch VP37. Bosch leverde ook de verstuivers (type DSLA). Het betreft 5-gats verstuivers, waarvan de openingen zijn vergroot naar 0,26 mm. Er vindt, zoals dat bij de standaardmotor wel het geval is, geen fasering van de insputing plaats. Bij de standaardmotor is dit ter onderdrukking van het verbrandingsgeluid. Men heeft dus afgezien van toepassing van de verstuiverhouder met dubbele veer.

Het vermogen van de R*TDI bedraagt 140 kW bij 4000 t/min; het koppel is 350 Nm bij 3500 t/min. Dit bij een effectieve druk van 23,2 bar. Het doel was binnen Euro 2 te blijven. Hieraan wordt bijgedragen door het brandstofverbruik van 222 g/kWh bij 4000 t/min. Het minimum verbruik bedraagt 194,6 g/kWh. Dit betekent een rendement van 44,2 procent (standaard motor: 43,8 procent).

Thans buigt men zich bij Volkswagen Motorsport over het toepassen van vier kleppen per cilinder en heeft men de wens geuit de 100 kW/l-grens te willen doorbreken. Overigens wordt er al hard gewerkt aan de nieuwe Golf 4 met R*TDI.

Atte Roskam



De Y-as geeft de vuldruk weer, gemeten na de tussenkoeler; de X-as het motortoerental. Aan de rechterzijde is de inspuithoeveelheid in mg per pompslag vermeld (onder volle belasting).

De aanduidingen VNT15 en T15 staan voor de Garrett turbo's gemonteerd op de standaard 81 kW en 66 kW motor. De in de tekst behandelde auto is de laatste wedstrijdversie: Generatie 3. Deze is uitgerust met de VNT20. Tijdens races wordt uitsluitend gebruik gemaakt van het toerengebied tussen 3500 en 4500 t/min. Hier moest dan ook de nadruk komen te liggen bij de optimalisering van de verhouding vuldruk-inspuithoeveelheid. De inspuithoeveelheid van de R*TDI bedraagt 65 mg/pompslag; dit tussen 3000 en 4250 t/min. De hoeveelheid blijft in dat toerengebied stabiel bij een vuldruk (gemeten na de tussenkoeler) van rond de 1,87 bar