

1-10-69

**VERKEERSVLIEGTUIGEN  
TECHNIEK IN BEWEGING**

**J. H. D. BLOM**

# VERKEERSVLIEGTUIGEN

## TECHNIEK IN BEWEGING

### REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING  
VAN HET AMBT VAN BUITENGEWOON  
HOGLERAAR IN DE AFDELING DER  
SCHEEPS- EN VLIEGTUIGBOUWKUNDE  
AAN DE TECHNISCHE HOGESCHOOL  
TE DELFT, OP WOENSDAG

1 OKTOBER 1969  
DOOR

J. H. D. BLOM



UITGEVERIJ WALTMAN - DELFT

*Mijne Heren Curatoren,  
Mijnheer de Rector Magnificus,  
Mijne Heren Leden van de Senaat,  
Dames en Heren Lectoren, Docenten en Medewerkers van de  
Technische Hogeschool,  
Dames en Heren Studenten,  
en voorts Gij allen, die door Uw aanwezigheid van Uw belang-  
stelling blijk geeft,*

*Zeer gewaardeerde Toehoorders,*

Vervoermiddelen zijn ons zo vertrouwd geworden dat de gedachte, zich te moeten verplaatsen, onmiddellijk geassocieerd is met enige specifieke mogelijkheden. Het betekent vrijwel zeker dat ons iets voor de geest komt, passend bij de te overbruggen afstand, te beginnen bij de lift en de fiets. De grote verscheidenheid in hulpmiddelen voor de verplaatsing, die ten dienste staan, zijn aanvaarde elementen van het cultuur-patroon in de hoogontwikkelde landen geworden, waarbij – hoewel enige drempelvrees bij deze aanvaarding wellicht voor enkele vervoerscategorieën is opgetreden – de snelle adoptering van deze middelen op grote schaal een kenmerk van indrukwekkend aanpassingsvermogen van de mens mag worden genoemd. De oudere generatie heeft immers bij de vervulling van de militaire dienstplicht zich nog intensief met het paard moeten bezighouden, zich daarbij wellicht niet realiserend getuige te zijn van de laatste ontwikkelingsfase van 40 eeuwen militaire vervoers-techniek met haver als brandstof.

Het getemde dier was reeds in de eerste grote beschaving de motor voor het vervoer over land. In een door de zon verhitte en door twee grote rivieren, de Tigris en de Eufraat, gevoede vlakte kwam de mens tot deze ontwikkelingsfase.

De Soemerische cultuur bracht hier de eerste transportmiddelen voort, zoals de door het dier getrokken vrachtwagen en het geroeide of door de wind meegenomen schip. Er werden handelsverbindingen over lange afstand mee onderhouden, en wel met de gebieden die nu de namen Egypte, India en Turkije dragen.

Maar 4000 jaar later, in Napoleons tijd, verplaatste men zich

over land in nog vrijwel hetzelfde tempo en met dezelfde vervoersbeperkingen, gebonden als men ook toen nog was aan de mogelijkheden van het trekdier. Pas na het beschikbaar komen van een mechanische krachtbron konden vervoermiddelen ontwikkeld worden met een grotere snelheid en vooral met een belangrijk grotere praktische bruikbaarheid in hun vervoersfunctie. De mechanische krachtbron heeft daarbij niet alleen aan de opvolgers van diligence, paardetram en zeilschip in ruime mate deze nieuwe kwaliteiten gegeven, maar ook – in het zeer recente verleden – de mogelijkheden geopend voor een geheel nieuwe vorm van transport, namelijk met het verkeersvliegtuig.

Dit nieuwe lid onder de vervoermiddelen is sindsdien, binnen slechts één mensengeneratie, geëvolueerd van wat genoemd zou kunnen worden het „avontuur” voor betalende passagiers naar de zakelijke realiteit in het huidige vervoer door de lucht, een vervoer waarvan de in het verschiets liggende ontwikkeling onze fantasie nog vermag te prikkelen. Het luchtvervoer, thans reeds een belangrijke component van openbaar vervoer, past door zijn specifieke karakter goed bij de stroomversnelling, waarin de huidige maatschappij zich bevindt, en is daarbij ook katalysator voor nieuwe ontwikkelingen op vele andere gebieden [1].

Aan enkele aspecten van het verkeersvliegtuig moge hier een nadere beschouwing worden gewijd.

Het heeft zich reeds thans over de gehele wereld een plaats verworven: onder andere als vervoermiddel voor intensief intra-continentaal passagiersvervoer tussen steden, als het vervoermiddel, dat bijna 90 percent van het passagiersvervoer over de oceanen rond het Noordamerikaanse continent tot zich heeft getrokken, en als het vervoermiddel met een belangrijke, maar ten aanzien van de vervoersomvang nog bescheiden taak in tot voor kort zeer moeilijk bereikbare gebieden, zoals in Centraal Afrika [2] [3]. De groei, die het wereld-luchtverkeer na 1947 vertoont, geeft gemiddeld iedere  $4\frac{1}{2}$  jaar een verdubbeling van de jaarlijkse vervoersomvang te zien.

In de Verenigde Staten is het openbare passagiersvervoer tussen de steden thans voor 70 percent vervoer door de lucht. Naast passagiersvervoer begint ook het vrachtvervoer een

belangrijke contributie in het totale luchtvervoer te leveren.

Sinds 1949 is de snelheid van het lange-afstandsverkeersvliegtuig ongeveer verdubbeld; de vliegticketprijzen, die van de reiziger worden gevraagd, zijn daarbij echter in verhouding tot het gemiddelde gezinsinkomen in de rijke landen met ongeveer een factor 4 gedaald [5].<sup>1)</sup>

Kortere reistijd, groter comfort tijdens de reis, betere reismogelijkheden en dalende relatieve vervoersprijs zijn de belangrijkste elementen, waarop het luchtverkeer zijn groei heeft kunnen stimuleren. Het zijn elementen, die grotendeels door het vervoermiddel zelf bepaald zijn, daarbij de vervoersprijs inbegrepen. De evolutie van het vervoermiddel bepaalde daarvoor in belangrijke mate de evolutie van het vervoer door de lucht.

