

**Auto & Motor  
TECHNIEK**

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

## Directe benzine-inspuiting breekt door Concurrent voor zuinige diesel

**Mitsubishi komt volgend jaar op de markt met een in eigen huis ontwikkelde direct ingespoten benzinemotor. Even zuinig als een diesel, maar wel veel lichter, stiller, goedkoper en schoner. Bovendien presteert de DI-benzinemotor aanzienlijk beter.**

Mitsubishi greep de onlangs gehouden IAA aan voor de introductie van de 1,8 liter benzinemotor met rechtstreekse benzine-inspuiting in de cilinder. Een DI benzinemotor met elektronische regeling, de tweede fase van dit type motor. De eerste fase speelde zo'n 40 jaar geleden. Toen lag de nadruk op het grotere vermogen en de optimale mengselverdeling over de cilinders. De inspuiting geschiedde met een omgebouwde diesellijn pomp en de regeling was pneumatisch-mechanisch. Elders op deze pagina's treft u meer gegevens aan over deze DI benzinemotor 'uit de oude doos'.

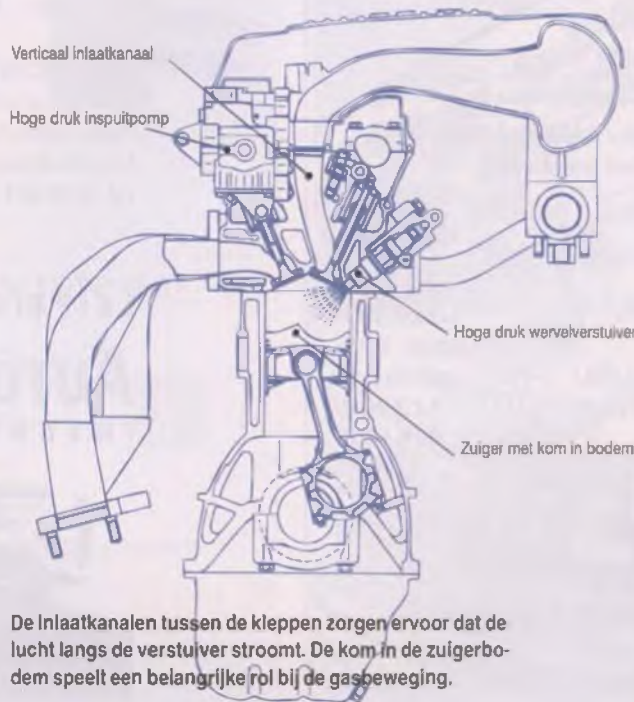
Mitsubishi heeft de bestaande DOHC motor (zoals in de Carisma) als basis gebruikt voor de DI motor. Een andere cilinderkop en gewijzigde zuigers zijn de meest opvallende wijzigingen. De 1834 cm<sup>3</sup> basismotor heeft een boring en slag van 81x89 mm en levert met een compressieverhouding van 10,5:1 103 kW (140 pk) bij 6.500 t/min. Het maximum koppel bedraagt 167 Nm bij 5.000 t/min, hetgeen overeenkomt met een gemiddelde effectieve druk van 11,5 bar.

### Betere vulling zorgt voor betere prestaties

Dankzij de intensieve koeling van de lucht die tijdens de inlaatslag in de cilinder terecht komt, kan de compressieverhouding van de DI motor tot 12:1 worden verhoogd. Omdat de druk in de cilinder laag is tijdens de inlaatslag heeft de inge-

spoten brandstofstraal een wijde kegelhoek. De brandstof krijgt tijd genoeg om volledig te verdampen en mengt zich intensief met de lucht. Dankzij de positie van het inlaatkanaal tussen de kleppen stroomt de lucht in het verlengde van de cilinderhartlijn naar binnen. Er ontstaat een rechtsdraaiende koppelbeweging die bij het comprimeren nog wordt versterkt door de komvormige uitsparing in de zuigerbodem.

