

Deze PDF is ontstaan na een conversie van de oude WP5.2 file.

Er is een kleine kans dat de symbolen of formules niet helemaal correct worden weergegeven.

In twijfelgevallen: raadpleeg de oorspronkelijke tekst svp

This PDF is the result of a conversion from the old WP5.2 file.

There is a slight possibility that the symbols or formulas are not converted exactly right.

When in doubt: please consult the original copy.

TNO-TM 1995 A-15

Auteurs:

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

drs. W. van der Borg

Visuele informatiepresentatie in
gevechtsvliegtuigen

Rubricering:

Rapport: ..

Titel: ..

Samenvatting: ..

Aantal bladzijden: ..

INHOUD	Blz.
SAMENVATTING	5
SUMMARY	6
1 INLEIDING	7
2 CODERING EN CONFIGURATIE VAN INFORMATIE	8
2.1 Inleiding	8
2.2 Plaatsing van displays	11
2.3 Kwalitatieve en kwantitatieve displays	12
2.4 Alfa-numerieke displays	14
2.5 Symbolische displays	16
2.6 Representatie displays	17
2.7 Kleurcodering	19
2.8 Beeldschermen	22
2.9 Conclusies	22
3 INFORMATIEVERWERKING	23
3.1 Inleiding	23
3.2 Het gangbare basismodel	23
3.3 Multiple Resource theorie	26
3.4 Dual-Process theorie	28
3.5 Skills, Rules, and Knowledge	30
3.6 Cognitive Neuroscience	31
3.7 Principes van informatieverwerking	33
3.8 Conclusies	43
4 INFORMATIEPRESENTATIE IN RELATIE TOT VliegTAKEN	43
4.1 Inleiding	43
4.2 Flight	45
4.3 Navigation	48
4.4 Communication	50
4.5 System monitoring	51
4.6 Combat management & Threat management	54
4.7 Conclusies	56
5 NIEUWE ONTWIKKELINGEN IN DE COCKPIT	56
5.1 Inleiding	56
5.2 Conventionele cockpit layout	56
5.3 De glass cockpit	57
5.4 Helmet-mounted displays	63
5.5 Conclusies	66
6 DISCUSSIE	67
REFERENTIES	71

Rapport nr.:	TNO-TM 1995 A-15
Titel:	Visuele informatiepresentatie in gevechtsvliegtuigen
Auteurs:	Dr. J.E. Korteling, ir. R.N.H.W. van Gent en drs. W. van der Borg
Instituut:	TNO Technische Menskunde Afd: Vaardigheden
Datum:	maart 1995
DO Opdrachtnummer:	A89/KLu/316
Numer in MLTP:	788.1

SAMENVATTING

Met het toenemend aantal elektronische sensor-wapensystemen is de hoeveelheid informatie die aan de gevechtsvlieger wordt, of kan worden, aangeboden explosief toegenomen. Om de prestaties van vliegers in termen van vliegveiligheid en efficiënt optreden, gegeven dit informatie-aanbod, te optimaliseren en de werklast niet te hoog te laten worden dient bij het ontwerp of bij de aanpassing van de mens-machine interface rekening te worden gehouden met de (nieuwe) technische mogelijkheden en de *human-factors* principes die gelden op het gebied van de visuele informatiepresentatie. In dit verband geeft dit rapport een overzicht van de kennis op het gebied van de visuele informatiepresentatie in cockpits. Allereerst worden ergonomische basisprincipes en normen gepresenteerd voor de verschillende manieren waarop informatie gecodeerd en geconfigureerd kan worden. Vervolgens worden de gangbare theorieën en recente human-factors inzichten en principes inzake menselijke informatieverwerking behandeld. In hoofdstuk 4 worden daarna per hoofdfunctie van de vliegtaak de verschillende informatiepresentatie-principes besproken. Daarbij wordt ingegaan op de mate waarin er interferentie tussen de meest centrale hoofdfuncties (met name *flight*) en de andere functies optreedt en hoe deze interferentie kan worden geminimaliseerd. Tot slot geeft hoofdstuk 5 een overzicht van de technologische ontwikkelingen die nieuwe mogelijkheden bieden om interferentie, en daarmee de werklast, te verlagen en de situational awareness te optimaliseren. Deze technologische ontwikkelingen zijn in vier fronten onder te verdelen: verbeterde grafische displays, head-up displays, enhanced vision systems en helmet-mounted displays. Met deze ontwikkelingen is het nu mogelijk om een informatiestroom te creëren die meer selectief en flexibel is, aangepast is aan individuele kenmerken en aan veranderende operationele omstandigheden, en maximaal is geënt op human-factors inzichten. Daarbij is het echter onwaarschijnlijk is dat er één display-systeem ontwikkeld kan worden dat onder alle omstandigheden de voorkeur verdient.

