

TNO-rapport **TM 1994 A-2**  
**J.E. Korteling**  
**R.N.H.W. van Gent**

**ANTICIPATIE EN ACTIEVE STUUR-  
MIDDELEN BIJ HELIKOPTERBESTURING**

No:	40607	Ex:	1
-----	-------	-----	---

16

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt  
door middel van druk, fotokopie, microfilm  
of op welke andere wijze dan ook, zonder  
voorafgaande toestemming van TNO.

Aantal bladzijden: 29

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-  
opdrachten aan TNO', dan wel de  
betreffende terzake tussen partijen  
gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het TNO-rapport  
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO



Korte samenvatting van:

**Anticipatie en actieve stuurmiddelen bij helikopterbesturing**

Drs. J.E. Korteling en ir. R.N.H.W. van Gent

7 april 1994, Rapport TM 1994 A-2

TNO Technische Menskunde<sup>1</sup>, Soesterberg

MANAGEMENT UITTREKSEL

Er zijn diverse middelen en methoden bedacht om de taak van een vlieger gedurende de vlucht te verlichten. Van deze middelen staat echter nog steeds niet vast welke de meest effectieve zijn. Door TNO Technische Menskunde wordt hiernaar, in het kader van een opdracht van de afdeling Gedragwetenschappen van de KLu onderzoek verricht. Doel van het onderhavige onderzoek is om, met behulp van een vluchtsimulator inzicht te krijgen in de effectiviteit van verschillende interfaceprincipes. In het onderhavige onderzoek werden effecten van *anticipatie* en *actieve stuurorganen* onderzocht voor sluipvliegen met een gesimuleerde helikopter. Hierbij moesten vliegers zo nauwkeurig mogelijk op gelijke hoogte door een "tunnel-in-the-sky" (poortjes) met horizontale bochten vliegen. Belangrijkste prestatievariabele was de afwijking van de optimale route, zowel in het horizontale als in het verticale vlak. In een vooronderzoek werd bepaald wat de optimale visuele preview—*receptor anticipatie*—was in termen van het aantal poortjes van de tunnel. In een tweede experiment werd bij deze optimale preview het effect van voorkennis—*cognitieve anticipatie*—over het te volgen traject onderzocht. Daarbij moest in de helft van de condities een visuele neventaak worden uitgevoerd. Tevens werden proefpersonen geïnstrueerd om naast de hoofd- en neventaak in laatste instantie ook zo snel mogelijk te vliegen. Hieruit bleek dat cognitieve anticipatie zowel onder enkeltaak- als onder dubbeltaak-condities een gunstig effect had op de horizontale (pursuit) en de verticale (compensatoire) stuuraccuratesse. Dit gold echter niet voor vliegsnelheid of voor neventaakprestaties. In het derde, en laatste, experiment werd op dezelfde wijze het effect van twee typen actieve joysticks onderzocht: een *active cyclic* en een *active collective*. Een *active cyclic* geeft terugkoppeling over hoekversnelling in bochten (pursuit taak) en een *active collective* geeft terugkoppeling over verticale snelheid (compensatoire taak). Gevonden werd dat er onder hoge taakbelasting (dubbeltaak-condities) duidelijk positieve effecten zijn van joystick-type—zowel in termen van taakprestatie (optimale koers vliegen) als taakbelasting (neventaakprestatie). Dit effect geldt met name voor de compensatoire deeltaak, i.e., hoogtehandhaving met behulp van de *active collective*. Aan het slot van dit rapport wordt ingegaan op de manier waarop anticipatie en actieve joysticks het meest effectief zouden kunnen worden toegepast en op de vragen die er wat dit betreft nog bestaan.

---

<sup>1</sup> Per 1 februari 1994 is de naam Instituut voor Zintuigfysiologie TNO gewijzigd in TNO Technische Menskunde.

INHOUD	Blz.
SAMENVATTING	5
SUMMARY	6
1 INLEIDING	7
1.1 Achtergrond	7
1.2 Interfaceprincipes bij het sluipvliegen	7
1.3 Het experiment	11
2 METHODE	12
2.1 Proefpersonen	12
2.2 Taken	12
2.3 Instrumentatie	14
2.4 Experimentele opzet	16
2.5 Procedure	17
3 RESULTATEN	17
3.1 Receptor anticipatie door een tunnel-in-the-sky	17
3.2 Cognitieve anticipatie door auditieve stuurinformatie	18
3.3 Actieve stuurmiddelen	21
4 CONCLUSIES	23
4.1 Cognitieve anticipatie door auditieve stuurinformatie	23
4.2 Actieve joysticks	24
5 ANTICIPATIE EN ACTIEVE STUURMIDDELEN NADER BESCHOUWD	24
5.1 Anticipatie	24
5.2 Actieve stuurmiddelen	25
REFERENTIES	29

Rapport nr.: TM 1994 A-2  
Titel: Anticipatie en actieve stuurmiddelen bij helikopterbesturing  
Auteurs: Drs. J.E. Korteling en ir. R.N.H.W. van Gent  
Instituut: TNO Technische Menskunde<sup>1</sup>  
Afd: Vaardigheden  
Datum: april 1994  
DO Opdrachtnummer: A89/KLu/335  
Nummer in MLTP: 788.1

---

## SAMENVATTING

In het onderhavige onderzoek werden effecten van *anticipatie* en *actieve stuurorganen* onderzocht voor sluipvliegen met een gesimuleerde helikopter. Hierbij moesten vliegers zo nauwkeurig mogelijk op gelijke hoogte door een "tunnel-in-the-sky" (poortjes) met horizontale bochten vliegen. Belangrijkste prestatievariabele was de afwijking van de optimale route, zowel in het horizontale als in het verticale vlak. In een vooronderzoek werd bepaald wat de optimale visuele preview—*receptor anticipatie*—was in termen van het aantal poortjes van de tunnel. In een tweede experiment werd bij deze optimale preview het effect van voorkennis—*cognitieve anticipatie*—over het te volgen traject onderzocht. Daarbij moest in de helft van de condities een visuele neventaak worden uitgevoerd. Tevens werden proefpersonen geïnstrueerd om naast de hoofd- en neventaak in laatste instantie ook zo snel mogelijk te vliegen. Hieruit bleek dat cognitieve anticipatie zowel onder enkeltaak- als onder dubbeltaak-condities een gunstig effect had op de horizontale (pursuit) en de verticale (compensatoire) stuuraccuratesse. Dit gold echter niet voor vliegsnelheid of voor neventaakprestaties. In het derde, en laatste, experiment werd op dezelfde wijze het effect van twee typen actieve joysticks onderzocht: een *active cyclic* en een *active collective*. Een *active cyclic* geeft terugkoppeling over hoekversnelling in bochten (pursuit taak) en een *active collective* geeft terugkoppeling over verticale snelheid (compensatoire taak). Gevonden werd dat er onder hoge taakbelasting (dubbeltaak-condities) duidelijk positieve effecten zijn van joystick-type—zowel in termen van taakprestatie (optimale koers vliegen) als taakbelasting (neventaakprestatie). Dit effect geldt met name voor de compensatoire deeltaak, i.e., hoogtehandhaving met behulp van de *active collective*.

---

<sup>1</sup>Per 1 februari 1994 is de naam Instituut voor Zintuigfysiologie TNO gewijzigd in TNO Technische Menskunde.

**Anticipation and active controls in helicopter flight**

J.E. Korteling and R.N.H.W. van Gent

**SUMMARY**

In the present study, effects of anticipation and active controls were investigated for nap-of-the-earth flying in a simulated helicopter. Pilots were requested to fly as accurately as possible through a "tunnel-in-the-sky" with horizontal curves. Primary performance measure was the RMS deviation of the optimal trajectory, in the horizontal as well as in the vertical plane. A pilot investigation determined the optimal visual preview (*receptor anticipation*) in terms of the number of gates of the tunnel. A second experiment focused on the effect of prerequisite knowledge (*cognitive anticipation*) concerning the trajectory including a visual secondary task in half of the conditions. Subjects were also instructed to fly as fast as possible. The data showed that cognitive anticipation enhanced horizontal (pursuit) and vertical (compensatory) accuracy under single-tasks conditions, as well as under dual-task conditions. However, this was not the case for flying speed or secondary-task performance. In the third, and final, experiment, effects of two joystick types were investigated: an *active cyclic* and an *active collective*. An active cyclic provides feedback about radial acceleration in curves (pursuit) and an active collective provides feedback about vertical speed (compensatory). Under high task load (dual-task conditions) clear positive effects of joystick type were found, both in terms of task performance (deviation from the optimal course) and task load (secondary-task performance). This effect counted especially for the compensatory task, i.e., altitude maintenance, aided by the active collective joystick.

## 1 INLEIDING

### 1.1 Achtergrond

Van de huidige generatie bewapende helikopters is bekend dat de vlieger tijdens het sluipvliegen, een zeer hoge werklast heeft. In deze fase moet de vlieger tegelijkertijd zo hard en zo laag mogelijk vliegen, om ontdekking door vijandelijke troepen te voorkomen. Om botsingen met de hem omringende obstakels te vermijden, heeft hij veel aandacht nodig voor datgene wat zich buiten het vliegtuig afspeelt. Toch moet de vlieger idealiter ook aandacht kunnen besteden aan zaken binnen de cockpit zoals navigatiemiddelen, boordsystemen en bediening van radioapparatuur. Deze hoge werklast heeft waarschijnlijk een negatieve invloed op de uiteindelijke effectiviteit van de missie.

Er zijn diverse middelen en methoden bedacht om de taak van een vlieger gedurende de vlucht te verlichten. Van deze middelen staat echter nog steeds niet vast welke de meest effectieve zijn. Door TNO Technische Menskunde wordt hiernaar, in het kader van een opdracht van de afdeling Gedragswetenschappen van de KLu onderzoek verricht. Doel van het onderhavige onderzoek is om, met behulp van een part-task vluchtsimulator inzicht te krijgen in de effectiviteit van verschillende interfaceprincipes, nl. *anticipatie* en *actieve stuurorganen*.

### 1.2 Interfaceprincipes bij sluipvliegen

Sluipvliegen met helikopters brengt twee problemen met zich mee. Ten eerste heeft de vlieger bij laag vliegen weinig overzicht over het terrein waardoor niet snel op een veilige manier kan worden gevlogen. Hij kan moeilijker anticiperen op eventueel uit te voeren stuurhandelingen. Daarnaast zijn in dat geval de limieten waarbinnen eventuele fouten nog kunnen worden gecorrigeerd zeer klein. Aangezien een helikopter, vanwege zijn inherente instabiliteit, moeilijk te besturen is moet de vlieger zijn stuurhandelingen continu (visueel) controleren en eventueel corrigeren.

