

**Auto & Motor  
TECHNIEK**

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

# Gasturbines: de stand van zaken a

P.N. Klaver

Op 9 maart 1930 verkreeg Frank Whittle een patent dat een ommekeer teweeg zou brengen in de vliegtuigmotorenindustrie. De gasturbine veroverde in 20 jaar de totale militaire en burgerluchtvaartmarkt. Dit type motor was bijzonder licht, zeer krachtig én betrouwbaar terwijl het aan brandstofkwaliteit geen hoge eisen stelde.

De zuigermotoren waren aan de grens van het mogelijke gekomen, 18 cilinder stermotoren met drukvulling bereikten 1850 kW met een levensduur van ongeveer 2000 h

De zuigermotor, zowel Otto- als Diesel-, heeft de laatste vijf jaar een geweldig snelle ontwikkeling doorgemaakt. Zaken als turbodrukking en inspuiting worden steeds meer gemeengoed. En het eind is nog niet in zicht. De zuigermotor lijkt zich een comfortabele, schier onaantastbare positie te hebben verworven.

Geweldige sommen geld worden aan research uitgegeven en de geproduceerde aantallen zijn groot. Zo op 't eerste gezicht lijkt het dus weinig noodzakelijk te zoeken naar alternatieve krachtbronnen. Toch gebeurt dat wel. Met name de gasturbine is een krachtbron waarmee bijna alle grote autofabrikanten experimenteren. Reden voor AMT om de stand van zaken op gasturbinegebied anno nu te inventariseren.

voor de burgerluchtvaart. Militair werd zelfs 4000 kW bereikt met een 24 cilinder motor van Napier. Op zich een knappe prestatie maar de vraag naar nog grotere vermogens werd beantwoord met de gasturbine.

Voor de luchtvaart, waar de kostprijs niet de overwegende rol speelde, bracht deze nieuwe krachtbron de genoemde voordelen mee, de nadelen van het hoge brandstofverbruik en het moeten omschakelen van het onderhoudspersoneel wogen er niet tegen op. Dit punt is voor het wegtransport wél heel belangrijk. Elke afwijkende krachtbron, zoals de Wankelmotor, brengt problemen met

Chrysler heeft zich sinds 1945 met de ontwikkeling van turbinemotoren beziggehouden. Het bekendste project was dat van 1963 toen een twintigtal in Italië gecarrosseerde auto's van een turbinemotor voorzien, aan een geselecteerd publiek ter beschikking werd gesteld. Het project liep een jaar, waarna de auto's moesten worden geïmporteerd of vernietigd. Chrysler deed het laatste maar bewaarde twee exemplaren zelf

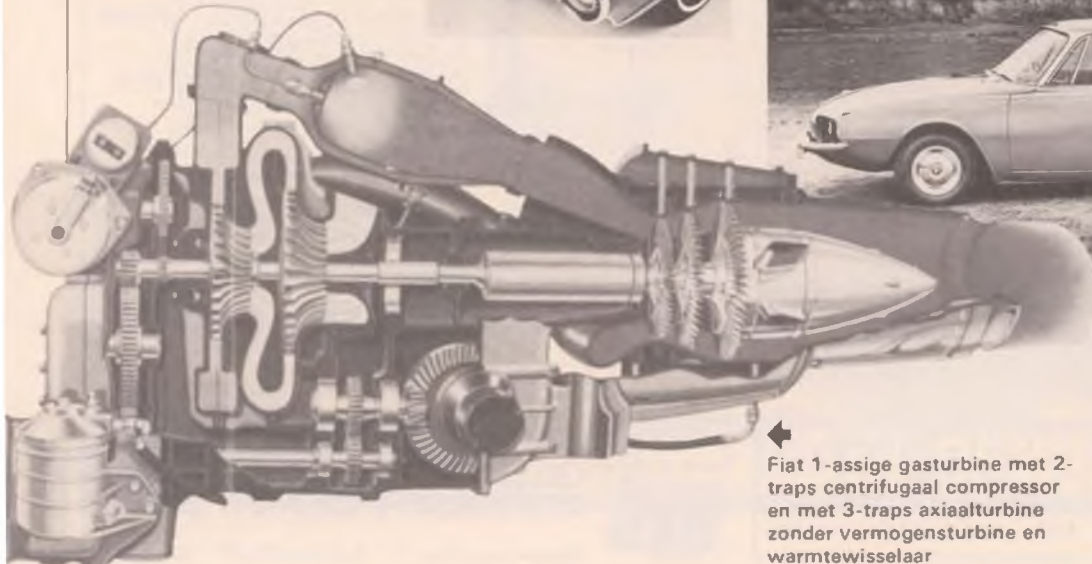


Tabel 1

voordelen van de gasturbine	nadelen van de gasturbine
- zeer grote vermogens mogelijk	- kostbaar
- compacte afmetingen	- hoog brandstofverbruik
- gering gewicht per kW	- hinderlijk geluid
- zeer betrouwbaar	- omschakeling onderhoudspersoneel nodig
- trillingsvrij	
- luchtgekoeld	
- geen hoge eisen aan brandstofkwaliteit	



Rover experimenteerde met turbinemotoren al vanaf de Tweede Wereldoorlog. Eerst in een open tweezits model, afgeleid van de bekende P4 uit de '40er en '50er jaren, ten slotte ook nog met een model afgeleid van de P5 (Rover 2000 tot 3500) en een speciale sportcoupé. Halverwege de '60er jaren heeft men het project volledig gestaakt.



