

Yamaha MT-09 driecilinder technisch bekeken

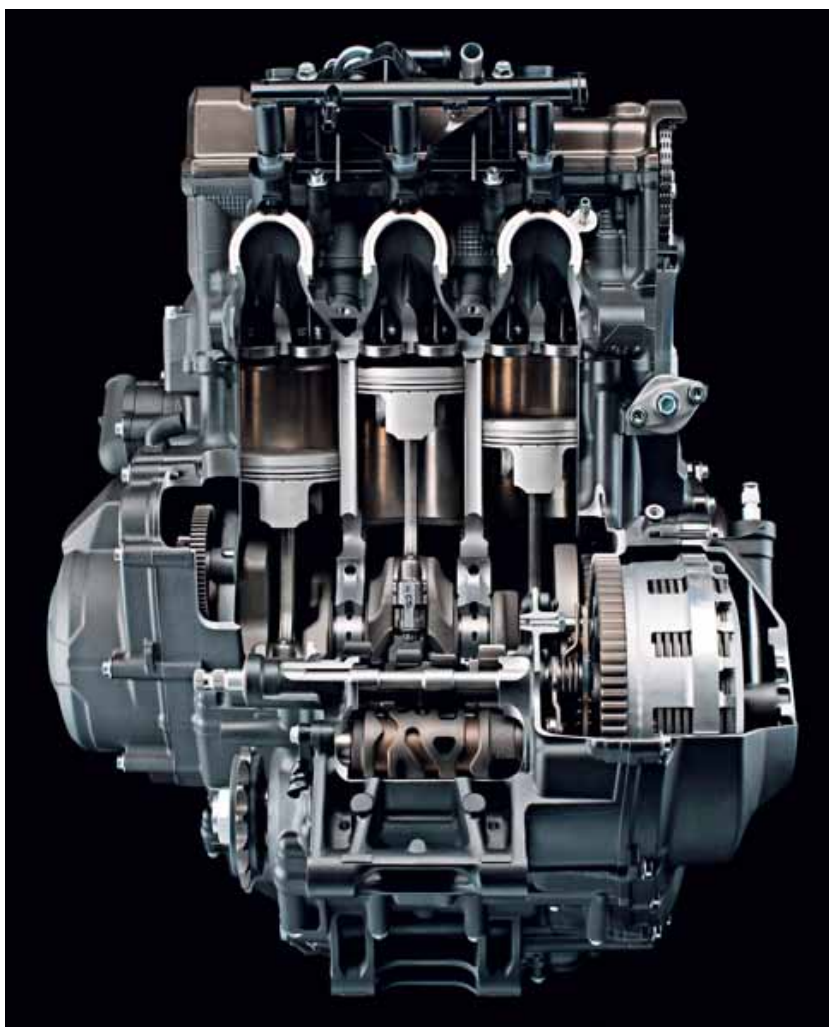
Meer beleving met drie cilinders

Driecilindermotoren spelen in de aandrijving van auto's en motorfietsen een ondergeschikte rol. Toch komen ze steeds terug. Ze bieden dan ook onmiskenbare voordelen. Denk aan compacte bouw, minder inwendige wrijving en, voor motorrijders belangrijk, een onmiskenbare sound. Yamaha brengt nu met de MT-09 een nieuwe driecilinder op de markt. Is dat vanwege efficiency of uit overtuiging?

In auto's groeit de populariteit van de driecilinder. Dat dankt hij aan zijn efficiency, die beter is dan die van een kleine viercilinder. Maar de driecilinder wordt gekenmerkt door een wat knorrig geluid. Dat ontstaat doordat de verbrandingsintervallen net wat groter zijn dan bij de viercilinder motor. Bij motorfietsen is een mooie sound van groot belang. Die knor bij lage toerentallen in de auto wordt bij meer toeren op een motorfiets, dankzij het staccato van de grotere verbrandingsinterval, een fantastische scream, die zich duidelijk onderscheidt van de monotone huil van de vierpitter en het geroffel van de twin. Een heel eigen opwindend geluid dus, dat aanspoort om het hele toerenspectrum te benutten.

Voor de toepassing in motorfietsen spreken er diverse argumenten voor de driepitter: die is smaller dan een viercilinder met dezelfde inhoud. En weliswaar zou een twin nog smaller kunnen zijn, maar die heeft weer een groot vliegwiel nodig voor een mooie ronde motorloop. Het gyroscopisch effect van die massa is niet positief voor de wendbaarheid van de motorfiets.