Sluipvliegen is dus een taak met een hoge perceptief-motorische werklast. Hierdoor heeft de vlieger weinig of geen tijd meer om zijn visuele aandacht op andere taken te richten. Het tegelijkertijd verrichten van andere taken die een beroep doen op het visuele systeem wordt hierdoor bemoeilijkt. Door gebruik te maken van anticipatie en actieve stuurorganen lijkt het mogelijk deze problemen bij het sluipvliegen te verkleinen.

#### *Anticipatie*

Anticipatie is het handelen op basis van informatie die men over de toekomstige situatie heeft. Hiermee zal de vlieger wellicht sneller en adequater kunnen

reageren op toekomstige situaties. Poulton (1974) onderscheidt drie varianten van anticipatie:

- *receptor anticipation*: als een operator zijn toekomstig pad kan zien, kan hij daarvoor zijn stuursignalen bepalen. De lengte van het toekomstige pad dat zichtbaar is, is de mate van anticipatie. Tot een bepaalde optimale waarde geldt dat de stuurprestatie toeneemt met een groter wordende anticipatie. Deze vorm van anticipatie wordt ook wel preview genoemd.
- *perceptual anticipation*: hiervan is sprake als een operator het toekomstige pad dat het voertuig zal gaan afleggen afleidt uit de huidige snelheid, koers en eventuele versnellingen.
- *cognitive anticipation*: een operator baseert zijn stuursignalen op van te voren aanwezige kennis over de te volgen baan. Op basis van ervaring is hij in staat om de daarbij behorende stuuracties uit te voeren.

In dit onderzoek zijn alleen receptor anticipation (preview) en cognitive anticipation gevarieerd. Omdat steeds met een zelfde model van een helikopter werd gevlogen was de mate van perceptual anticipation in elk van de condities gelijk. De mate van preview kan worden gevarieerd door de lengte van de zichtbare te volgen route te variëren. Daarmee wordt de mogelijkheid gegeven de traagheden van de mens en het eventueel te besturen systeem te ondervangen.

Wickens (1983) stelt dat de prestatie van een stuurtaak aanmerkelijk beter wordt als over een tijdshorizon van meer dan een halve seconde anticipatie wordt gegeven. Dit komt overeen met de gemiddelde reactietijd van de mens die in de buurt van 500 ms ligt. Bij een complex systeem met eigen traagheden—zoals een snel vliegende helikopter—zal de benodigde anticipatie aanmerkelijk groter zijn. Cognitive anticipation kan worden gevarieerd door de kennis over de te volgen route wel of niet auditief te activeren. Met auditieve informatie over de eigenschappen van de te volgen bochten kan een proefpersoon anticiperen op basis van ervaring opgedaan met eerder gevlogen identieke routes.

#### *Actieve stuurmiddelen*

Het lichaam beschikt over een groot aantal verschillende typen sensoren in de, pezen, gewrichtskapsels en huid. Deze sensoren verwerken informatie over de positie en beweging (kinesthesie) van het lichaam en de lichaamsdelen (proprioceptie, "zelfwaarneming") en over invloeden van buitenaf, zoals druk, wrijving, trilling en temperatuur (exteroceptie, in dit geval tast). Operators en voertuigbestuurders kunnen door middel van *actieve* bedieningsmiddelen via dit somatosensorische systeem worden ontlast of extra worden geïnformeerd. Actieve bedieningsmiddelen die de controller vertellen wat je (ermee) moet doen of die informatie geven over wat het toestel feitelijk doet. Actieve stuurmiddelen zijn waarschijnlijk vooral nuttig in situaties waarbij het vlieggedrag de limieten van het toestel benadert of overschrijdt. Bijvoorbeeld hoveren met een maximaal-belaste helikopter bij valwinden of het benaderen van de flight envelope in een F-16.

Voor de uitleg van het principe van een actief stuurorgaan kan van drie soorten vliegtuigbesturing uit worden gegaan, nl. *fly by wire* systemen, *conventionele* systemen, en *actieve* systemen.

Met een *fly by wire* systeem worden de krachten op of de uitslagen van een stuurknuppel omgezet in elektrische signalen en ingevoerd in een flight computer. Deze berekent de bij de kracht of positie behorende roeruitslagen (afhankelijk van de vliegtuigtoestand) en geeft die door aan de roerservo's. Fig. 1 toont het blokschema behorende bij een stuurknuppel op basis van kracht (isometrische stuurknuppel).

De uitslag van de roeren is vanwege de afhankelijkheid van de vliegtuigtoestand niet consistent verbonden met de geleverde stuuruitslag of kracht, waardoor de mogelijkheid ontstaat dat de vlieger een bepaalde stuurkracht of stuuruitslag levert waar "niets" mee gebeurt. Dit is bijvoorbeeld het geval bij een te lage vliegsnelheid. Dergelijke situaties kunnen verklaren waarom deze stuursystemen vaak negatief worden beoordeeld door vliegers, die conventionele stuursystemen gewend zijn.

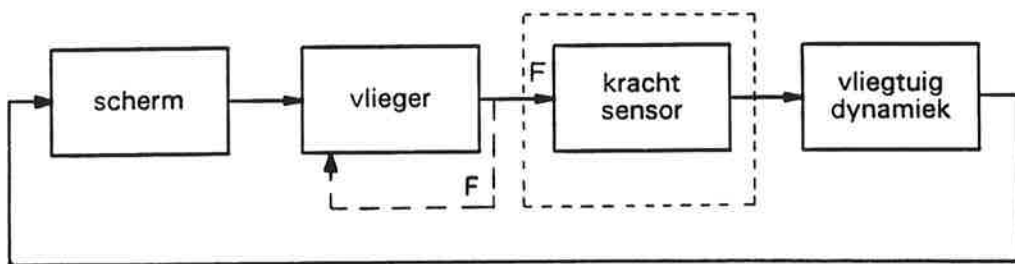


Fig. 1 Blokschema van een stuursysteem gebaseerd op een isometrische stuurknuppel.

Bij een *conventioneel* stuursysteem geeft de positie van de stuurknuppel een indicatie voor de uitslag van de roeren. Fig. 2 toont het blokschema dat bij een conventioneel stuursysteem hoort. Dit stuursysteem heeft als voordeel dat de uitslag van de stuurknuppel consistent verbonden is met de uitslag van de roeren en dat vaak abnormale situaties voelbaar zijn in de stuurknuppel, zoals het "sponzig" aanvoelen van de stuurknuppel bij lage snelheden of het "stijf" aanvoelen met hoge snelheden. Hoewel een conventionele stuurorgaan meer kinesthetische informatie levert dan een Fly by Wire systeem is ook hier de stand van een stuurorgaan niet consistent gekoppeld met de (verandering) van de beweging van het vliegtuig. De rolsnelheid van een vliegtuig hangt naast de uitslag van de roeren bijvoorbeeld ook af van de vliegsnelheid.



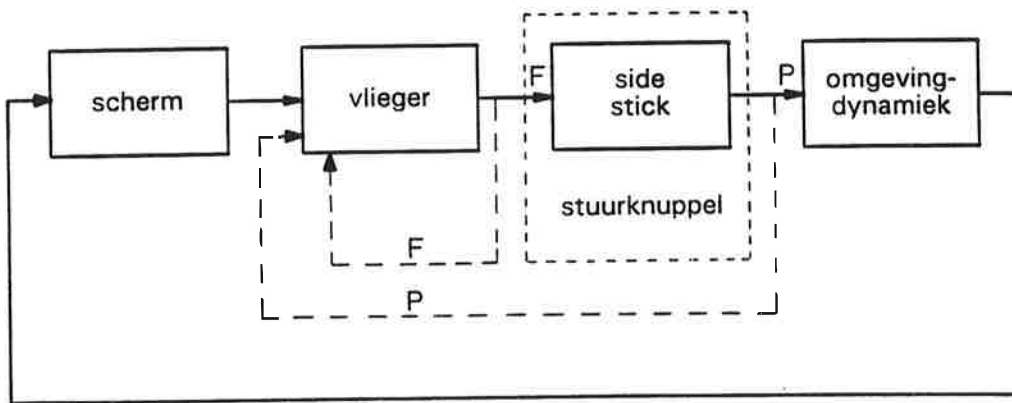


Fig. 2 Blokschema van een conventioneel stuursysteem.

Een *actieve* stuurknuppel bestaat uit een druksensor geplaatst op een beweegbaar stuurorgaan. De beweging wordt bewerkstelligd door motoren en kan direct worden gekoppeld aan een te kiezen bewegingsvariabele van het vliegtuig. Zo kan men hoogte, stijg/daalsnelheid, stand van het vliegtuig etc. kenbaar maken door de stand van het stuurorgaan, terwijl een evenzo vrij te kiezen besturingsvariabele geschiedt op basis van de door de vlieger geleverde stuurkracht. Indien de stuurvariabele en de teruggekoppelde variabele goed worden gekozen zal de vlieger de indruk krijgen dat hij het vliegtuig als het ware in zijn hand heeft omdat elke beweging van het stuurorgaan direct resulteert in een beweging(verandering) van het vliegtuig (Hosman & Van der Vaart, 1987; Herzog, 1968). Indien de uitslag van de stuurknuppel aan bv. de rolsnelheid wordt gekoppeld, is te verwachten dat de stuurtaak beter uitvoerbaar wordt en dat deze minder aandacht behoeft.

De verwachte prestatieverbetering op een stuurtaak door actieve bedieningsmiddelen hangt af van de type stuurtaak: *Compensatoir* of *Pursuit* (Kelly, 1968). Bij een compensatoire taak moet de proefpersoon verstoringen op het vliegpad, compenseren. Dit is het geval wanneer bijvoorbeeld hoogte moet worden gehouden. Indien de stijgsnelheid wordt teruggekoppeld in de actieve stuurknuppel zal een constante hoogte kunnen worden gerealiseerd door de stuurknuppel continu in een verticale stand te houden. Tijdens een pursuit taak dient een proefpersoon een bepaald object of pad te volgen. Dit zal daarom minder goede prestaties leveren omdat niet langer de stuurknuppel in één stand gehouden kan worden, maar volgens een bepaald patroon moet worden bewogen. Hosman en van der Vaart (1987) constateren dat actieve stuurknuppels de beste prestatie opleveren bij een compensatoire taak. Fig. 3 toont het blokschema van een actieve stuurknuppel.

