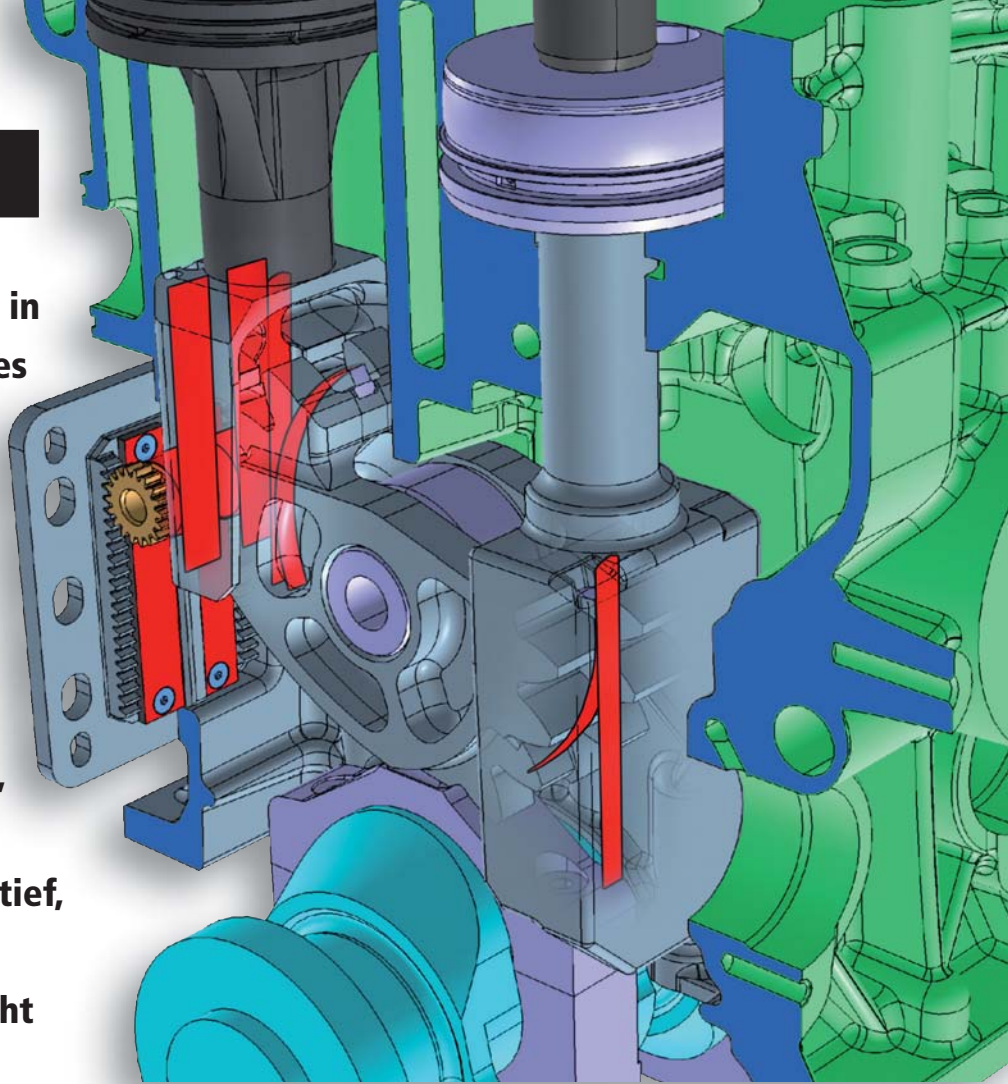


**Auto & Motor
TECHNIEK**

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

Ze hebben wat teweeg gebracht in de wereldhistorie, de heren James Watt, Nikolaus Otto en Rudolf Diesel. Na onze eigen spierkracht en de letterlijke paardenkracht brachten ze bruikbare mechanische aandrijving. Wordt het grofweg twee eeuwen na Watts stoommachine, en een dikke eeuw na de Otto-benzinemotor en Diesels alternatief, niet tijd voor weer wat nieuws? Sommigen hebben ideeën die echt te denken geven.



Ook zonder het principe van zuigers en verbranding los te laten worden de gekste invallen bedacht om dat beter te laten functioneren. Volledig uitgewerkt, zoals hier de MCE-5-motor.