Toch zijn driecilinder motoren in de loop van de tijd niet erg populair geweest in motorfietsen. In de zestiger en zeventiger jaren hebben Triumph



Yamaha bouwde voor de MT-09 een compacte driecilinder. De injectoren zijn in de inlaatkanalen in de cilinderkop gemonteerd. Dankzij het tegen de rechter krukwang geperste primaire tandwiel kan de natte platenkoppeling binnen de breedte van het motorblok blijven. De versnellingsbakassen liggen boven elkaar voor een zo kort mogelijk motorblok.

en Laverda driecilinders geïntroduceerd als wapen tegen de opkomende Japanse multicilinders. Desondanks gingen ze indertijd ten onder. En MV Agusta driecilinders wonnen met Giacomo Agostini aan het stuur ontelbare Grands Prix en een reeks van wereldkampioenschappen. Tot de tweetakten de overhand kregen.

Modulair of hartstocht

In 1983 introduceerde BMW de K100, een 1000 cc viercilinder. Daar moest ook een kleinere variant van komen met 750 cc. Hier koos BMW voor de

modulaire bouwwijze door de motor tot drie cilinders in te korten. BMW had natuurlijk ook kunnen kiezen voor een viercilinder met kortere slag en/of kleinere boring, maar daarmee spaar je geen productiekosten uit en realiseer je nauwelijks gewichtsvoordeel. Hier is dus uit efficiencyoverwegingen gekozen voor de driecilinder en zelfs behoorlijk succesvol. Een dergelijke modulaire bouw komt nu weer terug bij de nieuwe MINI van BMW.

Andere merken bouwen driecilinders echter uit overtuiging voor het concept. Zoals bijvoorbeeld

Oud versus nieuw: XS750/850 contra MT-09

De nieuwe driecilinder vormt in vergelijking met zijn voorganger uit de zeventiger jaren een duidelijke illustratie van de ontwikkelingen die zich in de afgelopen 40 jaar op het gebied van motorfietsen hebben voorgedaan.

	XS750/850
Cilinderkop	Twee kleppen per cilinder, grote klephoek. Halfbolvormige verbrandingskamer. DOHC.
Inlaatkanalen	Grote, zware klepstelplaatjes bovenop de stoterbus.
Nokkenaskettingsspanner	Lopen gebogen naar carburateurs achter de motor, onder de benzinetank.
Carburatie	Handmatig te stellen bij onderhoudsbeurt.
	CV-carburateurs. Waren toen in opkomst, later gemeengoed.
Ontsteking	Contactpuntjes en mechanische centrifugaalvervroeging.
Starter	Elektrische startmotor en voor de zekerheid toch nog een kickstarter
Koeling	Luchtkoeling.
Balansas	Niet aanwezig, grote massa absorbeert al de nodige trillingen in het relatief laagtoerige blok.
Primaire transmissie	Via brede tandketting aan de zijkant van het motorcarter.
Versnellingsbak	Vijf versnellingen met tussenas voor de eindaandrijving achter de primaire versnellingsbakas. Bij kettingaangedreven motoren lagen beide versnellingsbakassen in de regel achter elkaar.
Eindaandrijving	De toenmalige rollenketting had een zeer beperkte levensduur en veel onderhoud nodig. Daarom cardanaandrijving.

	MT-09
	Vier kleppen per cilinder, zeer kleine klephoek, dakvormige verbrandingskamer. DOHC.
	Kleine klepstelplaatjes tussen stoterbus en klepsteel.
	Rechthoekig naar gasklephuizen boven de motor, voor de benzinetank.
	Automatische spanner.
	Elektronisch motormanagement met geregelde driewegkatalysator en drive by wire.
	Elektronisch motormanagement, bobine in bougiekop.
	Uitsluitend elektrische start.
	Koelvloeistof + warmtewisselaar voor de olie.
	Nodig door hoge toerentallen en lichte bouw.
	Via tandwielen binnen het motorcarter.
	Compacte zesversnellingsbak met ingaande versnellingsbakas boven de uitgaande as. Zeer korte bouw van het motorblok maakt ruimte voor lange achtervork (geeft stabiliteit) en progressief monoveersysteem.
	In de late zeventiger jaren werd de 0-ringen ketting geïntroduceerd. Het kettingvet wordt door de afdichtingsringen tussen de schakels opgesloten, zodat de levensduur tot ongeveer 25.000 km verlengd is.



