

**FOKKER F27 FRIENDSHIP IS HET MEEST SUCCESVOLLE TURBOPRO**

# Hollandse hoogvlieger

DE FOKKER F27 FRIENDSHIP WON DE STRIJD OM HET BESTE NEDERLANDSE ONTWERP. HET Vliegtuig is mooi, maar dat was niet het uitgangspunt van de mensen die de Friendship ontwierpen. De doordachte aerodynamica, een moderne motor en een gelijmde constructie waren bepalend voor het meest succesvolle turboprotoestel aller tijden.

LEZERS VAN NRC HANDELSBLAD kozen dit jaar de Fokker F27 Friendship tot het beste Nederlandse ontwerp ooit. Em. prof. Jaap Blom wil graag weten wat de considerans is geweest van de jury die het vliegtuig heeft gekozen. Een logische vraag van een ingenieur, die immers primair is geïnteresseerd in hoe anderen het technisch vernuft waarden dat zich in een ontwerp openbaart. Blom is verantwoordelijk voor het aerodynamisch ontwerp van de F27, zeg maar de buitenkant. We moeten hem te

leurstellen. De Fokker Friendship, die zijn eerste vlucht maakte in 1955, is gekozen tot het mooiste blikvangende ding dat de Nederlandse industrie heeft voortgebracht. Bij die verkiezing, die NRC Handelsblad samen met de Premsela Stichting voor Vormgeving organiseerde, ging het vooral om design, om esthetiek. Er is geen considerans. Vraag een groep krantenlezers via het internet wat een mooi Nederlands ontwerp is en de Deltawerken hebben het nakijken, evenals het Dafje, de Philishave, de kantoormeubels van Gispens, het Nederlandse 50 guldenbiljet van Ootje Oxenaar, het NS-logo, de ANWB-paddestoel en het koffiezetapparaat Senseo.

## MOOI

De Fokker F27 Friendship is ook mooi. Zet hem naast een ander vliegtuig uit de jaren vijftig en wat direct opvalt, is zijn strakke lijnenspel: de ranke vleugel, de sierlijke, slanke motorgondels en het moderne strakke staartvlak. Maar mooi was niet het oogmerk van de mensen die de Fokker Friendship ontwierpen. Die mensen wisten dat ze één kans zouden krijgen om een volwaardig verkeersvliegtuig te ontwikkelen. En ze wisten dat ze dat moesten doen met weinig geld, mensen, mid-

delen en ervaring. Ze waren zich ervan bewust dat hun grootste kans lag in het ontwikkelen van een opvolger van de Douglas C-47 Dakota, civiel bekend als DC-3. De Dakota was in de jaren vijftig het werkpaard van de luchtvaart, maar had zijn beste tijd gehad. Talrijke vliegtuigbouwers die meer ervaring hadden en beter uitgerust waren, aasden op deze markt.

Fokker, dat in de Tweede Wereldoorlog grotendeels was ontmanteld, had sinds 1945 wel wat toestellen ontwikkeld, militaire lesvliegtuigen, maar dat was geen daverend succes. De Friendship was voor Fokker de technologische vlucht voorwaarts. Het vliegtuig moest niet alleen veel sneller, lichter, sterker, comfortabeler, duurzamer en goedkoper in exploitatie zijn dan de DC-3, maar ook dan zijn eigentijdse concurrenten. Dat was, zonder de kennis en ervaring op dit terrein, een stoutmoedig en vermetel plan.

Zo op het eerste gezicht nam Fokker enorme technische risico's. De Friendship kreeg een gasturbine die een propeller aandriefft, de

zogenoemde turboprop, als motor, terwijl dat type motor net bestond en vrijwel iedereen zwoer bij beproefde zuigermotoren. Het toestel werd een hoogdekker met de vleugel bovenop de romp, terwijl iedereen laagdekkers bouwde. Daarnaast werden grote delen van de constructie gelijmd in plaats van geklonken, en werden op grote schaal kunststofdelen toegepast. De ontwerpers waren zich echter terdege bewust van deze nieuwigheden en lieten niets aan het toeval over. Het ontwerpteam onder leiding van ingenieur H.C. van Meerten discussieerde uitputtend over elk idee. Veranderingen werden eindeloos doorgerekend in hun consequentie voor de prestaties van het vliegtuig.

## FRITS DIEPEN

Dat het uiteindelijke resultaat in de verkiezing is gepresenteerd als de verdienste van Van Meerten vindt em. prof. ir. Theo van Bijleveld niet terecht. 'Het is niet te veel eer voor Van Meerten, maar wel te weinig voor Frits Diepen', meent Van Bijleveld, die destijds ver-

Vlieg met Uw Friendship naar de zon

De vlieg op FRIENDSHIP, dat is een van de mooiste vliegvakanties die er is! De vlieger is een van de mooiste vliegvakanties die er is! De vlieger is een van de mooiste vliegvakanties die er is!

**schreiner airways**

In de jaren zestig gebruikte de Nederlandse luchtvaartmaatschappij Schreiner Airways de Friendship voor vakantieweekenden.





# TOESTEL ALLER TIJDEN



antwoordelijk was voor de productievoorbereiding en gereedschappproductie.