Uitvinders zitten niet stil na Watt, Otto en Diesel

Verrassend motorisch vernuft

Het is natuurlijk niet helemaal zo dat na de stoommachine en de zuiger-verbrandingsmotor niets belangrijks meer is uitgevonden op het gebied van mechanisatie. De turbine op stoom, of uitgevoerd als straalmotor, is zeker een belangrijke vinding. Gevolgd door de raketmotor. Veel eerder kwam de elektromotor, mede dankzij Thomas Edison die naast de gloeilamp vele nuttige toepassingen voor elektrische stroom bedacht.

Het is allemaal ook geprobeerd als aandrijving voor auto's. Uiteindelijk bleek de Otto/Diesel-

zuigermotor toch echt de meest passende eigenschappen te bieden. Aan alles kleven echter ook nadelen, die een rechtgeaarde uitvinder uit de slaap blijven houden. Felix Wankel was overtuigd dat het met draaizuigers beter kon, we zien nu dat je daarmee eerder nadelen verschuift dan dat je ze opheft. In het recente verleden leek het allemaal niet meer nodig, we zouden op elektromotoren en brandstofcellen overgaan. Zo rond 2010, of nee, maak daar toch maar 2020 van. Misschien...

Heel velen zien voornamelijk alleen een mechani-

sche motor in auto's. Maar met regelmaat vindt de AMT-redactie ideeën van mensen die menen dat het wel anders en beter moet. Soms weinig meer dan ruwe schetsjes, waarin met diverse natuurwetten gespot wordt. Soms ook met een gedegen proefmodel, dat best goed zou kunnen werken. We selecteerden enkele heel interessante. Laat u inspireren: Otto en Diesel kunnen toch niet de laatste slimme mensen in onze historie geweest zijn? ●

Peter Fokker ▶

Uniek motormechaniek van Revetec

Van 'down under' komt het CCE-ontwerp, dat dieselzuinigheid bereikt met benzine als brandstof. De kern vormt een 'driellobbig' mechanisme dat krukas en drijfstenen vervangt. Het oorspronkelijk idee stamt uit 1995, van de Australische motorconstructeur Brad Howell-Smith. Die noemde zijn mechanisme voor zuigerbeweging CCE, Controlled Combustion Engine. Hij zette het bedrijf Revetec op om op basis van CCE motorontwerpen te maken. Een reeks prototypes leidde tot de huidige Revetec X4v2. Deze tweede versie van een 2,4 liter viercilinder in X-opstelling werd getest bij het Australische Orbital Engines. Dat constateerde een zeer laag specifiek verbruik en hoog koppel bij laag toerental. Een aanwijzing dat in een testcyclus met een auto eromheen deze motor zeer gunstige verbruikswaarden kan afdrucken.

Op zoek naar koppel

Waar de motorconstructeur mee begon was de onbevredigende koppelontwikkeling van de conventionele motor. Heel elementair is koppel 'kracht maal armlengte'. De kracht van de verbranding is vrij kort na de ontsteking maximaal. De verbrandingsdruk piekt zo rond 20 graden na BDP. De arm waarmee die kracht een koppel op de krukas overbrengt is pas maximaal als drijfstang en kruk haaks op elkaar staan, bij zowat een kwart krukasomwenteling, 40 graden na BDP. Howell-Smith zocht een mechanisme dat eerder en langer een flinke 'arm' zou opleveren. Dat zou een hoger motorkoppel brengen, een betere benutting van de verbrandingsdruk. Dus een hoger motorrendement, ofwel laag verbruik.

Schijf vervangt krukas

Wie zoekt zal vinden. Howell-Smith gebruikt driellobbige schijven in plaats van een krukas. Over die schijven lopen rollagers, ge-

monteerd op een drijfstang. Bij één omwenteling van de driellobbige schijf gaat de drijfstang met zuiger driemaal op en neer.

Er zijn schijven aan weerskanten van de drijfstang. Die wordt dus aan twee kanten via rollagers bewogen. Ook zitten er per kant op de drijfstang twee rollagers, waar de driellobbige schijf tussenin loopt. Anders krijg je geen heen en weer gaande beweging.