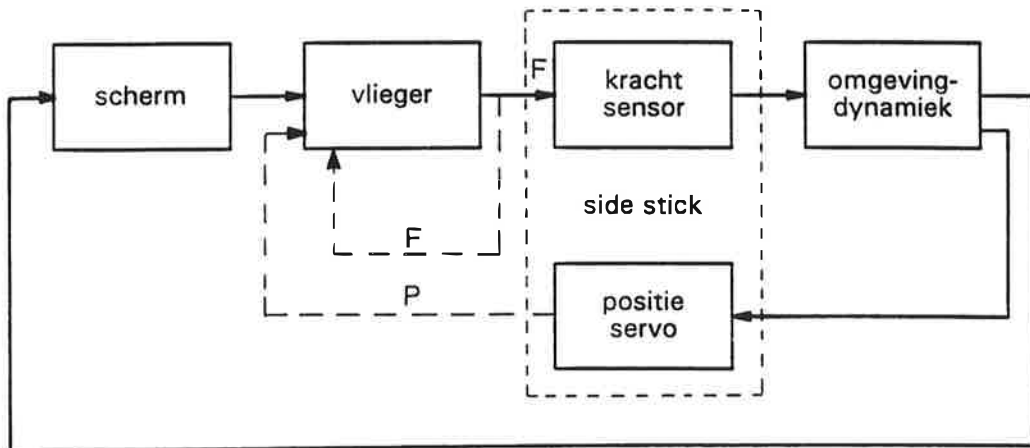


Fig. 3 Blokschema van een actieve stuurknuppel.

### 1.3 Het experiment

Op grond van het bovenstaande werd een experiment opgezet waarin de effecten van visuele receptor anticipatie (visuele preview) en cognitieve anticipatie en actieve joysticks werden onderzocht. Daarbij werd de mate van visuele taakbelasting bepaald door de introductie van een visuele neventaak. Naarmate de proefpersoon meer aandacht nodig heeft voor de visuele informatie van de stuurtaak zal hij minder goed presteren op een visuele neventaak. Op deze manier kan de mate van benodigde visuele aandacht als functie van visuele en/of auditieve anticipatie en van joystick karakteristieken (actief/passief) in kaart worden gebracht.

Verwacht werd dat meer anticipatie tot op zekere hoogte een verbetering zou leveren van de stuurprestatie. Indien cognitieve anticipatie zou worden ondersteund door gebruik van auditieve informatie over de te volgen route zou kunnen worden volstaan met minder visuele anticipatie waardoor de visuele interferentie (gemeten op de neventaak) zou moeten afnemen.

Bij compensatoire stuurtaken zou gebruik van actieve stuurorganen een betere stuurprestatie en neventaakprestatie moeten teweegbrengen. Verwacht werd dat deze effecten in mindere mate zouden optreden bij pursuit deeltaken (bv. een route met horizontale bochten volgen) dan bij compensatoire deeltaken (bv. handhaving van de optimale vlieghoogte).

## 2 METHODE

### 2.1 Proefpersonen

Omdat het een verkennend experiment betrof en het experiment vrij lange trainingstijden vereiste (30 uur training voorafgaand aan het experiment) namen slechts drie proefpersonen deel. De proefpersonen hadden een beperkte vliegervaring ( $< 100$  uur).

### 2.2 Taken

#### *Stuurtaak*

In een part-task simulator is het mogelijk een situatie na te bootsen die voor wat betreft de stuurtaak te vergelijken is met het sluipliegen met een helikopter. Een proefpersoon moest op basis van de visuele informatie van het buitenbeeld zodanig sturen dat het gesimuleerde voertuig een van tevoren aangegeven vluchtpad volgt. De route werd op een beeldscherm geprojecteerd door middel van een aaneenschakeling van de vierkante poortjes (100×100 ft), met een tussenruimte van 40 ft (Fig. 4).

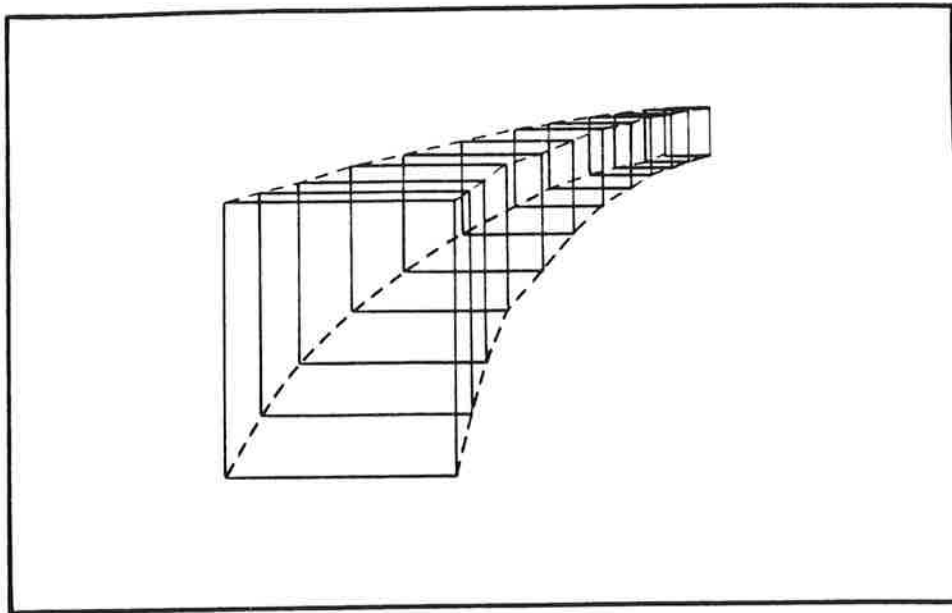


Fig. 4 Een route zoals geprojecteerd op het beeldscherm.

De proefpersonen moesten door deze zgn. *tunnel-in-the-sky* de ideale lijn door het midden van de vierkante lijnen volgen. Het aantal poortjes bepaalde de mate van (visuele) receptor anticipatie. Daarnaast konden de proefpersonen kort voor het ingaan van bochten al of niet auditief-verbale informatie verkrijgen over de scherpte (4 boogstralen) en richting (links, rechts) van de bocht. Ook werd een

auditief signaal gegeven op het moment dat de bocht begon. Dit bepaalde de cognitieve anticipatie.

De stuurprestatie van een proefpersoon werd bepaald door het verschil tussen het daadwerkelijk gevlogen pad en het optimum volgens de aangegeven route. In elk van de acht gebruikte routes zijn acht opeenvolgende (horizontale) bochten opgenomen. De bochten waren gebalanceerd binnen proefpersonen over vier moeilijkheidsgraden en twee richtingen; linksom ofwel rechtsom. Tussen de bochten was steeds een recht stuk met een lengte van 800 ft geplaatst om eventuele stuurfouten te kunnen herstellen. De moeilijkheidsgraad van de scherpste bocht was zodanig gekozen dat hij theoretisch nog net gevlogen kon worden met een snelheid van 80 kts.

Tijdens de experimenten werd de proefpersoon gevraagd om in eerste instantie de route zo nauwkeurig mogelijk te vliegen, in tweede instantie een eventuele neventaak zo goed mogelijk uit te voeren, en tenslotte zo snel mogelijk door de tunnel-in-the sky te vliegen.

#### *Neventaak*

Om te kunnen vaststellen in hoeverre de proefpersoon in staat was tijdens de uitvoering van de stuurtaak een tweede (visuele) taak uit te voeren, werd tijdens de helft van de vluchten een neventaak aangeboden. Deze taak bestond uit de projectie van één woord uit een set van acht. Vier woorden hadden betrekking op een dreiging, de andere vier niet. Bij een woord dat een dreiging voorstelt moest de proefpersoon de "ja" knop indrukken, en op woorden die dat niet doen de "nee" knop. Deze twee knoppen bevonden zich op de "cyclic" (rechter) stuurknuppel. Telkens wanneer er op een knop werd gedrukt werd onmiddellijk een ander woord gekozen en op een willekeurige positie op het beeldscherm geprojecteerd. Het ging hierbij niet alleen om correct reageren, maar ook om reactiesnelheid.

#### *Taakprestatie*

Bij iedere rekenstap tijdens de simulatie werden de volgende gegevens opgeslagen:

- positie van de helikopter (x,y,z)
- reactie op de neventaak
- vliedsnelheid.

De stuurprestatie werd uitgedrukt in de standaardfout, de kwadratensom (RMS) van de afwijkingen van het gevlogen pad t.o.v. het ideale pad. De afwijkingen werden afzonderlijk in het horizontale vlak en in het verticale vlak gemeten. Er werd alleen gemeten in de bocht zelf en een gedeelte van het daaropvolgende rechte stuk. De prestatie op de neventaak werd gemeten door het aantal goede reacties op het verschijnen van een woord te tellen. Omdat de snelheid tijdens

de vlucht in laatste instantie ook bepalend was voor de prestatie is deze ook gemeten.

De data zijn onderworpen aan variantie-analyses.

### 2.3 Instrumentatie

Het beeldsysteem van de simulator bestond uit een Silicon Graphics IRIS werkstation met een daarbij geleverd vlucht-simulatie software pakket. Deze werd gekoppeld aan een mock-up van een cockpit (zie Fig. 5). Hieraan werd het volgende toegevoegd:

- een actief stuurorgaan met één (collective) of twee (cyclic) graden van vrijheid;
- besturing van het actief stuurorgaan middels een HP-vecetra computer;
- aanpassing van de software ten behoeve van het helikopter experiment;
- real-time interface van de Silicon Graphics met de HP-vecetra computer.

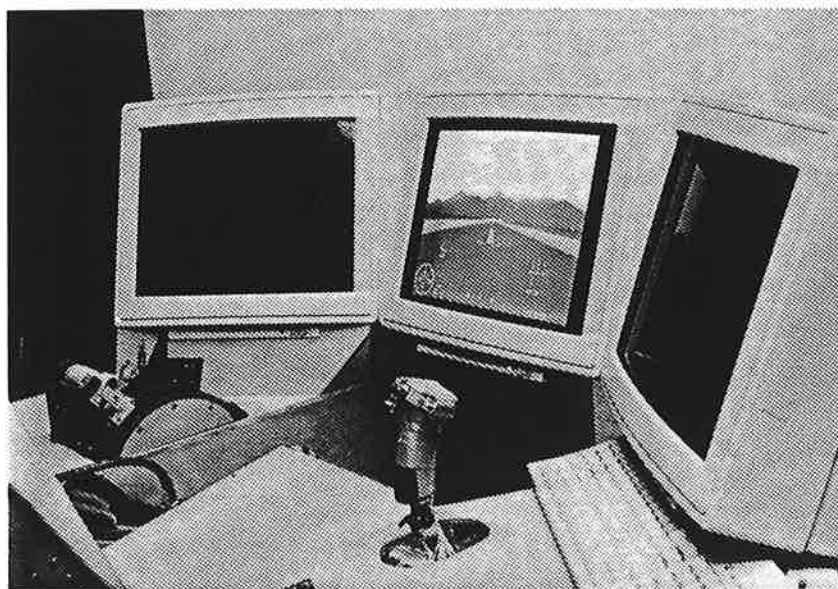


Fig. 5 De part task simulator.