Frits Diepen was een selfmade zakenman uit Brabant die na de oorlog een bedrijf was begonnen in luchtvaartactiviteiten als verhuur en reparatie van vliegtuigen, en verkoop van onderdelen. Hij kwam bij Fokker als directeur Verkoop. Hij beseftte dat een goed vliegtuig alleen geen succes garandeerde. De Ierse luchtvaartmaatschappij Aer Lingus had evenals het Australische TAA wel belangstelling voor het toestel, maar volgens Van Bijleveld wachtten de Ieren af wat de Australiërs zouden doen. 'We wisten dat het vertrouwen bij de Australiërs zou groeien als het vliegtuig ook in de Verenigde Staten zou worden geaccepteerd', geeft Van Bijleveld aan. 'De grote verdienste van Frits Diepen is dat hij de Amerikaanse vliegtuigbouwer Fairchild wist te interesseren voor het in de VS bouwen van de F27 in licentie. De eerste F27 die aan een klant werd afgele-

verd was een Fairchild F-27 voor de Amerikaanse luchtvaartmaatschappij Piedmont. Daarna volgden de Australiërs en vervolgens de Ieren alras.' Het succes van de Fokker Friendship schuilt dus niet alleen in Nederlands ingenieursvernuft, maar evenzeer in Hollands koopmanschap. En door de samenwerking met Fairchild leerde Fokker ook productietempo maken, want die Amerikanen hadden wel kaas gegeten van het in een korte tijd veel vliegtuigen produceren.

De Friendship heeft een tijdloos, open ontwerp dat veertig jaar lang – van 1956 tot 1996, waarvan de laatste tien jaar als Fokker 50 – in productie is geweest. Techniek en commercie kwamen samen in de afdeling Product Support. Dat was een grote club mensen die nazorg verleende en een blijvende luchtwaardigheid voor alle afgeleverde vliegtuigen garandeerde. Ook kwamen vliegtuigen terug bij de fabriek voor modificatie. Het ontwerp is gedu-

rende de veertig jaar dat het in productie was, een aantal malen volgens de laatste inzichten gemoderniseerd. Krachtigere motoren, extra of grotere deuren, de romp verlengen: het is allemaal toegepast op nieuwe versies van de F27 en later op de Fokker 50 en 60. Op die manier zijn bijna duizend toestellen gebouwd en is de Friendship vooraan het meest succesvolle turbopropvliegtuig aller tijden.

## STARTGEWICHT

Fen paar technische uitgangspunten waren cruciaal voor het succes. Om de Dakota de loef af te steken was een zo hoog mogelijk laad- en dus startgewicht nodig. Er moest uiteraard wel worden voldaan aan de voorschriften om na vermogensverlies op één motor een veilige vlucht te kunnen maken; de klim onmiddellijk na de start is het meest risicovol en daarbij het belangrijkste aandachtspunt. Juist rond die tijd werd gewerkt aan nieuwe





