

Auto & Motor
TECHNIEK

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

Het geschenk voor de rotatiemotor

Wankel op waterstof

Op waterstof draaiende rotatiemotoren hebben volgens Mazda de toekomst. Als bi-fuel kan de wankel ook op benzine draaien, en hij is tevens zeer geschikt als hybridehulpje om het accupakket op spanning te houden. In Noorwegen maakten we kennis met de Hydrogen RE (Hybrid).

Een auto kan op twee manieren op waterstof rijden. In een verbrandingsmotor levert waterstof mechanische energie op en in de brandstofceltechnologie levert waterstof elektrische energie (waterstof reageert met zuurstof en wekt stroom op). De brandstofcel werkt weliswaar efficiënter dan de verbrandingsmotor, maar Mazda vindt de fabricage ervan te complex en te kostbaar. De technologie staat nog in de kinderschoenen en er zijn nog veel infrastructuurproblemen op te lossen. Mazda vindt de brandstofcel daarom onvoldoende geschikt voor de dagelijkse praktijk en denkt dat de dubbelbrandstof (benzine/waterstof) verbrandingsmotor veel gebruiksvriendelijker is.

Er zijn geen structurele aanpassingen nodig om een benzine Mazda RX-8 op waterstof te laten rijden. Bovendien is de motor betrouwbaar en goedkoop te produceren. Mazda verwacht daarom dat de rotatiemotor tijdens de eerste fase van de toekomstige waterstof-samenleving een belangrijke rol kan spelen.

Gemakkelijk ontsteken

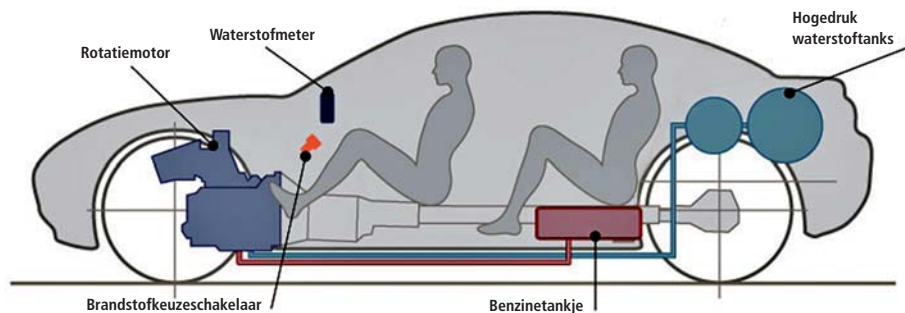
Het toeval wil dat van alle verbrandingsmotoren, de rotatiemotor het meest geschikt is om waterstof als brandstof te gebruiken. Het vlamfront van waterstof verspreidt zich met circa 265 cm/sec veel sneller dan de 40 cm/sec voor benzine. De lange ellipsvormige verbrandings-



Boven in de tweeschijs rotatiemotor is een extra verstuiver in de inlaatkamer geplaatst. Daar is meer ruimte beschikbaar dan in een cilinderkop tussen de kleppen van een Ottomotor. Voor de ontsteking zijn twee bougies per schijf nodig, hier zichtbaar aan de rechterkant.