Volgens Mitsubishi heeft de DI



De Inlaatkanalen tussen de kleppen zorgen ervoor dat de lucht langs de verstuurver stroomt. De kom in de zuigerbodem speelt een belangrijke rol bij de gasbeweging.

Mitsubishi heeft de direct ingespoten benzinemotor klaar voor productie. De brandstofverbruikscijfers liggen zeer laag, vooral bij lage belastingen. Daar werkt de motor met lucht-brandstofverhoudingen van 30 tot 40:1. Het motorvermogen en het motorkoppel zijn 10 procent hoger dan bij de indirect ingespoten motor.

De brandstofstraal wordt tussen de inlaatkleppen door in de kom in de zuiger gespoten. Er ontstaat een opwaartse gasbeweging die het rijke mengsel naar de bougie stuwt.





Dankzij het inlaatkanaal tussen de kleppen wordt de binnenstromende lucht in een rechtsdraaiende wervel gebracht. Deze koprol (tumble) wervel wordt versterkt door de kom in de zuiger.



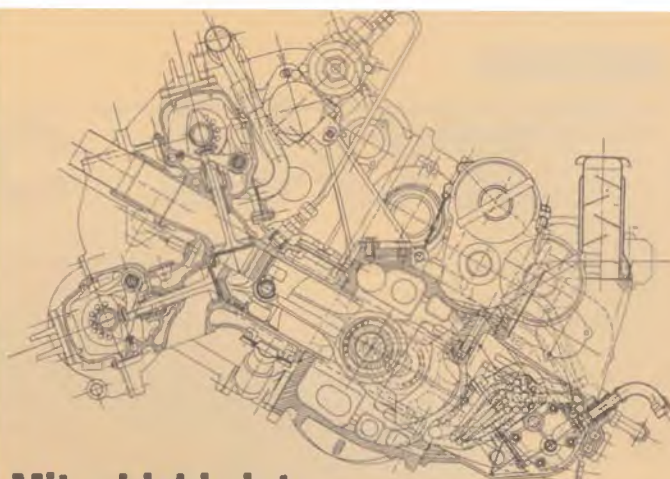
De door Mitsubishi zelf ontwikkelde verstuiver zorgt niet alleen voor de noodzakelijke kleine brandstofdruuppeltjes, maar brengt deze ook nog in een draaiende beweging. Het gevolg van de beide maatregelen is dat de druppeltjes snel en volledig verdampen en mengen met de lucht.

plus de hogere compressieverhouding een 10 procent hoger koppel en vermogen tot gevolg. Dat brengt het prestatieniveau van de 1,8 liter DI motor op dat van een 2 liter motor met IDI. In principe betekent dit dat er een lichtere en compactere motor voor een bepaald vermogen kan worden ingebouwd. Hoe lager het gewicht, des te lager het brandstofverbruik of des te beter de prestaties.

Dit was ook de filosofie achter de eerste generatie DI benzinemotoren. In 1954 en '55 leverde de unieke acht in lijn motor van Mercedes-Benz bijzondere resultaten. De grootste moeilijkheid bij het ontwikkelen was het op tijd leveren van alle vonken voor de van 16 bougies voorziene motor. Nu glimlachen we erom, maar toen moesten

er speciale vliegtuigmagneetontstekingen aan te pas komen.