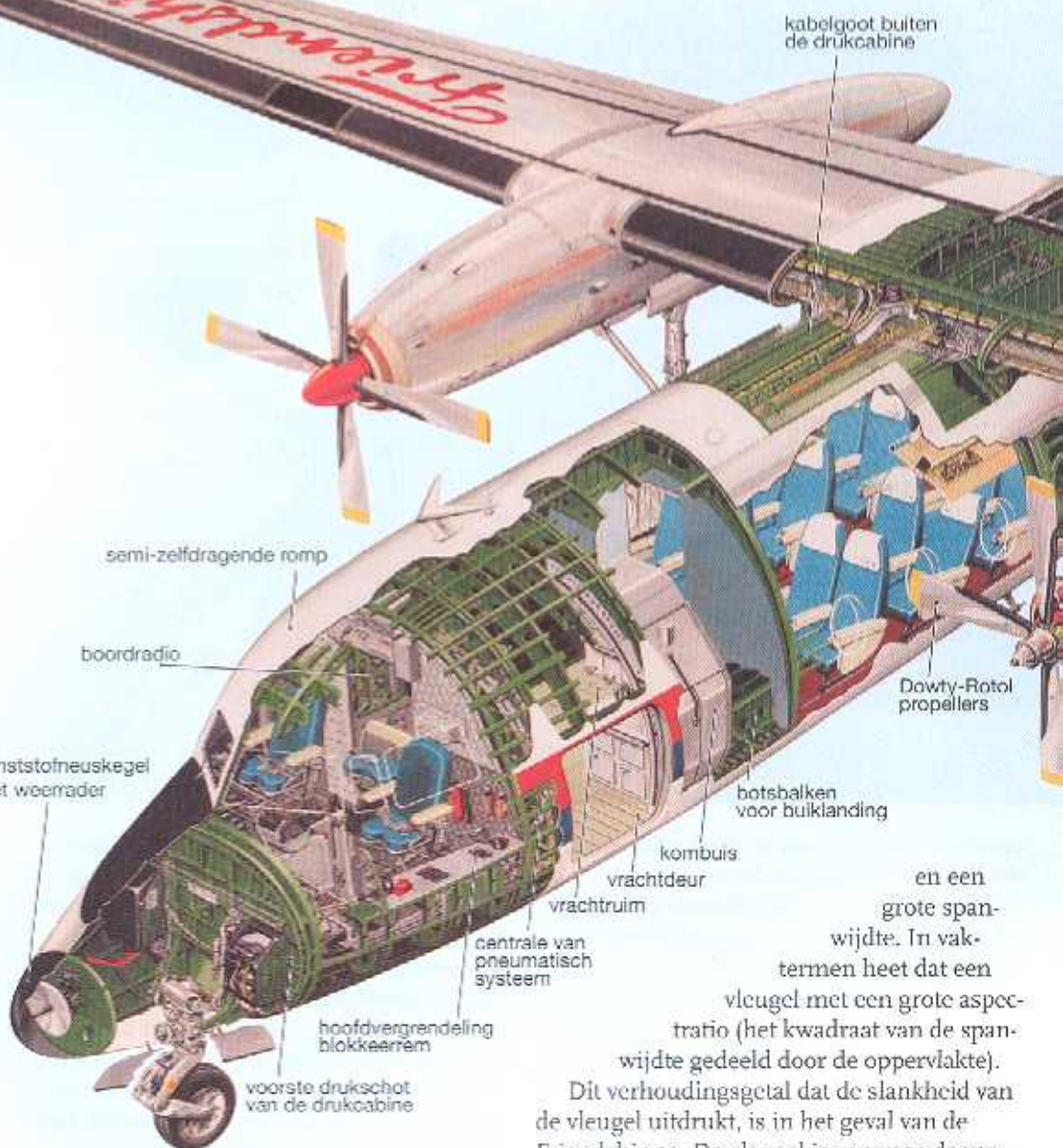
De Fokker 50

internationale veiligheidsvoorschriften, wat het ontwerpproces nog eens extra ingewikkeld maakte.

Het vliegtuig moet dus zo licht mogelijk zijn, een maximaal motorvermogen hebben en een minimale weerstand. De reden om de vleugel als een doorlopend geheel bovenop de romp te plaatsen was, volgens hoogleraar Blom, de lagere luchtweerstand van deze configuratie. Bij een laagdekker moet de motor op de vleugel worden geplaatst, omdat de propeller voldoende vrijslag, ofwel afstand van de grond, moet houden als het vliegtuig aan de grond staat. Bij een hoogdekker kunnen de motorgondels echter onder de vleugel hangen, zodat de luchtstroom over de vleugel niet wordt verstoord. Het hoofdwielstel is dan in de luwte achter de motor in de gondel op te bergen. In een laagdekker is daarvoor meestal een gestroomlijnde kast onder de vleugel nodig, wat zorgt voor veel meer luchtweerstand. Verder heeft een laagdekker bij de start ook meer interferentie tussen de luchtstroom over de vleugels en die langs de romp.

Een ander voordeel van een hoogdekker is de lage laadvloer en instap, maar het hoofdwielstel heeft wel zeer lange en zware poten nodig. Om die iets korter te maken is de onderkant van de romp enigszins afgeplat, wat eveneens de bij dit toestel loze ruimte onder de cabinevloer zo klein mogelijk houdt. Eigenlijk moet een romp bij voorkeur zuiver cilindrisch in doorsnede zijn, omdat de druk in de cabine dan het meest gelijkmatig is verdeeld. Toch was de knik in de romp voor het realiseren van de afgeplatte onderkant constructief niet onoverkomelijk.

Een tweede manier om de wielpoten niet al te lang te hoeven maken was het inkepen van de drukcabine op de plaats waar de vleugel vastzit aan de romp, wat de stahoogte in het gangpad naar hedendaagse normen wel minimaal maakt. Van buitenaf lijkt het alsof de vleugel bijna helemaal in de romp zit in plaats van er bovenop ligt. Dat komt omdat de romp vanaf de cockpit tot aan de vleugel is opge-



hoogd met een drukloze buitenhuid. Ondanks de gewichtsvermeerdering levert de weerstandsvermindering voldoende voordeel.

#### KOORDE

De Fokkermensen zochten naar een vleugel die zo weinig mogelijk weerstand biedt en zoveel mogelijk lift geeft. Dat is meestal een zweefvliegtuigachtige vleugel met een kleine koorde (de afstand van voor- naar achterrand)

en een grote spanwijdte. In vaktermen heet dat een vleugel met een grote aspectratio (het kwadraat van de spanwijdte gedeeld door de oppervlakte).

Dit verhoudingsgetal dat de slankheid van de vleugel uitdrukt, is in het geval van de Friendship 12. De vleugel is vanwege de vereiste stevigheid relatief dik van boven- naar onderkant. Een vleugel die een kleine koorde heeft en dik is, heeft echter sneller de neiging krachtige turbulentie te ontwikkelen die de weerstand verhoogt. Het is knap dat Fokker in de windtunnel een profiel heeft weten te vinden dat hier weinig last van heeft.