Vliegtuigen worden ontworpen voor een verscheidenheid van vervoerstaken, die voor één vliegtuig-type grotendeels bepaald zijn door de gekozen combinatie van vervoerscapaciteit, trajectlengte en vliegveld-baanlengte.

Bij het concipiëren en uitwerken van een nieuw project zal de vliegtuigbouwer zich concentreren op het realiseren van gunstige bedrijfsresultaten bij de gebruiker van zijn produkt, de luchtvaartmaatschappij. Ogenschijnlijk zijn daarmee duidelijke voorwaarden voor de conceptie en uitwerking van een nieuw ontwerp gegeven. In werkelijkheid liggen echter de voorwaarden voor gunstige bedrijfsresultaten in een gecompliceerd veld van mogelijkheden.

Het ontwerpen voor een specifieke gebruiksfunctie houdt in dat het project op lage bedrijfskosten in deze functie moet worden afgestemd. Daar echter de wensen van alle potentiële gebruikers van het vliegtuig binnen het gekozen verkoopsveld enigszins zullen verschillen en bovendien over de levensduur van het project niet constant zijn, is een onderzoek naar de flexibiliteit, die het project heeft voor het economisch vervullen van vervoersfuncties, die enigszins afwijken van de oorspronkelijk gespecificeerde, vrijwel altijd mede noodzakelijk.

<sup>1)</sup> Daarbij moet worden opgemerkt dat nog in 1942 door Lissitzyn in de Verenigde Staten werd gepleit voor een continuering van de directe subsidiëring van het luchtverkeer door de staat in de na-oorlogse periode, en wel ter stimulering van een tak van vervoer, die door hem primair werd gezien als de vervulling van politieke, militaire en prestige-doeleinden [4]. Uiteraard is in die zin thans van subsidie aan het luchtverkeer geen sprake meer.

In het vervullen van zijn taak bevindt de ontwerper zich bovendien altijd op het grensvlak van de beproefde en bekende vliegtuigtechniek en het „nieuwe”, dat hij wellicht zelf moet helpen vormgeven, maar dat tevens deel kan uitmaken van een algemene ontwikkelingstrend in de vliegtuigbouw. Kortere reistijd en „groter comfort tijdens de reis” zijn geen bijprodukten van een zorgvuldige afstemming van het vliegtuig op zijn vervoerstaak met lage bedrijfskosten als uitsluitend doel, maar zijn voorbeelden van door de vliegtuigbouwer naar zijn subjectieve keuze en mogelijkheden toegevoegde kwaliteiten. Het bestaansrecht van een nieuw type verkeersvliegtuig is daarmee niet alleen door een nieuw geformuleerde vervoerstaak, maar bovendien door de „modernere” standaard van het vervoermiddel gegeven.

De „modernere” standaard van het vliegtuig moet hier dan opgevat worden als het produkt van de contribuërende ontwikkelingen in onder andere de vakgebieden aërodynamica, vliegtuigmaterialen, vliegtuigconstructies, produktietechnieken, vliegtuigsystemen en vooral voortstuwingsmiddelen. In het algemeen zal een „modernere standaard” in de eerste plaats een belangrijke factor voor het aantrekken van vervoer bij de luchtvaartmaatschappij mogen worden genoemd, en wel doordat het vervoermiddel aantrekkelijker is geworden voor de passagier. Daarnaast kan ook een betere vervulling van de uit de praktijk bekend geworden voorwaarden voor het realiseren van lagere exploitatiekosten mogelijk zijn geworden. Beide aspecten zijn uiteraard voor de luchtvaartmaatschappij van groot belang.

De wijze, waarop een vliegtuigproject moet worden uitgewerkt, opdat de laagste bedrijfskosten worden gerealiseerd binnen een reeds globaal gedefinieerd gebruiksveld, zal in het algemeen alleen een ervaren ontwerper bekend zijn.

Als eerste oriëntering voor deze kosten biedt een op statistische basis gestelde methode, zoals die van de Air Transport Association of America, enig houvast [6]. Deze methode werkt met een beperkt aantal grove parameters, zoals totaal gewicht van het vliegtuig, geïnstalleerd motorvermogen en aanschaffingsprijs van het vliegtuig.

Slechts in zeer beperkte mate kan op deze basis inzicht worden verkregen in de bedrijfskosten zoals deze worden beïnvloed door

de vele beslissingen, die de ontwerper in het proces van het detailleren van zijn vliegtuig moet nemen. Wordt bijvoorbeeld door hem een laag materiaal-spanningsniveau in dure vermoeiingsgevoelige onderdelen gekozen, opdat een economisch gunstige levensduur van deze delen is gewaarborgd, of wordt een extra vrachtluik in de romp aangebracht om de beladingsmogelijkheden van het vliegtuig te verruimen, of wordt in het pakket van vliegtuigsysteemdelen door zorgvuldige selectie van toeleveranciers, door goede detailconstructie en door het scheppen van een gunstige „after sales service” een aantoonbare besparing op onderhoudskosten bereikt, in de reeds genoemde berekening van bedrijfskosten op statistische basis zal slechts de, in het algemeen, ongunstige invloed van de gewicht- en prijsconsequenties van zijn maatregelen zichtbaar worden.

In de verkoopbrochures van nieuwe vliegtuigen zijn de ATA-bedrijfskosten-getallen een obligaat nummer geworden. Als maatstaf voor de potentiële rentabiliteit van een nieuw vliegtuig dient van deze getallen met gepaste argwaan kennis te worden genomen.