Fiat 1-assige gasturbine met 2-traps centrifugaal compressor en met 3-traps axiaalturbine zonder vermogensturbine en warmtewisselaar



zich mee: „onbekend maakt onbemind“. Er is een andere werkwijze nodig, ander gereedschap en het gevoel voor wat wel en wat niet kan ontbreekt.

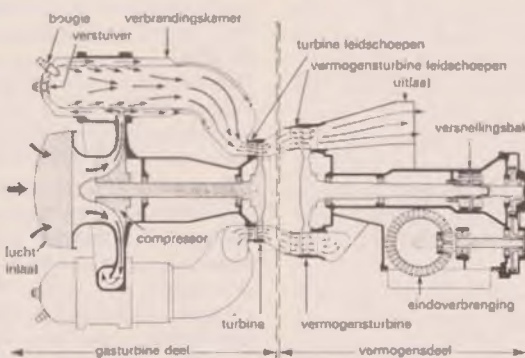
Om het nog even kort samen te vatten zijn de voor- en nadelen van de gasturbine ten opzichte van vliegtuigzuiger-motoren nog eens in tabel 1 op een rijtje gezet.

## Toepassing op de grond

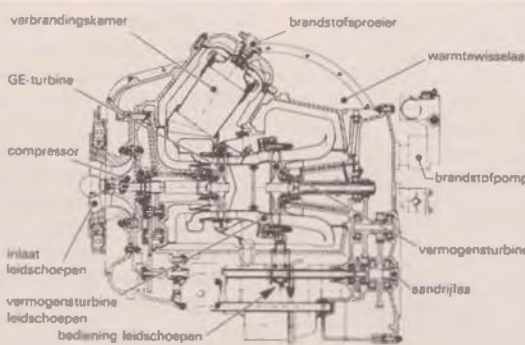
Op de dag af 20 jaar na het verlenen van het genoemde patent reed de eerste auto met gasturbine, de Rover Jet. Gezien alles wat er in de luchtvaart gebeurd was,

dacht men aan eenzelfde ontwikkeling voor het wegverkeer. In Amerika was de „pk-race“ begonnen, geld speelde geen rol, dus duurde het niet lang of de grote fabrieken bouwden de eerste gasturbine-auto's. Maar er werd onvoldoende beseft dat een gasturbine in een auto geheel anders belast wordt dan in een vliegtuig. Spoedig kwamen nadelen naar voren die er tot die tijd niet waren geweest bij het gebruik in de lucht:

- langdurige starttijd;
- slecht opnemen bij gas geven;
- geen afremmen op de motor;
- dure en lawaaierige transmissie vanaf de turbines;



Fiat 1-assige gasturbine met 2-traps centrifugaal compressor en met 3-traps axiaalturbine zonder vermogensturbine en warmtewisselaar



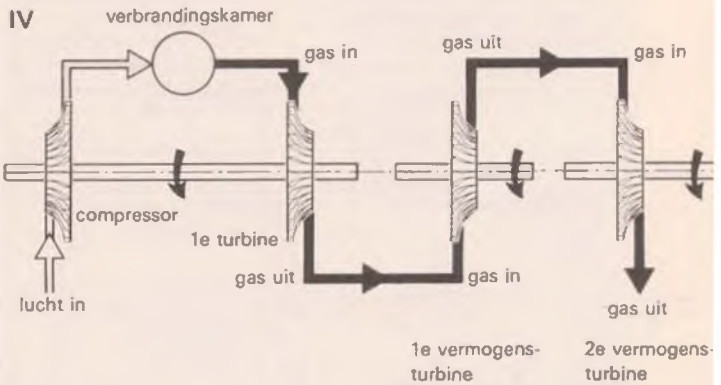
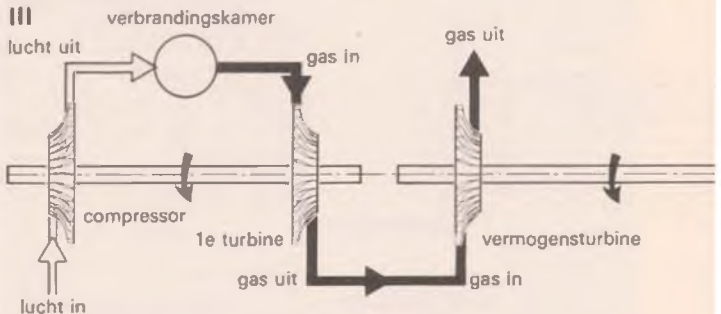
Volkswagen GT-150. 2-assige gasturbine met 1-traps centrifugaal compressor, 1-traps axiaalturbine en met vermogensturbine en warmtewisselaar

Ter verduidelijking van de werking van de verschillende gasturbinesystemen volgt hier een geïllustreerde uiteenzetting met een verklarende woordenlijst van de meest gebruikte termen.