Er waren ingenieurs die naar een aspectratio van 14 wilden, maar Van Meerten had in het voorontwerpstadium voorkeur voor 12.





| KENGETALLEN                  |  |
|------------------------------|--|
| <b>NAAM</b>                  | Fokker F27 Friendship Mk 200                         |
| <b>EERSTE VLUCHT</b>         | 1959   |
| <b>ROMPLENGTE</b>            | 23,51 m  |
| <b>SPANWIJDTE</b>            | 29 m   |
| <b>STAARTHOOGTE</b>          | 8,50 m   |
| <b>ASPECTRATIO</b>           | 12   |
| <b>GEWICHT LEEG</b>          | 10 512 kg  |
| <b>STARTGEWICHT</b>          | 19 730 kg  |
| <b>MAX. LANDINGS-GEWICHT</b> | 18 150 kg  |
| <b>TANKINHOUD</b>            | 6500 kg kerosine                                     |
| <b>CAPACITEIT</b>            | 40-44 passagiers                                     |
| <b>KRUISSNELHEID</b>         | 500 km/h   |
| <b>MAX. KRUISHOOGTE</b>      | 8475 m   |
| <b>BEREIK</b>                | 2066 km  |
| <b>STARTBAANLENGTE</b>       | Max. 1000 m (los na 570 m)                           |
| <b>LANDINGSSNELHEID</b>      | 167 km/h   |
| <b>MOTOREN</b>               | 2x Rolls-Royce RB 53 Dart 7<br>RDa 7 Mk 532-7        |
| <b>MOTORVERMOGEN</b>         | 2x 1834pk/1360 kW                                    |
| <b>UITLAATSTUWDRIJK</b>      | 2x 2157 N/224 kgf                                    |
| <b>LANDINGSGESTEL</b>        | Dowty-Rotol  |
| <b>PNEUMATISCH SYSTEEM</b>   | Dunlop   |
| <b>PROPELLERS</b>            | Vierbladig verstelbare bladen<br>(Hamilton-Standard) |

vanwege het risico van flutter. Flutter is een onstabiele vleugeltrilling waarvan de berekeningen pas in een laat stadium van de ontwikkeling de vereiste nauwkeurigheid bereiken. Vleugels met daaraan bevestigde massa's, zoals motoren en onderstellen, vertonen altijd een groot aantal trillingsvormen. Door berekeningen en door on-

derzoek later tijdens het testvliegen is vast te stellen of zich trillingen voordoen waarbij instabiliteit optreedt; de grotere vliegsnelheden zijn daarbij meestal kritiek. Nauwkeurige berekeningen zijn pas mogelijk nadat de trillingsvormen van het complete vliegtuig voorafgaand aan de eerste vlucht zijn gemeten.

Niettemin kon de vleugel van de Friendship zeer slank blijven. Hoe effectief het aerodynamische profiel van de vleugel was, bewijst het feit dat Fokker aanvankelijk uitging van dubbele spleetkleppen aan de vleugelvleugelachterkant, die werken als een hulpvleugel en voor extra lift zorgen bij de start en landing, en bijbehorende rolroeren, die even-

eens naar beneden zijn te draaien voor extra draagkracht. De productie-toestellen kregen echter kleppen uit één stuk en conventionele rolroeren die niet voor extra lift konden zorgen.

De hoogte-, rol- en richtingsroeren van de Friendship zijn geheel onbekrachtigd. Dat is bij een vliegtuig van deze afmeting nog niet toelaatbaar, maar volgens hedendaagse normen soms wel oncomfortabel zwaar. Bij de Fokker 50 is dat aanzienlijk verbeterd. Maar de Friendship kan, en dat was toen qua veiligheid heel up-to-date, op één motor starten en opstijgen.

Als het vliegtuig bij uitval van een motor gaat gieren of slippen (min of meer dwars op de vliegrichting zijn weg vervolgt), dan kan het verticale staartvlak aan de lijzijde overtrokken raken. Daardoor slaat het richtingsroer uit naar de verkeerde kant, wat de slip niet



De cockpit van de Fokker F27 Friendship.



# IJSZORGEN OVER DE FRIENDSHIP

Ten tijde van de ontwikkeling van de Fokker F27 Friendship verongelukten enkele vliegtuigen, omdat ze vlak voor de landing met hun neus voorover doken. De oorzaak was ijsaangroei, dat ontstaat in wolken met onderkoelde waterdruppels die spontaan bevriezen bij het botsen tegen een vliegtuigoppervlak. Als ijsaangroei op de staartvlakvoorzanden de aerodynamische vorm bederft, dan kan dat leiden tot loslating ofwel overtrekken aan de onderzijde. Dat maakt een vliegtuig onbestuurbaar, omdat het langsevenwicht dat de staart met een neerwaarts gerichte kracht bewaart door het overtrekken wegvalt.

De F27 is tegen ijsaangroei beschermd met opblaasbare stroken van rubber over de voorranden van de vleugel- en staartvlakken. De ontwikkelaars van het toestel wilden echter grotere zekerheid dat plotseling optredende ijsruwheid geen vei-

gheidsrisico's met zich zou meebrengen. Em.prof. Jaap Blom, verantwoordelijk voor het aerodynamisch ontwerp, werd in die dagen nogal vaak uitgelachen om zijn ijszorgen. Dat gelach verstomde echter geheel na een nog net goed afgelopen vliegproef met gesimuleerd ijs. Pas twintig jaar later werd dit opgenomen in de luchtwaardigheidsvoorschriften. De Dakota had een ontijzingsstelsel met in de spanwijdte opblaasbare vleugelneuzen van rubber, bij de Friendship liepen de op te blazen kanalen in de vliegrichting. De aerodynamische verstoringen bij gebruik zijn daardoor beduidend kleiner.