Dit moet ook de Federal Aviation Agency in de Verenigde Staten bewogen hebben om, bij het beoordelen van de resultaten van een in 1964 uitgeschreven ontwerp-competitie voor de vervanging van het aloude DC-3 vliegtuig, een puntenwaarderingsysteem te hanteren, dat slechts 350 van de 1000 te behalen punten in de rubriek Economics plaatste en de overige 650 punten verdeelde over Technical Ability, Manufacturer Management, Maintenance Requirements en Operational Characteristics [7]. De waarschijnlijkheid van een ruime deelneming aan deze competitie door, op dit gebied nog onervaren, vliegtuig-industrieën was hier kennelijk uitgangspunt geweest voor een beoordelingssysteem, gebaseerd op de visie dat de beste waarborg voor gunstige bedrijfskosten van een nieuw vliegtuig ligt in het technisch vermogen van de ontwerpende vliegtuigfabriek, kortom in de „naam” van de fabriek. Men heeft daarbij de theoretische economie, in casu conform de routine van de statistische aanpak, een relatief gering gewicht in de totale beoordeling gegeven.

De Nederlandse vliegtuigindustrie heeft met haar moderne, maar relatief kleine, verkeersvliegtuigen, Fokker F-27 Friendship

en Fokker F-28 Fellowship, zich op een wereldmarkt gericht, waarbij zowel een afzet in hoogontwikkelde gebieden als Europa, de Verenigde Staten en Australië, als in Azië en Afrika werd nagestreefd. Bij het oudste vliegtuig, de F-27, waarvan meer dan 500 exemplaren reeds werden verkocht, is dit met succes verwezenlijkt.

De toepassing van vliegtuigen, zoals de F-27, in ontwikkelingslanden vergt hier enige nadere beschouwing; te gemakkelijk associeert men het vliegtuig uitsluitend met toepassingen die primair gericht zijn op het realiseren van korte reistijden. Waar het vliegtuig in concurrentie treedt met het lastdier of met het rivierschip, is de kwaliteit van grote snelheid niet zeer waardevol; de snelheid van de oude Fokker F-12, die in de dertiger jaren op de KLM-Indië-route vloog, namelijk 180 km/h, zou hier reeds een formidabel verplaatsingstempo vertegenwoordigen [8]. Het vliegtuig biedt echter een andere mogelijkheid, namelijk vervoer over natuurlijke hindernissen zoals oerwouden, bergen of ongetemde rivieren. Grote investeringen, nodig voor de aan de grond gebonden middelen van vervoer, zoals wegen, bruggen en spoorlijnen zijn daarmee voor de economische ontsluiting van moeilijk toegankelijke gebieden niet aanstonds noodzakelijk [9] [10]. Het vliegtuig kan daarbij niet in de plaats treden van het voor bulkvervoer meer geschikte schip of de trein, maar het kan, behalve passagiers, een grote variatie aan soorten vracht onder deze pioniersomstandigheden voor een acceptabele vervoersprijs verplaatsen en bovendien contribuieren tot het vestigen van gezag en prestige van een centrale regering van de veelal nog jonge staat.

Oude vliegtuigen lijken voor dit pionierswerk op het eerste gezicht het meest geschikt. Tegenover hun geringe aanschaffingskosten moeten echter een aantal nadelen worden genoemd, die beslissend kunnen zijn voor hun bruikbaarheid. Kosten voor onderhoud en voor nieuwe onderdelen zijn veelal uitzonderlijk hoog, de veiligheidsstandaard ligt onder die van het moderne, volgens andere voorschriften, gebouwde vliegtuig, waardoor bijvoorbeeld het stoppen van één van de twee motoren gedurende de start in een heet en vochtig klimaat veelal het verlies van het vliegtuig tengevolge heeft.

Het oude vliegtuig is niet ontworpen voor dit gebruik en vertoont daardoor meestal een aantal bezwaren, zoals een slechte



belaadbaarheid op primitieve velden waar hulpmiddelen voor laden en lossen ontbreken. Waar comfort en prestige belangrijk zijn is uiteraard het oude vliegtuig in het nadeel. Het moet, daar het niet met een drukcabine uitgerust is, bovendien laag blijven vliegen en kan daardoor niet ontkomen aan de turbulentie die op lage hoogte in de atmosfeer veelvuldig voorkomt. RAMMATHAM vermeldt in een voordracht over luchtvaart in ontwikkelingslanden, dat na het in gebruik nemen van een vloot van F-27 vliegtuigen in 1961 voor het gebied van Bengalen-Assam in India alleen al door het betere comfort bij hoog vliegen een sterke groei in het vervoer door de lucht was te constateren [10].

De kwaliteit, die aan een modern vliegtuig moet worden gegeven opdat het zich een positie kan verwerven als economisch, veilig en comfortabel vervoermiddel bij luchtvaartmaatschappijen, die – zoals de in concurrentie gewikkelde vliegtuig-industriëen kunnen constateren – steeds wijzer blijken te worden, is slechts bereikbaar door een verfijnde en daardoor kostbare aanpak. Ook de luchtwaardigheidsvoorschriften, waarnaar het vliegtuig moet worden geconstrueerd, indiceren deze aanpak, en wel ter verzekering van het vereiste veiligheidsniveau tegen een zo klein mogelijk verlies in vliegtuigeconomie.

