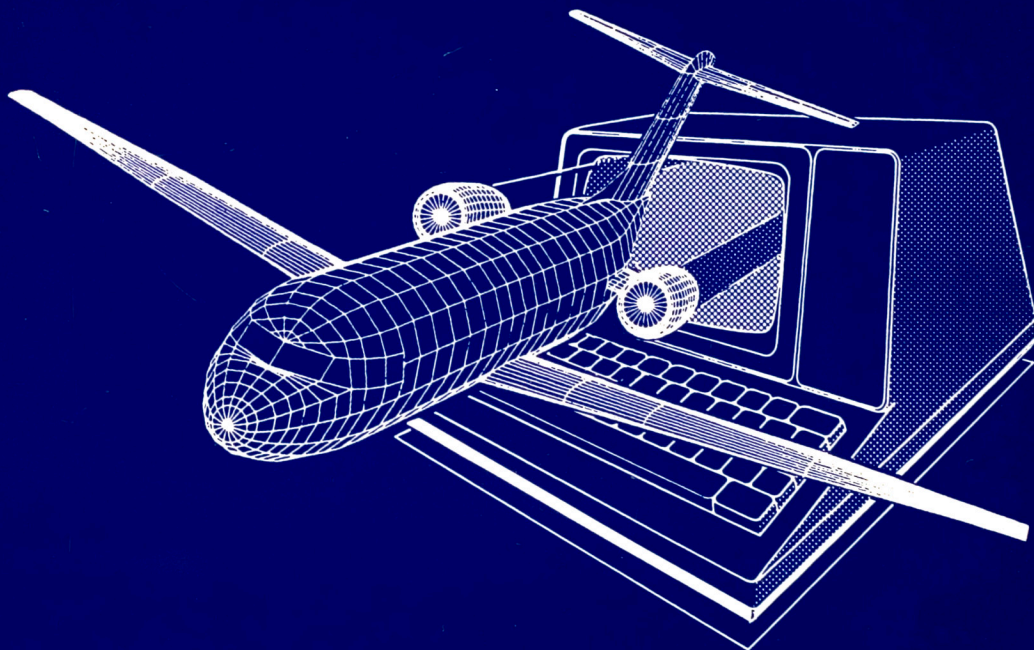


# VERKEERSVLIEGTUIGEN TWINTIG JAAR EVOLUTIE



Prof. J.H.D. Blom



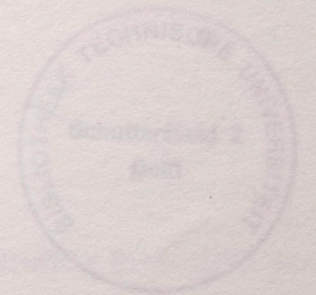
TRES Red. 1988

VERKEERSVLIEGTUIGEN  
TWINTIG JAAR EVOLUTIE

Rede,  
uitgesproken bij het afscheid  
als buitengewoon hoogleraar  
in het ontwerpen van vliegtuigen  
bij de Faculteit der Luchtvaart- en  
Ruimtevaarttechniek  
van de Technische Universiteit Delft  
op donderdag 11 februari 1988

door

Prof. J.H.D. Blom



Delftse Universitaire Pers/1988

Blom\_  
red\_  
1988



VERKEERSVLIEGTUIGEN  
TWINTIG JAAR EVOLUTIE

# VERKEERSVLIEGTUIGEN TWINTIG JAAR EVOLUTIE

Rede,  
uitgesproken bij het afscheid  
als buitengewoon hoogleraar  
in het ontwerpen van vliegtuigen  
bij de Faculteit der Luchtvaart- en  
Ruimtevaarttechniek  
van de Technische Universiteit Delft  
op donderdag 11 februari 1988

door

Prof. J.H.D. Blom



Delftse Universitaire Pers/1988



# VERKEERSVLIEGTUIGEN TWINTIG JAAR EVOLUTIE

Rede  
uitgesproken bij het afscheid  
als buitengewoon hoogleraar  
in het ontwerpen van vliegtuigen  
bij de Faculteit der Luchtvaart- en  
Ruimtevaarttechniek  
van de Technische Universiteit Delft  
op donderdag 11 februari 1988

door

Prof. J.H.D. Blom



CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Blom, J.H.D.

Verkeersvliegtuigen : twintig jaar evolutie / J.H.D. Blom.

- Delft : Delftse Universitaire Pers

Afscheidsrede Delft.

ISBN 90-6275-399-X

SISO 659.73 UDC 629.73(091) NUGI 834

Trefw.: verkeersvliegtuigen ; geschiedenis.

## inleiding

De laatste jaren op de markt zijn er een aantal nieuwe vliegtuigen ontwikkeld die als 'nieuwe generatie' worden beschouwd. Deze vliegtuigen zijn ontworpen voor de toekomstige vliegmarkt en zijn bedoeld om de huidige vliegtuigen te vervangen. De ontwikkeling van deze vliegtuigen is een proces dat vele jaren heeft geduurd. Het ontwerp van deze vliegtuigen is een proces dat vele jaren heeft geduurd. Het ontwerp van deze vliegtuigen is een proces dat vele jaren heeft geduurd.

De ontwikkeling van deze vliegtuigen is een proces dat vele jaren heeft geduurd. Het ontwerp van deze vliegtuigen is een proces dat vele jaren heeft geduurd. Het ontwerp van deze vliegtuigen is een proces dat vele jaren heeft geduurd.

## het doel

De ontwikkeling van deze vliegtuigen is een proces dat vele jaren heeft geduurd. Het ontwerp van deze vliegtuigen is een proces dat vele jaren heeft geduurd. Het ontwerp van deze vliegtuigen is een proces dat vele jaren heeft geduurd.

De ontwikkeling van deze vliegtuigen is een proces dat vele jaren heeft geduurd. Het ontwerp van deze vliegtuigen is een proces dat vele jaren heeft geduurd. Het ontwerp van deze vliegtuigen is een proces dat vele jaren heeft geduurd.

Aan Elly  
Esther  
Wouter



### Inleiding

In 1969, een jaar na benoeming, mocht ik op deze plaats een intrede houden, die als titel meekreeg "Verkeersvliegtuigen", met als dubbelzinnig bedoelde ondertitel "Techniek in beweging". In mijn intrede wordt veel aangedragen dat een breed perspectief van de verkeersluchtvaart laat zien. Enerzijds de snelle groei van het transport door de lucht met subson vliegende vliegtuigen, maar anderzijds ook op langere termijn een perspectief van supersoon luchtverkeer en het gebruik van vliegtuigen geschikt voor zeer korte start- en landingsbanen. Nu, na 20 jaar, kunnen we vaststellen dat het subson verkeersvliegtuig een brede toepassing heeft en het supersone vliegtuig evenals het vliegtuig geschikt voor zeer korte banen nog een zeer beperkte functie in het vervoer vervullen.

Vrijwel uniforme verplaatsingssnelheden derhalve in het luchtverkeerssysteem tot heden. De vraag zou daarbij kunnen opkomen of daarmee de vliegtuigtechniek in een zogenoemde "rijheidsfase" is beland waarin routine hoofdzaak en innovatie uitzondering is.

In een terugblik over 20 jaar wil ik U een aantal facetten van de ontwikkeling van nieuwe verkeersvliegtuigen tonen, die hier illustratief kunnen zijn. "Twintig jaar evolutie". Om u niet in het onzekere te laten: een evolutie, die m.i. spectaculair mag worden genoemd.

### Het decor

Maar vooraf eerst een decor-schildering van de verkeersluchtvaart in de afgelopen 20 jaar.

Op mondiale basis nam het verkeersvolume in dit tijdvak met ongeveer een factor 6 toe. Het bedroeg in 1986  $1500 \times 10^9$  passagier-kilometers, een getal dat moeilijk te vatten is, maar dat equivalent is aan het verkeersvolume dat zou ontstaan wanneer iedere inwoner van de Verenigde Staten van Noord-Amerika 7000 km aflegt.