Fokker wist het overtrekprobleem op te lossen door de voorrand van de stabilo enigszins omhoog te laten wijzen en door de uitslag van de landingskleppen aan de binnenvleugel te begrenzen tot dertig graden.

corrigeert maar juist verergert en het vliegtuig onbestuurbaar maakt. Dit probleem is in de windtunnel empirisch opgelost door voor het verticale staartvlak een rugvin te plaatsen. Die veroorzaakt een grote wervel die abrupt instorten van de stroming op het kielvlak voorkomt, aldus Blom.

## PERSLUCHT

Om te voorkomen dat het intrekken van de lange wielpoten na het opstijgen te veel motorvermogen kost, gebeurt dit bij de Friendship pneumatisch. In de voorafgaande vlucht is perslucht opgeslagen die voldoende energie bevat om de wielen binnen 5 s in te trekken. Het volledige motorvermogen is dan beschikbaar voor het klimmen en bovendien is de weerstand tijdens het opstijgen minimaal. Bijgevolg is ook de besturing van het neuswiel pneumatisch en dus nogal zwalkend. Perslucht is en blijft immers elastisch, wat de besturing minder exact maakt dan een systeem dat werkt op hydraulische olie.

De keuze voor een pneumatische systeem voor de bediening van de onderstellen was gedurfd. De verwaarloosbare afname van het motorvermogen bij het intrekken van het onderstel tijdens een start met één motor, was slechts een van de argumenten. De pneumatische besturing is ook lichter dan een hydraulisch systeem. In tegenstelling tot de agressieve, corrosieve hydraulische olie is perslucht schoon bij onderhoud, tast het gasmengsel de verf niet aan bij lekkages en vormt het geen brandgevaar. Extra veiligheidsvoorzieningen zijn dus niet nodig.

De ervaring met pneumatische systemen onder hoge druk in vliegtuigen was echter beperkt. Alleen de Havilland Dove en de Fokker S-24 trainer werkten met zo'n systeem,

maar dan onder lage druk. Het systeem in de F27 bestaat uit een voorraad perslucht in stalen cilinders onder 255 bar, die met viertrapscompressoren in twintig minuten zijn te vullen, en uit vloeistofdempers in de bedieningscilinders van de onderstellen (silicone olie) en in de neuswielbesturing (minerale olie). De gebruiksdruk bedraagt 68 bar.

Al met al bleek de keuze voor pneumatiek toch minder optimaal, want een energievoorraadsysteem met langzame oplading is gevoelig voor kleine lekken. Voor lucht zijn betere afdichtingen nodig dan voor vloeistof, omdat de afmeting van gasmoleculen kleiner is. Ook ontbreekt een smerend medium. Hogedrukcompressoren in miniatuur hebben nooit een lange levensduur bereikt, de onderhoudskosten waren hoog ten gevolge van regelmatige vervanging van het droogmiddel en de waterafscidders, en in het systeem kwamen sporen smeerolie van de compressoren terecht.

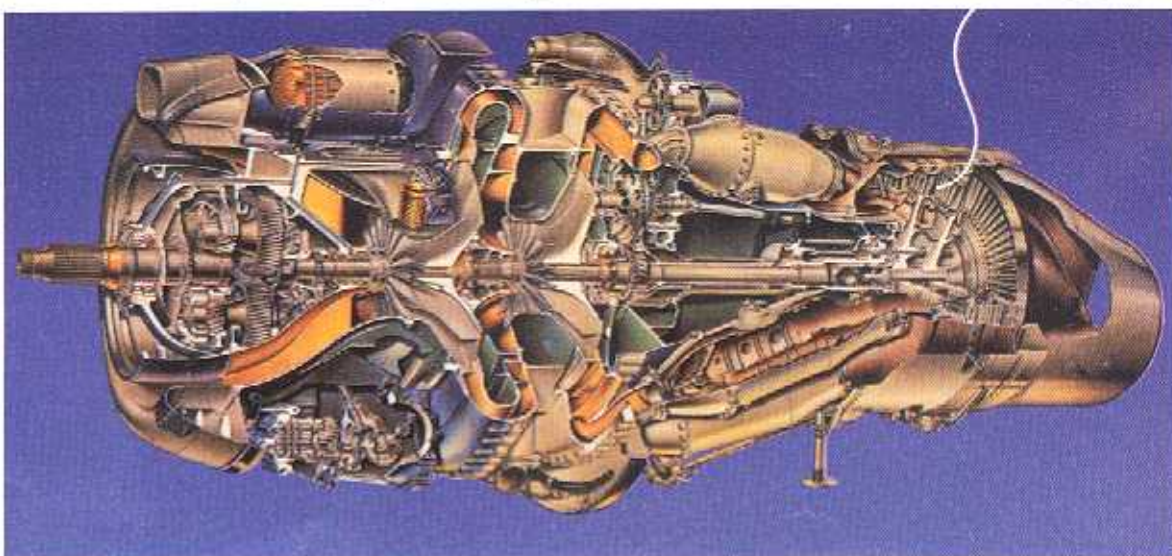
## MOTOR

Doordat pneumatische systemen geen ingang vonden bij andere vliegtuigmodellen stopte ook de technologische ontwikkeling. Hoewel het systeem in de F27 niet gek werkte, is het op de Fokker 50 toch vervangen door

een hydraulisch systeem. Het vermogensverlies tijdens het intrekken van het onderstel werd bij de F50 wel geaccepteerd, omdat de Pratt & Whitney-motor een vermogen had van 2500-2750 pk. Dat van de motor in de Friendship bedroeg 1670-2140 pk.