## Gasturbines: principes en begrippen

afb. I) **Drukvolgroep (Turbo) met 1 centrifugaal compressor 1 centripetaal turbine zonder warmtewisselaar**

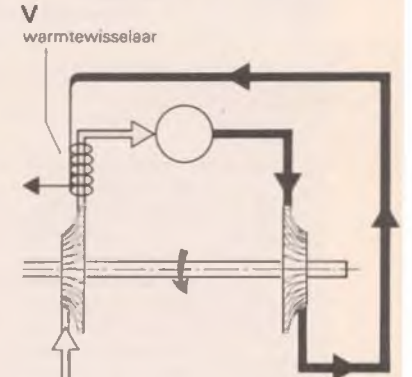
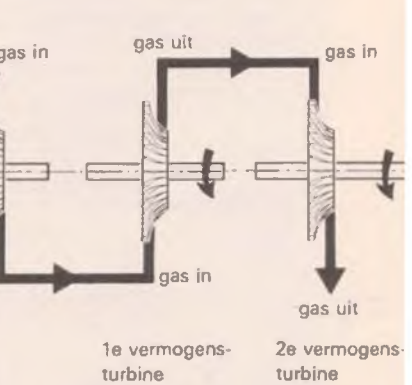
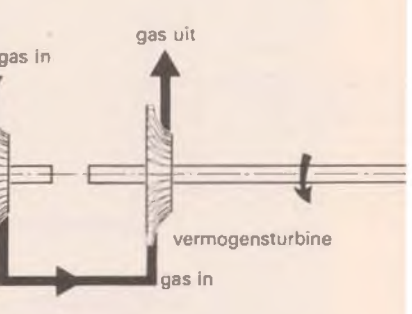
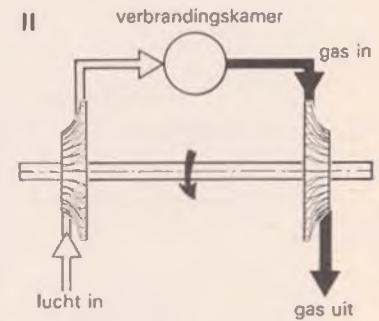
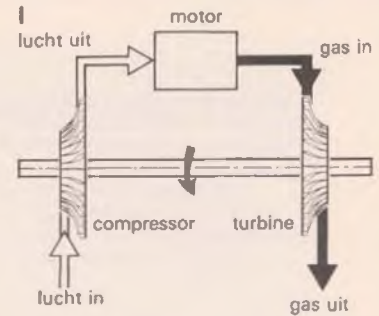
afb. II) **Eenassige gasturbine met 1 centrifugaal compressor 1 centripetaal turbine zonder warmtewisselaar**



afb. III) **Tweeassige gasturbine met 1 centrifugaal compressor 1 centripetaal turbine 1 vermogensturbine met eigen as zonder warmtewisselaar**

afb. IV) **Drieassige gasturbine met 1 centrifugaal compressor 1 centripetaal turbine 2 vermogensturbines met eigen assen zonder warmtewisselaar**

afb. V) **Eenassige gasturbine met 1 centrifugaal compressor 1 centripetaal turbine met warmtewisselaar**



1 centrifugaal compressor 1 centripetaal turbine met warmtewisselaar

**Tabel 2. Historisch overzicht**

periode en accent	belangrijke ontwikkelingen en maatregelen	wie deed wat op gasturbinegebied	topsnelheid	vermogen en verbruik
periode I nadruk op grote vermogens		1930 Frank Whittle's patent op gasturbine		
		1940 Whittle Rover vliegtuiggasturbine		
		45 Chrysler en Rover beginnen		
		49 Austin begint		90 kW 23.000/min
		1950 Rover Jet 1 Boeing vrachtwagen 1e Franse bus met gasturbine		130 kW 130 kW 135 kW 1,2% à 3%
		51 Rover	245 km/h	
		52 Socemal Gregoire		
		54 eerste metalen warmtewisselaar Fiat GM Firebird I Chrysler	250 km/h 350 km/h	220 kW 22.000/min 250 kW
		55 Boeing gasturbine racewagen Plymouth (Chrysler)		90 kW 50.000/min 1,5 bij 96 km/h
		56 Austin Renault Etoile Filante	308 km/h	200 kW 28.000/min
periode II nadruk op emissies		57 Rover T3 prototype GM Firebird II	170 km/h	90 kW 52.000/min 1,5 bij 96 km/h 145 kW
		58 Rover T3		80 kW 1,4%
		1960 Chrysler phase III		100 kW 1,5
		62 Rover T4		100 kW 1,6 à 7
		63 Chrysler 50 proefauto's (2 jr)		95 kW
		64 eerste emissie eisen Clean Air Act GM Firebird IV Rover BRM Le Mans		
		65 eerste keramische warmtewisselaar Rover BRM Le Mans GM vrachtwagen		1,5 à 6
		67 vermogens beperkende maatregelen in Indy STP gasturbine in Indianapolis		400 kW 38.000/min
		68 verscherping van de Clean Air Act STP/Lotus in Indianapolis		320 kW
		69 GM gasturbine bus		
periode III nadruk op emissies en verbruik		1970 Williams in AMC Hornet/VW		60 kW 61.000/min 1,5
		71 Ford vrachtwagen 3600 GM vrachtwagen MAN vrachtwagen Leyland vrachtwagen Chrysler A 128		370 kW 205 kW 260 kW 38.000/min 275 kW 30.000/min
		73 VW GT 70 in Variant 1600 GM Cummins MAN		55 kW 61.500/min 1,8 bij 96 km/hr
		74 Mack - KHD-Garrett(ITI) - Volvo Detroit Diesel Allison GT 404 GM GT 225		240 kW 170 kW 34.000/min 1,6 bij 80 km/h
		75 Volvo uit ITI getreden		
		76 strengere emissie-eisen		
		77 Chrysler A 926 (2e generatie)		92 kW 46.150/min
		78 MTW voor vrachtwagens United Turbine (Volvo) ITI GT 601 vrachtwagen Noel Penny Turbines		260 kW 110 kW - 75 kW 410 kW
		79 5-jarenplan in VS met 3 teams Ford Garrett AGT 101 Mercedes Benz VW GT 150 GM AGT 5		75 kW 110 kW 100 kW 85 kW 1,8 à 11
	periode IV nadruk op emissies, verbruik en kosten		81 Toyota Sport 800 en autobus	
		82		
		83		