Verder lopen de schijven aan weerszijden van de drijfstang in tegengestelde richting, en iets verdraaid ten opzichte van elkaar. Op die manier knijpen de schijven in een schaarbeweging de rollagers op de drijfstang omhoog en omlaag. Er is een tussentandwiel en hulpas nodig om de twee schijven mechanisch te koppelen. De ene schijf loopt direct met een tandwiel op de hulpas, de andere via een tussentandwiel als 'achteruitversnelling'.

Nu drijven de schijven dus samen de hulpas aan. Een 3:1 tandwieloverbrenging zorgt dat één omwenteling van de hulpas overeenkomt met éénmaal op en neer gaan van de zuiger. Net alsof deze hulpas een conventionele krukas was. Vanaf de hulpas wordt het vermogen afgenomen.

Mooi koppelverloop

Voordeel is dat de drijfstang puur rechtstandig beweegt. De zuiger hoeft dus niet de cilinderwanden



Zo ziet het binnenwerk van een Revetec X4-motor eruit.

als geleider te belasten, dat scheelt flink in wrijving.

En is het kracht-en-armprobleem nu opgelost? De arm voor het motorkoppel zit hier tussen het punt waar de drijfstangrollen op de schijven lopen, en het hart van de schijf. Als de zuiger bovenin de cilinder staat, en de rollen bovenaan de schijven, is de arm maximaal. Komt inderdaad beter uit dan het klassieke kruk-drijfstangmechaniek.

Het ligt nogal voor de hand aan beide kanten op de drijfstang een zuiger te monteren. De drijfstang moet toch al helemaal tussen de schijven door steken, er moeten

Als eerste praktijktest werd de Revetec-motor in een trike gemonteerd.



immers aan weerskanten rollagers over de schijven lopen. Dan ontstaat een vlakke tweecilinder. Revetec zag de noodzaak opkomen voor schone, zuinige motoren in kleine vliegtuigen. Daarvoor werden twee van die tweecilinders gecombineerd tot een compacte en korte X4, perfect voor vliegtuigjes.

Die X4 is helemaal uitgewerkt. Daarmee konden in 2007 tests worden gedraaid bij Orbital Engines, gecertificeerd als motortestcentrum, hier bekend geworden door vroegere experimenten met een moderne tweetakt. Met een koppel van 175 Nm en maximaal 66 kW vermogen is de 2,4 liter Revetec bepaald geen krachtpatser. Maar hij levert zijn kracht bij weinig toeren, niet meer dan 3500 t/min. En uit de verbruiksmeting blijkt een motorrendement tussen zo'n 35 en 40%, het niveau van een goede diesel. Terwijl de testmotor op benzine liep.

Chinese productie?

Het laatste nieuws is dat de Revetec-motor afgelopen najaar bij een Duitse universiteit is geïnstalleerd om uitgebreid te testen. Een Chinees concern maakte dat mogelijk, en heeft een aandeel genomen in Revetec. Twee Chinese autofabrikanten zouden hebben toegezegd bij goed verloop van de tests Revetec-motoren voor productie te gaan ontwikkelen.

De directie van Revetec bedacht dat hun entree in de autowereld het best via nieuwe autoproducenten in China of India kon lopen. Die zouden vast graag afstappen van conventionele automotoren zoals ontworpen door gevestigde autoconcerns.

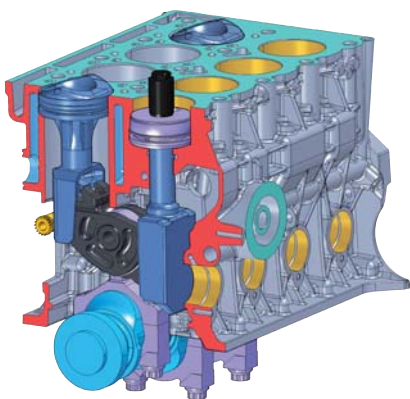
Variabele compressie motortechneek van morgen?