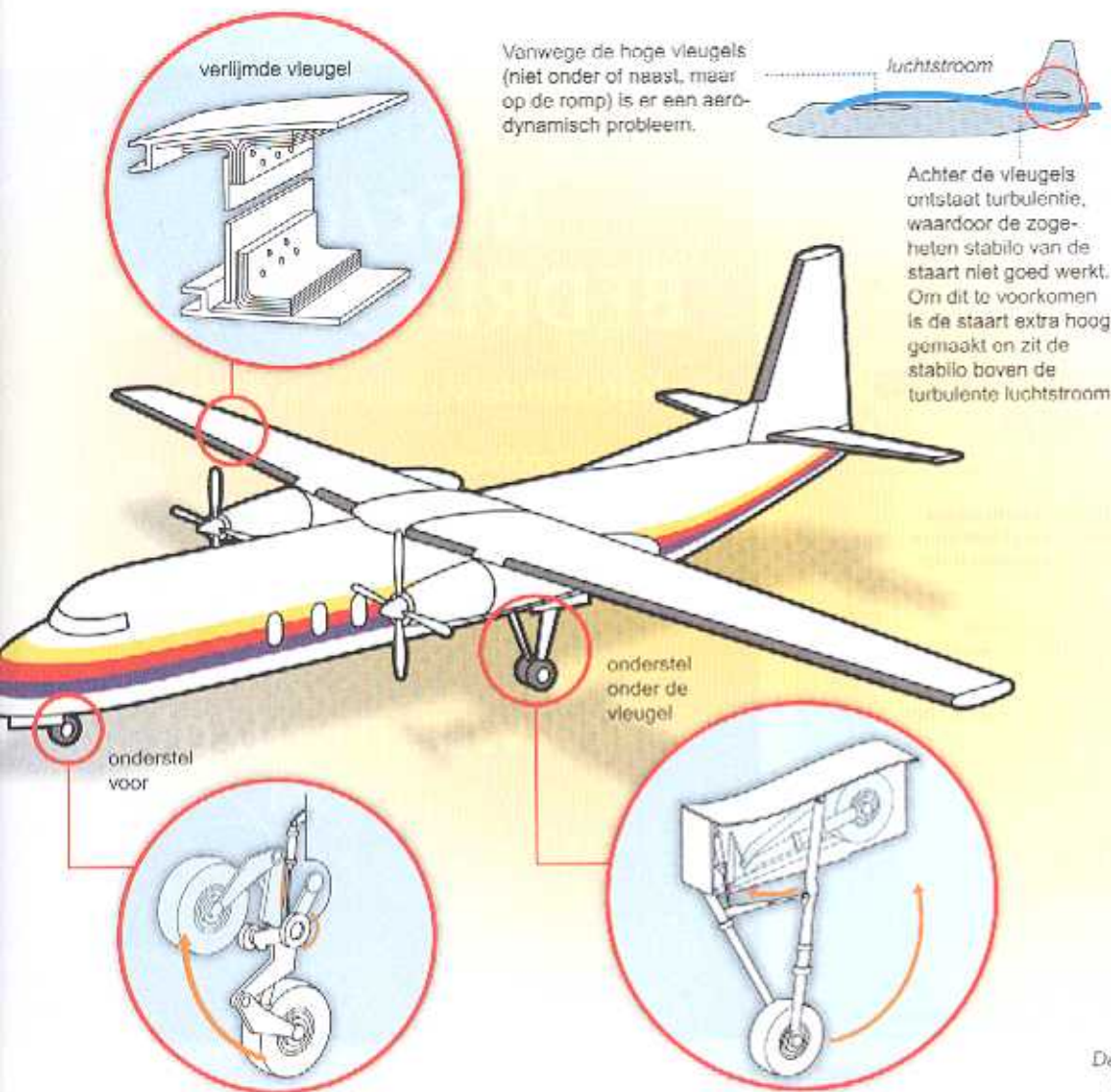
De luchtvaart was na de Tweede Wereldoorlog flink op gang gekomen, en binnen de civiele luchtvaart was het veiligheidsniveau een groot aandachtspunt. Om die reden werd, parallel aan de ontwikkeling van de Friendship, aan nieuwe certificatievoorschriften gewerkt. Een Dakota kon na een motorstoring bij een hoge temperatuur en een hoog vliegtuiggewicht niet meer rechtuit vliegen en zou dus crashen. Voor de F27 zouden nieuwe en zwaardere regels gelden. Het toestel zou onder alle omstandigheden veilig moeten kunnen opereren op één motor. Ook werden eisen aan de minimumklim gesteld, zodat een vliegtuig niet tegen bergen, heuvels en andere obstakels zou botsen.