Beschouwen we het vervoer per continent nader dan blijkt dat de vliegtuigen geregistreerd in de landen van het Noord-Amerikaanse continent 39 percent van het mondiale verkeersvolume hebben geleverd, Europa (inclusief Rusland) 32 percent, Azie (plus Stille Oceaan) 18 percent en de overige 11 percent voor rekening zijn van vliegtuigen geregistreerd in Zuid-Amerika, het Midden-Oosten of Afrika.

Dit vervoer wordt verzorgd door ongeveer 8000 verkeersvliegtuigen. Uitgaande van de verkeersgroei van jaarlijks 7 percent, die de afgelopen 10 jaar gemiddeld optrad, kan dus een mondiale jaarlijkse behoefte worden verwacht van ruim 500

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Blom, J.H.D.

Verkeersvliegtuigen : twintig jaar evolutie / J.H.D. Blom.

- Delft : Delfte Universitaire Pers

Afscheidrads Delft.

ISBN 90 5195 390 X

519539 73 UDC 625.73(091) NUO1 B34

Twee Verkeersvliegtuigen : geschiedenis



nieuwe vliegtuigen op basis van gelijke gemiddelde vervoerscapaciteit per vliegtuig. Daarbij komt nog het aantal om technisch-economische redenen te vervangen eenheden, t.w. 2 tot 4 percent van de vloot, d.w.z. 150 tot 300 vliegtuigen per jaar.

Er is echter meer dat onze aandacht moet hebben dan dit globale beeld.

Beschouwen we de ontwikkelingen in de Verenigde Staten in meer detail dan zien we een sterk fluctuerende groei in het luchtverkeer over de jaren, waarbij twee perioden met nagenoeg nul-groei (1973-1974 en 1979-1982) afwisselden met perioden met sterke groei, jaarlijks 19, 13 en 8 percent. Luchtverkeer is conjunctuur gevoelig, maar in de Verenigde Staten waren er ook andere oorzaken voor een turbulente periode.

Er waren evenals elders olieprijs-schokken in 1974 en 1980, maar daarna een opvallende daling in de brandstofprijzen, de deregulatie van het luchtverkeer nam een aanvang met de wet van 24 oktober 1978, stakingen van verkeersleiders, hun ontslag en daarbij overbelasting van het verkeerssysteem op vele plaatsen moeten worden genoemd.

De deregulatie heeft grote invloed gehad op het gehele luchtverkeerssysteem. De grote luchtvaartmaatschappijen hebben zich aanvankelijk in grimmige onderlinge concurrentie gestort op de lucratieve routes onder verwaarlozing van voor hen minder aantrekkelijke verbindingen. Dienstregelingen vertoonden een kort leven en sterke wisselingen. Sinds 1985 woedt de overname van luchtvaartmaatschappijen en vindt samensmelting van bedrijven plaats op ongekende schaal.

De vervoersconsument kan tevreden zijn met de tarieven, maar hij moet vandaag minder goede verbindingen, vertragingen, afzeggingen en overboekingen voor lief nemen in het Amerikaanse luchtverkeer.

In Europa ging de ontwikkeling langs andere lijnen. Europees luchtverkeer is overwegend grensoverschrijdend. In Frankrijk, dat een indrukwekkend binnenlands luchtnet in deze 20 jaar opbouwde, is 29 percent van het door Franse maatschappijen verzorgde verkeersvolume door binnenlandse verplaatsingen bepaald. In de andere landen van West-Europa is dit aandeel overall kleiner. Dit in tegenstelling tot de Verenigde Staten waar 80 percent van het verkeersvolume door Amerikaanse vliegtuigen geleverd uit binnenlands verkeer bestaat. Regelgeving voor het luchtvervoer is in Europa dan ook primair een internationale aangelegenheid.

De groei van het luchtverkeer vertoonde sinds 1967 in Europa geringere fluctuaties dan in Amerika, hoewel ook in de periode tussen 1980 en 1983 bijna nul-groei is vast te stellen. Over een lange periode gemiddeld 7 percent jaarlijks, de laatste 3

jaar ongeveer 5 percent per jaar. In Europa heeft een interessante ontwikkeling plaatsgevonden bij het grensoverschrijdend verkeer, namelijk directe verbindingen tussen kleinere steden. Ook directe vluchten tussen grote steden, d.w.z. zonder tussenlanding, zijn op ruime schaal aan de orde.

Deregulatie is onderwerp van overleg tussen de Europese landen en op enkele routes ook geëffectueerd.

Overwegend wordt echter in Europa de concurrentiestrijd nog gestreden met de betere verbindingen en goede service aan de reiziger. Die reiziger, meestal zakelijk op pad, moet daar wel voor betalen; de tarieven in Europa zijn hoog. Hierbij moet echter opgemerkt worden dat de vervoersconsument bij luchtverkeer betaalt wat het kost, een vrij unieke conditie bij openbaar vervoer.

Deze decor-schildering van luchtverkeer heeft in mijn rede uiteraard een functie. We kunnen vaststellen dat groei nog steeds een kenmerk is van deze nieuwe verkeerssoort, dat de ontwikkelingen in het verkeer naar plaats en tijd sterk kunnen verschillen, dat lange termijn-trends de basis vormen voor de op ontwikkeling van verkeersvliegtuigen gespecialiseerde industrieën. Maar ook dat de korte termijn-trends - veelal gangmaker voor beslissingen over aard en omvang van een vlootvernieuwing - aanmerkelijk korter zijn dan de productie-cyclus van een nieuw verkeersvliegtuig met zijn varianten.

Industrieën gespecialiseerd in het ontwerp en de ontwikkeling van verkeersvliegtuigen treffen we alleen aan in Europa en Noord-Amerika. Hun aantal is gering; een oligo-polistische constellatie waarin iedereen goed op iedereen kan letten.

Bij de marketing en verkoop van verkeersvliegtuigen komt men in het algemeen één, meestal twee concurrenten tegen. De competitie is niet zachtzinnig, maar luchtvaartmaatschappijen vormen zich toch primair een oordeel omtrent het nieuw aan te schaffen vliegtuig naar criteria van doelmatigheid voor de geprojecteerde vervoersstaak en verder naar beoordeling van kwaliteit, lang lopende ondersteuning bij het operationele gebruik en de kapitaalskosten. In het algemeen derhalve primair op rationale basis.

#### De vliegtuig-ontwerper

Daarmede ben ik dan terug bij de vliegtuig-ontwerper. Aan hem de taak een nieuw ontwerp te concipiëren dat lang kan standhouden in het concurrentiegewoel. De vliegtuig-vóórontwerper zal zich daartoe ook zelf een beeld moeten vormen van de condities waaronder de vervoersmaatschappijen hun vliegtuigen gebruiken en welke projecties daarbij voor de korte en de lange termijn passend zijn. Hij zal geaccumuleerde ervaring



uit de eigen omgeving, resultaten van research gericht op productverbetering en innovatie en nieuwe elementen van de toeleverende industrieën in zijn ontwerp moeten verwerken. De evolutie van het verkeersvliegtuig komt daarbij tot stand door nieuwe techniek te toetsen in een reeks van ontwerp-studies. Aan ieder besluit tot het uitbrengen van een nieuw vliegtuig-type gaan vele jaren van dit soort studies vooraf.

Komt het tot het besluit een nieuw type uit te brengen dan roept dit geheel andere activiteiten op. Het nieuwe vliegtuig moet dan nog tot in de kleinste details worden uitgewerkt uitgaande van een in principe reeds gedefiniëerde externe geometrie en in hoofdlijnen gedefiniëerde installaties en uitrusting. Grote delen van casco en installaties moeten worden gebouwd om te worden onderworpen aan beproeving, de bewijsvoering ten behoeve van een luchtwaardigheidscertificaat moet worden opgebouwd, de serie-productie moet worden voorbereid en de middelen voor personeelstraining en het onderhoud van de vliegtuigen bij de gebruikers moeten beschikbaar worden gemaakt. Hier ontstaat de grote investering bij het uitvoeren van een nieuw project: men spreekt danook van het ontwikkelen van een nieuw type vliegtuig en niet alleen van het ontwerpen.

