

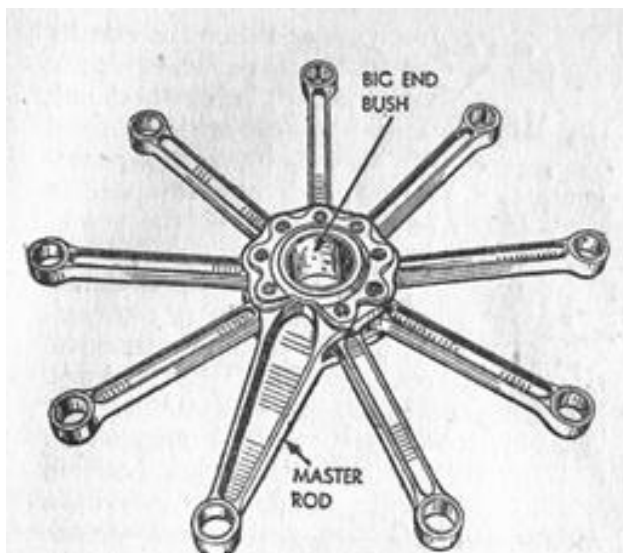


De schuivenmotor

De schuivenmotor (of in het Engels Sleeve Valve Engine) is een motor die geen kleppen heeft, maar schuivende busen tussen cilinderwand en zuiger. Het type is in de Tweede Wereldoorlog en in de jaren daarvoor vooral gebruikt door de Britten. De bekendste bouwers waren Bristol en Napier.

Er zijn goed beschouwd slechts twee soorten vliegtuig zuigermotoren. Ten eerste lijnmotoren van meestal 4 tot 6 cilinders lang, vergelijkbaar met automotoren. Lijnmotoren met twee rijen cilinders onder een hoek vormen een V motor. Twee V motoren die één krukas delen vormen een X motor. En als bij een V motor de hoek tussen de rijen cilinders 180 graden bedraagt, spreken we van een platte motor (en dat hoeft niet noodzakelijk een boxermotor te zijn). Twee platte motoren boven elkaar vormen een H motor.

Verreweg de meeste van deze motoren zijn vloeistof gekoeld, meestal met een mengsel van water en glycol. Ze hebben een klein frontaal oppervlak, wat gunstig is voor de stroomlijn en de luchtweerstand van het vliegtuig waarin ze gemonteerd zijn. Ze worden vooral in snelle vliegtuigen toegepast.



De andere groep wordt gevormd door de sternmotoren. Alle cilinders staan in hetzelfde vlak en ze hebben een gezamenlijke krukas. Ze zijn daardoor korter gebouwd en er is minder materiaal voor nodig, wat resulteert in een lichtere motor. Er is altijd één hoofd zuigerstang, de andere zuigerstangen zijn daarmee verbonden. Ik hoor de lezer al denken: hoe krijgt men die hoofdzuigerstang op de krukas? Nou, die krukas is deelbaar door een schroefdraad aan het *big end* en in een van de krukwingen -en natuurlijk goed geborgd.

Verreweg de meeste sternmotoren zijn luchtgekoeld, maar vloeistof koeling werd soms ook gebruikt.

Op het eerste gezicht zie je bij een sternmotor alleen maar cilinders. Nokkenassen ontbreken, want de kleppen worden bediend door nokkenschijven. Door die schijven op een lagere snelheid te laten draaien en bovendien tegengesteld aan de krukas, zijn vier nokken voldoende om 9 cilinders te bedienen.

Een nadeel van een sternmotor is het grote frontale oppervlak en dus een grote luchtweerstand. Aanvankelijk werden sternmotoren dan ook alleen voor langzame vliegtuigen gebruikt. Maar in de jaren '30 verandert dat door gebruik te maken van NACA kappen, zoals de bekende Dakota ook heeft. De koellucht wordt langs de motor en om de kap geleid.