Was bij het Fokker F-12 vliegtuig het werk van het ontwerpen constructiebureau gereed nadat 20 man ongeveer 3 maanden met tekenen en rekenen bezig waren geweest, het laatst door de Nederlandse industrie uitgebrachte vliegtuig, de F-28 vergde 2½ jaar werk van 600 leden van de bij het ontwikkelen betrokken ontwerp- en constructiebureaus; bij het grootste verkeersvliegtuig, dat thans in ontwikkeling is, de Boeing 747, is het aantal man-uren dat in de ontwerp- en constructiebureaus werd besteed, zelfs nog ongeveer vier maal zo groot. Thans wordt niet alleen getekend en gerekend, maar wordt een groot deel van de ontwikkelingsinspanning besteed aan het verrichten van metingen ter verscherping van de kennis omtrent de aërodynamische eigenschappen, de sterkte en levensduur van de constructie, de functionele bruikbaarheid en betrouwbaarheid van systemen, en voor het vaststellen van eigenschappen van het vliegtuig in de vlucht, zoals de vliegtuigprestaties, de stabiliteit- en besturingseigenschappen en het comfort bepalende trillings- en geluidsniveau in de passagierscabine.

Dit kostbare experimentele werk, dat voor ieder nieuw vliegtuig moet worden verricht, neemt bovendien sterk toe in omvang. Werden bijvoorbeeld in 1945 in windtunnels gemiddeld 1000 draai-uren voor een nieuw verkeersvliegtuig besteed, thans is dit reeds bijna 10.000 uur. Door deze grote ontwikkelings-investering – en daarbij gevoegd de investering in produktie-middelen nodig om te voldoen aan de eisen, die gesteld worden aan de produktie-nauwkeurigheid – moeten van het moderne verkeersvliegtuig minstens 150 en in sommige gevallen zelfs minstens 400 stuks worden afgezet opdat kosten voor ontwikkelings- en produktiemiddelen op een voor de koper acceptabele wijze over de produktie kunnen worden verdeeld.

Bij het oude F-12 vliegtuig waren de ontwikkelingskosten nog zo gering in verhouding tot de produktieprijs, dat een totale produktieserie van enkele stuks reeds profitabel kon zijn.

Wie geconfronteerd wordt met de astronomische investerings-bedragen voor de ontwikkeling van een modern verkeersvliegtuig – voor een groot vliegtuig bijvoorbeeld een miljard gulden – zal wellicht met weemoed aan dit historische feit terugdenken; de huidige hoge investeringsbedragen vormen echter letterlijk de prijs, die betaald moet worden voor technologisch spitsroedelen met de reeds genoemde kwaliteiten van het moderne verkeersvliegtuig als opbrengst.

Het vliegtuig is een gecompliceerd, groot en kostbaar industrieel produkt, dat met een grote groep technici moet worden gedefinieerd en berekend, waarbij dit werk bovendien nog over enkele jaren is verdeeld.

Wie verwacht, dat een ontwerp- en constructiebureau, dat met 600 medewerkers aan één vliegtuig werkt, daarbij zó kan worden georganiseerd dat alle specialisten hun eigen taak op zich nemen na kennis te hebben genomen van de globale specificatie van het nieuw te ontwikkelen vliegtuig, is verder van de waarheid verwijderd dan wie veronderstelt dat – opdat het vliegtuig als harmonisch geheel ontstaat – iedere specialist zich dagelijks met de andere 599 verstaat om zijn eigen werk goed te kunnen doen. Er zijn niet alleen meervoudige samenhangen tussen het werk van de verschillende specialistengroepen, maar de onderlinge relaties van hun werk vormen veelal juist het

onderwerp van studie bij het zoeken naar een gewogen evenwicht tussen de door hen voorgedragen mogelijkheden met als oogmerk de beste oplossing voor het vliegtuig als geheel.

De kwaliteit van een ontwerp- en constructiebureau is dan ook niet de simpele optelsom van de kwaliteiten van de specialisten, die er deel van uitmaken, maar voor een belangrijk deel het vermogen om hun contributies in de juiste balans te brengen.

Iedere vliegtuigindustrie moet voor dit proces zijn weg vinden; een weg die, afhankelijk van de grootte van de organisatie, van de ervaring in de onderneming en van de mensen die er vorm aan moeten geven, van geval tot geval zal verschillen, die echter in iedere vorm voor de leidinggevende specialisten het werken in team-verband noodzakelijk zal maken wil het product kwaliteit vertonen.

Om dit in de organisatie geleide samenspel vruchtbaar en doelmatig te kunnen doen zijn moet de vliegtuigbouwkundige specialist in het algemeen ook zelf inzicht in de samenhangen van vele gebieden tot zijn geestelijke bagage mogen rekenen. Wie enige tijd in dit samenspel betrokken is ervaart namelijk dat het eigen vak-specialisme, indien uitsluitend functionerend in specialistisch isolement, binnen het vak van de vliegtuigbouw slechts een beperkte functie zou kunnen vervullen.

Wie bijvoorbeeld een vleugelvorm ontwerpt zonder zich mede te verdiepen in de invloed van deze vorm op de belastingen en gewichten, op het inwendige vleugelvolumen beschikbaar voor het onderbrengen van brandstof, en op de stijfheid van de constructie, is geen vliegtuig-aërodynamicus, wellicht wel een aërodynamicus.

De ontwikkeling van het luchtverkeer wordt tot nu toe voor een zeer belangrijk deel bepaald door de ontwikkeling van het vervoermiddel zelf, dat op initiatieven van vliegtuigindustrie en vervoersmaatschappij in snel op elkaar volgende stappen in telkens verbeterde uitvoeringen voor het vervoer ter beschikking komt. In deze initiatieven richt men zich op de vervolmaking van de reeds eerder genoemde kwaliteiten van het vervoermiddel en op de aanpassing aan het groeiend verkeer door de lucht.