Ik keer terug naar de activiteiten van de vliegtuig-vóóronwerpers. Uit het voorgaande is het duidelijk dat zij een goed ontwikkeld synthetiserend vermogen tot hun bagage moeten kunnen rekenen en een brede kennis moeten hebben. Maar ook de vóóronwerper heeft de weg gevonden naar krachtig rekentuing dat hem in staat stelt met vele, veelal gekoppelde, programma's de afmetingen en prestaties van vliegtuigen af te stemmen op een vooraf gespecificeerde vervoerstaak en de kwaliteit van zijn vliegtuig-ontwerpen voor luchtverkeer te kwantificeren. Criterium is daarbij meestal de bedrijfseconomische waarde van zijn ontwerpen in de transportfunctie in vergelijking met die van andere vliegtuigtypen. Desgevraagd zal hij U graag uitleggen dat hij met deze rekenprocessen optimaliserend bezig is. Dat woord moet echter niet lichtvaardig vallen.

De computerondersteuning verschaft de mogelijkheid snel inzicht te verwerven in de invloed van parameter-variaties, maar in zijn snelste vorm put het rekenproces uit databestanden met een statistische basis; statistiek verwijst echter naar het verleden en niet naar innovatie. Verder constateerden we reeds dat de trends in het luchtverkeer een kortere cyclus-tijd kunnen vertonen dan een volledige productie-cyclus van het subsone verkeersvliegtuig. Optimaliseren zou dus ook kunnen betekenen groeimogelijkheden in het nieuwe type aanbrengen voor aanpassing in een latere productiefase en wel met een beperkte additionele investering bij zowel de vliegtuigproducent als de vliegtuiggebruiker.

Innovatieve elementen kunnen een nieuwe generatie vliegtuigen aantrekkelijk maken ten opzichte van de vorige. Draagt het nieuwe element ook bij tot een goed kwantificeerbare bedrijfskosten-vermindering bij de gebruiker dan is oordeelsvorming omtrent toepassing van dit element niet moeilijk. In een verkeerssysteem komen echter veelal tevens ontwikkelingen tot stand die hun bron vinden in de infrastructuur of het operationele gebruik. Aan het vliegtuig wordt iets toegevoegd dat het functioneren van het verkeerssysteem ten goede komt, maar het vliegtuig zelf wordt wat duurder en zwaarder. Het zal duidelijk zijn dat grote ervaring vereist is om in een dergelijk complex geheel van voorwaarden tot een gebalanceerd oordeel te komen. Het is een type ervaring dat niet uit leerboeken is op te doen.

### Twintig jaar evolutie

De nieuwste generatie verkeersvliegtuigen verschilt sterk met die van 20 jaar geleden. Wellicht bent U nu verrast, want weliswaar is verschil met het oor goed waarneembaar, maar voor het oog is dat niet aanstonds zo duidelijk. Wie bij het beschouwen van de ontwikkeling van verkeersvliegtuigen zijn aanloop neemt bij het begin, 70 jaar geleden, zal wellicht de laatste 20 jaar onder willen brengen in de rubriek "verfijning". Ik wil U echter laten zien dat eerder van een spectaculaire evolutie sprake is.

Om in beperkt bestek iets toe te lichten ten aanzien van deze ontwikkelingen heb ik er vier onderwerpen uitgelicht:

- . Het aerodynamisch ontwerp van vleugels
- . De stuurhut als werkruimte voor de bemanning
- . De luchtwaardigheidsvoorschriften en de veiligheid
- . Voortstuwing en geluid.

Het aerodynamisch ontwerp van draagvlakken voor subsone verkeersvliegtuigen vergt onderzoek dat in principe altijd aanvangt met onderzoek op de dwarsdoorsnede van het draagvlak, het profiel. De vereenvoudigende veronderstelling kan dan gemaakt worden dat deze doorsnede vorm deel uitmaakt van een oneindig lange vleugel en derhalve een strikt twee-dimensionale stroming mag worden beschouwd.

De gecompliceerde condities van de eindige vleugel ingeplant in een romp, met een geometrie bepaald door pijlhoek, tapsheid, wrong en profielvariatie over de spanwijdte komt dan in tweede instantie in onderzoek.

In de jaren zestig kon het profielontwerp ondersteund worden door berekening van het snelheidsveld, echter slechts onder de beperkende voorwaarden dat in het gehele stromingsveld subsone snelheid heerste en de invloed van de grenslaag kon worden



verwaarloosd. Het profielontwerp steunde toen danook bijna geheel op het experimentele onderzoek in windtunnels, was iteratief van karakter en daardoor zeer tijdrovend. Waar gestreefd werd voor de ontwerpcondities van de kruisvlucht lokaal op het profiel supersone stromingssnelheden toe te passen bleek de empirische methodiek slechts beperkte mogelijkheden te bieden.

De aldus verkregen profielvormen werden toen vervolgens ingebracht in het ontwerp voor de vliegtuigvleugel waarbij de orientatie van het profiel in het draagvlak volgde uit een opgelegde verdeling van draagkracht over de vleugelspanwijdte. Deze draagkrachtverdeling kon worden berekend volgens dragende lijn conceptie of een semi-dragend vlak conceptie, die een voldoende nauwkeurige verdeling van draagkracht waarborgden. Deze methodiek is echter gebaseerd op de impliciete veronderstelling dat reproductie van de eigenschappen van de profielen in de werkelijke vleugel optreedt, met andere woorden dat een quasi-tweedimensionale stromingsconditie zich over de gehele vleugel voordoet.

Dat bleek bij windtunnelonderzoek aan complete vleugels echter maar in beperkte mate het geval.

Er moest danook moeizaam iteratief windtunnelonderzoek aan vele complete vleugels plaatsvinden om een beter resultaat te verkrijgen. Aerodynamici kwamen meestal in tijdnood.

In de jaren zestig was de stroming om het profiel van de verkeersvliegtuigvleugel ook onderwerp van fundamenteel onderzoek.

Twee vragen waren aan de orde: kon een subsone-supersone mengstroming om een profiel worden berekend en, zo ja, zou dan een supersoon lokaal stromingsveld over een groot deel van de vleugelkoorde kunnen worden verkregen waarin verliesvrije recompressie zou plaatsvinden in een stabiel blijvende stromingstoestand. Nederland leverde hier pionierswerk. Door werk verricht in het NLR werd aangetoond dat beide vragen bevestigend konden worden beantwoord. Daarmede lag in principe de weg vrij naar een beter ontwerp dan met de windtunnel als enig gereedschap mogelijk was.

De berekeningen van de mengstroming, de zogenaamde transsone stroming, golden echter aanvankelijk nog uitsluitend een zeer beperkte familie van profielgeometrieën. De eerste stap moest danook zijn de berekeningsmethoden algemeen toepasbaar te maken. In 1972 was dat zo ver; het was ook het startpunt voor het ontwikkelen van nieuwe ontwerpmethodieken voor vleugels. Een ontwikkeling die na 7 jaar intensief onderzoek ver genoeg was voor een eerste toepassing; een markant voorbeeld van omvangrijk werk dat op fundamenteel onderzoek kan volgen om te komen tot toepassing in de industrie.