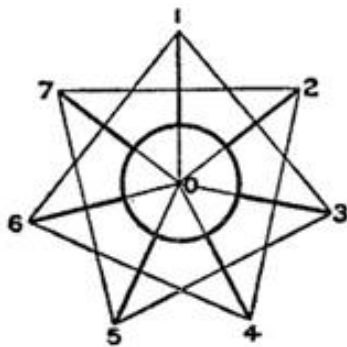


Luchtwervelingen worden onschadelijk gemaakt. Als bonus verlaat de verwarmde lucht de NACA kap aan de achterzijde, die zodoende ook nog enige stuwkracht levert.

Aan het einde van de Tweede Wereldoorlog vlogen er ook heel snelle jagers met een steromotor.

De keuze voor een watergekoelde of een luchtgekoelde is vaak een persoonlijke. Roy Fedden, de hoofdontwerper van de Britse vliegtuigmotoren van de motoren- en vliegtuigfabriek Bristol was al in de Eerste Wereldoorlog een tegenstander van vloeistofgekoelde motoren vanwege de lekkages. Dus hij ontwierp alleen luchtgekoelde steromotoren. Andere fabrieken zweerden bij vloeistofgekoelde lijnmotoren.

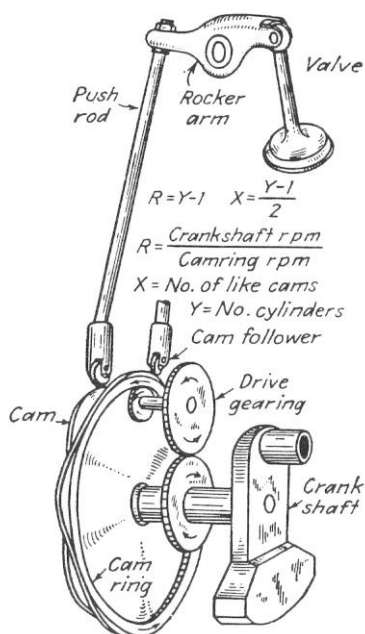
stermotor



Schuivenmotoren zijn ook steromotoren. Stermotoren hebben altijd een oneven aantal cilinders. De ontstekingsvolgorde is bij een 7 cilinder steromotor zoals op de tekening en die is gezien vanuit de piloot, dus van achter. In dit voorbeeld eerst nummer 1, de bovenste cilinder en dan vervolgens 3 – 5 – 7 – 2 – 4 – 6. Daar doet de motor twee omwentelingen over.

Tijdens de eerste omwenteling ontsteken de cilinders 1 – 3 – 5 en 7, tijdens de tweede de cilinders 2 – 4 en 6. Hierdoor loopt de motor goed en met de minste trillingen. Er gebeurt nog iets bijzonders. Als cilinder 1 ontsteekt, dus de arbeidsslag maakt, is cilinder 3 aan zijn compressieslag bezig. Die beweging wordt zodoende via de krukas heel vloeiend op de

comprimerende zuiger overgebracht. Er zijn ook stermotoren met 14 of 18 cilinders. In dat geval is er sprake van twee kranen met elk 7 of 9 cilinders. En waarom bijvoorbeeld geen 10 cilinders in een enkele steromotor? Dat werkt niet omdat er op elke omwenteling een ontstekingsmoment overgeslagen moet worden, dus gelijkmatige ontstekingsmomenten zijn niet mogelijk.



kleppen

Net als bij automotoren worden in de luchtvaart ook schotelkleppen gebruikt. Die krijgen het flink te verduren. Elke klep slaat bij 3000 toeren per minuut 25 maal per seconde op de klepzitting. Dat is een ring die in de cilinderkop is gekrompen en van het bijna onverwoestbare *stellite* is gemaakt. Kleppen moeten goed afdichten en een hoge druk kunnen weerstaan, want tijdens de ontbranding staat er op een klep met een middellijn van 51 mm (2 inch) een druk van bijna 1600 kg. Verder moeten ze een zo klein mogelijke