Wat naast het vliegtuig nodig is om het luchtverkeer te doen functioneren, zoals vliegvelduitrusting, navigatiehulpmiddelen, voorzieningen voor de luchtverkeersbeveiliging en de ver-

voersvoorzieningen op de grond rond de vliegvelden moet in harmonie worden gebracht met iedere volgende vliegtuig-generatie samen met de voorwaarden, die het groeiend verkeer voortbrengt, hetgeen niet zelden de betrokkenen in ademnood doet verkeren. Het is echter niet waarschijnlijk dat het lucht-verkeer zijn huidige vlucht zou hebben kunnen nemen als het vervoermiddel in zijn ontwikkeling zou zijn geremd geweest ten opzichte van een ontwikkeling, die vrijwel gelijke tred houdt met het technisch vermogen van de vliegtuigbouwers. De vraag is thans wel gewettigd of zich reeds voorwaarden aftekenen voor de toekomstige ontwikkeling van het verkeersvliegtuig, die het geschetste beeld zullen wijzigen of die als begrenzing van de mogelijkheden van dit transportmiddel zich zullen aandienen.

Gedacht wordt hier aan de fysieke limiteringen van de lucht-reiziger zelf, aan de beperkingen die voor het gebruik van het lawaai producerende vliegtuig zullen bestaan en aan consequenties van de grote verkeersdichtheid, die rond en op de vliegvelden in de toekomst moet worden gerealiseerd.

Ten aanzien van de grootste reissnelheid, die nog zinvol is ter overbrugging van verschillende afstanden, zijn ons uit de literatuur vele criteria bekend, die echter alle slechts een beperkt leven beschoren waren. Vier dagen zeereis van West-Europa naar New York is inderdaad een zeer redelijke reistijd, maar ook voor een optimale reistijd van 4 uur zijn door GIBSON onlangs goede argumenten aangevoerd [11]. Is echter een reistijd van enige minuten nog zinvol, zoals genoemd in een artikel dat de N.R.C. van 29 april jl. ons aanbiedt ter kennismaking met het leven in het jaar 2498. Welnu, van Amsterdam naar New York reizen in enige minuten betekent dat de reiziger de eerste helft van de reis met 50 maal zijn gewicht achter in zijn stoel gedrukt moet zitten en de tweede helft met een gelijke kracht door zijn stoelriemen moet worden tegengehouden. De mens van 1969 is echter na 0,1 seconde bij dit versnellingsniveau reeds bewusteloos [12] en, naar verwacht mag worden, na enige minuten levenloos. Tenzij onze fantasie ook de mens in tien generaties doet evolueren naar een zeer groot versnellings-incasseringsvermogen lijkt het geboden perspectief voor de reis naar Amerika niet aantrekkelijk.

Horizontale en verticale versnellingen, die de luchtreiziger in manoeuvres nog als voldoende comfortabel zal ondervinden, zullen in de toekomst de grootst mogelijke reissnelheid op lange trajecten bepalen. Daarbij zal het criterium voor deze versnellingen moeten zijn afgestemd op de normale reiziger – bijvoorbeeld het niveau dat optreedt bij hard remmen met een auto – en zullen de nog grotere versnellingen, die getrainde astronauten in de Apollo-cabine<sup>1)</sup> kunnen verdragen bij terugkeer naar de aarde, niet als basis in aanmerking kunnen komen. Op grond van deze overwegingen zal de kortste, nog zinvolle reistijd op een reis van West-Europa naar New York, gelimiteerd door de luchtreiziger zelf, ongeveer één uur zijn. Het vliegtuig, dat deze reistijd moet realiseren, moet met ongeveer 8 maal sneller dan de geluidssnelheid kunnen vliegen.

Dergelijke vliegtuigen zijn reeds in studie en zullen, naar verwacht mag worden, binnen 40 jaar ook kunnen worden verwezenlijkt. Op grond van oriënterende beschouwingen lijkt het waarschijnlijk dat met deze zeer snelle vliegtuigen een vervoersprijs zal kunnen worden gerealiseerd, die vergelijkbaar is met die van de huidige snelle vliegtuigen.

Wanneer het vliegtuig belangrijk sneller vliegt dan de voortplantingssnelheid van het geluid in de lucht vormt het een druk-discontinuïteit in de atmosfeer, die zich van de grote hoogte waarop het vliegtuig vliegt, tot op de grond voortplant. In een brede strook onder het vliegtraject van het vliegtuig wordt hierbij een drukwisseling ervaren analoog aan het effect van een explosie. De Nederlandse taal heeft hiervoor sinds kort de fraaie term: „Supersone boem”.

Op dit ogenblik is de ervaring met de door grote supersone vliegtuigen geproduceerde boem nog zeer beperkt; er zijn echter indicaties dat bij de eerstkomende generatie van supersone verkeersvliegtuigen – die met een snelheid tussen 2 en 3 maal de geluidssnelheid op vlieghoogten tussen 15 en 20 km zullen vliegen – op de grond trillingen zullen worden veroorzaakt, in het bijzonder in gebouwen, die door een groot deel van de bevolking

<sup>1)</sup> De remweg bij het terugkeren naar de aarde van een Apollo-cabine is 2400 km, de versnellingen lopen tijdens deze manoeuvre op tot 6 maal de versnelling van de vrije val.

als onacceptabel zullen worden ervaren. Indien deze indicaties juist zijn zal deze generatie supersone verkeersvliegtuigen zijn snelle vlucht slechts mogen ontwikkelen op grote afstand van de bewoonde gebieden. Het lijkt waarschijnlijk dat voor een gegeven vliegsnelheid en vlieghoogte de druksprong, die verantwoordelijk is voor de supersone boem, slechts in beperkte mate kan worden gereduceerd door beïnvloeding van de vliegtuigvorm. Echter bij zeer hoog vliegen, hetgeen pas het geval zal zijn bij het reeds genoemde lange afstandsvliegtuig van de toekomst, dat met een Machgetal 8 op 40 tot 50 km hoogte zou vliegen, is een goed perspectief voor een voldoende kleine druksprong onder het overvliegende vliegtuig aanwezig [13].