Omdat gasturbines toen nog zo nieuw waren, golden ze als onbetrouwbaar. In feite zijn zuigermotoren echter storingsgevoeliger, omdat die mechanisch veel complexer zijn. Aanvankelijk leverde de voor de Friendship gekozen Rolls-Royce Dart te weinig vermogen. Deze motor heeft twee achter elkaar geplaatste



De schroefturbine Rolls-Royce Dart. In het midden van de tekening zijn de twee achter elkaar geplaatste centrifugaalcompressoren zichtbaar.





Vanwege de hoge vleugels (niet onder of naast, maar op de romp) is er een aerodynamisch probleem.

luchtstroom

Achter de vleugels ontstaat turbulentie, waardoor de zogeheten stabilo van de staart niet goed werkt. Om dit te voorkomen is de staart extra hoog gemaakt en zit de stabilo boven de turbulente luchtstroom.

Bij landing komt de lucht schuin van boven. Als er op de vleugel ijsvorming optreedt, kan onder de stabilo turbulentie ontstaan, waardoor het vliegtuig naar voren kan klappen. Door de voorkant van de stabilo iets omhoog te krullen is dit te voorkomen.

### Luchtstroom normale stabilo

aanstroomhoek bij landing

zij aanzicht stabilo



normale aanstroomhoek

### Luchtstroom stabilo F27

Neus van de stabilo wijst iets omhoog zodat de lucht langs de onderzijde stroomt, ook als er ijs op zit.



De neerwaartse kracht die de stabilo opwekt, houdt het vliegtuig in evenwicht.

De lijmconstructie van de vleugels, het inklappen van het landingsgestel en de aerodynamica van de F27.

centrifugaalcompressoren. Het probleem zat in de vorm van het luchtkanaal dat van de voorste naar de achterste compressortrap loopt. Toen dat wat opgelost was de motor volkomen betrouwbaar. De hoge plaatsing van de motor had nog een voordeel: er is een propeller met een grotere diameter mogelijk dan bij een laaggeplaatste motor. Een grotere propeller kan langzamer draaien en toch meer voortstuwung leveren. Fokker wist Rolls-Royce te overreden hiervoor een aangepaste vertragingskast te ontwikkelen die het hoge toerental van de turbine omzet naar het lage toerental van de schroef. 'Technisch is dat bijna net zo ingewikkeld als het ontwikkelen van de motor zelf', stelt Blom, 'want er gaat een enorm vermogen door die tandwielkast heen.' Het grote voordeel van de gasturbine is dat hij compacter en lichter was en dus verhoudingsgewijs meer vermogen leverde dan een zuigermotor. De Rolls-Royce Dart groeide tijdens de productie jaren van de Friendship van ongeveer 1600 pk naar een vermogen van 2140 pk.

### LIJMEN

Naast de doordachte aerodynamica en de moderne motor was het lijmen van de constructie bepalend voor het succes van de Fokker Friendship. Lijmen van metalen vliegtuig-

onderdelen in plaats van klinken heeft drie voordelen. Het vliegtuig kreeg een gladdere buitenkant door afwezigheid van uitstekende klinknagelkoppen, de huid had zonder die opstaande nagelkoppen 30 % minder luchtweerstand, en gelijmde constructies waren bij dezelfde belastingscriteria lichter en dunner uit te voeren dan geklonken constructies omdat de belasting beter wordt gespreid. Dat gelijmde constructies dus relatief sterker zijn, was het belangrijkste criterium. Een onverwacht neveneffect was dat het vliegtuig veel beter bestand bleek tegen metaalmoeheid. Als platen op elkaar zitten geklonken, dan concentreert spanning zich als gevolg van buigbelasting op de plek waar de platen met de nagel aan elkaar zitten. Bij verlijmen wordt deze spanning verdeeld over het gehele gelijmde oppervlak. Verder stopt een scheur bij gelijmd gelaagd materiaal altijd op de lijmlaag, terwijl die bij een paneel uit één stuk ongehinderd verder kan lopen. Fokker liet de lijm ook als een coating uitvloeien in de kleine holtes van de verstijvers, wat een uitstekende corrosiebescherming is gebleken.

Het grote probleem was het valideren van de betrouwbaarheid van gelijmde constructies. Fokker ontwikkelde een heel kritisch procédé waarbij aluminiumplaten in een zeer

schone omgeving van vuil en corrosie werden ontdaan en vervolgens geanodiseerd in een chroomzourbad. Daardoor kreeg het oppervlak een microscopische ruwheid die de hechtkracht van de lijm enorm vergrootte. Belangrijk was dat de lijm geen epoxyhars mocht zijn, want epoxy is hygroscopisch met alle corrosierisico's van dien. Fokker gebruikte daarom een fenolhars dat juist vochtwerend werkt. Ook ontwikkelde de vlieghuigbouwcr een testmethode: de Fokker-bondtester. Die kon met behulp van trillingsmetingen plekken opsporen waar geen hechting was opgetreden.