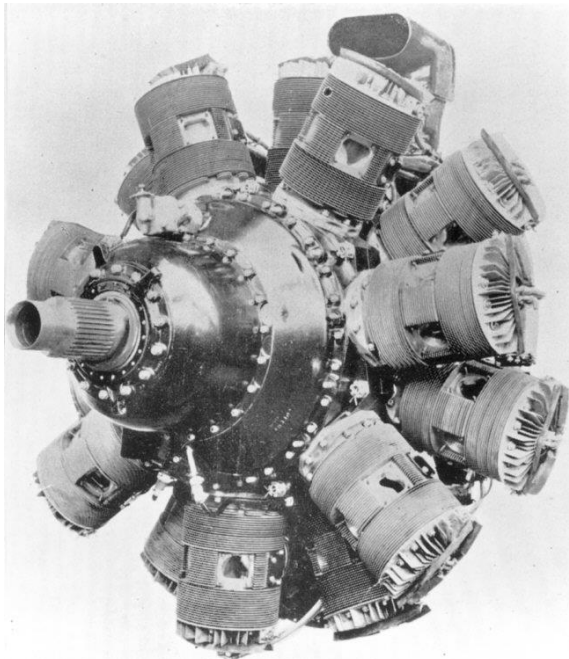
belemmering vormen voor de in- en uitstromende gassen.

En dan de temperaturen... De inlaatklep, die nog gekoeld wordt door het aangezogen benzine-lucht mengsel bereikt toch een temperatuur van ongeveer 320 graden aan de rand tot 440 graden in het midden.

De uitlaatklep wordt zelfs helder rood. Een goede koeling van die klep is heel belangrijk, want de hitte kan het mengsel in de cilinder vroegtijdig ontsteken (detonatie). Via de klepsteel geleider en de zitting wordt de warmte afgevoerd naar de cilinderkop. Zwaarbelaste uitlaatkleppen worden vaak gekoeld doordat de holle klepsteel en de schotel zelf gevuld zijn met natrium. Dat smelt op zeker moment, begint heen en weer te klotsen en geleid warmte vervolgens honderd maal beter dan bijvoorbeeld water. Een uitlaatklep van een grote motor zoals de Wright R-3350 (uit de Constellation en Superconstellation) is gevuld met 8 ml natrium.

Zoals reeds vermeld, worden de kleppen aangedreven door een nokkenschijf. Om slijtage te verminderen rollen de uiteinden van de klepstoters over de nokkenschijf, zoals in de tekening hiervoor is te zien. Ook de vertraging van de nokkenschijfbediening is duidelijk te zien. De klepstoters bij een steromotor zijn vrij lang en bij de meeste stermotoren heel duidelijk zichtbaar. Vaak is er een speciale voorziening om het uitzetten van de cilinder te compenseren, om zodoende toch dezelfde klepspelings te kunnen aanhouden.

Voor een goede doorstroming van gassen werden er al vrij vroeg vier kleppen per cilinder gebruikt. Twee voor de inlaat en twee voor de uitlaat. Bristol maakte talloze motoren op deze manier, net zoals veel andere fabrieken. Roy Fedden liep op zeker moment tegen een



probleem aan dat ook andere motorenfabrieken inmiddels kenden. De motoren moesten steeds sterker worden en langzamerhand werd het duidelijk dat een steromotor met één rij cilinders spoedig niet meer genoeg zou zijn. Kun je dan niet de cilinders wat groter maken? Dat zou kunnen, maar de diameter van de motor -en dus het frontaal oppervlak wordt ook groter. Maar is nog een probleem bij grote cilinders en dat is het vlamfront. In de cilinder vindt een verbranding plaats. Het vlamfront beweegt zich voort met een snelheid van 60 tot 90 meter per seconde. Dat lijkt snel, maar bij een snelheid van 3000 omwentelingen per seconde krijgt het mengsel bijvoorbeeld maar 1/1000 seconde de tijd om alle energie vrij te geven. Zelfs de verplichte twee bougies per cilinder bieden hier geen soelaas. Dit beperkt de cilinder diameter tot ongeveer 150 mm.