Daarmede is tevens gezegd dat het als zeer onwaarschijnlijk moet worden beschouwd dat het korte-afstandsvliegtuig, dat door de aard van zijn vervoerstaak altijd dicht bij de bewoonde wereld blijft en dat slechts tot bescheiden vlieghoogten zal stijgen, sneller dan het geluid zal kunnen worden gemaakt. Hier zou dan werkelijk sprake zijn van een „geluidsbarrière” en wel in die zin dat de geluidshinder op de grond de vliegsnelheden beperkt tot juist onder de geluidssnelheid, een snelheid die reeds vandaag met het verkeersvliegtuig is verwezenlijkt. Het korteafstands-vliegtuig van de toekomst zal in velerlei opzicht dat van vandaag overtreffen, maar naar alle waarschijnlijkheid vrijwel voor dezelfde maximale vliegsnelheid zijn gebouwd. Hierbij kan overigens worden aangetekend, dat verdere vergroting van de maximale snelheid voor het korteafstandsverkeer zeer weinig reistijdverkorting zou opleveren en bovendien veel minder effectief is dan andere daarop gerichte maatregelen, zoals snel stijgen en dalen en een vlotte afhandeling van het verkeer rond de vliegvelden.

Van geheel andere aard is de geluidshinder, die het vliegtuig kan veroorzaken rond de vliegvelden. Hier is de motor van het vliegtuig de geluidsbron. De voortstuwing van het vliegtuig berust erop dat aan lucht, die aan de voorzijde de voortstuwingsinstallatie binnenstroomt, een grotere snelheid wordt medege-deeld, waardoor een voor voortstuwing nuttige tegenkracht op het vliegtuig wordt verkregen. Achter de motor zal in de atmosfeer in een begrensde gebied het effect van deze snelheidsvergroting zich kenbaar maken in luchtbeweging en werveling.

Bij de oorspronkelijke straalmotor, die aan een kleine stroombuis lucht een zeer grote snelheid mededeelde, ontstond hierdoor achter iedere motor een met hoge snelheid stromende straal lucht, die als een sterke geluidsbron ging fungeren. Bij de voortstuwing door middel van een schroef daarentegen wordt aan een zeer grote stroombuis lucht een kleine snelheid gegeven waardoor de luchtsnelheden achter de schroef gering zijn en als geluidsbron te verwaarlozen. Hier is het echter de schroef zelf, die domineert in de geluidsproductie.

De moderne dubbelstroom-straalmotor is op te vatten als een tussenvorm van het oudste type straalmotor en de schroefmotor combinatie. De gassnelheden achter de voortstuwingsinstallatie worden ter vermindering van de geluidshinder hierbij relatief laag gehouden; de eerste compressor-trap van deze motoren heeft een zeer grote diameter en is enigszins vergelijkbaar met een ommantelde schroef.

Research en ontwikkeling ten behoeve van de moderne vliegtuigmotor zijn voor een belangrijk deel gericht op het scheppen van de voorwaarden waarmede een lager geluidsdruk-niveau kan worden verwezenlijkt. Lage druk-compressoruitvoeringen, die in dit opzicht gunstig zijn, en geluidsabsorberende voorzieningen, die het deel van het geluid, dat buiten de ommanteling treedt, sterk verminderen, zijn de middelen waarmede een verdere verbetering wordt nagestreefd. De sinds jaren bestaande vicieuze cirkel, waarin de in concurrentie gewikkelde motorfabrikanten de weg nog niet konden vinden naar de minder lawaaiige motor – die, naar toen nog werd verwacht, veel minder economisch zou zijn, – is hiermede doorbroken, hetgeen mede gestimuleerd is door nieuwe voorschriften voor de keuring van vliegtuigen op basis van een maximaal toelaatbaar geluidsniveau in de nabijheid van vliegvelden.

Een eigenschap van het huidige verkeersvliegtuig is dat het een kleinste vliegsnelheid heeft waarbij veilig de noodzakelijke manoeuvres nog kunnen worden uitgevoerd. Tot deze snelheid moet het rijdende over een startbaan versnellen en bij de landing moet het wederom van deze baan gebruik maken om van de laagst mogelijke vliegsnelheid rijdende tot stilstand te worden gebracht. Intercontinentale vliegvelden, waar het lange-afstands-vliegtuig moet kunnen worden ontvangen, zijn daartoe in het

het algemeen uitgerust met een aantal banen van 3 tot 3,5 km lengte. Voor het lange-afstandsvliegtuig is het beschikbaar zijn van dergelijke banen vooralsnog een noodzakelijke voorwaarde voor economisch luchttransport.

Met de toenemende dichtheid van het verkeer in de lucht doen zich echter de beperkingen, die voortvloeien uit het tegelijkertijd beschikbaar zijn van slechts enkele banen per vliegveld, steeds sterker gevoelen. Op enkele grote vliegvelden op het Noordamerikaanse continent heeft dit reeds geleid tot ernstige storingen in de verkeersstroom; voor andere delen van de wereld zal, gezien de snelle groei van het luchtverkeer, dit probleem zich, naar verwacht mag worden, in de nabije toekomst manifesteren. Waar het railvervoer op grote kopstations aan iedere trein in het algemeen een eigen afreambaan met bijbehorend perron kan toewijzen, moet de vliegtuigenstroom naar een vliegveld tenslotte naar bijvoorbeeld slechts twee landingsbanen worden geleid. Ieder individueel vliegtuig remt op de baan af tot een zeer lage snelheid en kan daarna over de grond rijdend zijn parkeerplaats opzoeken. De capaciteit van vliegvelden is daardoor, ongeacht de grootte van de vliegtuigen, gelimiteerd tot een aantal vliegtuigbewegingen per uur, bijvoorbeeld maximaal 40 per uur per baan, een capaciteit die slechts in beperkte mate in de toekomst kan worden opgevoerd door kleinere spatiëring van de aankomende en vertrekkende vliegtuigen, door normalisering van naderingssnelheden en door betere geleiding in het luchtgebied rond het veld, opdat meer banen parallel kunnen worden gebruikt.