Het onderzoek richtte zich eerst op het profiel in de overzichtelijke situatie van de twee-dimensionale stroming. De profielgeometrie werd gegenereerd uitgaande van een gekozen snelheidsveld in de ontwerpconditie. Kenmerk van het snelheidsveld moest zijn dat over een groot deel van de bovenkant van het profiel supersone stroming zou optreden, die verliesvrije recompressie, d.w.z. zonder schokgolven, zou vertonen. Maar welke criteria moesten worden aangelegd voor de keuze van de details van dat snelheidsveld moest nog worden uitgezocht. Een stabiele supersone lokale stroming in één bedrijfsconditie zou immers niet zeer waardevol zijn indien bij een kleine afwijking in deze bedrijfsconditie aanstonds schokgolfvorming en een sterke weerstandstoename zou optreden. Deze afwijkende condities moeten worden verwacht als gevolg van verandering van de vlieghoogte, of verandering van de vliegsnelheid of als gevolg van verschillen in vliegtuiggewicht.

Het was dus de vraag of een ontwerp mogelijk was waarbij voldoende flexibiliteit in het gebruik van de vleugel verwezenlijkt zou kunnen worden. Voorlopig een puur aerodynamische vraag; inmiddels wel opgelost.

Er waren ook andere vragen. Voor de toepassing op het verkeersvliegtuig was uiteraard de kernvraag hoe deze nieuwe methodieken de beste bijdrage tot een beter vliegtuig zouden kunnen leveren.

De stromingssnelheden aan de bovenzijde van het profiel worden in globale zin bepaald door de som van dikte-effect en draagkracht-effect.

Indien deze stromingssnelheden groter gekozen kunnen worden, hetgeen met de genoemde techniek mogelijk werd, dan zou voor gelijke ontwerpconditie het profiel dikker kunnen worden uitgevoerd, hetgeen gewicht, stijfheid van de vleugel en inwendig vleugelvolume zou verbeteren. Zou de profieldikte daarentegen constant worden gehouden dan zou een ontwerpconditie mogelijk worden waarbij bijvoorbeeld de dimensieloze draagkracht ( $c_l$ ) groter zou mogen worden gekozen, hetgeen een gunstige invloed op de weerstand en het brandstofverbruik in kruisvlucht zou oproepen. Het vliegtuig zou dan wel om dit voordeel te kunnen incasseren op grotere hoogte moeten vliegen of met hogere vleugelbelasting moeten worden uitgevoerd, d.w.z. met een kleiner vleugeloppervlak.

Het was duidelijk dat hier de vliegtuig-vóórontwerper aan het werk moest. Hij kon alle beïnvloede parameters meenemend in zijn ontwerpstudie het vliegtuig definiëren dat de best mogelijke opbrengst van de nieuwe aerodynamische ontwerpmethodieken zou vertonen. Hij kon daarbij zelfs aanwijzingen geven hoe het aerodynamisch onderzoek verder te sturen.



Er lag nog een andere aerodynamische vraag: Hoe zou een perfectere reproductie van de profieleigenschappen in de drie-dimensionale vleugel bereikt kunnen worden? De profielen van de nieuwe soort met hun lokaal supersoon snelheidsveld zouden in dit opzicht extra problemen kunnen oproepen. Dat bleek danook het geval te zijn.

Om hier tot een beter resultaat te komen werd een inverse rekenmethode ontwikkeld waarmee in benadering de geometrie van de drie-dimensionale vleugel kon worden berekend uitgaande van een opgelegde verdeling van draagkracht over de vleugelspanwijdte en, op een aantal plaatsen op de vleugel, bovendien een opgelegde snelheidsverdeling over de lokale profielcontour. De resultaten bij deze aanpak waren weliswaar beter dan wat ik schetste bij de methoden uit de jaren zestig, maar verificatie in de transsonne windtunnel liet zien dat hier verder onderzoek nodig was.

Het bouwwerk van methodieken is inmiddels verder vergroot. Nog steeds speelt de aanpak die start bij het vleugelprofiel een belangrijke rol, maar vandaag kan de vleugel-romp combinatie in zijn geheel nauwkeurig worden berekend voor de gecompliceerde constellatie van een supersoon lokaal veld over de gehele vleugel, eventueel afgesloten door een zwakke schokgolf.

Daarbij moet om voldoende nauwkeurigheid te bereiken veelal in het stromingsveld een netwerk worden gegenereerd met zo'n 150.000 punten. Krachtige computers zijn voor deze berekeningen nodig; voor snelle resultaten en verdere verruiming van mogelijkheden moet gedacht worden aan wat nu heet: de Supercomputer.

Ook de windtunnel zal nog lang een belangrijke rol spelen al was het alleen al omdat de vliegcondities van de duikvlucht met sterke schokgolf-grenslaag-interactie op de vleugel en de vliegcondities bij maximale draagkracht onder invloed van grenslaagloslating nog niet voor berekening toegankelijk zijn. Wat verkregen is met deze geheel nieuwe ontwikkeling in ontwerpmethodieken is een veel trefzekerder ontwerpproces en een beter vliegtuig. Afhankelijk van wat ter vergelijking wordt beschouwd is een vermindering in kruisvluchtweerstand met 10 tot 30 percent mogelijk.

In de stuurhut als werkruimte voor de vliegbemanning moet informatie samengebracht worden van de vliegconditie - zoals snelheid, hoogte, koers, vliegtuigstandhoeken - van de vliegtuigpositie op het vliegtraject en van de functionele condities van de vele boordsystemen.

Verder zijn bedieningsorganen nodig om alle systemen te kunnen schakelen en bedienen. Daarnaast moet actieve en passieve communicatie met grondstations kunnen worden onderhouden.

In de pionierstijd van het luchtverkeer werd de informatie waarover de vlieger beschikte permanent aan hem gepresenteerd; zonder enig bezwaar, want veel was het niet in die dagen.

De boordsystemen waren beperkt tot die voor het vaststellen van de vliegconditie, de voortstuwingsinstallatie, verlichting en ventilatie/verwarming.

Interpretatie en routinematig gebruik van de ruwe informatie berustte geheel bij de vlieger.

Hoe ziet het er uit in het begin van de jaren zeventig?

In de stuurhut van het grootste verkeersvliegtuig, de Boeing 747, treffen we wijzerinstrumenten, lampjes, en schakelaars in systematische ordening aan tot een totaal aantal van 970; bovendien zijn er 15 verschillende audio-waarschuwingen. Een dertigtal vanuit de stuurhut te bedienen en te bewaken afzonderlijke systemen heeft het vliegtuig aan boord.

De vlieger krijgt niet langer alle informatie bij dit vliegtuig in ruwe vorm gepresenteerd. Er is een begin, zij het bescheiden, om een deel van de routinematige verwerking van de ruwe informatie in subsystemen reeds te doen plaatsvinden, waardoor de vlieger het in een voor hem beter passende vorm gepresenteerd krijgt. Dit geldt met name voor een aantal electro-mechanische vlieginstrumenten waarin de informatie in geïntegreerde vorm wordt gepresenteerd en voor waarschuwingssystemen. Bij vier boordsystemen is gebruik gemaakt van digitale computers, mede ten behoeve van de informatieconversie. De taak van de bemanning wordt verlicht door het zogenoemde Flight Control Systeem.

De mens, die is geselecteerd op zijn vermogen met een dergelijke gecompliceerde installatie om te gaan, kan dit mede door intensieve training op o.a. de vluchtsimulator. Het is echter alleen al op grond van het grote aantal functies dat in de stuurhut is samengebracht duidelijk dat zijn taak gecompliceerd is en bij onverwachte gebeurtenissen kan leiden tot een hoge, soms te hoge, werkbelasting.

In 1977 werd danook o.a. in de Verenigde Staten reeds bepleit om te komen tot een geheel nieuwe conceptie van informatiepresentering in de stuurhut en tot de integratie van zoveel mogelijk systemen om de complexiteit te reduceren.

De eerste generatie vliegtuigen met een stuurhut ontworpen volgens deze nieuwe conceptie treffen we aan in de tweemotorige Airbus A310 en in de eveneens tweemotorige Boeing-vliegtuigen de 757 en 767.