Als we het Franse bureau MCE-5 mogen geloven kan de autotechneek niet heen om motoren met variabele compressie. Ideaal als basis voor verlaging van het brandstofverbruik. Alleen is het mechanisch niet makkelijk en goedkoop te realiseren. Tenzij je licentie neemt op het ingenieuze MCE-5-motorblok. Een van de grondleggers van MCE-5 begon in 1997 ideeën vast te leggen voor een systeem om in een conventionele benzinemotor de compressie te variëren. Drie jaar later ontstond het bureau MCE-5 om dat concreet te gaan uitwerken. In zeven jaar en vier ontwikkelingsfasen verfijnde MCE de principes.

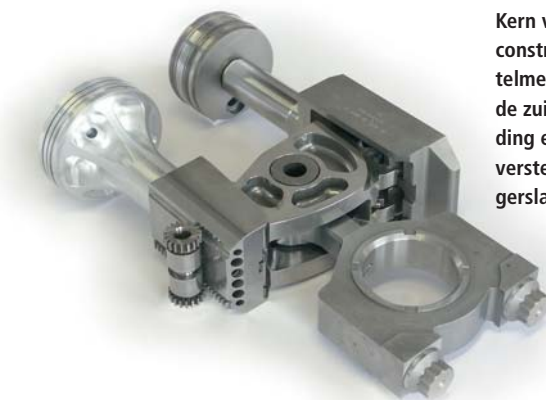
Interessante ideeën

Het mechanisch principe is elegant, en heeft zeker aantrekkelijke kanten. Krukas en drijfstaang gaan een kantelblok bewegen, met aan twee kanten een veranding. Aan de ene kant steunt die veranding in een verstelbare slede. Aan de andere kant grijpt hij in een slede die op rolletjes loopt, waar de zuiger aan vast zit.

Aardig is dat door de hefboomwerking van het kantellichaam de krukas maar een half zo grote slag heeft als de zuiger. De krukas wordt kleiner, sterker en lichter. De zuiger beweegt puur rechtstandig op en neer. Er is geen kantelkracht, geen geleidend zuigerhemd nodig, dus erg weinig zuiger- en cil-



Dit motorblok met verstelbare compressie zou volgens MCE een betaalbare en probleemloze oplossing zijn voor motorische downsizing in de toekomst



Kern van de MCE-5-constructie is dit kantelmechaniek, met links de zuiger voor verbranding en rechts die voor verstelling van de zuigerslag

inderslijtage, minder wrijving en gewicht. Verstellen van de slede waartegen de andere kant van het kantellichaam rust levert verandering van de zuigerslaglengte. Daarmee zijn compressie en expansie in de motor regelbaar geworden.

Een ander motorblok

Onze Franse vrienden bedachten terdege dat radicaal nieuwe en andere constructies in de auto-industrie meestal sneuvelen op ingewikkeldheid en kostprijs. Daarom zit hun hele variatiesysteem in het motorblok. Al het andere aan de motor kan verder hetzelfde blijven. Het motorblok is hoger, "maar niet meer dan een diesel met vergelijkbare prestaties", zegt MCE. Geen woord over wat het weegt. Een stuk meer dan een gewone benzinemotor, lijkt wel zeker. En de productiekosten? "In het ongunstigste geval 300 euro meer dan normaal", denkt MCE.

Bij vergelijkingen wordt steeds gewezen op het gebruik van variabele compressie voor downsizing van een motor. Dus houdt MCE zijn 160 kW en 300 Nm sterke 1.5 graag naast een veel grotere gewone benzinemotor met gelijk prestatieniveau.

Wat MCE productietechnisch 'conventioneel' noemt vinden wij toch wel wat ingewikkeld. Alleen al kijkend naar het kruk/drijfstaang/zuigergedeelte. Daarnaast hebben we dan nog een soort extra cilinders erbij, met een zuiger die door oliedruk de eerder genoemde schuifslides ver stelt.

In deze zuiger zitten weer klepjes, bediend door een lange, dunne pen. Voor de bediening zorgt een

tuumelaar, op een nokkenas welke per elektromotor verdraaid wordt. Achter de schuifslide, ter hoogte van het kantellichaam, zit in het motorblok nog een hydraulisch glijkussen.

Grote mogelijkheden?