Uitbreiding of verplaatsing van vliegvelden in de nabijheid van grote steden stuit meestal op grote bezwaren, daar het benodigd grondoppervlak voor een vliegveld, dat ook het huidige lange-afstandsvliegtuig kan ontvangen, in het algemeen alleen op onpraktische afstanden van de stad nog is te vinden. Het enige vervoermiddel, dat voor zijn primaire vervoersfunctie niet aan het aardoppervlak is gebonden, scheidt, in zijn huidige uitvoeringsvorm, problemen voor planologen en stedenbouwers.

Grotere vliegtuigeenheden voor de trajecten waar de verkeersdichtheid deze grotere eenheden wettigen geven uiteraard een verlichting van het gesignaleerde verzadigingsprobleem. Voor het vervoer over de lange en middelbare afstanden bevinden deze zich thans reeds in een vergevorderd stadium van



ontwikkeling, waarbij de grootsten 400 passagiers kunnen vervoeren; de toekomstige generatie grote lange-afstandsvliegtuigen vermoedelijk reeds 1000 passagiers. Wil de verkeersluchtvaart echter de service van verbindingen met een groot aantal steden blijven kunnen leveren, dan zal ook het intercontinentale vliegveld vele kleinere eenheden voor het transitoverkeer naar omliggende steden in zijn verkeersstroom moeten kunnen accepteren.

Voorlopig lijkt de oplossing van dit deel van de problemen, die zich op vliegvelden met sterk groeiende verkeersintensiteit gaan voordoen, te moeten worden gezocht in een intensivering van het gebruik van bestaande velden door het lange-afstandsverkeer – vooralsnog gebonden aan lange banen – te scheiden van het korte-afstandsverkeer.

Een scheiding van verschillende verkeersstromen rond het vliegveld is echter alleen dan praktisch en effectief wanneer het korte-afstandsvliegtuig niet meer behoeft te worden opgenomen in de zeer lange aan- en uitvliegbanen, die thans noodzakelijk zijn. Dit voert zeer waarschijnlijk in de toekomst tot het gebruik van een nieuw vliegtuig-type, waarvan het belangrijkste kenmerk is dat het bij de landing onder alle weersomstandigheden met een grote daalhoek naar de grond zal kunnen worden gevlogen en ook de grond wederom in een steile baan zal kunnen verlaten. Deze „steilvliegers” zouden dan met een bescheiden stukje van het verkeersgebied toekunnen en daardoor enerzijds de vervoerscapaciteit op een gegeven vliegveld sterk kunnen doen toenemen en anderzijds gemakkelijk nieuw verkeer kunnen creëren in de verbindingen met kleine vliegveldjes, die thans slechts voor het huidige, nog te dure en langzaam vliegende hefschroefvliegtuig geschikt zijn. Hun vervoersfunctie zou aanvankelijk tot het korte-afstandsverkeer beperkt blijven.

De „steilvlieger”, gebouwd met de technologische mogelijkheden van thans, zal echter slechts economisch exploiteerbaar zijn tegen een iets hoger tarief dan voor het conventionele vliegtuig behoeft te worden gevraagd. Zijn ontwikkeling zal daardoor aanvankelijk nog sterk worden geremd. De operationele limiteringen, die voortvloeien uit de verdichting van de verkeersstroom, zowel in de lucht als op de grond, vormen echter de stimulans om dit vliegtuigtype reeds thans te beschouwen.

Bij alle toekomstbespiegelingen mag één duidelijk punt van continuïteit op grond van waarnemingen in het heden worden

vastgesteld: vliegtuigbouw is het rusteloos zoeken naar nieuwe oplossingen en verruimde mogelijkheden. Is het gewaagd te voorspellen dat „steilvliegers” over 20 jaar aan het begin van een brede toepassing zijn gekomen en binnen 100 jaar ook mede het lange-afstandsverkeersvliegtuig als „steilvlieger” in gebruik zal zijn?

*Dames en Heren,*

Bij de officiële aanvaarding van mijn ambt wil ik in de eerste plaats mijn eerbiedige dank betuigen aan Hare Majesteit de Koningin voor mijn benoeming tot buitengewoon hoogleraar aan deze Technische Hogeschool.

*Mijne Heren Curatoren,*

Voor Uw voordracht, die tot mijn benoeming heeft geleid, ben ik U zeer erkentelijk. Ik verzeker U ernaar te zullen streven de mij toevertrouwde taak zo goed mogelijk te verrichten.

*Mijne Heren Hoogleraren van de afdeling der Scheepsbouwkunde en Vliegtuigbouwkunde,*

Vliegtuigen ontwerpen is een vakgebied dat raakvlakken heeft met de vakgebieden van ieder van U; hierdoor heb ik enkelen van U reeds in het verleden mogen ontmoeten.

De bijzonder hartelijke wijze, waarop U mij in mijn nieuwe functie hebt ontvangen, geeft mij het vertrouwen, dat ik ook in de toekomst op Uw steun en hulp zal mogen rekenen. Ik geef U de verzekering, dat ik zal trachten ook U behulpzaam te zijn, indien zich daartoe de gelegenheid zal voordoen.

*Hooggeleerde Van der Neut,*

U ben ik veel dank verschuldigd voor de hulp, die ik reeds van U mocht ontvangen bij de voorbereiding van mijn taak aan deze Technische Hogeschool. Ik beschouw het als een voorrecht met U te mogen samenwerken.