Met deze benadering van de stuurhut als werkruimte was echter nog iets anders verbonden. Voor de genoemde vliegtuigen werd gesteld dat een zo grote verbetering van werkbelasting van de bemanning gerealiseerd zou kunnen worden dat deze vliegtuigen met twee bemanningsleden in de stuurhut zouden kunnen vliegen



in plaats van met de toen gebruikelijke drie, t.w. twee vliegers en een boordwerktuigkundige.

Deze stelling werd echter op een aantal plaatsen met ongeloof ontvangen en was aanleiding tot zodanige controverses dat de President van de Verenigde Staten zelf een zogenaamde Task Force benoemde die hierover moest adviseren. Deze Task Force concludeerde in Juli 1981 dat de eerder genoemde vliegtuigen in principe veilig zouden kunnen vliegen met een bemanning van twee vliegers.

De Airbus 310 werd uitgerust met een aantal op elektronische techniek berustende subsystemen. De belangrijkste daarbij zijn EFIS, afkorting van Electronic Flight Instruments, ECAM, Electronic Centralized Aircraft Monitor en FMS, het Flight Management System.

In plaats van met electro-mechanische instrumenten wordt nu op cathodestraalbuizen, ook bekend als kleurentelevisie-buizen, een belangrijk deel van de informatie gepresenteerd. Niet alleen is daarbij een vergaande integratie van de te presenteren informatie organiseerbaar, maar op een zelfde scherm kunnen door schakelhandelingen wisselende onderwerpen worden opgeroepen. Vooral ten aanzien van de bewaking en besturing van de verschillende boordsystemen is het mogelijk de informatie nu zo aan te bieden aan de vlieger dat interpretatie van deze informatie voor hem zeer snel mogelijk wordt. Dit geldt in het bijzonder wanneer zich systeemstoringen manifesteren.

Het Flight Management System berekent vooraf hoe de vlucht moet verlopen, waarbij voorwaarden, zoals minimale vlieggkosten, minimaal verbruik van brandstof of kortste vliegtijd, kunnen worden opgelegd. Het geeft onderweg het vluchtverloop op het scherm weer en biedt de mogelijkheid van snelle herberekening van een te wijzigen vluchtplan.

Dergelijke wijzigingen vinden meestal hun oorsprong in wensen van de verkeersregeling, die in drukke verkeersgebieden de vliegtuigen in passende volgorde moet binnenloodsen, hetgeen echter tot aanzienlijke werkbelasting in de stuurhut kan leiden.

Airbus Industrie als pionier op het gebied van de stuurhut van nieuwe conceptie is zeer ver gegaan in het beoordelen van de werkbelasting van een bemanning bestaande uit twee vliegers.

Zelfs zeer ongunstige scenario's werden onderzocht waarbij het gelijktijdig falen van een aantal systemen werd beschouwd; gevallen die geacht worden éénmaal per 100 à 1000 vliegtuigen te kunnen voorkomen over de gehele vliegtuiggebruiksduur van 100.000 uren.

Inmiddels is de stuurhut in nieuwe conceptie verder ontwikkeld.

Bij de Fokker 100 kan van een tweede generatie worden gesproken, wederom een grote stap voorwaarts. De thans in ontwikkeling zijnde vliegtuigen de Airbus A320 en de Boeing 747-400 worden ook uitgerust met een verder ontwikkelde uitvoering van de moderne stuurhut.

Deze laatste groeiversie van de 747, nog steeds het grootste verkeersvliegtuig, wordt nu eveneens afgestemd op een bemanning van twee vliegers.

Het eerder genoemde aantal meters, lampjes, en schakelaars is van 970 gereduceerd tot 365. De informatie in de stuurhut van de 747-400 wordt, evenals bij de Fokker 100, op 6 beeldschermen gepresenteerd.

De werkbelasting van de vliegers moest worden gereduceerd, maar dat geldt bepaald niet voor de werkers in de vliegtuigindustrie, die deze systemen moeten ontwikkelen. De omvang van een dergelijke opgave kan enigszins worden afgemeten aan het aantal vluchtsimulatoren dat bij de ontwikkeling van de stuurhut in gebruik is.

Bij de Fokker 100 werd een vluchtsimulator op vaste basis gebruikt, die alle functies volledig simuleerde en ook het beeld van de buitenwereld zodat in simulatie kon worden "gevlogen". Daarnaast werd bij het NLR de daar beschikbare bewegende vluchtsimulator benut voor de afstemming van het EFIS-beeld. Een Fokker F-28 prototype werd later geheel ingericht met het Fokker 100 systeem voor uitvoerig onderzoek op de grond, aangevuld met onderzoek in de vlucht.

De vliegtuigindustrie werkt bij dergelijke ontwikkelingen nauw samen met toeleveranciers, maar de integratietaak, die daarbij de vliegtuigbouwer toevallt is zeer groot. Bovendien is het zijn stuurhutontwerp, waar alle ervaring van eigen mensen, aangevuld met die van geïnteresseerde luchtvaartmaatschappijen, in moet worden verwerkt.

Het vergt een inspanning over een tijdvak van jaren om een dergelijk systeem volledig uit te ontwikkelen, inclusief de functie van de programmeerbare volledig geautomatiseerde naderingsvlucht en landing. Het is een zeer arbeidsintensief en kostbaar ontwikkelingsproces; de waarderende woorden komen danook van de andere kant: uit de stuurhut.

De luchtwaardigheidsvoorschriften gericht op veiligheid van het verkeersvliegtuig zijn, sinds de verkeersluchtvaart uit het pionierstijdperk trad, in ruim 30 jaar opgebouwd, waarbij steeds aan verbetering is gewerkt in een internationaal kader. De relatieve kwetsbaarheid van het verkeersmiddel-dat-de-grond-verlaat en de daarmee verbonden drempelvrees bij potentiële reizigers zijn mede uitgangspunt geweest voor een rigoureuze aanpak.



De regelgeving met betrekking tot de veiligheid omvat thans danook het gehele verkeerssysteem, d.w.z. regelgeving zowel ten aanzien van het vliegtuig in de ontwerpfase, de bouw, het gebruik in luchtverkeer en het onderhoud, als ten aanzien van de infrastructuur: luchtverkeersregeling en vliegtuignavigatie, de luchthavens, het operationele personeel en het technische personeel en uiteraard ook het ongevalonderzoek.

Eerst een kort overzicht van de veiligheid, die de verkeersluchtvaart heeft bereikt.

Volgens de wereldstatistiek is de onveiligheid van het geregelende luchtverkeer uitgedrukt in aantal slachtoffers onder de reizigers, in de periode 1975-1982, ongeveer 1 per 10<sup>7</sup> reiziger-kilometers. Ten opzichte van 1967 een verbetering met een factor 3, ten opzichte van 1952 een verbetering met een factor 9.

Voor dezelfde periode van 1975 tot 1982 is de onveiligheid ook uit te drukken in één fataal ongeval per 400.000 à 500.000 vluchten.

In maart 1978 is de onderling vergelijking van verkeerssoorten ten aanzien van veiligheid onderwerp geweest van een Symposium georganiseerd door het Centrum voor Vervoers- en Verkeerswezen van deze Universiteit.

Van die vergelijking lijken mij vandaag een paar aspecten interessant. Naar het criterium van reiziger-slachtoffers per eenheid van verplaatsing is luchtverkeer een veilige vorm van openbaar vervoer; bijna zo veilig als railvervoer in West-Europa. De personenauto in Nederland is volgens hetzelfde criterium een factor 10 slechter, de motor/scooter zelfs een factor 150 slechter.

Vergelijken we op basis van de onveiligheid van het gehele verkeerssysteem, dus niet alleen de onveiligheid voor reizigers, maar ook voor personeel en "derden" dan is luchtverkeer de veruit veiligste verkeerssoort. Hier is het verkeersmiddel dat-de-grond-verlaat in het voordeel t.o.v. alle andere verkeersmiddelen.

Veiligheid is iets dat verkregen wordt door de inspanning van zeer velen betrokken bij een verkeerssysteem, het moet steeds bevochten worden in een blijvende inspanning, te beginnen bij, in ons geval, het ontwerp van het vliegtuig.