- kostbare luchtfiltrering (alle lucht, ook de koellucht, moet zuiver zijn omdat anders de schoepen eroderen);
- (zeer) hoog brandstofverbruik bij deellast en stationair draaien;
- kostbare roterende warmtewisselaar nodig met eigen aandrijving;
- grote invloed van de inlaattemperatuur bijv. 400 kW bij 15 °C 300 kW bij 40 °C (een zuigermotor zou dan nog 384 kW leveren);
- Ondanks het feit dat het max. koppel ontwikkeld wordt bij stilstaande as (zg. „Stall Torque“) is versnellingsbak nodig.

## Voorschriften en crises

In de jaren 1950-1964 werden vele gasturbines ontwikkeld, in Amerika met grote vermogens, in Europa met wat kleinere. De firma Rover bleef wel de meest bekende en slaagde erin enkele uitvoeringen tot produktierijpheid te brengen. Deze periode werd abrupt afgesloten toen de eerste emissie-eisen vastgelegd in de zogenaamde „Clean-Air Act“ werden aangenomen in de VS.

De tweede ontwikkelingsperiode van 1965-1973 werd gekenmerkt door het beproeven van zeer krachtige gasturbines voor vrachtwagens tot 370 kW toe. Gedurende deze fase werd er met gasturbine-racewagens in Le Mans en Indianapolis aan races deelgenomen, niet zonder indrukwekkende resultaten die in Amerika zelfs tot protesten aanleiding gaven.

De derde stap, van 1974-1979 werd ingeluid door de brandstofcrisis van 1973. Voor de gasturbinefabrikanten werd het wel heel moeilijk omdat een lager verbruik alleen mogelijk is door hogere temperaturen maar dat brengt de NO<sub>x</sub> emissies op een hoger niveau. Deze hogere temperaturen geven levensduurproblemen met de keramische warmtewisselaar(s), de turbineleidschoepen en de turbineschoepen zelf.

Alsof dit alles nog niet genoeg was volgden in 1980 krachtige bezuinigingsmaatregelen die het onderzoek met rege-



ringssteun, vooral in Amerika, bijna onmogelijk maakt.

De vierde periode, vanaf 1980 dus, is nu nog aan de gang en het zal duidelijk zijn dat de eisen tot een maximum zijn opgevoerd terwijl de financiële middelen in de vorm van ontwikkelingsgelden minimaal zijn, in verhouding althans tot de overige perioden. Om een overzicht van de geschiedenis te geven, werd tabel 2 opgesteld. Deze tabel maakt geen aanspraak op volledigheid, doch laat de verschillende stadia zien. Waar het echte brandstofverbruik bekend was is dit vermeld. Gedurende periode 1 werden enkele snelheidsrecords met gasturbine-auto's gevestigd, de bereikte snelheden zijn niet gering. Waar het gemeten brandstofverbruik bekend was, is dit vermeld. Het toepassen van de roterende warmtewisselaar halveerde het verbruik, maar verder daalde het niet tot de vierde periode aanbrak. De vermelde vermogens hebben betrekking op het beschikbare vermogen aan de uitgaande as terwijl de toerentallen slaan op die van de vermogensturbine welke zo'n 8 à 10 x sneller draait dan de uitgaande as.

### Waarom geen serieproductie?

Om die vraag te kunnen beantwoorden is het niet voldoende om de lijst met voordelen te bekijken. Zoals reeds is opgemerkt traden er onvoorziene situaties op die de ontwikkeling tot drie keer toe van richting deden veranderen. Maar er is nog een andere invloed. Het „dank u wel“-effect. Dit ontstaat als de concurrentie dankbaar gebruik maakt van de ontwikkelingsresultaten die vaak met veel moeite en geld bereikt zijn. Bij de ontwikkeling van hittebestendige metalen voor de turbineschoepen werden geweldige bedragen uitgegeven. Speciale legeringen werden beproefd en tenslotte bleek dat de zgn. Nimonic's zeer goede resultaten gaven. De temperatuur kon omhoog, het brandstofverbruik daalde maar de fabrikanten van uitlaatkleppen maakten uiteraard gebruik van dit nieuwe

materiaal en het „dank u wel“-effect trad op want het voordeel dat behaald leek, was op slag verdwenen.