Hoewel de Mitsubishi motor veel lijkt op de Mercedes-Benz motor zijn er toch belangrijke verschillen. De Mercedes had één enorme inlaatklep en twee bougies per cilinder, de Mitsubishi heeft twee inlaatkleppen en één centraal geplaatste bougie. De Mercedes verstuiver werd door de zuiger bedekt tijdens de verbranding, de Mitsubishi verstuiver is blootgesteld aan hoge drukken en temperaturen. Mercedes spoot de brandstof naar de hete uitlaatklep om de verdamping van de brandstof (alcohol voor de F1 en benzine voor de rensportmotor) te bevorderen. Tenslotte is er nog het levensduurverschil, de Mitsubishi inspuiting moet gedurende minstens 160.000 km probleemloos



## Mitsubishi niet de eerste

Mercedes-Benz werkte al voor de tweede wereldoorlog met directe inspuiting bij vliegtuigmotoren. Na de oorlog werd vooral de 2,5 liter Formule 1 motor beroemd. Deze werd vanaf 1954 tot 1960 gebouwd en bereikte 220 kW (300 pk) bij 8.500 t/min. De acht in lijn motor werd ook als 3 liter toegepast in een rensportauto. Recent nog reed Stirling Moss met zo'n auto de Mille Miglia, die hij 40 jaar geleden had gewonnen.

Mercedes-Benz bracht daarna de 300 SL sportauto uit met vleugeldeuren. De zescilinder motor was voorzien van directe brandstofinspuiting. Ook Borgward bouwde een racemotor met DI, zie AMT 7/8 van 1992.

Bij tweetakmotoren werd directe inspuiting al in 1950 toegepast in de Gutbrod en later bij de Goliath. Meer recent is het ontwikkelingswerk van Orbital en andere tweetakfabrikanten, zie AMT februari 1990. Ook bij Toyota, Nissan en VW wordt gewerkt aan benzinemotoren met directe inspuiting.

Bij het zien van de Mitsubishi motor gaan de gedachten direct uit naar de achtcilinder in lijn racemotor van Mercedes-Benz. Deze motor had het inlaatkanaal tussen de kleppen en directe benzine-inspuiting. Het was een schitterende motor die een volledig rollengelagerde krukas had en desmodromische klepbediening.



Toyota werkt al een aantal jaren aan een direct-ingespoelen benzinemotor. Hier de 1,5 liter D4 motor, een kleinere uitvoering van de in 1994 voorgestelde 2,0 liter. Toyota koppelt deze motor aan een CVT om de motor in het meest gunstige gebied te laten werken.

functioneren om aan de emissie-eisen te kunnen voldoen.

### Arme mengsels bij lage belasting

Mitsubishi heeft al de nodige ontwikkelingen op dit gebied van brandstofbesparende constructies achter de rug. In AMT nummer 9 van 1991 staat de arm-mengselmotor beschreven, in AMT nummer 5 van 1994 de motor met de uitschakelbare cilinders. Maar dat ging niet ver genoeg, Mitsubishi neemt met de DI-motor de meest geschikte krachtbron te hebben gevonden. Daarmee bedoelen de technici dat zo'n DI benzinemotor stiller, lichter

en goedkoper te produceren is dan een (turbo) dieselmotor en ook nog eens tweemaal zoveel vermogen levert per kilogram motorgewicht. Er is geen probleem met de deeltjesemissie, roet wordt alleen in een dieselmotor geproduceerd. Kortom, de 'strijd' tussen de benzine- en dieselmotor voor- en tegenstanders is weer geheel opgelaaid. Dat komt de gebruiker uiteindelijk ten goede en het milieu ook.

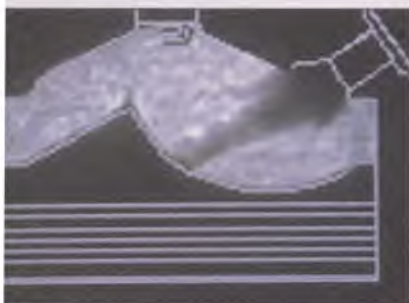
Terug naar de arme mengsels. Bij lage belastingen gaat een benzinemotor niet echt zuinig om met brandstof. Dat komt vooral door de gasklepregeling, want die zorgt voor (grote) pompverliezen. Als het

# MOTOREN

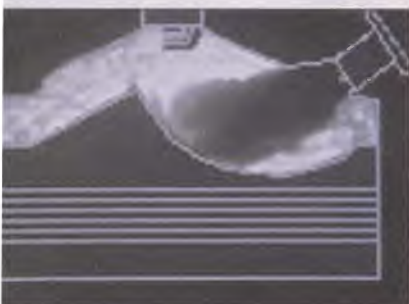
Techniek van Mitsubishi DI benzinemotor

lukt om de motor te laten lopen zonder gasklep dan zal er heel wat brandstof bespaard kunnen worden.