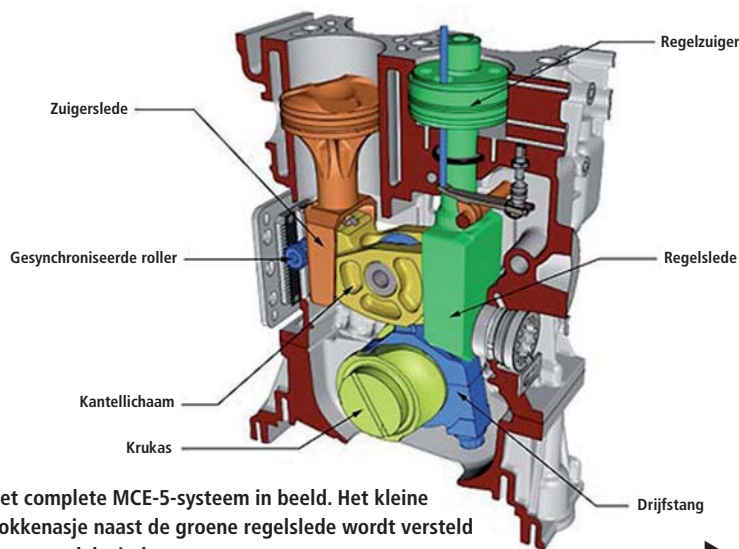
Uitvoerig verbeteren van de constructie levert op dat de compressie in 0,01 seconde van minimum naar maximum te brengen is. Op elk gewenst moment. Een hoge compressie en beter motorrendement bij lage motorlast, een lage compressie bij vollast zodat geen detoneren optreedt. In de proefmotor is een variatie tussen 6,7:1 en 18:1 mogelijk. Maar hoeveel brandstof je gaat besparen kan MCE-5 niet melden, ze maken geen complete motoren of auto's. Er hangt natuurlijk veel vanaf of hun motorblok gebruikt wordt in combinatie met directe injectie, een turbo, alternatieve

brandstof, verstelbare nokkenassen en zo meer.

Recent gebruikt Mercedes variabele compressie, als één van de vele bijzonderheden in zijn 'Dies-Otto' motor. Alles samen levert een fors gedownsizede motor, een 1.8 die presteert als een 3.5 V6. Met 175 kW en 400 Nm doet de Dies-Otto niets onder voor de wat kleinere MCE-5-motor, bij een half zo hoog verbruik als de vergelijkbare 3.5 V6.

Zou ons verbazen

Mercedes gebruikt een andere techniek voor variabele compressie dan het MCE-5-idee, weten we haast wel zeker, al geeft Mercedes geen details. Er is ook de in ons land uitgewerkte Gomecsys-motor met variabele compressie. Nog gebruikt in het op de HTS Autotechneek gebouwde 'Prautotype', dat op tv en de vorige AutoRAI verscheen. Het idee van Gomecsys is mechanisch een stuk simpeler, met een krukas in verstelbare excentrische lagering. Al jaren ligt het ontwerp klaar, maar nog geen autofabrikant is er heel serieus mee aan de slag. Sinds een jaar is het nu ook bij MCE wachten op een autofabrikant met serieuze belangstelling. Ons lijkt de MCE-5 erg mooi gemaakt, maar te zwaar, te ingewikkeld en te duur. Zeker zo lang je met een of meer (turbo)compressors de effectieve compressie veel makkelijker kunt verhogen. ●



Het complete MCE-5-systeem in beeld. Het kleine nokkenasje naast de groene regelslede wordt ver stelt met een elektrische stappenmotor

X4 tweetaktmotor, een schoonheid

Is de tweetakt als krachtbron voor wegvoertuigen dood? Niet volgens de Poolse constructeur Synakiewicz. Op basis van een klein proefmodel vroeg hij patent aan op zijn tweetaktmotor. En combineerde vervolgens vier daarvan tot de JJ2S X4. Waar omheen als prototype de JJ2S X4 500-motorfiets werd gemaakt. Een prachtstuk...

JJ2S staat voor de initialen van de uitvinder, met de 2 ertussen als aanduiding voor het tweetaktprincipe. X4 slaat op de motoropbouw, een 500 cc viercilinder in X-opstelling. Een soort stermotor, mede mogelijk door de bijzondere tweetaktconstructie.