Tijdens het experiment is gewerkt met twee verschillende actieve stuurorganen: 1 een *actieve cyclic* (hoekversnelling teruggekoppeld in rechter stuurknuppel), en 2 een *actieve collective* (stijg/daalsnelheid teruggekoppeld in linker stuurknuppel).

ad 1) Wanneer een vlieger wil weten hoe scherp de bocht is die hij maakt dan kan hij daarvoor zijn hoekversnelling gebruiken. Deze wordt voornamelijk bepaald door torque en rotorstand. Bij dit experiment is gekozen voor een actieve cyclic waarin de hoekversnelling werd teruggekoppeld, omdat de richting,

en tot op zekere hoogte, de grootte van de hoekversnelling door de cyclic worden bepaald. De actieve stuurknuppel geeft d.m.v. de stand van de kolom aan wat de hoekversnelling is. De stand van de stuurkolom is voor de vlieger een maat voor de scherpte van de bocht zoals die wordt gevlogen. De actieve stuurknuppel dient in dit geval ter ondersteuning van een "pursuit" stuurtaak.

ad 2) Wanneer een vlieger wil weten in hoeverre zijn hoogte verandert dan is de verticale snelheid daarvoor de beste indicatie. Bij een actieve collective wordt de verticale snelheid teruggekoppeld. De hoeveelheid torque en daarmee in aanzienlijke mate de verticale snelheid wordt bepaald door de kracht die de vlieger op de collective uitoefent. De positie van de collective komt overeen met een bepaalde stijg- of daalsnelheid. Op hoogte blijven vliegen komt overeen met het in de middenstand houden van de actieve collective. Hierbij dient de actieve stuurknuppel ter ondersteuning van een compensatoire stuurtaak.

De actieve cyclic was dus gericht op het ondersteunen van de pursuit deeltaak in het horizontale vlak (bochten volgen) en de actieve collective was dat met betrekking tot de compensatoire deeltaak in het verticale vlak (hoogtehandhaving).

De actieve stuurknuppel, afgebeeld in Fig. 6, is door het TNO-TM ontwikkeld.

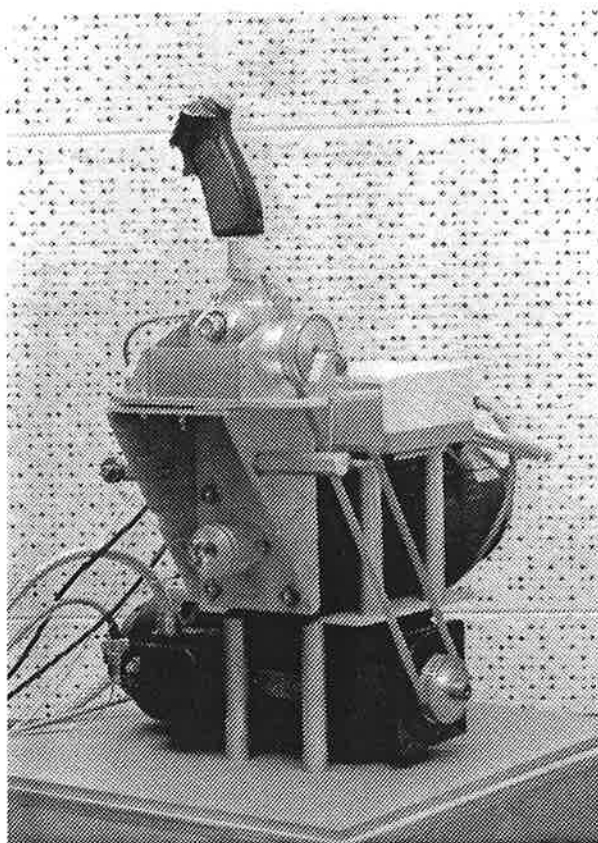


Fig. 6 De actieve stuurknuppel.

Bij deze stuurknuppel werden de stuurkrachten geleverd door twee elektromotoren QK 140-2 van BBC met een statisch vermogen van 2 KW en een dynamisch vermogen van 4 KW. De constructie is zodanig dat de stuurkrachten van elk van de twee vrijheidsgraden door een aparte motor werd geleverd. Voor de besturing van de stuurknuppel was een PC/386 uitgerust met een Digital to Analog en Analog to Digital convertor.

De passieve stuurknuppel die in het experiment gebruikt werd was een standaard isometrische stuurknuppel van het merk Measurements Systems Inc. van het model 446-G794.

De gegevens, zoals die gebruikt zijn voor het helikoptermodel, komen van enkele bestaande bewapende helikopters. Opgemerkt moet worden dat het model geen cross-coupling bevatte. De data zijn verwerkt in het "Flight"-programma van Silicon Graphics Inc.

Op zowel op de actieve als de passieve "cyclic" stuurknuppel zaten twee microswitches waarmee de neventaak werd uitgevoerd. Om aan de real-time aspecten van de simulatie te kunnen voldoen moesten enige elementen uit de oorspronkelijke database van het "Flight" programma worden weggenomen.

## 2.4 Experimentele opzet

Het experiment was verdeeld in drie delen.

Het eerste deel was een vooronderzoek waarin de variabelen bochttype (4 bochtstralen) en visuele receptor anticipatie (5, 10, 15, 20 en 25 poortjes) binnen proefpersonen werden gevarieerd. Iedere conditie werd vier maal herhaald. De uitkomst hiervan, i.e., de optimale hoeveelheid visuele preview onder de experimentele condities, gold als basisconditie voor de overige experimentdelen. Er werd alleen gevlogen met passieve stuurorganen.

In deel 2 werd anticipatie (20 poortjes, 10 poortjes + auditieve stuurinformatie en 5 poortjes + auditieve stuurinformatie) en neventaak (wel of niet) binnen proefpersonen gevarieerd. Cognitieve en receptor anticipatie werden dus niet onafhankelijk van elkaar gemanipuleerd. Nagegaan werd in hoeverre het effect van afnemende receptor anticipatie (20, 10, 5 poortjes) teniet gedaan werd door extra cognitieve anticipatie bij 10 en 5 poortjes. Iedere conditie werd 16 maal herhaald. Hierbij moet worden opgemerkt dat de conditie met 20 poortjes preview bepaald is op basis van de uitkomsten van het eerste deel van het experiment. Bij dit tweede deelexperiment werd ook met passieve stuurorganen gevlogen.

In het derde deel werden de variabelen bochtmoeilijkheid (4 boogstralen), stuursysteem (actieve cyclic of actieve collective) en neventaak (wel of niet)

binnen proefpersonen gevarieerd. Iedere conditie werd 16 maal herhaald. De proefpersonen kregen in alle taakcondities de optimale anticipatie (20 poortjes). De conditie met passieve stuurorganen en 20 poortjes anticipatie werd gebruikt als basisconditie om het effect van actieve stuursystemen te meten.

## 2.5 Procedure

De proefpersonen namen gedurende 2 weken aan het experiment deel. Voor die tijd werd gedurende 3 weken 2 uur per dag getraind in de experimentele opstelling. Tijdens het experiment vloog iedere proefpersoon één route waarna werd gewisseld. Op één dag werden maximaal 20 routes per proefpersoon gevlogen. Iedere vlucht nam enkele minuten in beslag.

## 3 RESULTATEN

### 3.1 Receptor anticipatie door een tunnel-in-the-sky

In Fig. 7 is de RMS in het horizontale vlak weergegeven als functie van preview conditie gemiddeld over proefpersonen, bochten en herhalingen.

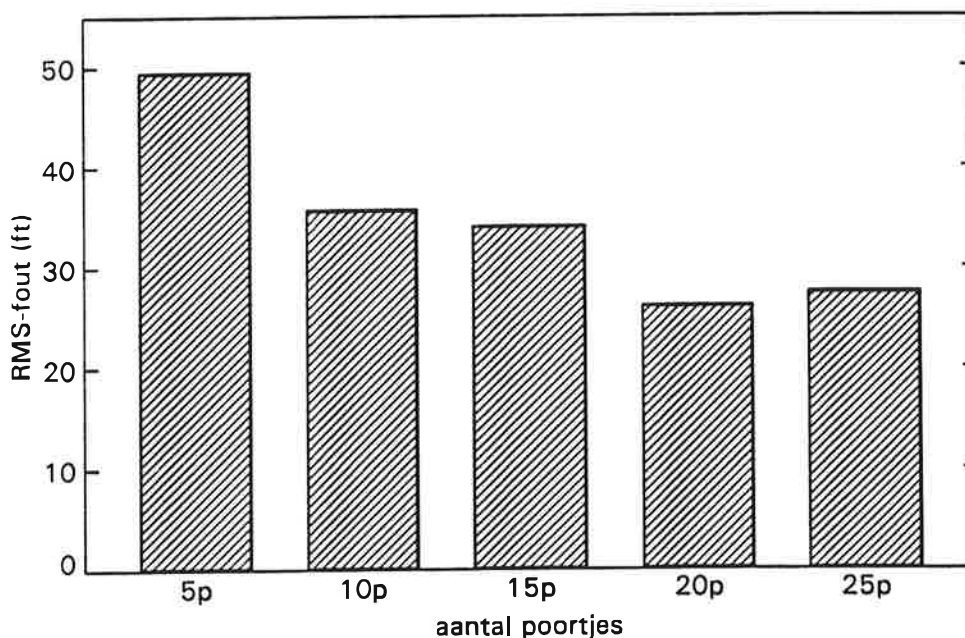


Fig. 7 RMS-fout in het horizontale vlak weergegeven als functie van anticipatie-conditie.



Iedere kolom is opgebouwd uit 48 meetpunten (3 proefpersonen, 4 bochten, 4 herhalingen). Uit de figuur blijkt dat de beste prestatie (kleinste RMS) wordt geleverd bij 20 en 25 poortjes preview.