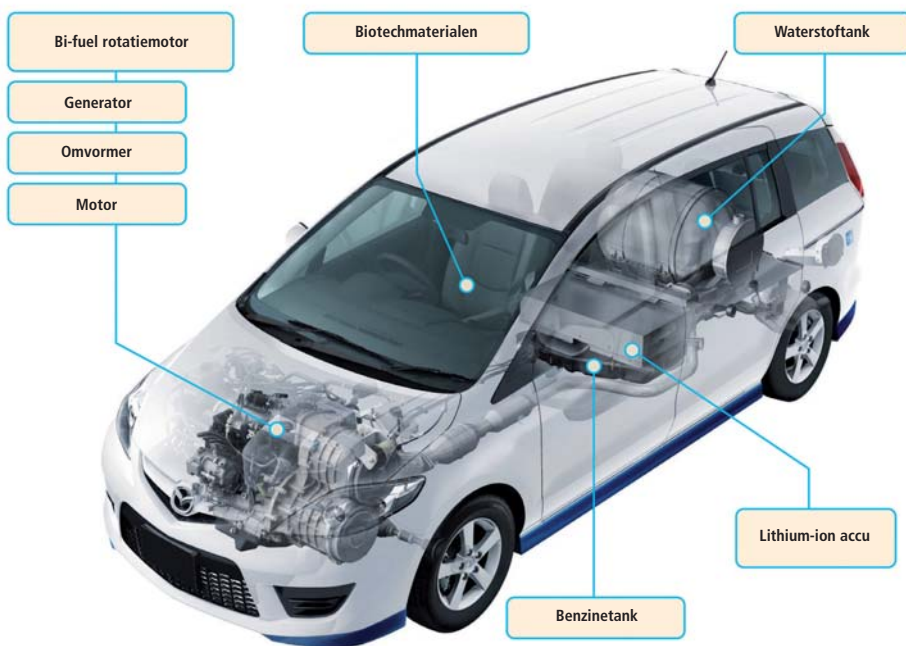
kamer van de rotatiemotor, vaak genoemd als nadeel, is nu geen nadeel meer. Waterstof is heel brandbaar en kan met een veel lagere energie-input ontstoken worden. De minimale ontstekingsenergie (Minimum Ignition Energy, MIE) van een waterstof/luchtmengsel is tien keer lager dan van een benzine/luchtmengsel, dus voor de ontsteking is slechts een tiende van de hoeveelheid energie nodig. Dat zou in een zuigermotor tot abnormale verbrandingen kunnen leiden. Waterstof kan nog voor de ontsteking door de bougie verbranden, omdat het waterstof/luchtmengsel rechtstreeks in de hete verbrandingskamer van de zuigermotor wordt ingespoten, waar de al even hete uitlaatklep-

De schematische weergave van de Mazda RX-8 Hydrogen RE maakt duidelijk dat de tweeschijs rotatiemotor kan draaien op benzine (onder de tweede zitrij is een piepklein vijfliter benzinetankje aangebracht) of waterstof. In de kofferruimte zijn twee waterstoftanks geplaatst.



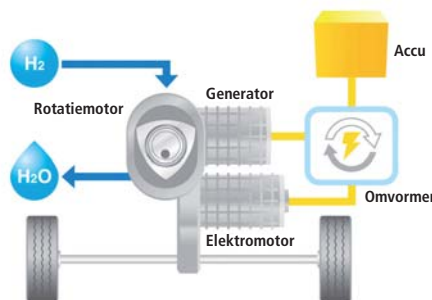
Aan de buitenkant onderscheidt de Mazda RX-8 Hydrogen RE zich alleen door de wilde stickers van een normale RX-8. Aan de linkerkant zit een vulopening voor benzine, aan de rechterkant voor waterstof. Bij de Mazda5 Hydrogen RE Hybrid is dat net andersom.





De derde zitrij van de Mazda5 Hydrogen RE Hybrid is opgeofferd aan een hogedruktank (350 bar) voor waterstof. In de leidingen naar de motor is de druk teruggebracht tot 6 bar. Onder de tweede zitrij zijn de lithium-ion-batterijen bovenop de benzinetank gemonteerd.

In deze schematische voorstelling wordt niet helemaal duidelijk gemaakt dat de dubbelbrandstof (benzine/waterstof)-verbrandingsmotor alleen aan de generator is gekoppeld en niet aan de 'motor' (elektromotor).



pen de verbrandingskamer afsluiten. Het is juist vanwege deze hoge brandbaarheid van waterstof dat Kenichi Yamamoto waterstof een geschenk van God aan de rotatiemotor noemde. Yamamoto was de leider van het eerste Mazda rotatiemotor-researchteam en werd later president en bestuursvoorzitter van Mazda. Doordat de inlaatkamer van de rotatiemotor gescheiden is van de hete verbrandingskamer (de rotatiemotor heeft afzonderlijke kamers voor inlaat, compressie, ontsteking en uitlaat), wordt het waterstof/luchtmengsel bij een lagere temperatuur ingespoten en komt het alleen op het allerlaatste moment, na de ontsteking, in aanraking met hoge temperaturen.