Modelvliegtuigmotor

Blijkbaar werd Synakiewicz geïnspireerd door de miniatuur tweetakten die gebruikt worden in de modelbouw. Zijn idee werkte hij eerst uit als een 6,5 cc motortje voor modelvliegtuigen. Vervolgens wilde hij bewijzen dat het op grotere schaal ook werkt, wat niet zonder meer vanzelfsprekend is. Bij zijn tweetakt is het min of meer zo dat de zuiger stilstaat en de cilinder beweegt. Een zeer belangrijk element is dat de JJ2S niet aanzuigt via het carter, zoals gebruikelijk bij tweetakten. Hij heeft wel mengsmering nodig, voor de bewegende cilinderwand. Omdat het cartervolume nu geen rol speelt, en de krukassmering geen probleem is, werd de X4-opstelling mogelijk. Daarvoor werd een bijzondere krukasopbouw gebruikt die een meneer Bakera uitdacht. Hypocycloïde, noemde hij het bewegingsprincipe.



Prachtig in eenvoudig

We kunnen u slechts aanraden de animaties te bekijken op de Poolse internetsite www.jjsdesign.net. Daar ziet u hoe een borst aan de bewegende cilinderwand zorgt voor aanzuiging, via een Reed-membraanklep. In de wand zitten poorten voor in- en uitlaat. Keurig wordt het mengsel in een kleine verbrandingskamer rondom een bougie geperst.

Een andere animatie laat zien hoe de 'hypocycloïde' krukas drijfstanen overbodig maakt. De cilinderwanden van de JJ2S kunnen direct rechtstandig worden aangedreven. Daarvan maakte Synakiewicz een boxeropstelling, met twee cilinders tegenover elkaar. En over een kwartslag gedraaid nog twee, voor een enorm smalle viercilinder. De uniek smalle constructie van de X4 is geknipt voor tweewielers. Dus werd rond de JJ2S een motorfiets gebouwd. Die gebruikt het X4-blok als dragend deel. Het resultaat ziet er erg mooi uit. Hooguit ligt het zwaartepunt van het X4-blok wel wat hoog, waardoor deze motorfiets mogelijk niet zo vlot zal sturen.

Maar ach, wie maalt daarom bij zo'n exotische schoonheid. Het 500 cc blok zou liefst 110 kW bij 8000 t/min leveren. De voorbeeldig simpele opbouw leidt tot een totaalgewicht van maar 155 kg voor deze motorfiets. Volgens Synakiewicz zou met injectie en elektronisch motormanagement probleemloos voldaan kunnen worden aan de geldende uitlaatgaseisen.

De kogelronde motor

Manmoedig kondigt het Zwitserse Peraves Voertuig- en Motorenbouw de spoedige pensionering van de zuigermotor aan. Auto's, schepen, vliegtuigen, stationaire installaties, alles kan omschakelen op de kogelmotor. Nieuwe materialen en bewerkingsmachines hebben de kogelmotor mogelijk gemaakt.



Drie bewegende delen

De kogelmotor is compact, licht en bevat maar drie bewegende delen. Geen woord over gemeten emissies aan de uitlaat, maar dit terzijde. Auto's kunnen kleiner en lichter worden met Peraves' motor. Bovendien geeft die weinig geluid en trilling.

Hoe werkt deze wonderlijke ronde motor zonder kruk of drijfstanen? De drie bewegende delen zijn een as en twee bolsegmenten, met in

Hier ziet u een proefexemplaar van de Peraves-motor. Het rode deksel middenop, waarin een bougie te zien is, heeft waterkoeling.

elk bolsegment een soort schuif. Die schuif werkt als zuiger en gaat... heen en weer.