In Fig. 8 is de RMS in het verticale vlak weergegeven als functie van preview gemiddeld over proefpersonen, bochten en herhalingen. Iedere kolom is opgebouwd uit 48 meetpunten (3 proefpersonen, 4 bochten, 4 herhalingen). Uit deze figuur blijkt dat er vanaf 10 poortjes geen duidelijke prestatieverbetering meer optreedt. Omdat zowel in het horizontale vlak als in het verticale vlak 20 poortjes preview de beste prestatie leverde bij de gehanteerde experimentele opzet wordt 20 poortjes anticipatie gehanteerd als basisconditie voor het vervolg.

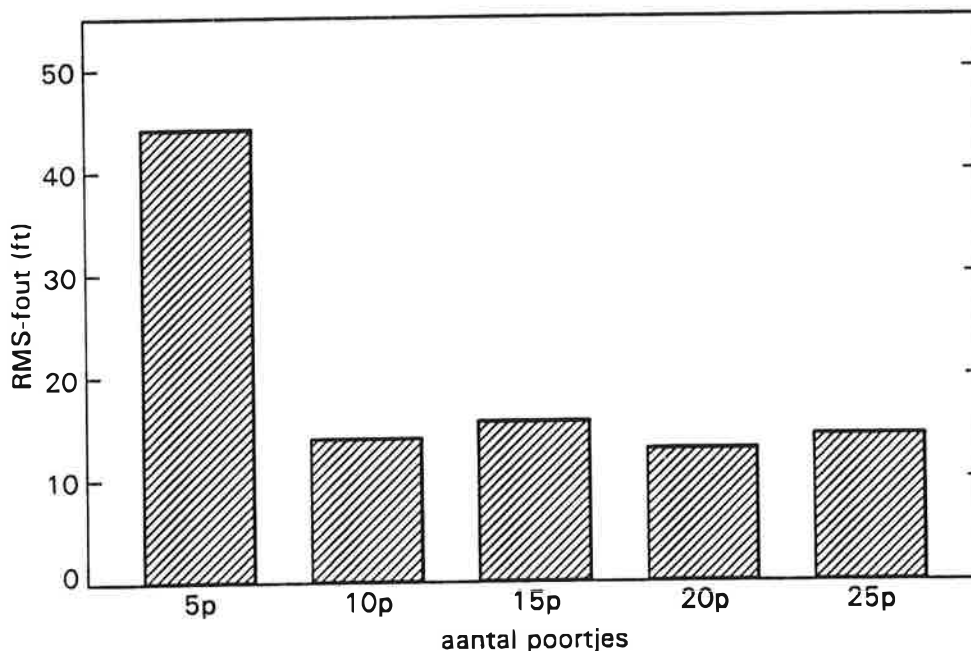


Fig. 8 RMS-fout in het verticale vlak weergegeven als functie van anticipatie-conditie.

### 3.2 Cognitieve anticipatie door auditieve stuurinformatie

Een ANOVA op de RMS stuurfout in het horizontale vlak liet significante effecten zien van de factor bocht, anticipatie en de interactie daartussen. Naarmate de bocht scherper wordt neemt de nauwkeurigheid af [ $F(3,6)=138$ ,  $p<0.0001$ ]. Naarmate de receptor anticipatie afneemt, neemt de nauwkeurigheid toe [ $F(2,4)=25.5$ ,  $p<0.01$ ]. Blijkbaar was de auditief-cognitieve anticipatie in staat de effecten van een vermindering in visuele-receptor anticipatie op de horizontale stuurcomponent (zie Fig. 7) meer dan volledig te compenseren. Dit laatste effect nam af bij toenemende scherppte van de bocht [ $F(6,12)=8,4$ ,  $p<0.05$ ]. In Fig. 9 is de stuurfout in het horizontale vlak weergegeven als functie van anticipatie conditie gemiddeld over proefpersonen, bochten en herhalingen.

Met betrekking tot de RMS stuurfout in het verticale vlak traden geen significante effecten van anticipatie op, zodat ook hier geldt dat auditieve voorinformatie compenseert voor verschillen door verminderde visuele preview.

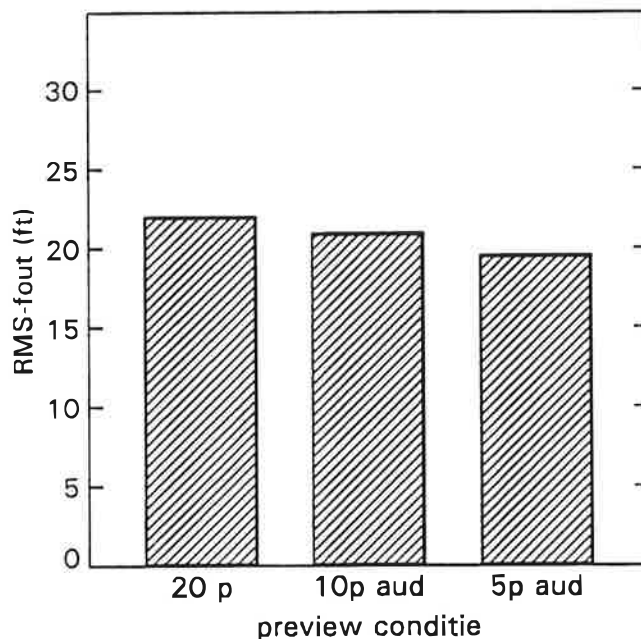


Fig. 9 RMS-fout in het horizontale vlak weergegeven als functie van anticipatie-conditie.

Een ANOVA op de RMS fouten in het horizontale vlak tijdens het uitvoeren van de neventaak gaf alleen een significant effect van de factor bocht te zien [ $F(3,6)=7.4$ ,  $p<0.05$ ]. Naarmate de bocht scherper werd nam de nauwkeurigheid af. De overige factoren hadden geen significant effect. Dezelfde analyse op de RMS fouten in het verticale vlak tijdens het uitvoeren van de neventaak leverde geen enkel significant effect op. Dit betekent dat ook in de dubbeltaak-condities het effect van verminderde visuele preview door cognitieve anticipatie werd gecompenseerd.

In Fig. 10 is de score op de visuele neventaak weergegeven als functie van de anticipatieconditie gemiddeld over proefpersonen, bochten en herhalingen. Anticipatie had een significant effect op de neventaak [ $F(92,4)=23.8$ ,  $p<0.01$ ]. Een post-hoc Newman-Keuls analyse wees uit dat de conditie met vijf poortjes significant slechter werd gepresteerd dan in de andere twee condities ( $p<0.01$ ). Hier bleek dus dat ondanks de cognitieve anticipatie de visuele taakbelasting werd verhoogd als de visuele preview zeer gering was. Echter de daling in preview van 20 naar 10 poortjes leverde geen verschillende taakbelasting op en werd dus door de aanwezigheid van cognitieve anticipatie in de conditie met 10 poortjes gecompenseerd.

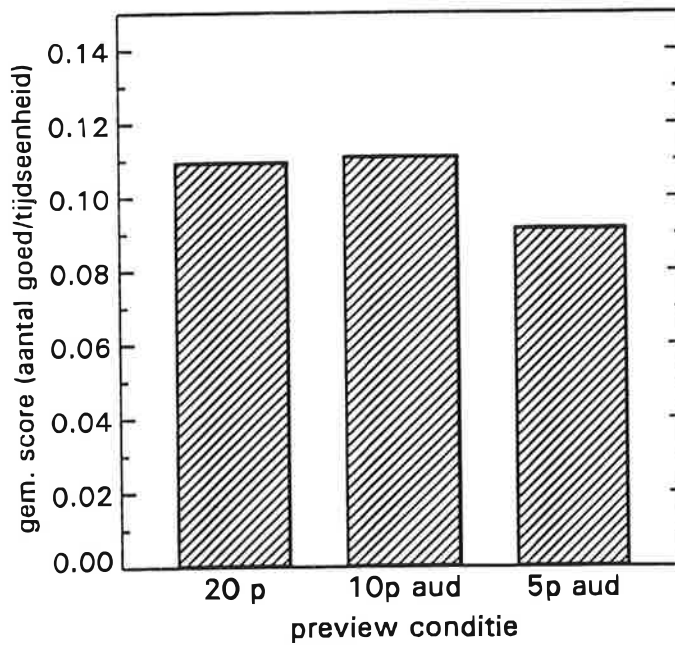


Fig. 10 Score op de neventaak weergegeven als functie van de anticipatieconditie.

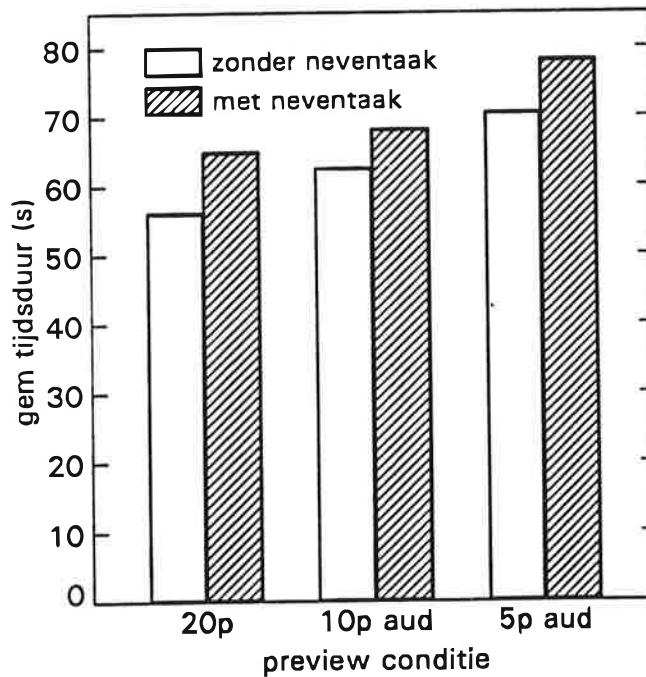


Fig. 11 Gemiddelde tijdsduur weergegeven als functie van de anticipatieconditie. Prestaties zonder neventaak zijn gearceerd, prestaties met neventaak zijn blank.