Hetzelfde lijkt weer te gaan gebeuren met de ontwikkeling van keramische onderdelen, heel veel geld wordt gestoken in turbineonderdelen. Zelfs hele schoepenkransen van dit buitengewoon hittebestendige materiaal. Wie gaat er dan straks gebruik van maken? De fabrikanten van drukvulgroepen! Zij kunnen dan kleinere, goedkopere turbo's leveren waardoor diesel- en benzinemotoren hun vermogen bij lagere toerentallen leveren en het opnemen bij accelereren aanzienlijk kunnen verbeteren. Bovendien, als er met de kwetsbare keramische onderdelen wat gebeurt is slechts de turbo defect en niet de gehele motor zoals bij de gasturbine het geval zou zijn. Samengevat zijn het dus de volgende factoren die de productie hebben verhinderd:

- enkele van de nadelen wogen zwaarder dan werd gedacht, met name het hoge brandstofverbruik en de hoge fabricagekosten;
- de zuigermotorontwikkeling is sneller gegaan dan verwacht, de huidige motoren zijn goedkoop te maken, zijn vrijwel trillingsvrij, geruisarm en hebben een lange levensduur terwijl het onderhoud steeds minder wordt. De voordelen van de gasturbine zijn dus niet meer zo groot als in het verleden;
- er zijn onvoorziene gebeurtenissen geweest, die de ontwikkeling enkele malen radicaal van koers hebben doen veranderen. De „pk-race“ is nu een „zuinigheidswedstrijd“ met emissie- en kostprijvoorschriften geworden. De vermogens voor auto's worden lager hetgeen niet gunstig is voor gasturbines, deze motoren zijn en blijven vooral geschikt voor grote vermogens die continu worden geleverd zoals bij vliegtuigen en elektriciteitscentrales het geval is.

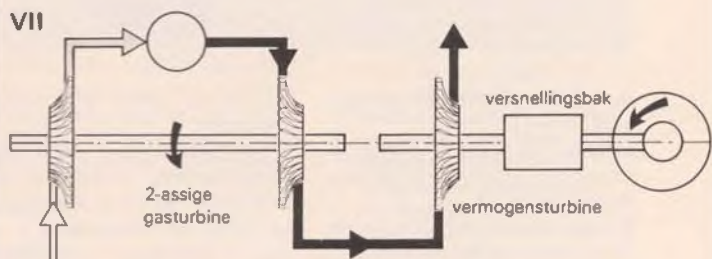
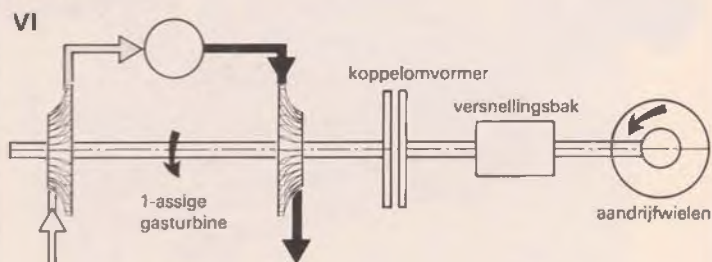
### Waar staan wij anno 1982?

Wij kunnen ook de vraag stellen: waarom gaat de ontwikkeling door? Kennelijk omdat er voordelen zijn die vroeg of

## Transmissievormen

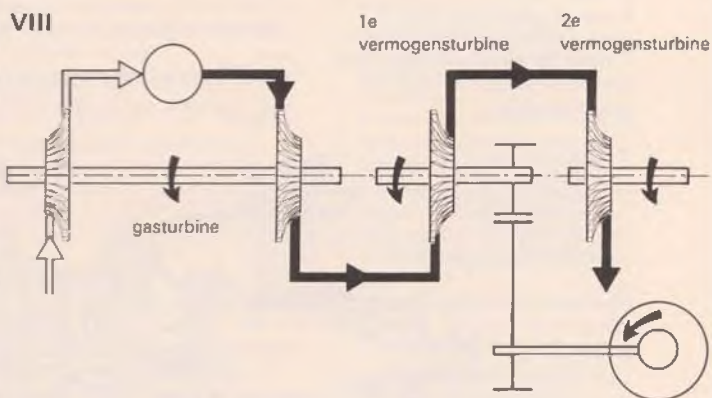
afb. VI) **Eenassige gasturbine met koppelvormer en versnellingsbak.** Omdat de gasturbine zeer eenvoudig is, is dit systeem aantrekkelijk om toe te passen. In de koppelvormer treedt veel verlies op, voor een vlotte acceleratie is ook nog een

versnellingsbak nodig, het liefst een automaat. In deze richting wordt nu gezocht door Garrett/Ford. Dus: eenvoudige gasturbine, ingewikkelde transmissie; precies het omgekeerde van het Kronogard systeem.



afb. VII) **Tweeassige gasturbine met vermogensturbine en versnellingsbak.** Hierbij werkt de vermogensturbine als slipelement. Aangezien de

eigenlijke gasturbine vrij ronddraait (free-turbine) reageert dit systeem sneller op belastingswisselingen. Het is het meest toegepaste systeem.