Voor het vliegtuigontwerp kennen we luchtwaardigheidsvoorschriften, die leiden tot een Type-certificaat voor het desbetreffende type vliegtuig, nadat ten overstaan van een Rijksluchtvaartdienst is aangetoond dat het ontwerp aan deze voorschriften voldoet. Een verkeersvliegtuig mag echter pas worden gebruikt voor vervoer van passagiers als ook het individuele vliegtuig uit de serie-productie op zijn luchtwaardigheid is

beoordeeld. Inspectie bij de bouw en beoordelen van de uitrusting zijn daartoe nodig. Dit leidt tot het verstrekken van een luchtwaardigheidsbewijs door de overheid van het land waar het desbetreffende vliegtuig is ingeschreven. Dit bewijs moet daarna periodiek worden verlengd op basis van een beoordeling van onderhoud en vliegwaardigheid.

De luchtwaardigheidsvoorschriften zijn bij de vliegtuigontwikkeling buitengewoon belangrijk. Zij bevatten niet alleen voorwaarden waaraan het technisch ontwerp getoetst moet worden, maar ook voor de prestaties van het vliegtuig en zijn vliegeigenschappen. Ze mogen worden beschouwd als de neerslag van de jarenlange ervaring die met verkeersvliegtuigen op het aspect veiligheid is opgedaan.

De evolutie van het verkeersvliegtuig, die bij iedere ontwikkeling van een nieuw type aan de orde is, berust op innovatie - ik gaf U daarvan zojuist twee voorbeelden - en op de toepassing van nieuwe voorwaarden voor de "veiligheidsstandaard". Vooral dat laatste leidt tot een evolutie, die meestal onderbelicht blijft, maar die bij de vliegtuigontwerper veel aandacht vergt. De achtergrond van vele paragrafen van de luchtwaardigheidsvoorschriften wordt gevormd door een waarschijnlijkheids-verwachting ten aanzien van het optreden van specifieke gebeurtenissen. Deze waarschijnlijkheid vormt dan een criterium voor de geformuleerde eis; het effect op de functionering van het vliegtuig mag groter zijn naarmate de waarschijnlijkheid van optreden kleiner.

Zo vergt een gebeurtenis, die weliswaar in het leven van één vliegtuig een voldoende lage waarschijnlijkheid heeft, maar waarvan verwacht wordt dat hij zich wel éénmaal in een vloot van eenzelfde type vliegtuigen kan voordoen, dat het vliegtuigontwerp moet voldoen aan de eis dat na deze gebeurtenis nog veilig kan worden geland. In dat geval mogen echter aangepaste procedures worden gebruikt en is een grote inspanning van de bemanning toelaatbaar.

Recente aanvullingen op de voorschriften betreffen veelal zulke grensgevallen. Ik beperk mij in dit kort bestek tot twee voorbeelden van aanvullingen op de voorschriften van omstreeks 1978. Het betreft het falen van een gasturbine-motor waarbij wegvliegende delen schade veroorzaken buiten de motor. Daar in de periferie van de motor ook veel elementen van boordsystemen zullen moeten worden ondergebracht - de voortstuwingsinstallatie is immers ook de energiebron voor hydraulische, elektrische en pneumatische boordsystemen - moeten deze systemen op de consequenties van de genoemde gebeurtenis worden beoordeeld, hetgeen veelal verstrekkende gevolgen heeft voor het ontwerp.



Een andere gebeurtenis in deze categorie is een verondersteld mechanisch vastklemmen van een besturingsorgaan. Door verdubbeling van elementen in de besturing en bijzondere maatregelen in het ontwerp kan ook hierbij gewaarborgd worden dat de vlucht, met extra inspanning van de bemanning, veilig kan worden beëindigd.

De bewijsvoering dat aan de voorschriften wordt voldaan berust op een combinatie van analyse en beproeving, waarbij aan de beproeving bijna altijd grote zwaarte wordt toegekend.

Grote cascodelen worden beproefd op sterkte, vermoeiing en faalveiligheid bij schade. Systemen worden functioneel beproefd in het laboratorium en in het vliegende vliegtuig. De prestaties van de vliegtuig-motor-combinatie moeten door meting in de vlucht worden vastgesteld en hetzelfde geldt voor de beoordeling van de vliegtuigstabiliteit en de besturing.

De grote bedragen gemoeid met de ontwikkeling van een nieuw type verkeersvliegtuig zijn voor een belangrijk deel vereist voor de te beproeven vliegtuigen, voor laboratoriumuitrusting en voor de beproeving zelf.

De opbrengst van deze kostbare beproeving, die zowel bij de vliegtuig- als de motor-ontwikkeling plaatsvindt, gaat echter ver uit boven de bewijsvoeringsfunctie, die het voorschrift oproept. De kennis omtrent vliegtuig en motor, die langs deze weg wordt verkregen, is van grote waarde voor de ondersteuning van het operationele gebruik en voor het bereiken van een hoog kwaliteitsniveau.

Een fataal ongeval per 500.000 vluchten, de huidige onveiligheid in het luchtverkeer, mogen we niet als een voldoende lage onveiligheidsfrequentie beschouwen. Het is ook een frequentie die twee orden van grootte groter is dan de gebeurtenissen, die zojuist in meer detail ter sprake kwamen.

Een analyse van 139 ongevallen uit de periode 1964-1974 leerde dat technisch falen in 14 percent van de gevallen oorzaak was en dat de combinatie van een technische storing en het daarvoor falen van de mens ook in 14 percent van de gevallen ongevalsoorzaak was. Naar verwachting zijn deze percentages thans nog lager.

Er ligt dus nog een ruim terrein braak waarop de verbeteringen in veiligheid kunnen worden opgebouwd en wel vooral buiten het "jachtgebied" van de luchtwaardigheidsvoorschriften.

Ik gaf U reeds het voorbeeld van de evolutie van de stuurhut, een evolutie, die niet uit de voorschriften voortkomt, maar uit het zicht op de voorwaarden waaronder operationeel moet worden gewerkt. Op operationeel gebied kunnen regelgeving en technische ondersteuning een belangrijke bijdrage tot de verdere verbetering van veiligheid in luchtverkeer betekenen, maar - ik noemde het eerder - de menselijke factor blijft zeer

belangrijk: Veiligheid moet worden bevochten in blijvende inspanning van alle betrokkenen.

Ik kom nu op mijn laatste voorbeeld van evolutionaire ontwikkeling: voortstuwning en geluidsproductie.

De eerste verkeersvliegtuigen met straalmotor kwamen rond 1960 in bedrijf. De nieuwe vorm van voortstuwning, geschikt voor een verdubbeling van kruissnelheid ten opzichte van die van het schroefvliegtuig, kwam voort uit de beschikbare motortechniek voor militaire toepassing.

Het belangrijkste manco van dit type voortstuwning, in deze eerste civiele toepassing, was de geluidsproductie; lawaaihinder rond vliegvelden, die met het toenemen van het aantal vliegtuigbewegingen als zeer ernstig werd ervaren.

Met de verdere ontwikkeling van nieuwe verkeersvliegtuigen en nieuwe motoren voor civiele toepassing is daarna een tendens in gang gezet waarbij de geluidsproductie bij bijna ieder nieuw ontwerp kon worden verminderd.

In ruim twintig jaar is daarbij het vliegtuiglawaai, uitgedrukt in een zogenoemd hindergetal, met ongeveer 15 dB verminderd.

Daarmede is thans een luidheidsniveau verkregen dat ongeveer 5 dB boven dat van het vliegtuig zelf ligt, met andere woorden zou bij de motorontwikkeling in de toekomst een verdere reductie van motorlawaai met meer dan 5 dB mogelijk zijn dan zou uitsluitend de ruis van de turbulentie, die het vliegtuig zelf in de lucht veroorzaakt, de dominante geluidsbron zijn.