In Fig. 11a is de gemiddelde tijdsduur voor een trial weergegeven zonder neventaak als functie van de anticipatieconditie gemiddeld over proefpersonen, bochten en herhalingen. Fig. 11b toont hetzelfde met neventaak. De factor

anticipatie had een significant effect op de vliegsnelheid. Zowel zonder [ $F(2,4)=16.8, p<0.05$ ] als met neventaak [ $F(2,4)=7.2, p<0.05$ ] nam de vliegsnelheid met toenemende visuele anticipatie toe. In tegenstelling tot de *stuuraccuratesse* kon door het presenteren van auditieve cognitieve anticipatie—anticiperende stuurinformatie—het effect van afnemende visuele anticipatie op de *vliegsnelheid* dus niet worden gecompenseerd. Voorts werd er zowel zonder [ $F(7,14)=9.5, p<0.0005$ ], als met neventaak [ $F(7,14)=6.8, p<0.005$ ] in scherpe bochten trager gevlogen.

### 3.3 Actieve stuurmiddelen

Zowel in het horizontale vlak als in het verticale vlak werden geen significante effecten op de RMS stuuraccuratesse aangetoond van joystick-type. Wel was er één significant effect van bochten: naarmate de bocht scherper werd nam de nauwkeurigheid in het horizontale vlak af [ $F(3,6)=181.5, p<0.0001$ ].

Dezelfde analyse over accuratesse tijdens het uitvoeren van een neventaak toonden een bijna-significant positief effect in het horizontale vlak van actieve interfaces [ $F(2,4)=6.4, p=0.056$ ]. Het effect van bochtscherpte en de interactie van hiervan met joystick-type waren wel significant. Naarmate de bocht scherper werd nam in het horizontale vlak de nauwkeurigheid af [ $F(3,6)=94.9, p<0.0001$ ], terwijl het positieve effect op de nauwkeurigheid van actieve stuurmiddelen t.o.v. het passieve met bochtscherpte toenam [ $F(6,12)=4.9, p<0.01$ ]. Fig. 12 laat zien dat in het verticale vlak met actieve joysticks significant beter werd gestuurd dan met passieve [ $F(2,4)=13.6, p<0.05$ ]. Bochtscherpte had hierbij geen effect. Conclusie: onder hoge taakbelasting is er dus een duidelijk positief effect van joystick-type, en dit effect geldt het sterkst voor de compensatoire deeltaak, i.e., hoogtehandhaving.

In Fig. 13 is de score op de neventaak weergegeven als functie van joystick-type gemiddeld over proefpersonen, bochten en herhalingen. Joystick-type had een significant effect [ $F(2,4)=19.9, p<0.001$ ]. Een Newman-Keuls analyse wees uit dat alleen de conditie met de actieve collective zich significant van de overige twee liet onderscheiden ( $p<0.01$ ). De joystick voor de compensatoire deeltaak had dus een gunstig effect op de taakbelasting. Omdat er m.b.t. stuuraccuratesse geen verschil was tussen de joysticktypes, kan dit niet worden teruggevoerd op een trade-off effect tussen RMS-fout en neventaak-prestatie.

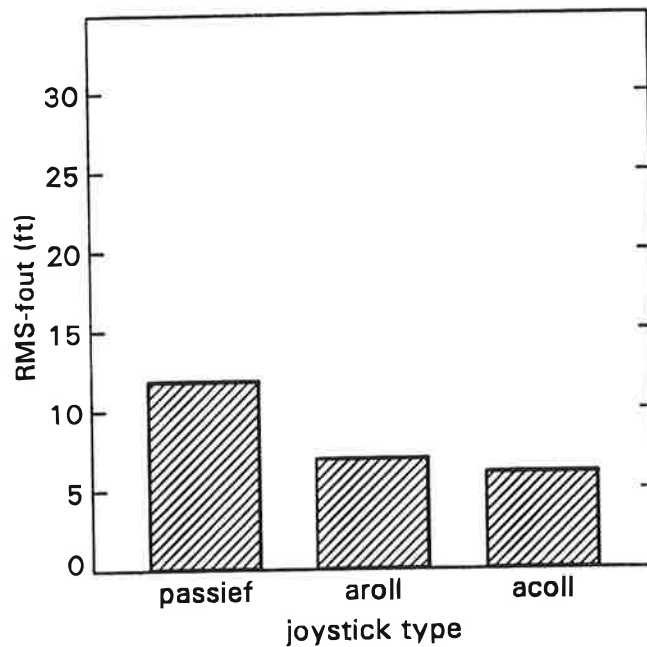


Fig. 12 RMS-fout in het verticale vlak tijdens het uitvoeren van een neventaak weergegeven als functie van joystick type.

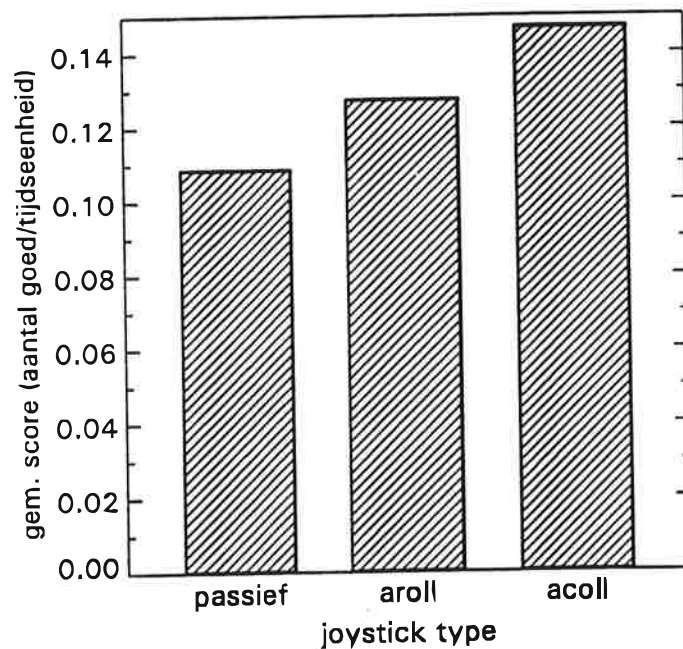


Fig. 13 Score op de neventaak weergegeven als functie van joystick type.

Analyses op tijdsduur leverde zowel in de enkeltaak- als in de dubbeltaakcondities voor wat betreft joystick-type één significant hoofdeffect op. Horizontale stuuraccuratesse nam af met bochtscherpte.

## 4 CONCLUSIES

### 4.1 Cognitieve anticipatie door auditieve stuurinformatie

In het vooronderzoek werden de effecten van visuele receptor anticipatie (preview), zoals ze voor dit experiment golden in kaart gebracht. In het horizontale vlak bleek de prestatie optimaal vanaf 20 poortjes terwijl dit in het verticale vlak al vanaf 10 poortjes het geval was. In het vervolgonderzoek werd daarom routes bestaande uit 20 poortjes als basisconditie (passieve joystick, geen cognitieve anticipatie) gebruikt. Onderzocht werd in hoeverre dit effect van (visuele) receptor-anticipatie door (auditieve) cognitieve anticipatie kon worden gecompenseerd. Enerzijds werd verwacht dat met behulp van auditieve stuurinformatie de stuurprestatie gelijk zou blijven bij een vermindering van visuele anticipatie, anderzijds dat de score op de neventaak zou toenemen, omdat gebruik werd gemaakt van een andere modaliteit (het auditieve) om informatie over te dragen.

Uit dit experiment blijkt dat zowel in het horizontale als in het verticale vlak ook met neventaak geen significante effecten van verminderde visuele anticipatie optraden als er auditieve stuurinformatie werd gegeven. In het horizontale vlak zonder neventaak trad voor wat betreft de stuur nauwkeurigheid zelfs een lichte prestatieverbetering op door gebruik van auditieve stuurinformatie. Dat dit met betrekking tot neventaak-prestatie niet het geval was kan worden verklaard uit het feit dat de neventaak verbaal-cognitief en voor het sturen irrelevant was. Dit betekent dat de cognitieve anticipatie over de te volgen route en de cognitieve neventaak een beroep deden op dezelfde informatieverwerkingsmodaliteiten, maar daarbij geen samenhang vertoonden m.b.t. stimuli, verwerkingsoperaties, handelingen, en/of doelen. Hierdoor moeten de taken door dezelfde neuronale systemen worden uitgevoerd en daarbij gescheiden worden gehouden. Dit kan leiden tot overbelastingsverschijnselen van deze systemen, i.e., "interferentie", "overspraak", "verwarring", "conflict" (Korteling, 1993, 1994).

Voor wat betreft de vliegsnelheid nam de prestatie significant met vermindering van visuele anticipatie af ondanks introductie van auditieve stuurinformatie. Dit kan worden verklaard doordat auditieve anticipatie primair informatie geeft die relevant is voor de accuratesse van het sturen. Indirect kan dit natuurlijk gevolg hebben voor de snelheid waarmee (door bochten) gevlogen kan worden. In dit experiment was dit waarschijnlijk niet het geval omdat de proefpersonen waren geïnstrueerd pas aan verhoging van de vliegsnelheid te gaan werken als de ten aanzien van stuuraccuratesse en neventaak-prestatie optimaal werd gepresteerd. Dat gevoel heeft men blijkbaar niet gehad.

Een daling in visuele preview van 20 naar 10 poortjes leverde geen verschillende taakbelasting op en werd dus door de aanwezigheid van cognitieve anticipatie in de conditie met 10 poortjes gecompenseerd. Alleen bij een visuele preview van slechts 5 poortjes nam de taakbelasting, ondanks cognitieve anticipatie, toe.

Op basis van dit experiment kan gesteld worden dat met behulp van auditief aangeboden cognitieve anticipatie voor een sterke afname van visuele receptor anticipatie kan worden gecompenseerd. Dit geldt zowel voor de pursuit-taak in het horizontale vlak als voor de compensatoire taak in het verticale vlak.

## 4.2 Actieve joysticks

Enerzijds werd verwacht dat met behulp van actieve stuurorganen de stuurprestatie zou verbeteren, en met name in het geval van de compensatoire stuurtaak in het verticale vlak (hoogtehandhaving). Anderzijds werd verwacht dat de score op de neventaak zou toenemen, omdat gebruik werd gemaakt van een andere modaliteit (de haptische) om informatie over te dragen.

Globaal bezien blijkt dat alleen in de condities met neventaak prestatieverbeteringen werden vertoond, en wel voor wat betreft sturnauwkeurigheid en neventaakprestatie. Meer specifiek: bij gebruik van de actieve collective en in de dubbeltaak-condities (hoogtehandhaving in het verticale vlak) was er een duidelijke verbetering in accuratesse. Voorts had alleen de active collective, een gunstig effect op de neventaakprestaties. Dit bevestigt het idee dat actieve stuurorganen vooral een positief effect hebben op primair compensatoire taakonderdelen, zoals hoogtehandhaving, zowel in termen van taakprestatie als taakbelasting. Voorts mag worden geconcludeerd dat dit vooral geldt in condities met een hoge taakbelasting. Omdat er m.b.t. horizontale stuuraccuratesse geen verschil was tussen de joysticktypes, kunnen de effecten niet worden teruggevoerd op een trade-off tussen horizontale stuuraccuratesse enerzijds en verticale accuratesse of neventaakprestatie anderzijds.