Klinkt als een diesel

Waterstof wordt in gasvorm ingespoten en bevat in vergelijking met hetzelfde volume aan (vloeibaar ingespoten) benzine minder energie. Het gevolg: voor de benodigde lucht/brandstofverhouding is 29,5 procent van de inhoud van

de verbrandingskamer nodig voor brandstof. Bij benzine is dat slechts 1,7 procent. Om te voorkomen dat de motor minder lucht zou aanzuigen als tevens waterstof in de inlaat wordt ingespoten (hetgeen resulteert in minder vermogen), is gekozen voor directe insputting. Het toeval wil dat het eenvoudiger is een extra verstuiver in de lange inlaatkamer van een rotatiemotor te plaatsen dan in de smalle cilinderkop van een zuigermotor. Bovendien vindt in een rotatiemotor door de langere bedrijfs cyclus (elk viertaktproces duurt vijftig procent langer in vergelijking met een viertakt Ottomotor) betere vermenging van het lucht/waterstofmengsel plaats. Daarmee wordt een gelijkmatiger mengsel verkregen, dat een betere verbranding oplevert.

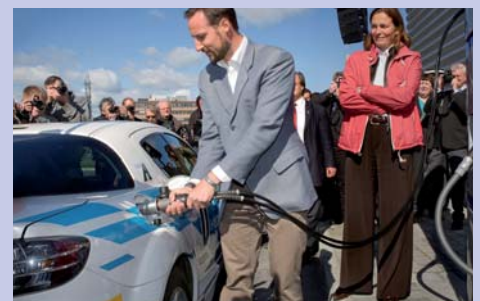
Om van benzine naar waterstof te schakelen, of andersom, volstaat het om twee seconden een schakelaar ingedrukt te houden. Als het waterstofniveau in de twee waterstoftanks te laag is, schakelt de RX-8 Hydrogen RE automa-

Op de plaats van het navigatiesysteem geeft dit schema in de Mazda5 Hydrogen RE Hybrid de stroming van de energie aan. Links tussen de voorwielen bevindt zich de elektromotor, onderin geven de vijf balkjes het accupakket aan. De Japanse karakters in het midden betekenen 'benzine'.

HyNor, de Noorse waterstofsnelweg

HyNor is een samenwerkingsverband van meer dan vijftig partners (overheid, bedrijfsleven/industrie, universiteit) om waterstof in Noorwegen te promoten als schone alternatieve brandstof. Noorwegen heeft een lange geschiedenis met het gebruik van waterstof, dankzij de vele waterkrachtcentrales die het land rijk is.

In mei 2009 werd de officiële HyNor Highway geopend. De highway bestaat uit zes waterstof-vulstations tussen Oslo en Stavanger, zodat het mogelijk is om zo'n zeshonderd kilometer te overbruggen. Bij de HyNor-stations is waterstof te tanken met naar keuze 350 bar (voor de Mazda's) of met 700 bar. Voor de Noorse markt heeft Mazda de RX-8 Hydrogen RE aangepast. De automatische vierbak is vervangen door een handgeschakelde vijfbak en het stuur is links geplaatst. Van deze RX-8 wil Mazda dertig stuks leveren voor het HyNor-project. De RX-8 Hydrogen RE mag in Noorwegen vrijelijk over de taxi- en busbanen rijden, maar als tegenprestatie is de benzinetank van 61 liter wel vervangen door eentje van slechts vijf liter. Dat verlengt de actieradius op waterstof (honderd kilometer) met maximaal vijftig kilometer op benzine. De Noorse overheid wil dat bi-fuel waterstofauto's in de praktijk zoveel mogelijk op waterstof rijden, dus mag er maar een noodtankje voor benzine in.