### GEREEDSCHAP

Metaal lijmen was overigens geen Nederlandse uitvinding. Bij de bouw van de Britse Havilland Comet werden de langsverstijvers op de romp- en vleugelpanelen gelijmd, weet hoogleraar Van Bijleveld. De methode was daar ontwikkeld door iemand van Nederlandse komaf, prof.dr. Norman A. de Bruyne. Fokkeringenieur Rob Schliekelman bracht de methode naar Nederland. Om de verstijvers op de huidpanelen aan te drukken moesten de Britten duur gereedschap maken. Vooral voor het neus- en staartstuk, waar panelen dubbelgekromd zijn, was voor elke verstijver





Promotietoer met het prototype van de Friendship. Om lange afstanden te kunnen vliegen is dit toestel voorzien van extra brandstoftanks onder de vleugel.

een apart op maat gemaakt aandrukgeredschap nodig. Door het gereedschap liep stoom ter verwarming en vervolgens water om de zaak af te koelen.

Voor het lijmen van de delen voor de F27 koos Fokker een geheel andere methode. Er werd namelijk gelijmd in een autoclaaf, een tank waarin werkstukken onder hoge druk en temperatuur kunnen uitharden. De te lijmen delen worden op elkaar gestapeld, twee componentenlijm bestaande uit poeder en vloeistof wordt aangebracht, en het geheel wordt gefixeerd met hechnagels. Daarop liggen dan drukstukken, alles tezamen ingepakt in een aluminiumfolie met daarover een laag aluminiumgrind. De verpakking wordt vervolgens vacuüm gezogen en onder hoge druk van buitenaf (16 atmosfeer) en hoge temperatuur (150 °C) hardt de lijm uit. Een nauwkeurige voorbehandeling van de te lijmen delen is essentieel. Dit omvat schoonmaken en etsen, met chroomzuur anodiseren en primer voor de lijm aanbrengen. Een belangrijk bijproduct van deze handelingen is de uitstekende corro-

sievastheid, want de anodiseerlaag en de lijm zelf zijn corrosiegevoelig. Bovendien is het ook een excellente ondergrond om de verf goed te laten hechten.

Dat Fokker dus veel verder ging dan de Britten met het op elkaar lijmen van grote plaatoppervlakken voor met name de vleugel-huid, had als oorzaak dat de Nederlandse vliegtuigbouwer zich geen grote freesbanken kon veroorloven die een vleugelpaneel uit één stuk kunnen frezen. De vleugel-huid moet vanaf de romp naar de vleugeltip verlopen van dik naar dun, van enkele centimeters naar millimeters. Fokker werkte met een dunne standaardplaat die vanaf de vleugeltip naar de romp steeds dikker werd gemaakt door er verdubbelingsplaten op te lijmen. Het onder druk en hitte laten uitharden van zulke grote werkstukken kon alleen in de autoclaaf.

#### ORDERS

Na de orders van TAA, Aer Lingus en het Noorse Braathens SAFE bleef het opzems angstig stil. De Nederlandse regering besloot

daarop voor de Koninklijke Luchtmacht een aantal aangepaste Friendships, de Troopships, te bestellen. Begin jaren zestig trok de markt aan en ontdekten steeds meer luchtvaartmaatschappijen de unieke kwaliteiten van de Friendship. Het vliegtuig bleef onder die naam tot 1986 in productie. Fokker en Fairchild bouwden er 787. Met het vervolgproject Fokker 50/Fokker 60 erbij opgeteld werden duizend toestellen gebouwd.

Vandaag worden in Nederland geen vliegtuigen meer ontwikkeld en gebouwd. Veel windtunnelonderzoek voor buitenlandse vliegtuigbouwers vindt hier nog wel steeds plaats. Ook besteden die bedrijven ontwerpwerk graag aan ons land uit. Stork gebruikt de lijmtechniek bij het maken van romppanelen van het zogenaamde Glare, een aluminiumlaminaat met tussenlagen van glasvezel, voor de Airbus A380.

Er vliegen nog honderden Fokkers rond en dat zal voorlopig wel zo blijven, want ze zijn momenteel waardevaste beleggingsobjecten. In Nederland zijn nog steeds alle technische competenties voor vliegtuigbouw aanwezig en menigeen meent dat de kans om opnieuw te beginnen nog niet is verkeken. ●

*Rudi den Hertog is hoofdingenieur bij Fokker Services, onderdeel van Stork. Hij was bij het voormalige Fokker Aircraft laatste hoofd-constructeur van de Fokker 100 en de Fokker 70.*

#### BRONNEN

'ONTWERP EN PRODUCTIE F27', LEZINGEN CYCLUS GEHOUDEN IN HOTEL KRASNOPOLSKY TE AMSTERDAM, MAART-APRIL 1957. HERUITGEGEVEN DOOR DE FRIENDSHIP ASSOCIATION IN 1992.

SYLLABUS VAN HET SYMPOSIUM 'SUCCES THROUGH FRIENDSHIP', 15 MEI 1992. 'THE FRIENDSHIP STORY' IN FOKUS, BIJLAFTEPERIODIEK VAN FOKKER, 1 APRIL 1977.

INTERVIEW DOOR EDWIN VAN DEN BRINK MET HOOPD-CONSTRUCTEUR J. CORNELIUS VOOR HET HAARLEMS DAGBLAD NAAR AANLEIDING VAN HET 75-JARIG JUBILEUM VAN ANTHONY FOKKERS' VLUCHT BOVEN HAARLEM, 1966.

**Er vliegen nog honderden Fokkers rond**