In de praktijk moet men dus meer dan één ring cilinders gebruiken. Twee werd heel gangbaar, maar stermotoren met vier rijen cilinders kwamen ook voor. De cilinders zijn luchtgekoeld, dus moeten ze zo geplaatst worden de koellucht ook de achterste cilinders kan bereiken. (op de foto de Bristol Hercules)

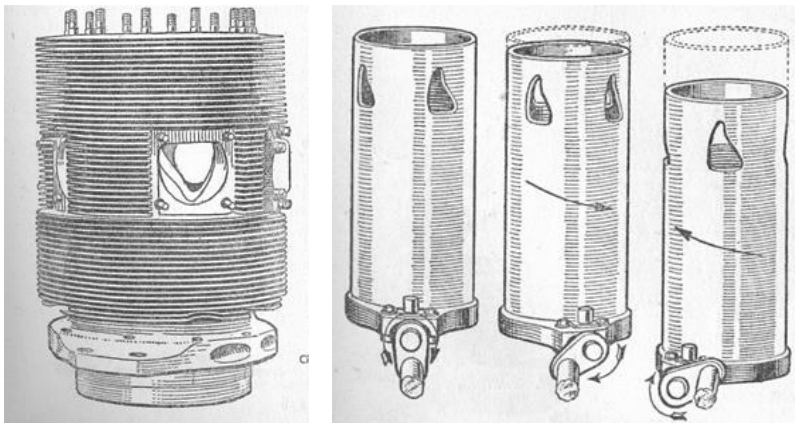


schuiven

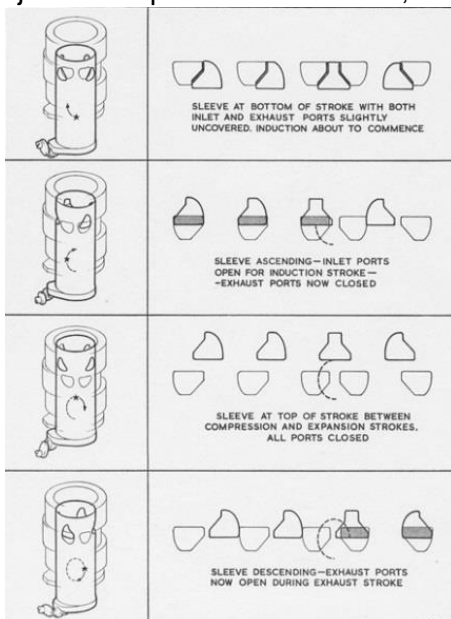
Dat is eigenlijk een vreemde vertaling naar het Nederlands, want de Engelse term is *sleeve valve*. "Sleeve" wordt vertaald als huls, bus of manchet, een ronde vorm die zich in of over een andere ronde vorm beweegt.

Roy Fedden voorzag problemen bij het bedienen van dubbele kleppen in de achterste rij cilinders. En dan was er nog de Engelsman (Sir) Harry Ricardo, een autoriteit op het gebied van verbrandingsmotoren, die in 1922 voorspelde dat het onmogelijk zou zijn om met kleppen motoren van meer dan 1500 pk te produceren, vanwege de kleppen. De keuze voor schuiven zou een betere zijn. In de auto-industrie werd al op kleine schaal van schuivenmotoren gebruikt gemaakt, waarbij de kleppen werden gevormd door twee bussen die over elkaar schoven, heel knap voor die tijd.