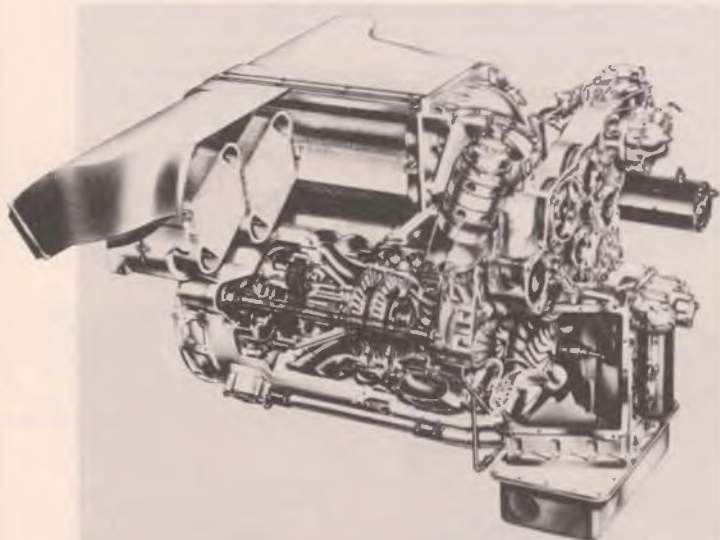
afb. VIII) **Drieassige gasturbine met 2 vermogensturbinen.** Hierbij zijn verschillende schema's denkbaar. Bij de Kronogard KTT uitvoering wordt de eerste vermogensturbine gebruikt voor de aandrijving zoals bij de tweeassige gasturbine. De 2e vermogensturbine drijft alle hulpapparaten aan zowel die bij de motor horen als die bij de auto

(bijv. airconditioningpomp). Ook is deze turbine verbonden met de gasturbine zelf en met de uitgaande as van de 1e vermogensturbine. Dit gebeurt via een ingewikkeld planetair tandwielstelsel. Het voordeel van dit systeem zit in het binnen houden van de koppelvormerverliezen die in de eerste vermogensturbine



## ITI GT 601.

2-assige gasturbine met 2-traps centrifugaalcompressor, 1-traps centripetaalturbine met warmtewisselaar en 2-traps axiaalvermogensturbine met verstelbare statorschoepen



laat de doorslag kunnen geven.

Enkele concrete oorzaken voor het uitstellen van de productie zitten in:

- opgetreden scheurvorming in de keramische warmtewisselaar;
- kostbare verstelling van de turbineleidschoepen, dit is nodig om het brandstofverbruik bij deellast te drukken

## ITI AGT 101.

1-assige gasturbine met 1-traps centrifugaalcompressor, 1-traps centripetaalturbine met warmtewisselaar zonder vermogensturbine

en op de motor te kunnen remmen;

- problemen met de turbineaslagering, vooral na het stilzetten liep de temperatuur te hoog op („heat-soak“), er zijn nu gaslagers in ontwikkeling;
- de temperatuurbewaking en -regeling van alle hete delen is gecompliceerd, dus duur;
- de bij grote vliegtuigturbines toegepaste schoepkoeling door middel van holle of poreuze schoepen is niet uitvoerbaar bij deze kleine turbines;
- de keramische bekleding van de hete delen geeft problemen, evenals de keramische onderdelen zelf, bij motoren voor wegtractie treden zeer snelle belastingswisselingen op;

**Tabel 3. Huidige ontwikkeling in de gasturbine-industrie:**

Organisatie	Bezigheid
GM Technisch Centrum	Automobielmotortecnologie, verschillende gasturbine typen, poederkoolproeven
GM Detroit Diesel Allison	Verschiedene typen gasturbines, ook praktijkbeproeving
Caterpillar/Solar International	Gasturbines o.a. voor wegtractie
Garrett/Ford/KHD	Verdere ontwikkeling van 450 kW vrachtwagenmotor GT 601
Daimler-Benz	Gasturbine voor (luke) automobielen
Toyota	Gasturbine gecombineerd met elektr. aandrijving voor sportwagen, 110 kW busmotor, keramische onderdelen
Garrett/Ford	Ontwikkeling AGT 101 75 kW automotor
Nissan	Toepassing van keramiek in personenwagenmotoren
Mitsubishi	Ontwikkeling vrachtwagenmotor
Volkswagen	Keramiek voor turbines en turbo's
Williams International	Ontwikkeling van onderdelen voor hoge temperaturen
Noël Penny Turbines Ltd	Motoren voor automobielen
United Turbine/Volvo	Motoren voor automobielen