Motorfiets techniek anno 1976: luchtkoeling, twee kleppen per cilinder, carburateurs, contactpuntjes, genoeg massa om balansassen overbodig te maken en een kickstarter voor de zekerheid.



Supercompacte MT-09 driecilinder anno 2013. De boven elkaar liggende versnellingsbakassen bieden ruimte aan een lange achtervork, kleine klephoek voor compacte verbrandingskamers, in de cilinderkop gemonteerde injectoren en dankzij 0-ringen is de huidige ketting bijna net zo onderhoudsvriendelijk als de toenmalige cardan.

Triumph, nadat de merkrechten overgenomen waren door John Bloor en een nieuwe fabriek met een eveneens nieuwe lijn viercilinder motorfietsen uit de grond gestampt werd. In eerste instantie leken deze motoren te veel op de Japanse viercilinders en ontbrak de eigen identiteit. Daarom ontwikkelde ook Triumph modulair een aantal driecilinders met de viercilindertechniek als basis. Dat bleek een gouden greep, want met rugdekking van de eigen merkgeschiedenis en de onmiskenbare voordelen van de driecilinder ging het bergop. Dat heeft inmiddels navolging gekregen in een lijn van moderne driepitters, die de eigen identiteit van Triumph creëerde met hartstocht voor de driepitter. Die lijn bestaat uit sportieve

motoren van 675 tot 1200 cc en een buitenbeentje met een cilinderinhoud van bijna 2300 cc. Een imposante kolos, die een koppel van 200 Nm levert bij slechts 2500 omw/min.

Yamaha op herhaling

Nu komt er uit Japan een nieuwe driecilinder. Yamaha heeft voor dit concept gekozen in verband met de genoemde voordelen. Het is niet de eerste driepitter van het merk, want in 1976 werd de XS750 geïntroduceerd. Nadat tussentijds de cilinderinhoud was vergroot tot 850 cc is de productie in 1981 gestaakt. Exit driepitter dus. Tot 2013 en de introductie van de brandnieuwe MT-09. In het kader hierboven vergelijken we de MT-09 met

de XS750/850, zodat de algemene ontwikkeling van motorfietsmotoren in de periode van bijna 40 jaar zichtbaar is. De nieuwe is een echt compacte motor geworden. In vergelijking met de 600 cc viercilinder uit Yamaha's ultrasportieve R6 is de nieuwe 847 cc driepitter lichter en smaller.

Driecilinder in balans

De drie zuigers draaien, zoals gebruikelijk bij een driecilinder, op een 120 graden krukas. Met regelmatige verbrandingsintervallen van 240 graden. De balans is bijna helemaal in orde, want in verticale zin neutraliseren de op- en neergaande beweging van de zuigers elkaar zowel in de eerste als tweede orde. Maar omdat de zuigers naast

Dankzij zijn driebcilinder kon Yamaha de nieuwe MT-09 een compact en dynamisch ontwerp meegeven.



De nokkenassen worden aangedreven door een tandketting. De carterpan loopt diep door. Hier is goed zichtbaar hoe compact de motor ook in de lengte is.



De uitlaatbochten zijn onderling met balanspijpjes verbonden voor de beste uitlaatgaspulsaties ten behoeve van een sterk kopel. De lambda-sonde zit in het verzamelstuk van de drie pijpen.

elkaar lopen veroorzaken de contragewichten van de krukas nog wel een omloopmoment, wat trillingen veroorzaakt. Zo'n omloopmoment is relatief eenvoudig te compenseren door een balansas met gewichten aan beide einden die onderling onder een hoek van 180 graden staan. De balansas draait tegengesteld met hetzelfde toerental als de krukas en brengt het trillingsniveau terug tot het minimale niveau van een zescilinder lijnmotor. De balansas zit aan de voorkant dicht tegen de krukas en wordt door het primaire tandwiel aangedreven, dat ook het vermogen naar de koppeling overbrengt. De as verzorgt bovendien de aandrijving van de waterpomp, die links op het blok zit. Ongevenste geluiden van de rechte vertanding worden tegengegaan door een transmissiedemper die in het balansastandwiel is gebouwd. Het primaire tandwiel is tussen het contragewicht van de derde cilinder en het vierde krukaslager op de krukas geperst. Het ligt dus binnen het gietstuk van het carter, zodat er binnen dezelfde breedte ruimte voor de meervoudige natte platenkoppeling is.