De Noorse kroonprins Haakon tankt de Mazda RX-8 Hydrogen RE af met waterstof en opent daarmee HyNor: de Noorse waterstofsnelweg.

tisch naar benzine over. Op het dashboard geeft een lampje aan welke brandstof de auto gebruikt. Het is direct hoorbaar. Waterstof maakt meer geluid, het geluid lijkt (door de hoge brandbaarheid) op dat van een dieselmotor. Mazda heeft het vermogen van de RX-8 Hydrogen RE beperkt op 80 kW/109 pk. Dat is voor waterstof het maximale vermogen, maar het is slechts iets meer dan de helft van het



MILIEU

Mazda experimenteert met waterstof

vermogen van een 'normale' RX-8 op benzine. Mazda wil daarmee voorkomen dat mensen bij het omschakelen van de ene naar de andere brandstofsoort verrast worden door het verschil in vermogen.

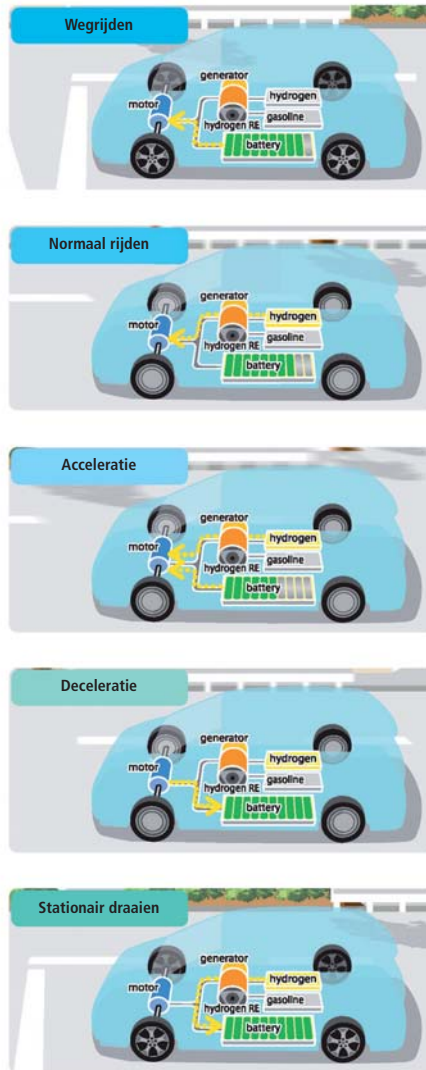
Rotatiemotor als accuhulpje

In mei van dit jaar is in Japan de eerste Mazda5 (Premacy) Hydrogen RE Hybrid afgeleverd. Ook deze Mazda heeft een dubbelbrandstof (benzine/waterstof) rotatiemotor, maar deze is serieel gekoppeld via een dynamo (generator) en een omvormer aan een elektromotor en accupakket.

Er zijn drie soorten hybridesystemen. Parallel hybridesystemen gebruiken gelijktijdig de verbrandings- en de elektromotor om de wielen aan te drijven. Serieel parallelsystemen gebruiken alleen de verbrandingsmotor of alleen de elektromotor of beide tegelijk. Serieel hybrides zetten het vermogen van de verbrandingsmotor om in elektriciteit om de elektromotor te voeden; de verbrandingsmotor staat dus niet in verbinding met de wielen. Deze Mazda5 Hydrogen RE Hybrid is zo'n seriele hybride. De bestuurder heeft via een brandstofkeuzeschakelaar nog wel zelf de keuze of de rotatiemotor op benzine of waterstof draait, maar de Mazda5 start zelf de rotatiemotor, al naar gelang het gebruik van de auto en de ladingstoestand van de accu's. Als de rijomstandigheden en de gewenste prestaties daartoe aanleiding geven (bij gasgeven) gaat de accuspanning omhoog. Dat verlengt de actieradius op waterstof tot 200 km en doet het vermogen met veertig procent stijgen tot 110 kW. Een indicator op het dashboard geeft grafisch weer hoe de uitwisseling van energie tussen rotatiemotor, dynamo, elektromotor en accu verloopt. Tijdens de testrit in Noorwegen bleek overigens alleen bij het wegrijden de Mazda5 eventjes puur elektrisch te rijden; al heel snel schakelde de rotatiemotor in. De auto is voorzien van een I-stopsysteem. Bij het afremmen wordt de vrijgekomen energie opgeslagen in de accu's (regeneratief remmen).