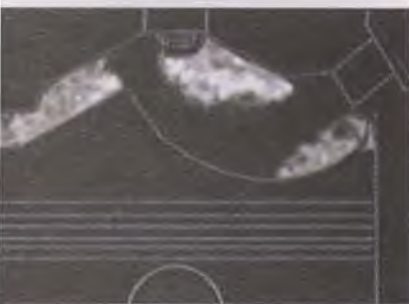
Om dat doel met een benzine-motor te kunnen bereiken, moet er voor twee dingen worden gezorgd: tussen de bougie-elektroden moet een ontsteekbaar mengsel zitten en de mengselverdeling in de verbrandingskamer moet een stabiele verbranding mogelijk maken. Er is dan sprake van een 'stratified-charge'



De brandstofstraal raakt net de kom in de zuigerbodem als de zuiger 40° voor het BDP staat.



Als de zuiger 30° voor het BDP staat, is het inspuiten goed op gang gekomen. De brandstofwolk wordt omhoog gestuwd in de richting van de bougie.



Als de zuiger 20° voor het BDP staat, raakt de brandstofstraal de cilinderkop. Als de zuiger de kop nadert, zal de lucht uit de squishpleet links de benzine langs de bougie persen.

motor, dat is een motor met een 'ge-laagde verbranding'. Daarmee wordt bedoeld dat er bij de bougie een rijk mengsel zit dat in laagjes armer wordt tot aan de wanden van de verbrandingskamer. Om dat te bereiken hebben de Mitsubishi technici gekozen voor een sterke koprolwervel die de ingespoten brandstofstraal verdeelt in laagjes arm en rijk mengsel. De kom in de zuiger zorgt ervoor dat een deel van de benzinestraal tegen de bougie wordt gestuwd. Zo iets is eenvoudig om op te schrijven, maar veel moeilijker in de praktijk te brengen. Dankzij de speciale verstuiver en het in de compressie-slag inspuiten van de brandstof bij lage belastingen is het gelukt om mengsels met lucht-brandstof-verhoudingen van 30 à 40:1 stabiel te laten verbranden. Sterker nog: er kan zelfs 30 procent uitlaatgas worden teruggevoerd om de NO<sub>x</sub> uit-worp nog verder terug te brengen.

Het interessante is dat dezelfde verstuiver wordt gebruikt die voor een wijde inspuitkegel zorgt tijdens de inlaatslag. Nu blijft de kegelhoek klein omdat de druk in de cilinder veel hoger is tijdens de compressie-slag. Daardoor is het mogelijk een gelaagde verbranding tot stand te brengen.

De resultaten zijn indrukwekkend. De brandstofbesparing ten opzichte van de gewone IDI 1,8 liter bedraagt 25 procent tijdens het rijden van de Japanse stadscyclus, 20 procent bij 60 km/uur en nog altijd 8 procent bij 120 km/uur. Het verbruik tijdens de Japanse stadscyclus was zelfs 7 procent lager dan dat van een 1,8 liter Mitsubishi turbo IDI dieselmotor. Bedenk dat de DI benzinemotor een 85 procent hoger vermogen en een 12 procent hoger koppel heeft dan de IDI turbodiesel. De prestaties van de DI benzine-motor liggen dus op een heel ander niveau.

Met de komst van de DI motor vervalt ook het neerslaan van de brandstof in het inlaatsysteem. Tijdens de koude start en accelereren zal er geen mengselverrijking nodig zijn. Daardoor wordt het brandstof-verbruik lager en neemt de uitworp van onverbrande koolwaterstoffen af. Hierover heeft Mitsubishi geen mededelingen gedaan.