Moderne motortechneik

Yamaha past 'fracture split' (FS) drijfstanden toe, waarbij de lagerkap van de uit één stuk gefabri-



Vooraanzicht van de motor met voorin de tandwiel-aangedreven balansas en middenvoor de olie-koelvloeistof warmte-wisselaar. Bovenaan de kleppen voor de luchtinjectie in de uitlaatkanalen, voor de volledige verbranding van resterende koolwaterstoffen en koolmonoxide.

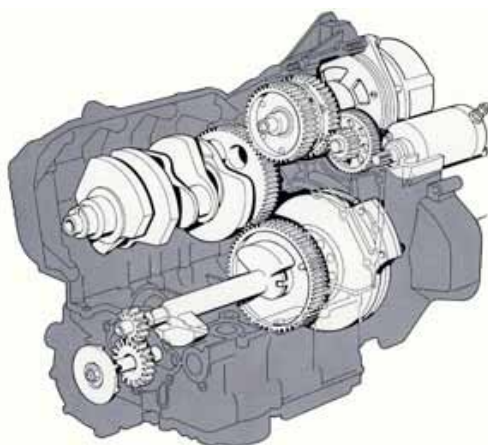
ceerde drijfstang gebroken en vervolgens gezamenlijk bewerkt wordt. Het breukvlak garandeert een perfecte en schuifvaste passing. Gaan we verder naar boven dan zien we dat de cilinders gedesaxeerd geboord zijn om de leibaandruk te verminderen. Vroeger werd er op motorfietsen meestal een apart cilinderblok toegepast dat op het krukascarter gemonteerd werd. De MT-09 volgt de huidige trend met cilinders die samengegoten zijn in een gemeenschappelijk motorcarter. Ze hebben een open deck constructie en binnenin zijn de aluminium cilinders gecoat met



De 'fracture split' drijfstanden worden in één stuk gesmeed. Vervolgens wordt in het big-end een massieve staaf geschoven, die in twee helften gescheiden is. Die helften worden door het inslaan van wiggen aan beide zijden uitelkaar gedrukt, zodat de drijfstang breekt. Om te zorgen dat hij op de juiste plaats breekt zijn ter hoogte van de gewenste breuk inkepingen in het big-end gemaakt. De pasvlakken op drijfstang en lagerkap zijn ruw en sluiten exact op elkaar aan. Dat resulteert in een rotsvaste verbinding. Er zijn geen pasbussen nodig, zodat het big-end van de drijfstang dun en licht uitgevoerd kan worden.

een slijtvaste laag. Ook hier was het streven naar een zo smal mogelijk motorblok de leidraad, met een kleine cilinderafstand, gecombineerd met een optimale warmtehuishouding. De boring en slag zijn met respectievelijk 78 en 59,1 mm gematigd overvierkant. De boring mag namelijk in verband met de smalle bouw niet te groot zijn,

terwijl de zuigersnelheid grenzen stelt aan de slag. De zuigersnelheid ligt met 19,7 m/s nog onder de pijngrens. De cilinderkop volgt algemeen gebruikte lijnen met vier kleppen per cilinder (inlaat 31 mm, uitlaat 25 mm), die ten gunste van een zo recht mogelijk inlaatkanaal onder een kleine klephoek (26,5°) staan. De twee bovenliggende nokkenassen worden aangedreven door een tandketting. Yamaha is overgestapt van de hydraulisch bekrachtigde kettingspanner naar een volledig mechanische automatiek. De compacte verbrandingskamer heeft een relatief gematigde compressieverhouding van 11,5:1.



De BMW K75-motor is simpel gezegd een geamputeerde versie van de K100 viercilinder. De lay-out is exact gelijk, alleen kreeg de driecilinder een 120° krukas en is voor het dempen van het trillingsmoment de aandrijfas van de waterpomp in het ingekorte motorblok uitgevoerd als balansas.

Laverda koos bij de Jota 1000 voor een zeer bijzondere krukas, namelijk met de twee krukassen voor de buitenste cilinders onder 360 graden en voor de middelste cilinder onder 180 graden. Een viercilinder krukas dus met een ontbrekende tweede cilinder. Navent de verbrandingsvolgorde met telkens drie verbrandingen om de 180 graden en dan een gat van 360 graden. Dat resulteerde in geluid dat het meeste leek op een viercilinder met een kapotte bougie. En trillingen die een combinatie zijn van de eerste orde van een eencilinder en de tweede orde van een viercilinder.