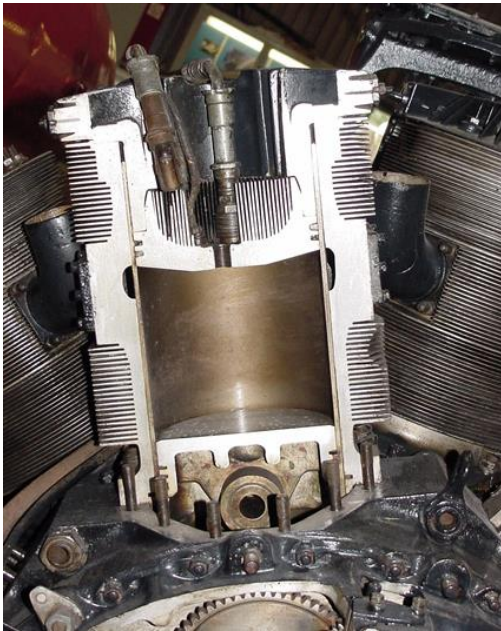
De Engelsen Burt en McCollum bedachten een systeem met één schuif, de *mono sleeve*. Dit idee werd door Fedden geperfectioneerd, maar als hij geweten had hoeveel moeite, tijd, geld en onderzoek dit zou vergen had hij zich nog wel bedacht.



Bij een Bristol schuivenmotor zijn er drie inlaatpoorten aan de achterkant van de cilinder. Een inlaatspruitstuk verdeelt het gasmengsel over die drie poorten. Vooraan de cilinder zijn twee uitlaatpoorten, die elk apart door een buis met een ringvormige uitlaat verbonden zijn. Die ring zit voor aan de motorgondel en wordt door de luchtstroom gekoeld en werkt daardoor als geluiddemper. De bus van de schuif heeft echter maar vier openingen. Drie openingen lijken iets op een smurfenmuts, maar de vierde lijkt op een omgekeerde trechter. Die poort functioneert zowel als inlaat- en uitlaatopening.



Elke schuif wordt door een krukje bewogen. Daardoor beweegt de bus niet alleen op en neer, maar maakt ook een draaiende beweging. Zoiets wordt een stuk duidelijker in een animatie. Via de link aan het eind van dit artikel zijn enkele animaties te zien. Elke kruk wordt via tandwielen aangedreven, die zich vooraan de motor bevinden, dus aan de propellerzijde.



Op deze foto is duidelijk de bus te zien tussen cilinder en zuiger. De cilinderkop is verdiept ingebouwd. De bougies zitten op de meest ideale plaats en we zien ook dat de ronde schuif bovenaan geleid wordt door de cilinderkop.

Er zijn nog andere voordelen, zoals grote poortopeningen, een detonatievrije ontbranding, lagere temperaturen van cilinder en zuiger en een stillere motor, omdat het geratel van schotelkleppen ontbreekt. Bovendien kunnen de in- en uitlaatgassen optimaal in en uit de cilinder stromen en zijn hogere compressieverhoudingen mogelijk.

Nadelen zijn de afdichting (die is nooit optimaal), het relatief trage openen en sluiten van de openingen en het olieverbbruik. Maar het systeem heeft wel veel minder onderdelen, zoals de volgende foto laat zien. Links van de streep de schuivenmotor en rechts de cilinder met schotelkleppen.



problemen

De eerste schuivenmotor van Bristol was de Perseus, een negen cilinder motor uit 1932 die aanvankelijk 638 pk leverde. Maar het was nog niet een product voor massaproductie. Elke schuif werd met de hand gemaakt en wel zodanig dat hij zowel om de zuiger als in de cilinder paste. Het grote probleem was namelijk dat het heel moeilijk was om de schuiven zuiver rond te krijgen. Uiteindelijk bleek dat centrifugaal gieten en een speciale manier van afwerken foutloze schuiven opleverde, net op tijd voor de Tweede Wereldoorlog, die



sommigen al in 1935 zagen aankomen. Bristol heeft uiteindelijk anderhalf miljoen van die schuiven geproduceerd.

Om de beste materialen voor de schuiven te vinden zijn er duizenden legeringen getest. Het onderzoek bij Bristol slokte veel geld op en de fabriek raakte bijna failliet, zodat het Ministerie van Luchtvaart uiteindelijk financieel bijspong.