Op de twee schuiven zitten keramische kogels die door slingerende leibanen in het omhulsel van de motor lopen. Enerzijds doet die lei-

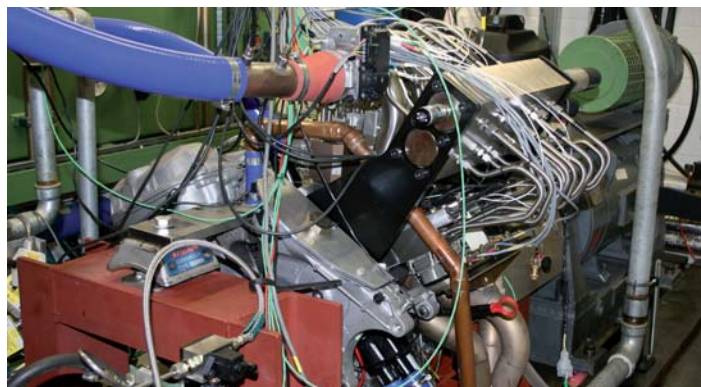
Ricardo ontwikkelt twee/vie

Samen met een aantal partners heeft motorontwikkelbureau Ricardo de beproeving afgerond van een twee/viertaktmotor. Verwerking van de resultaten in een computersimulatie levert een betrouwbare schatting van de brandstofbesparing met een echte auto. Dat is liefst 27% op het gemiddeld ECE-verbruik. Met twee en viertaktproces in één motor? Het project 2/4SIGHT werd opgezet door Ricardo, opgericht door de legendarische Harry Ricardo, die in de jaren '50 en '60 met fundamenteel onderzoek grote bijdragen le-

verde aan de ontwikkeling van de verbrandingsmotor. Enkele Britse universiteiten hielpen mee bij het testwerk, in de ontwikkeling droeg het Japanse Denso bij. Dat verzorgde de directe benzine-injectie, de ontsteking en het motormanagement.

Kleppen regelen verbrandingsproces

Wat de 2/4SIGHT doet is continu aan de hand van de motorbelasting kiezen tussen een twee- of viertakt verbrandingsproces. Als tweetakt levert de motor hoge prestaties,



In de proefopstelling werkt alleen de dichtstbijzijnde helft van deze V6 volgens het 2/4SIGHT-idee

baan de schuiven openen en sluiten, voor aanzuigen, comprimeren en uitlaten. Anderzijds drukt een verbranding de schuiven open en dwingt ze daarmee vooruit langs de op dat punt net wijder uiteen lopende leibanen.

Wat essentieel is van moderne materialen en bewerkingstechniek zijn die zeer nauwkeurig gemaakte leibanen, en uiterst slijtvast, wrijvingsarm keramiek voor de kogels die erdoor lopen.

Viercilindereffect

Roterende inlaten aan weerszijden van de motor laten lucht of een mengsel met brandstof erin toe. Omdat er twee bolsegmenten met schuiven zijn kan er tweemaal per omwenteling van de bol ontstoken worden. Dat wil zeggen vier ontstekingen per twee asomwentelingen,

net als bij een klassieke viercilinder. Blijkbaar is er weinig tijd voor de verbranding, daar die op twee plaatsen met een bougie moet worden aangestoken. Middenin de omtrek van het bolle motorhuis zitten uitlaatpoorten. Wat betreft in- en uitlaat lijkt het dus een tweetakt zuigermotor. Kennelijk wordt het motorhuis met water gekoeld op de plaats waar de bougies zitten, dus daar waar de verbranding plaatsvindt.

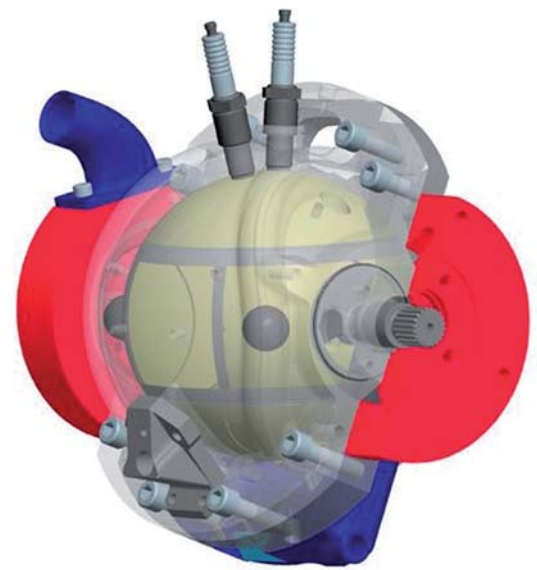
Wat lost dit op?