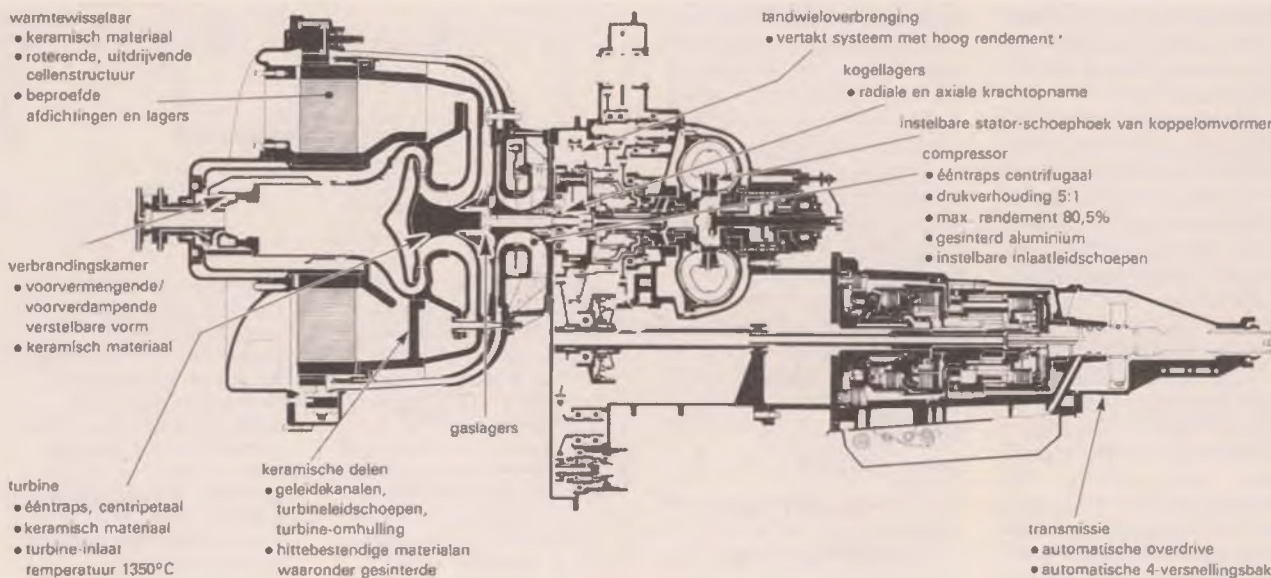
blemen, evenals de keramische onderdelen zelf, bij motoren voor wegtractie treden zeer snelle belastingswisselingen op;

- terwijl de gasturbine steeds gecompliceerder wordt, worden de zuigermotoren steeds eenvoudiger, productie-technisch gesproken;
  - de kosten van de primaire transmissie zijn zeer hoog vooral nu de geluidseisen strenger worden.
- De lopende studies op turbinegebied hebben betrekking op de gehele aandrijving binnen het raamwerk van emissies, verbruik, betrouwbaarheid, levensduur, aanschaf-

en onderhoudskosten, vermogen, lawaai en veiligheid. Tot zover liggen de zaken gelijk met de zuigermotorontwikkeling.

Er is echter nog een punt: welke brandstof, en tegen welke prijs, is over enkele jaren voor het wegverkeer verkrijgbaar? Deze vraag moet wereldwijd worden gesteld, want vooral de auto's worden gebouwd voor een wereldmarkt terwijl de vrachtwagenfabrikanten zich ook steeds verder aaneensluiten.

De gasturbine heeft het grote voordeel dat de brandstofkwaliteit nauwelijks invloed heeft op de prestaties, slechts





aan de zuiverheid en het ontbreken van zware metalen worden voorwaarden gesteld. Het komt er dus op neer dat dit type motor zonder bezwaar kan draaien op alle soorten benzine (benzine met laag loodgehalte), dieseloliën (geen „zware“ oliën omdat deze o.a. vanadium bevatten). Er worden zelfs proeven genomen met poederkool (door GM) en alcoholen. Weliswaar kan er niet het ene moment benzine en het andere moment dieselolie worden getankt zonder bijzondere voorzieningen aan het gehele brandstofsysteem, het gaat erom dat als er een motor bestaat die ongevoelig is voor het soort brandstof dan is er een zeer onzekere factor minder, nl. welke brandstof er straks ook verkrijgbaar is, de gasturbine kan er op draaien.

## En het onderhoud?

Het onderhoud van gasturbines beperkt zich tot de volgende aspecten:

- Filters: zowel aan het luchtfilter als aan het oliefilter worden aanzienlijk hogere eisen gesteld dan bij de andere motoren. Alleen de dieselbrandstoffilters benaderen dezelfde hoge eisen. (De brandstoffilters stellen geen bijzondere eisen).

Luchtlekken in het aanzuigstelsel zullen funeste gevolgen hebben voor de schoepvorm, vuile filters hebben sterke invloed op het vermogen omdat ook de koelluchtstroom afneemt.

De turbinelagers hebben zeer kleine spelingen waardoor aan de oliefiltrering zeer hoge eisen worden gesteld, een sneldraaiend centrifugaalfilter zal als extra wel gemonsteerd worden.

De nieuwste turbinelagers zijn zelfs gaslagers die buitengewoon hoge eisen stellen. Door de zeer hoge temperaturen zijn kostbare synthetische smeeroliën nodig die echter een lange levensduur hebben. Eén fabrikant noemt slechts een verbruik van 1 l op 75.000 km. Net als bij automatische transmissies wordt er kennelijk niet ververst.

- Brandstofinspuitsysteem: omdat dit in het gebruik continu werkt zullen er weinig onderhoudswerkzaamheden

De VW-gasturbine vult de motorruimte van de als proefwagen dienende NSU Ro 80 geheel op



Keramische componenten van de VW-gasturbine GT-150.



zijn. Alleen bij veelvuldig starten zijn problemen te verwachten.