Alle inspanningen bij Bristol hebben echter wel een heel mooie en stille motor opgeleverd, prachtig ontworpen en gebouwd en bovendien betrouwbaar. Uiteindelijk bleek de bewering van Harry Ricardo nonsens, want de grote Amerikaanse fabrieken Pratt & Whitney en Wright bewezen in 1937 al dat je met de nieuwe materialen, natrium gekoelde kleppen en allerlei verbeteringen een heel krachtige motor -in de orde van 2200 pk- kon maken met slechts twee grote kleppen per cilinder.

In 1934 kwam Bristol met de *Aquila* schuivenmotor, gevolgd door de *Hercules*, met 14 cilinders in twee kransen. Die Hercules werd voornamelijk gebruikt in de Britse bommenwerpers. Er zijn er vanaf 1936 ruim 57.000 gebouwd. Deze motor werd opgevolgd door de 18 cilinder Centaurus van 3000 pk.

Napier Sabre



bijschrift: de Napier Sabre III

Dit is de enige andere schuivenmotor die in grote aantallen is gebouwd.

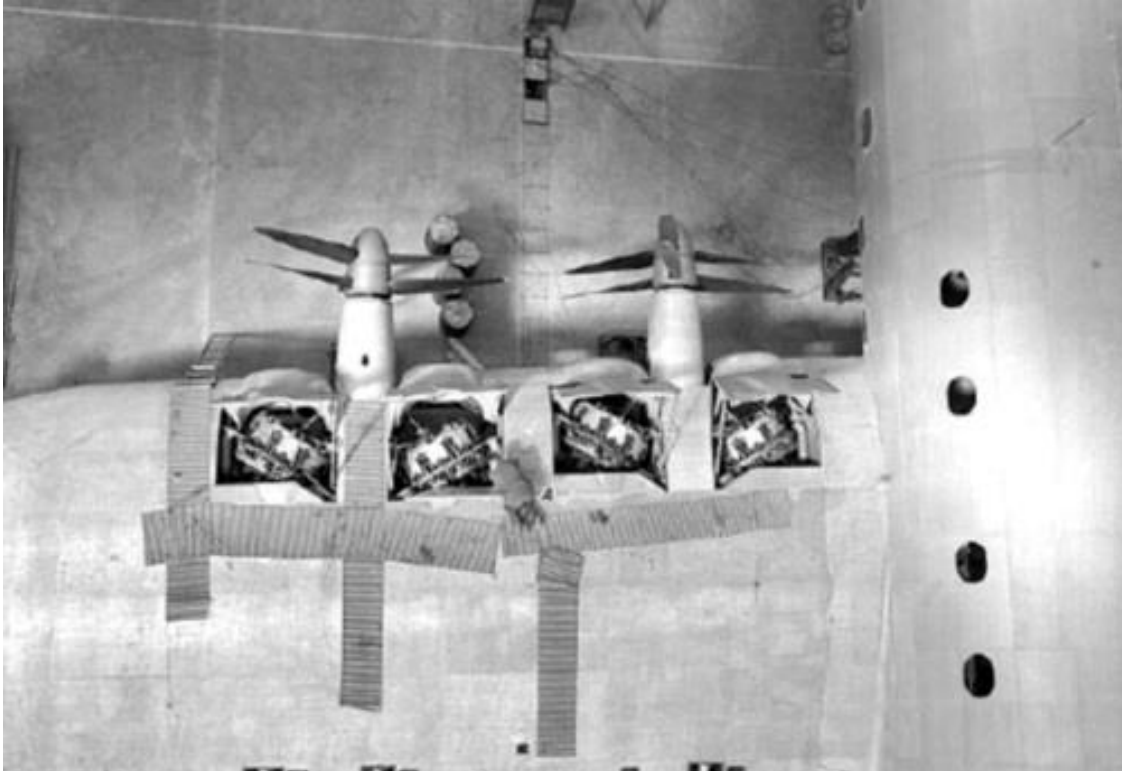
Frank Halford was een getalenteerd freelance ontwerper die aanvankelijk motoren voor *De Havilland* ontwierp, zoals de "Gipsy" serie. Hij ontwikkelde later voor de firma *Napier* de *Sabre* motor. Dat is een 24 cilinder H motor, die in feite bestaat uit twee op elkaar staande platte 12 cilinder motoren die beide de centrale propeller as aandrijven. Het grote probleem voor Frank was hetzelfde als waarvoor Roy Fedden zich zag geplaatst. De op zich prima motoren liepen vast doordat ook hij de schuiven niet zuiver rond kon krijgen. Dit veroorzaakte plekken die niet gesmeerd konden worden met als gevolg vervorming en daardoor vastlopers. De vereiste precisie wat betreft het zuiver rond maken van de schuif bedroeg ongeveer 0.025 mm.