Om plaats te maken aan alle techniek is de derde zitrij van de Mazda5 opgeofferd aan een

Verskillende bedrijfssituaties



In een praktijktest in Noorwegen bleek dat de rotatiemotor alleen in de eerste meters na het wegrijden (start up) niet draaide. Bij deceleratie wordt de vrijgekomen energie opgeslagen in de accu's (regeneratief remmen).

hogedruktank voor waterstof en zijn onder de tweede zitrij de lithium-ion-batterijen gemonteerd.

Gekunstelde dynamiek

In de Mazda5 dient de rotatiemotor feitelijk alleen maar om de actieradius van de elektrische

Hoe komen we aan waterstof?

Waterstof is een vrijwel onuitputtelijke brandstof, die in 75 procent van alle in het universum aanwezige materie voorkomt. Op aarde is waterstof ruimschoots te vinden in rivieren en zee water. Het is door elektrolyse te winnen door de H₂O-watermolecuul te delen in zuurstofgas O₂ en waterstofgas H₂. De winning en het gebruik van waterstof vormt een gesloten cyclus. Waterstof dat door middel van elektrolyse aan water wordt onttrokken, wordt na verbranding vrijgegeven in de vorm van waterdamp en keert terug in de natuurlijke waterkringloop. Waterstof is een schone, herwinbare en oneindige energiebron. Voor elektrolyse is wel veel elektriciteit nodig. Als dat niet afkomstig is uit windturbines of zonnepanelen, maar uit fossiele brandstoffen (bijvoorbeeld via gas- of steenkolen centrales met CO₂-uitstoot), dan voorkomt het gebruik van waterstof eigenlijk alleen lokale luchtverontreiniging.

aandrijving te vergroten. De rotatiemotor is er immers alleen om de generator aan te drijven. Een kenmerk van zo'n seriele hybride is dat de verbrandingsmotor het meest efficiënte toerental (bijvoorbeeld bij maximum koppel) kan draaien, ongeacht de rijstijl of -snelheid. Mazda kiest voor een andere oplossing en laat het toerental van de rotatiemotor variëren op de stand van het gaspedaal. Aangezien de generator aan de rotatiemotor is gekoppeld, wordt er dus meer of minder elektriciteit geproduceerd bij het indrukken of loslaten van het gaspedaal. Dat is volgens Mazda veel dynamischer en past beter bij het Zoom-Zoom-karakter van Mazda. Dat is slechts ten dele waar. Weliswaar neemt het uitlaatgeluid van de rotatiemotor toe bij het gasgeven, maar nu duidelijk is dat de rotatiemotor alleen als generator dient, komt die 'toerentaldynamiek' wat gekunsteld over. Bovendien is de relatie tussen gasgeven en het toerental van de motor net niet één op één, maar zwemt het toerental er wat achteraan. Een vergelijking met de Variomatic van DAF dringt zich op: daar leek de mate van gasgeven, het motortoerental en de acceleratie ook nooit helemaal met elkaar in overeenstemming te zijn.

Als volgende stap denkt Mazda aan een plug-in uitvoering en daarna wil Mazda de auto helemaal elektrisch maken. In dat geval is de eerste fase van de waterstofsamenleving afgesloten en is de rotatiemotor helemaal niet meer nodig. En dat is eigenlijk best jammer.

John Mulder



Ondanks de tweeschijfs-dubbelbrandstof-rotatiemotor met elektromotor, lithium-ion-batterijen en waterstoftank blijft de Mazda5 zeer bruikbaar als gezinsauto. De derde zitrij is wel opgeofferd.