Een belangrijk voordeel van de nieuwe data-presentatie technieken is dat informatie zodanig kan worden aangeboden dat ze a.h.w. "direct" kan worden begrepen en vertaald kan worden naar actie. Andere potentiële voordelen van deze technieken zijn dat informatie naar wens separaat, gecombineerd of geïntegreerd kan worden gepresenteerd. In veel gevallen zal echter alleen door een hogere graad van automatisering of door taken over meer personen te verdelen interferentie kunnen worden voorkomen. Beide maatregelen zijn duur, stellen hoge eisen aan de samenwerking tussen vliegers onderling ("crew resource management") of tussen mens en machine ("co-pilot") en kunnen ten koste gaan van de flexibiliteit die b.v. bij luchtgevechten essentieel is.

Visuele informatiepresentatie in gevechtsvliegtuigen

J.E. Korteling, R.N.H.W. van Gent en W. van der Borg

SAMENVATTING

Met het toenemend aantal elektronische sensor-wapensystemen is de hoeveelheid informatie die aan de gevechtsvlieger wordt, of kan worden, aangeboden explosief toegenomen. Om de prestaties van vliegers in termen van vliegveiligheid en efficiënt optreden, gegeven dit informatie-aanbod, te optimaliseren en de werklast niet te hoog te laten worden dient bij het ontwerp of bij de aanpassing van de mens-machine interface rekening te worden gehouden met de (nieuwe) technische mogelijkheden en de *human-factors* principes die gelden op het gebied van de visuele informatiepresentatie. In dit verband geeft dit rapport een overzicht van de kennis op het gebied van de visuele informatiepresentatie in cockpits. Allereerst worden ergonomische basisprincipes en normen gepresenteerd voor de verschillende manieren waarop informatie gecodeerd en geconfigureerd kan worden. Vervolgens worden de gangbare theorieën en recente human-factors inzichten en principes inzake menselijke informatieverwerking behandeld. In hoofdstuk 4 worden daarna per hoofdfunctie van de vliegtaak de verschillende informatiepresentatie-principes besproken. Daarbij wordt ingegaan op de mate waarin er interferentie tussen de meest centrale hoofdfuncties (met name *flight*) en de andere functies optreedt en hoe deze interferentie kan worden geminimaliseerd. Tot slot geeft hoofdstuk 5 een overzicht van de technologische ontwikkelingen die nieuwe mogelijkheden bieden om interferentie, en daarmee de werklast, te verlagen en de situational awareness te optimaliseren. Deze technologische ontwikkelingen zijn in vier fronten onder te verdelen: verbeterde grafische displays, head-up displays, enhanced vision systems en helmet-mounted displays. Met deze ontwikkelingen is het nu mogelijk om een informatiestroom te creëren die meer selectief en flexibel is, aangepast is aan individuele kenmerken en aan veranderende operationele omstandigheden, en maximaal is geënt op human-factors inzichten. Daarbij is het echter onwaarschijnlijk is dat er één display-systeem ontwikkeld kan worden dat onder alle omstandigheden de voorkeur verdient.

Een belangrijk voordeel van de nieuwe data-presentatie technieken is dat informatie zodanig kan worden aangeboden dat ze a.h.w. "direct" kan worden begrepen en vertaald kan worden naar actie. Andere potentiële voordelen van deze technieken zijn dat informatie naar wens separaat, gecombineerd of geïntegreerd kan worden gepresenteerd. In veel gevallen zal echter alleen door een hogere graad van automatisering of door taken over meer personen te verdelen interferentie kunnen worden voorkomen. Beide maatregelen zijn duur, stellen hoge eisen aan de samenwerking tussen vliegers onderling ("crew resource management") of tussen mens en machine ("co-pilot") en kunnen ten koste gaan van de flexibiliteit die b.v. bij luchtgevechten essentieel is.

Visual information presentation in combat planes

J.E. Korteling, R.N.H.W. van Gent and W. van der Borg

SUMMARY

With the increase in the number of electronic sensor and combat systems, the amount of information that is, or may be, presented to the fighter pilot has been explosively increased. In order to optimize the pilot's performance and to limit his workload, the design of the human-machine interface has to be based on the (new) technological possibilities and the human-factors principles concerning visual information presentation.