Vliegtuigen kunnen dus ook dan nog worden gehoord, hoewel, terwijl ik deze regels aan het papier toevertrouwde regende het hard buiten. Ik vroeg mij daarbij af of het "Effective Perceived Noise Level"-getal van de regenbui niet te hoog was om een overvliegende Fokker 100 nog te kunnen horen.

De ontwikkeling naar het stillere verkeersvliegtuig is begeleid en deels ook afgedwongen door voorschriften. Deze voorschriften golden in principe voor alle nieuwe vliegtuigontwikkelingen, maar ook varianten van een bestaand type werden daarbij meestal als "nieuw type" behandeld. De eerste normen voor maximaal toelaatbare luidheid van het vliegtuig werden in 1969 van kracht; in 1977 gevolgd door verscherpte eisen voor de na die datum te ontwikkelen vliegtuigen.

De dominante bronnen van geluid in de startfase van de vlucht waren bij de eerste generatie straalmotoren in de gasstraal te vinden. De met supersone snelheid uittredende gasstraal veroorzaakte in de turbulente menging met de omgevingslucht en als gevolg van, wat in Engeland genoemd werd, "shock cell



noise" een zeer hoog geluidsniveau. Dit buiten de motor ontstane geluid kan maar in zeer beperkte mate door toevoegingen aan de motor worden beïnvloed indien het voortstuwingsrendement vrijwel onaangetaast moet blijven.

De praktische weg naar minder lawaai was het veranderen van de motorconceptie waarbij lagere gassnelheden in de uitlaat werden gebruikt, waartoe dan grotere hoeveelheden lucht door de motor moeten worden versneld voor gelijkblijvende trekkracht. Bij deze motor wordt nog slechts een deel van de lucht door de gasturbine geleid en wordt de trekkracht in hoofdzaak ontleend aan door de zogenaamde fan versnelde koude lucht.

De straalmotor werd groter in diameter, zwaarder en duurder. Er was echter bij deze ontwikkeling ook een verbetering te vermelden namelijk het brandstofverbruik werd in niet onbelangrijke mate verbeterd ten opzichte van de eerdere generatie zuivere straalmotoren. De dominante geluidsbronnen worden bij de verbeterde motor nu aangetroffen in de motor zelf.

Motorontwikkeling was sindsdien dan ook niet alleen gericht op efficiënte voortstuwung en betrouwbaarheid, maar het detailontwerp van fan, compressor, verbrandingskamer en turbine moest tevens vergaand worden afgestemd op de eisen van een geringe geluidsproductie.

Het is hier dat ook de vliegtuigontwerper zijn bijdrage kan, soms ook moet, leveren.

In de motorgondel kan namelijk het geluid, dat de motor ondanks zorgvuldig detailontwerp toch nog zal produceren, voor een belangrijk deel worden weggenomen door geluidabsorberende bekledingen in wanden aan te brengen. Daarvoor komen de wanden van het motor-inlaatkanaal en alle kanalen die naar de uitlaat leiden in aanmerking.

Acoustische bekledingen moeten worden afgestemd op de frequentie-inhoud van het geluid in het desbetreffende kanaal. Deze frequentie-inhoud kan echter sterk verschillen voor de bedrijfsconditie van de start en die voor de naderingsvlucht. In beide gevallen blijkt echter dat de functie van wandabsorptie onmisbaar is, zodat complexe voorwaarden gelden voor het ontwerp van de acoustische bekleding van deze wanden.

Bij de ontwikkeling van de Fokker 100 kwamen het ontwerp en de beproeving van de acoustische bekledingen tot stand in samenwerking tussen de motorfabrikant Rolls Royce, de afdeling Voorstuwings-aerodynamica van het NLR en de Ontwikkelingsafdeling van Fokker.

De motorfabrikant was daarbij de verantwoordelijke partij.

Evenals bij de bewijsvoering ten aanzien van de luchtwaardigheidseisen voor vliegtuigprestaties moet ook hier door

metingen aan het startende en landende vliegtuig worden vastgesteld wat, binnen de strikte regels van het voorschrift, het luidheidsniveau van de nieuwe vliegtuig-motor-combinatie is. Ook dit is een niet geringe afzonderlijke inspanning die bij iedere nieuwe vliegtuigontwikkeling opnieuw moet worden geleverd.

Het relatief stille vliegtuig is verkregen na een aantal evolutiestappen waarbij verandering van de motor-conceptie werd gevolgd door telkens verbeterd motor-detail-ontwerp en een verbeterd ontwerp van acoustische wandbekledingen. De daartoe ontwikkelde analytische en experimentele technieken vergden een aanloop van jaren vóór goede resultaten konden worden verkregen. We kunnen terugzien op een kostbare en vaak moeizame onderneming, maar ook op een goed resultaat. Mijn voorbeeld, de Fokker 100, voldoet met enige dB's marge aan de figerende voorschriften en is ook in absolute zin vrijwel het stilste verkeersvliegtuig met straalvoortstuwung.

Wellicht is op te merken dat het welbegrepen eigenbelang was van de verkeersluchtvaart om de techniek van het vliegtuig ten aanzien van lawaai-overlast aanmerkelijk te verbeteren.

Ik wil dat niet tegenspreken, maar er wel iets aan toevoegen. Het was welbegrepen eigenbelang op lange termijn. Als we vandaag zien hoe traag op een aantal gebieden milieuverbetering op gang komt dan heeft dat bijna zeker als oorzaak een welbegrepen eng eigenbelang op korte termijn.

### Epiloog

Met deze voorbeelden betreffende de ontwikkeling van de technologie van het verkeersvliegtuig in de afgelopen twintig jaar ben ik lang niet volledig. Zo is onder andere de opvallende evolutie in constructies en materialen niet ter sprake gekomen. Met mijn voorbeelden trachtte ik slechts een indruk te geven van hetgeen in deze periode nodig was en in aan andere vorm in de toekomst wederom nodig zal zijn, om een nieuw type verkeersvliegtuig te kunnen uitbrengen, dat de internationale concurrentie volledig aan kan.

In een ontmoeting tussen een Nederlander uit de vliegtuigindustrie en een collega-manager van een grote vliegtuigindustrie aan de Westkust van de Verenigde Staten viel de retorische vraag te beluisteren: "Waarom concentreert U zich niet op de producten die U ook uitstekend kunt maken, zoals kaas, bloembollen en wijn?".

Dat van die wijn zij de man vergeven, want dat verraadt zijn brede kijk op Nederland.

Het charmante van de vraag schuilt in een ander woord, het woord "ook". Hij meende last te hebben van een Nederlands



kwaliteitsproduct dat naar zijn visie uit Amerika diende te komen.

Zoals U wellicht herkende in mijn betoog is er - om nog even terug te komen op de wijn - een parallel tussen het handhaven van het niveau van een "premier grand cru classé" en vliegtuigontwikkeling, alleen de middelen zijn nogal verschillend. Kan Nederland in de vaart van deze technische evolutie meekomen? Tot nu toe uitstekend! De voorwaarden daarvoor zijn in ons land danook gunstig. Onze infrastructuur voor de vliegtuigontwikkeling kent alle componenten, die daartoe nodig zijn, het luchtvaartlaboratorium (NLR), de Rijksluchtvaartdienst, het Nederlands Instituut voor Vliegtuigontwikkeling en Ruimtevaart en niet in de laatste plaats een met verkeersvliegtuigen ervaren industrie. Verder opleidingen op verschillende niveau's, waaronder de TUD, Faculteit der Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek, de TH Vliegtuigbouwkunde te Haarlem en de Anthony Fokkerschool in Den Haag. Bovendien is naar mijn ervaring binnen de Nederlandse infrastructuur een uitstekende samenwerking gegroeid.