## Schaduwzijden van directe inspuiting

De firma Bosch is, voor zover valt na te gaan, bij alle eerdere motorontwerpen met directe inspuiting betrokken geweest. Er werd gebruik gemaakt van de lijnpompen die bij dieselmotoren werden toegepast. Door een wijziging aan de plunjer werd niet het inspuitbegin maar het inspuitende als vast punt aangehouden. Smeertech-nisch gezien is benzine niet zo'n ge-slaagde vloeistof als dieselolie, het heeft bovendien een lage viscositeit. Door om de plunjer een groef te ma-ken met daarin motorolie onder druk werd getracht de smering veilig te stellen en lekkage van benzine naar het pompkamer te voorkomen. De pompdruk bedroeg 60 bar.

Mitsubishi gebruikt het 'common-rail' systeem dat wil zeggen dat er voort-durend 50 bar op het benzinetoevoer-systeem (en de elektronisch geregel-de verstuivers) staat. Hoe het met de afdichting van de verstuivers is ge-steld, is niet bekend. Evenmin hoe deze zich houden bij de hoge ver-brandingsdrukken en -temperaturen. In de praktijk bleek niet alleen dat de smering van de plunjers van de in-spuitpomp problemen gaven, ook de smering van de zuigers ging wel eens fout. De ingespoten brandstof spoel-de maar al te gemakkelijk de smeero-liefilm weg en dan was een 'vretter' het gevolg. Mitsubishi zal hiervan veel

minder last hebben omdat de motor alleen bij vollast de brandstof inspuit in de inlaatslag. Misschien dat de koude start nog voor onaangename verrassingen kan zorgen.

Emissietechnisch gezien is de zaak nog niet optimaal. Dat komt omdat er nog geen manier is om stikstofoxyden te reduceren terwijl de uitlaat-gassen zuurstof bevatten. Anders gezegd: bij motoren die met arme mengsels draaien (dus ook bij diesels) blijft de uitworp van NO<sub>x</sub> een probleem. Door EGR, uitlaatgasrecir-culatie, toe te passen kan de verbrandingstemperatuur worden verlaagd. Zo past Mitsubishi 30 procent EGR toe om het gewenste doel te berei-ken. Dat is echter niet genoeg om de 1996 emissie-eisen te halen. Het ka-talysatorsysteem dat Mitsubishi ge-bruikt slaat gedurende 90 seconden stikstofoxyde op. Dan wordt de motor kortstondig op lambda één overge-schakeld om de NO<sub>x</sub> te reduceren. Vervolgens gaat de lucht-brandstof-verhouding terug naar 30 tot 40:1. Aan een echte Danox katalysator wordt overal hard gewerkt. Als zo'n NO<sub>x</sub> omzetter eenmaal goed werkt, zullen we tal van interessante ont-wikkelingen zien gebeuren. De IDI en DI armmengsel benzinemotoren kun-nen dan echt de strijd aanbinden met de dieselmotor.

### Snel op de markt

Mitsubishi is van plan de DI motor volgend jaar in Japan op de markt te brengen in de Eterna, dat is de Ja-panese versie van de Galant. Het is de bedoeling dat op den duur alle IDI benzinemotoren door DI motoren worden vervangen. In Europa

moeten we nog even langer wacht-en, 1997/98 is als introductietijd-stip genoemd. Vijf jaar werk heeft geresulteerd in 150 patenten en een ultra-zuinige motor die hoge presta-ties levert.

Paul Klaver

Dankzij een uitgekiend regelsysteem wordt er, afhankelijk van de belas-ting en het toerental, gedraaid met een zeer arm mengsel of een arm tot rijk mengsel. Op die manier wordt een laag brandstofverbruik of een hoog prestatieniveau verkregen.