Uiteindelijk kwam er hulp van Bristol. Hun Hercules schuiven hadden al dezelfde diameter als die voor de Napier Sabre, zij het dat die motor een kortere slag had, dus men hoefde de schuiven alleen maar in te korten. Later had Napier zelf de benodigde middelen om de schuiven net zo rond te maken als Bristol. De late Napiers leverden 3500 pk bij het relatief hoge toerental van 3850.



De motoren werden vooral gebruikt in de laagvliegende *Hawker Typhoon* en *Tempest* jagers, die aan het eind van de oorlog boven Duits bezet gebied raketten afschoten op alles wat bewoog. Uitgaand van deze twee vliegtuigen, moeten er meer dan 5000 Sabre motoren gebouwd zijn. Het voorbeeld van de schuivenmotor kreeg verder nauwelijks navolging.

het einde van een tijdperk



bijschrift: Bristol Brabazon met twee Bristol Centaurus motoren per propeller unit

Snellere vliegtuigen, maar vooral grotere, maakten sterkere motoren noodzakelijk. De Amerikaanse Boeing B-29 bommenwerper vloog met de uiteindelijk 3700 pk sterke 18 cilinder Wright R-3350 Turbo Compound motoren. Drie turbines in de uitlaten haalden bij de start tot zo'n 550 pk uit de uitlaatgassen. Via vloeistof koppelingen werd die kracht aan de krukas toegevoegd. De beroemde Lockheed Super Constellation vloog met dezelfde motoren, zij het iets minder sterk.

Pratt & Whitney kwam met de 28 cilinder R-4360, die tot 3800 pk kon leveren. Deze motor had vier kransen van elk zeven cilinders. Maar voor de reusachtige H4 vliegboot van Howard Hughes waren acht van die motoren nauwelijks sterk genoeg om het toestel in 1947 uit het water te krijgen. Voor de eveneens reusachtige Bristol *Brabazon* waren acht 2625 pk sterke Centaurus motoren nodig, die per tweetal in tandem twee contra roterende propellers aandreven. De motoren dreven die onder een hoek aan en konden in de dikke vleugels worden gebouwd. Er moesten dringend sterkere zuigermotoren komen. Bristol wilde de Centaurus vergroten en het Amerikaanse *Lycoming* had al een 5000 pk sterke 36 cilinder motor op de proefbank. De ontwikkeling van de steeds ingewikkelder wordende zuigermotor liep zo langzamerhand echter op zijn eind. De straalmotor was intussen aan een niet te stuiten opmars begonnen. Allerlei projecten werden daardoor stil gelegd. De straalmotor kwam, in de vorm van de turbojet voor de nieuwe straalverkeersvliegtuigen en als turboprop voor de langzamere vliegtuigen.



Hans Walrecht

En de straalmotor, zit die inmiddels ook niet aan zijn grens? De General Electric GE 90 is momenteel de sterkste luchtvaart motor ter wereld. De stuwkracht is ruim 52.000 kg, genoeg om met twee van die krachtpatersers de grote Boeing 777 voort te stuwten. En men heeft de grens nog steeds niet bereikt...

Animaties van de schuivenmotor staan onderaan deze pagina:

<http://www.hansonline.eu/leerlink/youtubeembedded.htm>

Hans Walrecht