Yamaha twee-, drie- en viercilinders in cijfers

Yamaha heeft recent zowel twee-, drie- als viercilindermotoren in vergelijkbare motorfietsconcepten in haar programma. De MT-09 steekt voor wat betreft vermogen en laag gewicht duidelijk boven de twee- en viercilinders uit. Maar nog belangrijker voor een motorfiets is de compacte bouw.

	MT-09	TDM900	FZ-8	XS750
Aantal cilinders	3	2	4	3
Cilinderinhoud	847	897	778	747
Boring	78	92	68	68
Slag	59,1	67,5	53,6	68,6
Boring/slagverh.	1,15	1,17	1,13	1,00
Max. vermogen (kW)	84,6	63,4	78,1	47
Toerental	10000	7500	10000	7500
Zuigersnelheid	19,7	16,9	17,9	17,2
Gecorr. zuigersnelh.	22,6	19,7	20,1	17,1
Balansassen	1	2	geen	geen
pk/ltr	136	96	136	86
Gewicht rijklaar	191	226	216	250

Drive by wire

De ontstekingstiming en mengselsamenstelling worden geregeld door een elektronisch motormanagement, voorzien van een driewegkatalysator voor gezuiverde uitlaatgassen. Er zitten geen gaskabels meer in, de bediening van de gaskleppen, één voor elke cilinder, wordt geregeld door dezelfde motorelektronica. Met deze Yamaha Chip Controlled Throttle (YCC-T) kan de berijder de vermogenskarakteristiek in drie stappen aanpassen op de omstandigheden en zijn eigen rijstijl. De standaard setting zorgt voor een soepele, lineaire vermogensoutput tot het maximale motorvermogen. Verder is er de keuzemogelijkheid voor een scherpere reactie op het gas voor een maximale ontwikkeling van de adrenalinespiegel of een rustiger respons voor het rijden in de stad of bij slecht weer. De injectors, die normaal gesproken in het gasklephuis zijn ondergebracht, hebben een plaats gevonden in de cilinderkop. Deze injecteren de brandstofnevel via twaalf gaatjes direct in het inlaatkanaal op de klepschotel.

Het inlaattraject begint gemeenschappelijk in het luchtfilterhuis. Daarin ademen drie inlaattrechters met in stappen van 20 mm olopende lengte, die aansluiten op de gasklephuisen. De verschillende lengtes hebben invloed op de vulling van de cilinders, die voor de drie cilinders net op een ander toerental maximaal is en zo een hoog koppel over een breder toerenbereik uitsmeert. Voor de maximale stroming van de uitlaatgassen hebben

alle cilinders lange uitlaatbochten, die samenkomen in een gemeenschappelijke demper. In het verzamelstuk is de lambdasonde ondergebracht. Voor een sterk uitlaattulseffect zijn de pijpen dicht bij de cilinderkop onderling verbonden door balanspijpjes.

De oliepan loopt naast de uitlaat versmald naar beneden toe, wat een dampbelvrije aanvoer van olie garandeert. Die olie wordt overigens in een warmtewisselaar versneld door de koelvloeistof opgewarmd en eenmaal op bedrijfstemperatuur koel gehouden.

Compact en licht

Al met al heeft Yamaha de mogelijkheden van het driecilinderconcept optimaal benut. De motor is bijvoorbeeld 10 kg lichter dan de vierpitter uit de FZ800, een motorfiets die in hetzelfde 'roadster'-segment thuishoort. De complete motorfiets is zelfs 25 kg lichter en 9 pk sterker. En de compleet afgespekte R6 600 cc supersport motorfiets weegt nog een kilo meer! Zelfs de tweecilinders uit de TDM900 en TRX850 zijn zwaarder en breder, bij een lager vermogen.

Yamaha verbindt de MT-09 met de 'Dark side of Japan', waarmee het merk maar wil aangeven dat er nieuwe wegen ingeslagen zijn, waarin de beleving van het motorrijden de boventoon voert. Zeker met de scream van een op volle toeren draaiende driepitter kun je dat laatste best letterlijk nemen.



WWW.AMT.NL



Driecilinders en verbrandingsafstanden

De driecilinder 'scheepsmotor' uit de Triumph Rocket namen we eerder in AMT onder de loep, net als de driecilinder die in de BMW-auto's komt. En in het artikel over Yamaha's Crossplane-krukas komt alles achter verbrandingsafstanden en onbalans uitgebreid aan de orde. Lees het terug in het maandossier op www.amt.nl/december2013 of scan de QR-code.