## 5 ANTICIPATIE EN ACTIEVE STUURMIDDELEN NADER BESCHOUWD

### 5.1 Anticipatie

De inleiding beschreef drie vormen van anticipatie gebaseerd op receptor-, perceptieve en cognitieve anticipatie. In het experiment werden receptor anticipatie (het toekomstige te vliegen pad direct kunnen waarnemen) en cognitieve anticipatie (het te volgen pad van te voren kennen) gevarieerd. In het vooronderzoek werden de reeds in de literatuur beschreven positieve effecten van receptor anticipatie bevestigd. De gebruikte tunnel-in-the-sky is in de vliegwereld niet onbekend, al wordt het principe nog weinig toegepast. Over de wijze waarop dit hulpmiddel het meest effectief kan worden gebruikt bestaan nog vele vragen. Duidelijk is dat het principe alleen kan worden toegepast wanneer nauwkeurige sturing vereist is en er een bekende optimale vliegroute beschikbaar is. Op dit moment geldt dit vooral voor het de Standard Instrument

Departures (SID's) en Standard Approach Procedures (SAP's). In principe kan het systeem echter ook gebruikt worden tijdens andere taken, zoals het ontwijken van gebieden die door vijandelijke radar of afweer worden bestreken of het leiden van het toestel naar vijandelijke gronddoelen. "Human factors"-vragen in dit soort situaties betreffen vooral de wijze van presentatie van het beeld (bv. head-up, head-mounted of op een aangepast tactisch situatiescherm) en m.b.v. welke visuele cues het traject optimaal kan worden vormgegeven. In het huidige experiment werd de tunnel-in-the-sky in een head-up mode gepresenteerd met behulp van poortjes van 100×100 ft en 40 ft tussenruimte. Op dit moment worden de meest tunnels met behulp van achter elkaar liggende poortjes gepresenteerd. Wellicht kan het aantal poortjes worden verminderd, of kunnen kleurcoderingen worden gebruikt om verschillende segmenten, afstanden of hoogten af te markeren of af te bakenen. Te overwegen valt of het niet beter is de tunnel m.b.v. perspectivische en onderbroken lijnen of cirkels te presenteren. Verder kan de diameter van de tunnel afhankelijk van de situatie worden gevarieerd. Voor de aanvliegroute naar een landing kan deze in samenhang met de vereiste nauwkeurigheid geleidelijk worden verkleind. Uit de verkeersliteratuur is bekend dat stuuraccuratesse afneemt met de dwarsafstand van het oogpunt tot de zijmarkering (Riemersma, 1987; Tenkink, 1989). Op smallere wegen is de dwarspositie dus stabiel. Daarbij neemt de taakbelasting in termen van stuuractiviteit toe (Käppler & Godthelp, 1990). Ook is inmiddels gebleken dat bij wielvoertuigen de stuuraccuratesse beïnvloed wordt door de pure hoeveelheid zijbelijning en niet door de mate van onderbreking op zich (Kappé & Korteling, 1994). De flow die wordt veroorzaakt door de voorwaartse beweging heeft dus geen effect op de stuuraccuratesse. Dit soort gegevens leveren aanknopingspunten voor het ontwikkelen van ontwerpprincipes voor tunnels-in-the-sky. Hierbij moet worden getracht om met zo min mogelijk clutter in het beeld (lijnen, poortjes), die kan interfereren met andere visuele informatie, een zo nauwkeurig mogelijke visuele anticipatie te verschaffen. Zowel i.v.m. taakbelasting als visuele interferentie moet er niet meer anticipatie-informatie worden verschaft dan strikt gezien noodzakelijk is.

De positieve effecten van cognitieve anticipatie ondersteunen de gedachte dat cognitieve mission rehearsal een waardevol middel kan zijn om de stuurprestatie te verbeteren. Mission rehearsal hoeft daarbij niet te betekenen dat in het werkelijke systeem onder gelijksoortige omstandigheden moet worden geoefend. Een te volgen traject kan ook in de simulator of zelfs mentaal worden doorgenomen. Hiermee ontwikkelt de vlieger van te voren een mentale representatie van de te volgen route en de bijbehorende handelingen.

## 5.2 Actieve stuurmiddelen

Een belangrijk voordeel van actieve bedieningsmiddelen is dat ze ideomotorisch compatibel kunnen zijn, d.w.z., de perceptuele informatie correspondeert met de vereiste actie. Door de integratie van stimulus en respons wordt een aantal



stappen in de informatieverwerking geëlimineerd, waardoor de taak minder belastend wordt en er sneller en adequater kan worden gehandeld. Aan bedieningsmiddelen gekoppelde sensorische informatie kan hierdoor in het algemeen een positief effect hebben op de uitvoering van de primaire regeltaak. In het onderhavige experiment werd bevestigd dat dit het duidelijkst voor compensatoire taakonderdelen, zoals vlieghoogtehandhaving, snelheidshandhaving of collision avoidance geldt. Sensorische informatiepresentatie via bedieningsmiddelen kan ook primair bedoeld zijn om de andere kanalen (het visuele en het auditieve systeem) te ontlasten, zonder dat er gestreefd wordt naar compatibiliteit. Zo kan een bedieningsmiddel bijvoorbeeld somatosensorische signalen afgeven (bv. gaan trillen) die de vlieger wijzen op het naderen of overschrijden van kritische grenzen m.b.t. snelheid, hoogte, daalsnelheid of G-krachten (asymmetrische G-limieten). Op die manier kan via de throttle een naderende stall worden aangegeven, of kan de collective in een helikopter een waarschuwingbeweging genereren als de kist begint te dalen terwijl er maximale collective pitch wordt gegeven. Ook is het mogelijk dat actieve joysticks alleen werken bij zeer kritieke omstandigheden, als bijvoorbeeld een aanvalsvliegtuig door een verkeerde situatie inschatting dreigt neer te storten. In dat geval liggen de technologische en human factors problemen vooral in het definiëren van de juiste sensor-gegevens en routines, op grond waarvan het support systeem beslist om al of niet "in te grijpen".

Het spreekt vanzelf dat in gevallen waarin ideomotorisch compatibele actieve stuurmiddelen mogelijk zijn, volledige automatisering ook mogelijk wordt. Met andere woorden: als bedieningsmiddelen al in staat zijn de operator te kunnen vertellen welke handelingen er moeten worden uitgevoerd, kunnen ze het waarschijnlijk net zo goed zelf doen. Wanneer in een onbemand vliegtuig, in een helikopter of in een F-16 bijvoorbeeld vlieghoogte moet worden gehandhaafd (compensatoir), kan dit net zo goed automatisch gebeuren als via een actieve joystick. Op die manier wordt het trekken van G-krachten bij een F-16 door de boordcomputer, afhankelijk van de beladingstoestand, begrensd. Als dit door een actief besturingssysteem zou worden gedaan heeft dit echter het potentiële voordeel dat dit direct duidelijk wordt gemaakt aan de vlieger die over deze grenzen heen probeert te gaan. Ook verdient het vaak de voorkeur de man in de "loop" te houden zodat de aandacht in voldoende mate op de primaire vliegtaak gericht blijft. Een actieve joystick verdient in ieder geval de voorkeur wanneer de activiteit "doorbroken" moet kunnen worden, wanneer een automatisch systeem niet volledig kan werken omdat er bepaalde grenzen zijn overschreden (vliegen buiten de flight envelope), of wanneer het goed is dat de vlieger op een vanzelfsprekende en compatibele manier op de hoogte gebracht wordt van het feit dat de automaat ingrijpt. In principe is een actief systeem geen automaat, maar een support systeem dat op een zo effectief mogelijke manier een schakel moet vormen tussen de omstandigheden waarin een mens-machine systeem verkeert en de reacties van het systeem hierop.

Actieve bedieningsmiddelen kunnen ook op een andere manier werken. Ze geven dan niet aan wat de operator moet doen of hoe een automaat ingrijpt; ze koppelen alleen terug hoe het vliegtuig zich gedraagt. Bijvoorbeeld, als een vliegtuig daalt of stijgt beweegt de stuurknuppel respectievelijk naar voren en naar achteren. In dat geval wordt het vliegtuig dus met een force-stick bestuurd waarbij de bewegingen het vliegtuig gedrag simuleren en dus indirect (via de vliegtuig-omgeving dynamiek) het gevolg zijn van de kracht die door de vlieger op de stick wordt uitgeoefend. Wil een vlieger nu op gelijke hoogte blijven, dan moet hij zodanig kracht geven dat de stick stationair blijft. Als de vlieger het goed doet sturen de krachten die hij op de stick uitoefent de stand van de neus van het vliegtuig zodanig dat de actieve joystick—die bijvoorbeeld de hoogteveranderingssnelheid aangeeft—in de neutrale positie blijft. Actieve bedieningsmiddelen die op deze manier werken zouden in principe nuttig kunnen zijn in kritische situaties als er in de buurt van limieten wordt gevlogen, bijvoorbeeld bij: maximaal accelereren en remmen tijdens helikopter sluipvliegen. In dat geval zou de collective aan kunnen geven dat er gedaald of gestegen wordt terwijl dat niet de bedoeling is. Hierbij kan de vlieger, zonder hier visuele aandacht aan te hoeven schenken, met zijn cyclic compenseren. Het feit dat er bij helikopter-vliegen met de cyclic moet worden gereageerd op een hoogteprobleem is in de vliegwereld niet ongebruikelijk. Ook bij het landen van een vliegtuig wordt de snelheid immers met de yoke of de stick—die o.a. de stand van de neus bepaalt—geregeld en wordt de hoogte met de throttle—die de aandrijvingskracht bepaalt—geregeld, terwijl dit tijdens normaal vliegen andersom gebeurt. Een andere mogelijkheid zou gelegen kunnen zijn in het terugkoppelen van de *veranderingen* (hoeksnelheid of -versnelling) in het attitude display (de hoek van het vliegtuig over de dwars-as en de lengte-as t.o.v. het aardoppervlak) dat, met name tijdens instrument vliegen, hoogfrequent geobserveerd wordt. Deze terugkoppeling zou bij voorkeur via de yoke (stick, cyclic), waarmee de roll en pitch van het vliegtuig wordt geregeld, moeten plaatsvinden. Bij het hoveren (met een maximale last) kan een helikopter door een valwind gaan dalen. Dit kan via een (krachtige) collective worden teruggekoppeld. Wanneer er op dat moment al maximale collective pitch wordt gegeven zou dit bij gebruik van een automaat alleen blijken via de hoogtemeter of (bij goede zichtcondities) via het buitenbeeld. In welke gevallen dergelijke mogelijkheden werkelijk tot zinvolle verbeteringen lijden vergt nader human factors onderzoek.