- Ontstekingsstelsel: daarvoor geldt hetzelfde als voor het bovenstaande. De toegepaste systemen zijn vol-elektronisch. Samenvattend: als er niet te vaak gestart en gestopt wordt, zal de motor weinig vervuilen en zal het onderhoud beperkt blijven tot de lucht- en oliefilters.

## Welke problemen tracht men op dit moment op te lossen?

Er zijn vier gebieden waarop onderzoek wordt gepleegd:

- Aerodynamische verbeteringen van de kleine compressor en turbinewielen, de kennis komt direct ten goede aan de „turbo“ fabrikanten, het „dank u wel“-effect. Het gaat hierbij om schoepvormen, gasstroomgeleiding, toleranties, verbrandingskamers.

- Mechanische verbeteringen aan de gehele overbrenging zowel in de gasturbine zelf als de rest van de transmissie. Een voorbeeld hiervan is de Kronogard ontwikkeling van de drie-assige gasturbine. Zie het artikel hierover in het AMT no. 2 van 1982 (foto 16). Tot dit punt mogen ook de acceleratie-respons en het remmend vermogen worden genoemd (foto 20).

- Fabricagetechnieken zowel

van de thermisch zeer hoog belaste lagers alsook van de schoepen (of complete schoepwiel) en andere onderdelen waarmee tot op heden geen ervaring is opgedaan bij massa-fabricage.

- Thermische verbeteringen teneinde hogere temperaturen langdurig te kunnen toelaten. Dat is de voorwaarde om een laag verbruik te halen. Zoals gezegd zullen de zuigermotorfabrikanten bij de materiaalleverancier over de schouder meekijken en de resultaten graag gebruiken. Welke firma's bezig zijn en waarom ziet u in tabel 3.

## De toekomst

Dit hangt af van twee zaken: puur technisch en politiek-economisch.

Wat het eerste punt betreft zullen wij in 1984 meer weten want dan loopt het 5-jarenproject af in de VS; dit project wordt door drie teams uitgevoerd: GM, Ford en Chrysler.

### Literatuuropgave:

- AMT no. 2 1982, blz. 34 Drie-as gasturbine van Kronogard (D. Schornagel)

- AMT no. 7 1982, blz. 40 Turbine-trucks op tournee (P.C. Wieman)

- Road and Track 1971 The Gas Turbine (Ron Wakefield)

- Car Life juni 1961, blz. 50

Turbines: when?

- Automobil Revue 30 april 1982, blz. 2

Wann kommt das Gasturbineauto? (Olaf von Fersen)

- Autocar 27 juli 1967 blz. 49 Indy „rule-out“ Turbines (Innes Ireland)

- Quattro Route aug. 1968 blz. 63

La Turbine bella Fiat

- Mechanical Engineering april 1982 blz. 26

Gas Turbines Automotive Application (Robert A. Harmon)

- Mechanical Engineering mei 1978 blz. 41

ASME Gas Turbine Division

- ATZ deel 38 (1977) 5 blz. 200 deel 2 (1977) 7/8 blz. 337

Die Entwicklung den Gasturbinen kleiner Leistung mit regenerativen Wärmetauschen in der M.T.U. (Dr. ing. W. Heilmann und Dipl. Ing. K. Hagemester)

- Society Automotive Engineers Ltd.

Advances Gas Turbine Systems for Automobiles (ISBN 0-89883-236-5 SP-465)

optreden. Het verbruik zal dan dalen ook omdat er geen versnellingsbak nodig is. Daar staat tegenover dat het gasturbinesysteem zeer ingewikkeld is, vooral als er ook nog leidschoepen worden toegepast. Dit systeem is dus het tegenovergestelde van dat van Garrett/Ford.

## Begrippen

**centrifugaal compressor:** een schoepwiel waar koude lucht in het hart binnenkomt en aan de omtrek uittreedt.

**centripetaal turbine:** een schoepwiel waar hete gassen aan de omtrek binnenkomen en in het hart uittreeden.

**warmtewisselaar:** een apparaat dat de uitlaatgassen vanaf de turbine gebruikt om de lucht die uit de compressor komt op te warmen. De gebruikelijke uitvoering bestaat uit een langzaam ronddraaiende schijf.

**axiaal turbine:** turbine waarbij het gas in axiale richting stroomt.

**verbrandingskamer:** dubbelwandige, eenzijdig afgesloten pijp waarin continu brandstof wordt gespoten.

Alleen bij het starten wordt de brandstof met een bougie ontstoken.

De kamer is dubbelwandig omdat zo een deel van de lucht als koellucht kan optreden.

**vermogensturbine:** turbine die zorgt voor de aandrijving van het voertuig.

**keramiek:** aardewerkachtig materiaal dat zeer hoge temperaturen kan verdragen, doch slecht tegen mechanische en thermische schokken bestand is. Het is hard en bros.

**verstelbare leidschoepen:** deze in het huis bevestigde schoepen richten het gas zodat het onder de juiste hoek op de roterende schoepen komt. Als deze schoepen om hun lengte-as draaibaar worden uitgevoerd, is de stroming over een groter gebied in te stellen. Bovendien kan een zelfremmend effect worden verkregen. Meestal zijn de leidschoepen voor de eerste turbine verstelbaar, maar het kan ook bij de overige turbines en zelfs voor de compressor inlaat worden toegepast.