In this connection, the present report provides an overview of the present knowledge with reference to visual information presentation in cockpits. First, elementary ergonomic principles and norms are presented for the various ways by which information can be coded and structured. The next chapter treats mainstream theories, recent insights, and general principles concerning human information processing. Chapter 4 discusses for each main function of the pilot's task the relevant principles of information presentation. This chapter also will go into the degree to which the most central main functions (particularly *flight*) interferes with the other functions and how this interference may be reduced. Finally, chapter 5 presents an overview of the technological developments that offer new opportunities to reduce interference, and thereby workload, and to enhance situational awareness. These developments can be divided into four categories: improved graphical displays, head-up displays, enhanced vision systems, and helmet-mounted displays. With these developments, a stream of information can be created that is more selective, flexible, fitting with individual preferences, adapted to changing operational situations, and maximally in harmony with human-factors insights. It is, however, not to be expected that one display system can be developed that is favourable under all circumstances.

One major opportunity of the new technological advancements is that information can be presented such that it may be understood directly and translated into action. Other potential advantages involve separate, combined or integrated presentation of information. However, in many cases interference among tasks has to be minimized by automation or by allocation of tasks over several operators. Both measures are expensive, impose high demands to crew cooperation ("crew resource management") or crew and machine ("co-pilot") and may be at the cost of the flexibility, which is of crucial importance during dog fighting.

1 INLEIDING

Door de technologische ontwikkelingen van de laatste decennia is het aantal systemen in de cockpit sterk vermeerderd. Hierdoor is de hoeveelheid informatie die door de vlieger moet worden verwerkt explosief toegenomen. Bij gevechtsvliegtuigen wordt, door het effectiever worden van sensoren en door de toename van verschillende elektronische systemen en boordwapens, deze informatie-explosie zeer duidelijk gevoeld. Waar men vroeger sprak van sensorbereiken tot enkele kilometers, moet men nu rekenen op bereiken van enkele tientallen kilometers terwijl door gebruik van *datalinks* sensoren van verschillende vliegtuigen met elkaar kunnen worden verbonden. De vlieger wordt geacht de informatie van de volgende systemen te kunnen verwerken: radar systemen (ook soms van andere radar-stations), infrarood en andere optische systemen, elektronische oorlogvoeringssystemen, wapensystemen, vluchtleidingssystemen, (elektronische) kaarten, radio systemen, motor systemen en overige boordsystemen, zoals zuurstofdruk en ventilatie. Daarnaast moet hij in staat zijn het vliegtuig effectief te besturen.

Een veel gebruikte illustratie van deze grote hoeveelheid te verwerken informatie wordt gevormd door de cockpit van een F-18 jachtvliegtuig waarbij op de verschillende beeldschermen het volgende kan worden gepresenteerd (zonder deelname van de "Head Up Display", afgekort: HUD): 675 afkortingen, 177 symbolen, 73 dreiging-, alarm- en waarschuwingssignaleringen verdeeld over 40 beeldschermfuncties (Adam, 1981). De indruk bestaat dat door de recente informatie-explosie in cockpits de taakbelasting (bij tijd en wijle) te groot kan worden. Hierdoor zal er tussen deeltaken interferentie optreden waardoor fouten gemaakt kunnen worden of zullen sommige deeltaken tijdelijk niet kunnen worden uitgevoerd. Het is daarbij niet uitgesloten dat, mogelijk door het stellen van verkeerde prioriteiten, zelfs de primaire taak van de vlieger, het in de lucht houden van het vliegtuig, in het geding komt.

De precisie optredens, zoals die in de Golfoorlog werden gedemonstreerd, stellen hoge eisen aan de mens-machine interface. Alleen bij een hoge kwaliteit van informatie-presentatie kunnen de groeiende technische mogelijkheden ook werkelijk effectief worden benut. De veelheid aan kunstmatige hulpsystemen, met alle bijbehorende mogelijkheden, kan de vlieger zeer behulpzaam zijn bij het verhogen van zijn snelheid, nauwkeurigheid en doeltreffendheid. Ook kan de werklast worden verlicht, maar effectiviteit- en efficiency-prioriteiten leiden doorgaans tot juist zwaardere eisen, vooral met betrekking tot het kunnen verwerken van de veelheid van informatie die door de hulpsystemen wordt aangeboden. Een problematische bijkomstigheid is dat nieuwe ontwikkelingen en principes gecombineerd moeten worden met de bestaande informatie-structuur en layout van de cockpit waaraan iedereen gewend is. Hierbij moet een compromis worden gesloten tussen de optimale presentatiewijze en inpassing binnen de status quo die zich niet makkelijk laat veranderen.