Sturen via een yoke of collective gebeurt normaliter niet o.b.v. kracht maar o.b.v. positiecontrole. Dat betekent dat een stuurinput (positieverandering van het stuurmiddel) verward zal worden met de terugkoppeling ervan, die immers ook in termen van positieverandering plaatsvindt. Dit betekent dat de actieve terugkoppeling alleen zinvol kan geschieden wanneer dit soort stuurmiddelen krachtgestuurd worden. Voorts is het de vraag in hoeverre de positiefeedback via actieve bedieningsmiddelen, zoals waargenomen via het somatosensorische systeem, door trillingen (in helikopters, tijdens de "buffet" vlak voor de stall) of G-krachten wordt gemaskeerd.

Het beschreven onderzoek en bovenstaande voorbeelden wijzen erop dat actieve joysticks bij compensatoire taken, d.w.z. taken waarbij een bepaalde toestand moet worden gehandhaafd de grootste potentiële voordelen hebben. Verder is het mogelijk dat actieve joysticks zodanig worden ontworpen dat ze alleen reageren op *verstoringen* afkomstig van buiten de regelkring (bv. turbulentie, wind, motorstoring) en van de *instabiliteit* van het voertuig (opstijgen met een helikopter, Gundry, 1977; Caro, 1979) bijvoorbeeld door turbulentie (1e orde systeem). Alleen relatief hoogfrequente versnellingen, die van buiten de regelkring komen en dus niet geïnitieerd zijn door de vlieger zelf, worden dan door het stuurmiddel teruggekoppeld. In dat geval hoeft er niet per sé sprake te zijn van krachtcontrole. Zowel bij verstoringbewegingen als onstabiele manoeuvreerbewegingen zijn visuele cues van het buitenbeeld alléén onvoldoende om een voertuig te kunnen beheersen. Mechanische bewegingscues, waargenomen via het haptische en vestibulaire systeem zijn in dat geval noodzakelijk. Bij het besturen van onbemande vliegtuigen zijn die echter afwezig. Bovendien is de buitenbeeldinformatie bij onbemande voertuigen gedegradeerd (beeldhoek, update rate, resolutie), zodat ook hierbij voordelen van extra bewegingsinformatie via bedieningsmiddelen niet denkbeeldig zijn. Ook treedt bij gebruik van een bewegende camera die het buitenbeeld opneemt desoriëntatie op ten gevolge van het niet goed uit elkaar kunnen houden van bewegingsrichting van het voertuig en "kijk"richting van de camera. Dit laatste probleem zou kunnen worden opgelost door de camerarichting via een actieve stick terug te koppelen.

Een andere vraag die op dit moment nog niet is beantwoord, betreft het effect van hoge G-krachten op het werken met een actief bedieningsmiddel. Een actieve joystick kan bijvoorbeeld informatie geven over hoogteverlies tijdens het trekken van bochten. Te verwachten valt dat de verhoudingsgewijs kleine krachten waarmee dit gebeurt door G-krachten kunnen worden gemaskeerd. Voorts kunnen actieve bedieningsmiddelen jet-vliegers helpen wanneer ze het slachtoffer worden van G-induced loss of consciousness (G-LOC). Dit geldt zowel voor de G-LOC fase zelf als de fase onmiddellijk erna waarin de vlieger zich nog gedesoriënteerd voelt. Problemen gerelateerd aan G-krachten zullen in de nabije toekomst steeds belangrijker worden als de potentiële vermogens van jagers het incasseringsvermogen van hun bestuurders steeds verder te boven gaan (Gaines, 1993).

## REFERENTIES

- Baarspul, M. & Dooren, J.P. van (1976). The hybrid simulation of aircraft motions in a piloted moving-base flight simulator. *Report VTH-178*, Delft, The Netherlands: Delft University of Technology.
- Gaines, M. (1993). Who'd fly a superfighter? *New Scientist*, July 10, 1993.
- Herzog, J.H. (1968). Proprioceptive cues & their influence on operator performance in manual control. *Report NASr 54(06)*, Langley: NASA.
- Hosman, R.J.A.W. & Vaart, J.C. van der (1987). *Active and passive side stick controllers: tracking task performance and pilot control behaviour*. Delft, NL: Delft University of Technology.
- Käppler, W.-D. & Godthelp, J. (1990). *Design and use of the two-level sequential judgment scale in the identification of vehicle handling criteria*. Report IZF 1990 B-13. Soesterberg, NL: TNO Institute for Human factors.
- Kelly, C.R. (1968). *Manual and automatic control*. London: Wiley.
- Kappé, B. & Korteling, J.E. (1994). Koershouden op de rechte weg; visuele informatie in rijssimulatoren. Rapport in voorbereiding, Soesterberg, NL: TNO Technische Menskunde.
- Korteling, J.E. (1993). Effects of age and task similarity on dual-task performance. *Human Factors*, 35, 99-113.
- Korteling, J.E. (1994). *Aging and Multiple-task Performance*. Dissertation, Soesterberg, NL: TNO Institute for Human Factors.
- Poulton, E.C. (1974). *Tracking Skill and Manual Control*. New York: Academic Press.
- Riemersma, J.B.J. (1984). *Driving behaviour in road curves: a review of the literature*. Report IZF 1984 C-12. Soesterberg, NL: TNO Institute for Human Factors.
- Tenkink, E. (1989). *De invloed van wegbreedte en obstakeldreiging op snelheid en koersgedrag*. Rapport IZF 1989 C-4, Soesterberg: Instituut voor Zintuigfysiologie TNO.
- Wickens, C.D. (1983). *Engineering psychology and human performance*. London: Charles E. Mervill Publishing Company.

Soesterberg, 6 april 1994



Drs. J.E. Korteling

**REPORT DOCUMENTATION PAGE**

<b>1. DEFENCE REPORT NUMBER (MOD-NL)</b> TD 94-0031	<b>2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER</b>	<b>3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER</b> TM 1994 A-2
<b>4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO.</b> 788.1	<b>5. CONTRACT NUMBER</b> A89/KLu/335	<b>6. REPORT DATE</b> 6 April 1994
<b>7. NUMBER OF PAGES</b> 29	<b>8. NUMBER OF REFERENCES</b> 13	<b>9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED</b> Intermediate
<b>10. TITLE AND SUBTITLE</b> Anticipatie en actieve stuurmiddelen bij helikopterbesturing (Anticipation and active controls in helicopter flight)		
<b>11. AUTHOR(S)</b> R. van Gent and J.E. Korteling		
<b>12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES)</b> TNO Institute for Human Factors Kampweg 5 3769 DE SOESTERBERG		
<b>13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES)</b> Director of Airforce Research and Development Binckhorstlaan 135 2516 BA DEN HAAG		
<b>14. SUPPLEMENTARY NOTES</b>		
<b>15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 BYTE)</b> <p>In the present study, effects of anticipation and active controls were investigated for nap-of-the-earth flying in a simulated helicopter. Pilots were requested to fly as accurately as possible through a "tunnel-in-the-sky" with horizontal curves. Primary performance measure was the RMS deviation of the optimal trajectory, in the horizontal as well as in the vertical plane. A pilot investigation determined the optimal visual preview (<u>receptor anticipation</u>) in terms of the number of gates of the tunnel. A second experiment focused on the effect of prerequisite knowledge (<u>cognitive anticipation</u>) concerning the trajectory including a visual secondary task in half of the conditions. Subjects were also instructed to fly as fast as possible. The data showed that cognitive anticipation enhanced horizontal (pursuit) and vertical (compensatory) accuracy under single-tasks conditions, as well as under dual-task conditions. However, this was not the case for flying speed or secondary-task performance. In the third, and final, experiment, effects of two joystick types were investigated: an <u>active cyclic</u> and an <u>active collective</u>. An active cyclic provides feedback about radial acceleration in curves (pursuit) and an active collective provides feedback about vertical speed (compensatory). Under high task load (dual-task conditions) clear positive effects of joystick type were found, both in terms of task performance (deviation from the optimal course) and task load (secondary-task performance). This effect counted especially for the compensatory task, i.e., altitude maintenance, aided by the active collective joystick.</p>		
<b>16. DESCRIPTORS</b> Aircraft Automation Man-Machine Interactions Pilots Proprioception Tracking Tunnels		<b>IDENTIFIERS</b> Active Controls Active Joysticks Anticipation Preview
<b>17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT)</b>	<b>17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE)</b>	<b>17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT)</b>
<b>18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT</b> Mailing list only		<b>17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES)</b>

## VERZENDLIJST

1. Directeur M&P DO
2. Directie Wetenschappelijk Onderzoek en Ontwikkeling Defensie
3. {  
Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KL  
Plv. Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KL
4. Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KLu
5. {  
Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KM  
Plv. Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KM
- 6, 7, 8. Hoofd van het Wetensch. en Techn. Doc.- en Inform.  
Centrum voor de Krijgsmacht
- 9 tm 24. Leden van de Waarnemings Contact Commissie  
Dr. N. Guns  
Drs. M. Harsveld  
Ir. O. Hoogesteijn  
KLTZAR D. Houtman  
Ir. P.J. Keuning  
A.S. de Koning, arts  
LTZ2 OC ir. P.L. Krijgsman  
Drs. C.W. Lamberts  
KTZ Ir. L. Nieuwenhuis  
Ir. P.H. van Overbeek  
Drs. W. Pelt  
LKol. dierenarts H.W. Poen  
KLTZ H. Sabelis  
Kol. H.W. de Swart  
Kol. vliegerarts B. Voorsluijs  
LKol. arts W.T.H. van de Water
- 25, 26. Drs. G.J.P. van den Elzen, Afd. Gedragwetenschappen KLu
27. Dr. P. Boer, Hoofd Afd. Gedragwetenschappen DPKLu

Extra exemplaren van dit rapport kunnen worden aangevraagd door  
tussenkoms van de HWOs of de DWO.