Heel vernuftig bedacht, zonder meer. Wat Peraves bereikt is dat zonder tussenkomst van kruk en drijfstaang een heen en weer gaande beweging wordt omgezet in draaien. Dit door heen en weer gaande schuiven in de kogelmotor langs rondlopende leibanen te

laten bewegen. Maar wat worden we daar wijzer van?

De gasdichte afdichting van het inwendige bollichaam lijkt een bijna net zo groot probleem als bij de draaizuiger van een Wankelmotor. De belasting op de keramische geleidekogels moet heel zwaar zijn. Smering zien we nergens, komt dat van de brandstof?

Net als een tweetakt heeft de kogelmotor één asomwenteling voor het hele proces van aanzuigen, comprimeren, verbranden en uitlaten. Dat is weinig tijd voor een zo volledig mogelijke (schone) ver-



De gele bol binnenin de Peraves-kogelmotor is een uiterst ingewikkelde constructie, waar de rest heel simpel is. Achter de rode schijven opzij zitten de roterende inlaten.

branding. Waarmee de vraag zich opdringt of de Peraves-motor kan wat een tweetakt niet kan: schoon verbranden.

rtaktmotor

met vooral veel koppel. Dit wordt gebruikt om de motor te 'downsizen'. Omschakelen van de verbranding gebeurt in directe zin via variabele klepbediening. Bijgaand schema laat dat zien. Uit- en inlaatslag worden gecombineerd, overlappend met de compressie- en arbeidslag. Waarbij men uiteraard injectie en ontsteking daarbij moet aanpassen. Een dubbele compressor, mechanische Rotrex plus Honeywell-turbo, zorgt dat de motor niet hoeft te zuigen voor zijn lucht. Ook cilinderspoeling in tweetaktmodus baseert op dit compressorsysteem. Directe injectie zorgt dat cilinderspoeling gebeurt met lucht, en niet met lucht/brandstofmengsel waardoor het verbruik sterk zou stijgen.

Halve motor

Voor het onderzoek is de helft van een 4.2 V6 gebruikt. Deze helft levert in 2/4SIGHT-uitvoering dezelfde prestaties als een 3.5 zescilinder. Ricardo beschikt over uitstekende computermodellen om met metingen van specifiek verbruik op de motortestbank te si-

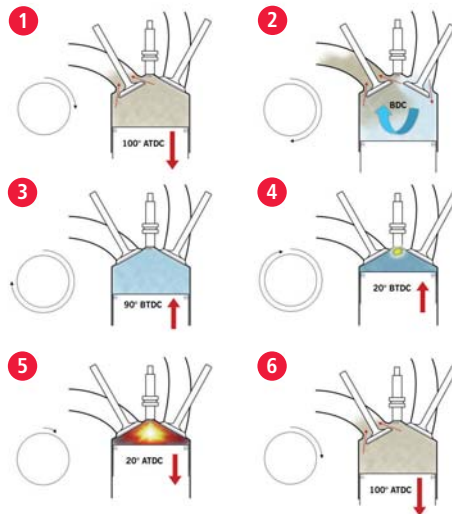
Schematisch ziet u hier hoe een en dezelfde motor zowel als tweetakt- (links) als met een viertaktproces (rechts) kan draaien.

muleren wat er bij een echte auto zou gebeuren. Zo bepaalden ze dat in de ECE-verbruikscyclus een 27% lager verbruik zou resulteren. Met overeenkomstig lagere CO₂-uitstoot, van 260 naar 190 g/km. In de proefopstelling versimpelde men de constructie door perslucht te gebruiken in plaats van compressoren. De klepbediening werd

elektro-hydraulisch gemaakt, voor volledige vrijheid om timing en lichthoogte van de kleppen te bepalen. Er is echter in de Amerikaanse afdeling van Ricardo al een mechanisch systeem uitgewerkt voor de benodigde omschakelbare klepbediening. Dat maakt praktische toepassing van de 2/4SIGHT-techniek makkelijker en goedkoper.

Het consortium dat deze ontwikkeling uitvoerde zoekt nu financiering om een rijdende demo te maken. Deze kan dan aan de auto-industrie getoond worden. Vanzelfsprekend met de hoop dat een autofabrikant het twee/viertakt-principe voor productie in overweging wil nemen.

2/4SIGHT tweetaktproces



2/4SIGHT viertaktproces