*Hooggeleerde Wittenberg,*

Om onnaspeurlijke redenen heb ik U in het verleden slechts

weinig ontmoet. De nauwe en plezierige samenwerking, die, reeds spoedig nadat U mij op hartelijke wijze was tegemoetgetreden in mijn nieuwe functie, tot stand kwam, heeft mij het vertrouwen geschonken dat ik zal kunnen bijdragen in de onderwijstaak, waarin U reeds op jarenlange ervaring kunt bogen.

*Mijne Heren Lectoren en Leden van de Wetenschappelijke Staf van de onderafdeling der Vliegtuigbouwkunde,*

Gaarne doe ik op U een beroep om mij behulpzaam te zijn in mijn onderwijstaak. Wederkerig verzeker ik U, dat U niet tevergeefs een beroep op mijn medewerking zal doen indien U mij deelgenoot wilt maken van Uw problemen.

Daar mijn onderwijstaak meebrengt dat ik, althans in de geest, zowel in Delft-Zuid als in Schiphol-Oost zal moeten verkeren, zijn gunstige voorwaarden aanwezig voor een vruchtbaar en nauw contact tussen de Onderafdeling en de vliegtuig-industrie.

Ik hoop dat U vele redenen zult hebben om dit contact te stimuleren.

*Mijne Heren Leden van de Raad van Bestuur van de Koninklijke Nederlandse Vliegtuigenfabriek „Fokker”,*

U ben ik hier in het bijzonder dank verschuldigd voor Uw stimulerende en spontane medewerking bij mijn benoeming tot buitengewoon hoogleraar. Ik zal trachten mijn werk te richten op de wederzijdse stimulering van beide werkterreinen.

*Waarde Greidanus,*

De wijze, waarop U zelf problemen tegemoet treedt, en de vanzelfsprekendheid, waarmede U altijd een team van intelligente mensen weet te mobiliseren om problemen, die de kracht van één individu te bovengaan, toch tot een bevredigende oplossing te brengen, hebben mij veel van U doen leren.

Ik prijs mij gelukkig dat mijn nieuwe ambt mij niet belet U ook in de toekomst terzijde te staan.

*Dames en Heren Studenten,*

Het gebied, dat alleen al bestreken moet worden in het vak-

gebied van het vliegtuig-ontwerpen, is zo breed, dat de verantwoorde beperking, de meest zinvolle keuze uit de mogelijke onderwerpen voor de studie, mij een moeilijke opgave lijkt. Ik hoop dat de keuze, die ik van tijd tot tijd doe, U een goede aanloop zal verschaffen door te dringen tot een boeiend stuk techniek, opdat U later, Uw ervaring opbouwend in de praktijk, Uw weg gemakkelijker zal vermogen te vinden.

Ter illustrering van de explosieve ontwikkeling van de natuurwetenschappen en de techniek in deze eeuw wordt vaak een beeld gebruikt, ontleend aan de snelle ontwikkeling van de vervoerstechniek en het verkeer. Zou hierbij de bijdrage van het object van mijn rede, het vliegtuig, uit dit beeld worden weggedacht, dan zou deze illustratie ongetwijfeld veel minder pakkend uitvallen.

Welk voorbeeld ook moge gekozen worden ter illustrering van de bijna verwarrend snelle ontwikkelingen op velerlei gebieden, wat de komende 50 jaren ons zullen brengen zal ons niet geheel concreet voor de geest komen. Bovendien zal het in deze spanne tijds voor een belangrijk deel Uw werk zijn, binnen de U toegevalen taak, aan deze toekomst vorm te geven. Ik moge U daartoe reeds nu toewensen, naast Uw vakkennis, te mogen beschikken over de visie en de wijsheid, die onmisbaar zijn om aan het begrip „zegeningen van de techniek” een reële inhoud te kunnen geven.

Ik dank U voor Uw aandacht.

## LITERATUUR

1. Dr. H. GUYFORD STEVER, „The Socio-Economic Impact”  
Airline Management and Marketing, January 1969.
2. Air Transport World, June 1968, blz. 108 en 109.
3. ICAO Bulletin, May-June 1968, „Civil Aviation in 1967” Published by International Civil Aviation Organization.
4. O. LISSITZYN, „Air Transport and National Policy”, Council on Foreign Relations, New York, 1942.
5. Sir GEORGE EDWARDS, „The Impact of Speed on Transport”. The Aeronautical Journal of the Royal Aeronautical Society, July 1968.
6. „Standard Method of Estimating Comparative Direct Operating Costs of Turbine Powered Transport Airplanes”. Air Transport Association of America, December 1967.
7. ALAN H. STRATFORD, „Air Transport Economics in the Supersonic Era”. Boek: MacMillan/St. Martin's Press, 1967.
8. A. VIRULY, „We vlogen naar Indië”, Amsterdam, 1933.
9. ED. S. CHEANEY and JAMES P. LOOMIS, „Air Transportation Planning in Emerging Nations”. Astronautics and Aeronautics, September 1966.
10. S. RAMAMRITHAM, „Developing Civil Aviation in Developing Countries”, International Congress on Subsonic Aeronautics, New York, April 1967.  
Annals of the New York Academy of Sciences, volume 154, art. 2, pages 816-837.
11. JOHN E. GIBSON, „National Goals in Transportation”. Socio-politico-economic aspects of transportation. Proceedings of the IEEE, special issue on Transportation, vol 56, number 4, April 1968.
12. ERNEST J. McCORMICK, „Human Factors Engineering”. Boek: McGraw-Hill Book Company, 1964.
13. DONALD D. BAALS and WILLARD E. FOSS, Jr., „Assessment of Sonic-Boom Problem for Future Air Transport Vehicles”. The Journal of the Acoustical Society of America, vol 39, no. 5, May 1966, page S73.