Ik hoop dat na de grote investeringen, die zojuist nodig waren voor de ontwikkeling van de Fokker 50 en de Fokker 100, de aandacht in de komende jaren niet eenzijdig terecht komt bij het binnenhalen van de oogst, want zo zit de wereld niet in elkaar. Continuïteit vergt uiteraard een goede oogst, maar ook tijdig zaaien. Valt de ondersteuning van de research grotendeels weg, zoals thans het geval is, dan komt zelfs op een relatief korte termijn de continuïteit van de lange termijn in gevaar, want in welke vorm men zich die continuïteit ook voorstelt de evolutionaire ontwikkeling van het vliegtuig zal er een essentiële component van zijn.

### Besluit

In een afscheidsrede moet ook het werk aan de universiteit een plaats krijgen.

Ik was de eerste docent, die, met een hoofdtaak in de vliegtuigindustrie, de hogere jaars studenten mocht ondersteunen op hun pad naar kennen en kunnen. In de omschrijving van mijn benoeming staat: Om onderwijs te geven in het ontwerpen van vliegtuigen. Het ontwerpen van vliegtuigen is echter een activiteit met een onmiskenbaar multi-disciplinair karakter al is er ook een dirigent nodig die de musici in het vliegtuigbouwkundig orkest moet leiden naar een gebalanceerde uitvoering. Er is ook bij dat ontwerpen een vóórtraject waarin

vooral de synthese tussen de vele deelbijdragen in het vak voorop staat. Ik bracht dat reeds eerder ter sprake.

Voor zover echter ontwerpen zijn wortels heeft in industriële ervaring is het maar zeer ten dele mogelijk deze ervaring zelf over te dragen.

De nadruk moet veeleer dan liggen op methodieken en op kennis omtrent een aantal deelgebieden die gekend moeten worden om deze methodieken zinvol te kunnen gebruiken. Veel deelgebieden werden danook mijn deel in het college. Niet alleen de Aerodynamische Vormgeving was een onderwerp, maar ook onderwerpen zoals Gewichtsbeschouwingen, Economie van het transport en Geluidshinder. Als toegift waren er onderwerpen, die wisselden van jaar op jaar, onderwerpen zoals IJsvorming op vliegtuigen en de consequenties daarvan en Beschouwingen betreffende de ontwikkeling van luchtverkeer.

Ik heb deze 19 jaar dubbel-leven als bijzonder plezierig ervaren. Niet alleen is het heel verfrissend kennis opnieuw te moeten ordenen voor een college, maar ook de menselijke contacten in mondelinge tentamens en bij het afstuderen waren altijd boeiend.

Overigens werd er in de loop der jaren met verschillende kleurnuances naar Buitengewoon Hoogleraren gekeken. Ik herinner mij dat in het begin van de jaren zeventig lieden, die zich toen oppervlakkig hadden geoefend in het herkennen van de misstanden in de maatschappij, ineens de Buitengewoon Hoogleeraar zagen zitten, een afgezant van het bedrijfsleven en spion in de universitaire wereld. Wat vooral stak was dat hij in staat werd geacht vast te stellen wie talent had voor bepaalde taken in het bedrijfsleven. Kennelijk projecteerden deze lieden zich graag in taken waarvoor ze minder geschikt waren. Tien jaar later had de kritiek een andere kleur. Buitengewoon Hoogleraren, die zoveel contacten hebben in het bedrijfsleven, zouden wat actiever kunnen zijn om afgestudeerd talent aan een start te helpen.

Ideeën, die maar even in de mode zijn, verwerven desondanks soms vele aanhangers.

In de dagen dat de bomen nog tot de hemel leken te groeien gaf ik eens een voordracht over taken van jonge ingenieurs in de praktijk. Ik liet er geen twijfel over bestaan dat continuïteit in een industrie op lange termijn mede afhankelijk is van commercieel positieve resultaten en dat deze voorwaarde ergens ook een component van ingenieurswerk is.

Ik was verbaasd dat de collegezaal daarover verbaasd was.

Kennelijk gebaseerd op influisteringen had het Departement bij mijn eerste benoeming reeds een Besluit doen uitgaan omschrijvende dat "hij zijn onderwijs in het ontwerpen van vliegtuigen



inricht in overleg met ir. H. Wittenberg, hoogleraar in vliegtuigbouwkunde".

Een zeer wijs besluit, want aan de contacten met jou, Hans, heb ik zeer veel gehad. Mijn onwetendheid inzake de organisatie van het onderwijs aan de Faculteit gaf nooit problemen zolang jij in de buurt was, jij wist er alles van. Belangrijker was echter dat we een brede belangstelling voor het vak deelden, hetgeen aanleiding werd elkaar daarover vaak te ontmoeten. We hebben dat 19 jaar volgehouden, alleen in het laatste jaar kwam er een beetje de klad in. Je bent inmiddels dekaan van de Faculteit geworden, dat geeft kennelijk veel afleiding.

Prof. Torenbeek, onze paden kruisten ook vaak. Hoe kon het ook anders, want het conceptueel ontwerp van het vliegtuig is je onderwerp en wel als hoofdtaak. Over dat vóórontwerpen van vliegtuigen schreef je een 600 pagina's dik boek dat inmiddels in de wereld grote bekendheid heeft en danook al enige herdrukken kent. Egbert, van deze plaats wil ik je nog veel succes toewensen.

Prof. Obert, beste Ed, het verheugt mij zeer dat je bereid bent mijn taak over te nemen en daarmee het contact met de industrie in hetzelfde werkgebied te bestendigen. We hebben jarenlang in de industrie samengewerkt en ook, nadat onze taken bij Fokker wat verder uit elkaar kwamen te liggen, heeft ons dat er niet van weerhouden af en toe het dispuut over de vakproblematiek te voeren. Ik wens je veel succes.

Een woord van dank past hier voor de bijdrage van de vele medewerkers van de Technische Universiteit aan de onmisbare voorwaarden om te kunnen functioneren als Buitengewoon Hoogleraar. Eén naam moet ik noemen, die van Mw. Constandse-Voeten. Janny zonder jouw talent voor navigatie was mijn schip ongetwijfeld wel eens uit koers geraakt.

Zoals reeds eerder vermeld heb ik het dubbelleven met hoofdtaak in de industrie en neventaak in Delft als bijzonder plezierig ervaren. Dubbellevens hebben echter ook hun keerzijde, ze roepen dubbel werk op.

Vooraf in de aanloop van het werk in Delft zijn veel andere activiteiten verdrongen. In het gezin was mijn toestand in die dagen kort te typeren: "Pa werkt".

Dat ik dat toch hebben kunnen doen - het moet hier nu toch maar worden vastgesteld - is door de steun die mijn lieve vrouw in al die jaren voor mij heeft betekend. Elly, je hebt nooit bij me aangedrongen meer hooi op de vork te prikken, maar adviezen van tegengestelde aard waren er ook niet. Je hebt gewoon de steun gegeven die het mogelijk maakte veel te

doen en zonder die steun zou ook vandaag deze afscheidsrede niet zijn gehouden.

Ik wil je daarvoor ook vanaf deze plaats heel hartelijk danken.

#### Literatuur

- . Blom, J.H.D., Verkeersvliegtuigen, techniek in beweging, Waltman, Delft, 1-10-1969.
- . Annual Report of the ICAD, 1986 en voorgaande jaren.
- . Brindley, John F., Deregulation of the US air transport industry, Interavia, 4/1979.
- . Gorham, J.E., In search of Air Traffic Control, Astronautics and Aeronautics, Oct. 1977.
- . Speyer, J.J. en Fort, A., Certification Experience with methods for minimum crew demonstration, AGARD, Conference Proceedings 347, paper 26, 1983.
- . Wittenberg, H., De veiligheid in de luchtvaart en haar bewaking, deel 8.3.5.1 van Bedrijfsveiligheid-Handboek, Kluwer.
- . Blom, J.H.D., Veiligheid van vervoerssystemen nader beschouwd, De Ingenieur, nr. 22, jaargang 90, 1978.
- . Meiklem, P., The CAA Mandatory Occurance Reporting System, AGARD, Conference Proceedings 212, paper 20.