Teneinde goede afwegingen te kunnen maken tussen optimalisatieprincipes en aanpassing in het licht van de veranderende systeemeisen en technische mogelijkheden is een goed overzicht nodig van ergonomische en psychologische principes van informatiepresentatie in de cockpit. In dit verband is in opdracht van de Koninklijke Luchtmacht door TNO-TM een *state-of-the-art* rapport opgesteld betreffende de ergonomische aspecten van visuele informatiepresentatie in gevechtsvliegtuigen. Hierbij wordt het accent gelegd op de relatie

tussen verschillende presentatieprincipes en de kwaliteit van de taakuitvoering en mentale werklast van de vlieger.

Het rapport is als volgt onderverdeeld. In het volgende hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de bestaande ergonomische basisprincipes op grond waarvan informatie gecodeerd en geconfigureerd moet worden. In hoofdstuk 3 worden de gangbare theorieën en recente inzichten en principes inzake menselijke informatieverwerking behandeld. In hoofdstuk 4 worden vervolgens per hoofdfunctie van de vliegertaak de verschillende informatiepresentatie-principes van huidige gevechtsvliegtuigen besproken. Daarbij wordt, gegeven de kennis omtrent de menselijke informatieverwerking, ingegaan op de mate waarin er interferentie tussen de meest centrale hoofdfuncties (met name *flight* en *navigation*) en de andere functies optreedt en hoe deze interferentie kan worden geminimaliseerd. Tot slot wordt in hoofdstuk 5 een overzicht gegeven van de nieuwe ontwikkelingen op het gebied van informatiepresentatie in de cockpit en de potentiële mogelijkheden die deze ontwikkelingen opleveren om interferentie, en daarmee de vlieger werklast, te verlagen en de *situational awareness* te optimaliseren. Situational awareness is een begrip dat vaak wordt gebruikt om aan te geven in welke mate een vlieger zich een beeld kan vormen van het totale geheel waarin hij zich bevindt. Niet alleen de interne factoren (stand van het vliegtuig, conditie van alle boordsystemen, etc.) maar ook alle externe factoren die van invloed zouden kunnen zijn op de uitoefening van de taak spelen hierin een rol. Situational awareness is, zeker voor een militaire vlieger, van groot belang omdat juist bij militaire operaties gekenmerkt worden door een hoge mate aan onzekerheid waarmee effectief moet kunnen worden omgegaan.

2 CODERING EN CONFIGURATIE VAN INFORMATIE

2.1 Inleiding

De keuze van het soort display wordt bepaald door de functie waarvoor het instrument gebruikt gaat worden en door het trainingsniveau van de gebruiker. Bij het soort wordt onderscheid gemaakt tussen kwalitatief en kwantitatief en tussen analoog (continu), digitaal en hybride (combinatie van analoog en digitaal). Binnen de groep analoge displays worden diverse schaaltypen onderscheiden: ronde-, segment- of lineaire schalen en vaste schalen met een bewegende wijzer vs. vaste wijzers met een bewegende schaal (Fig. 1). Voorts vallen displays onder te verdelen in statusdisplays, representatie displays, alfanumerieke- en symbolische displays (McCormick & Sanders, 1983; Schmidtke, 1981).

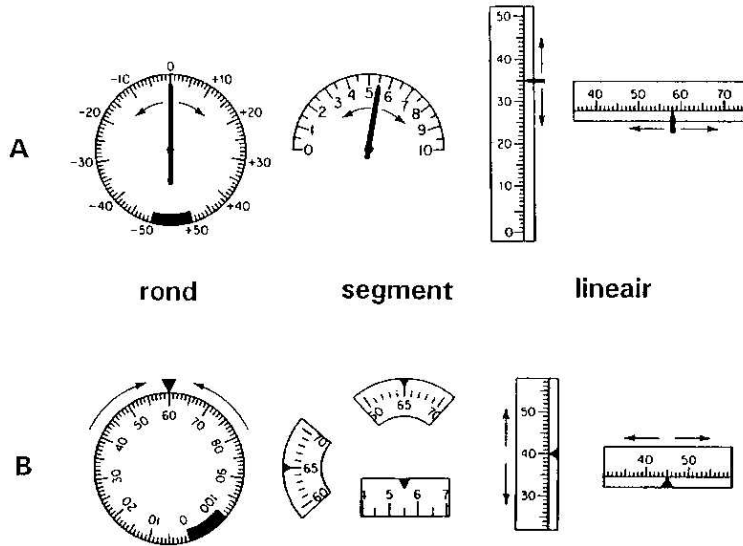


Fig. 1 Verschillende typen analoge (kwantitatieve) displays.

Fig. 1 Verschillende typen analoge (kwantitatieve) displays.

In het ontwerpen van displays die informatie moeten overdragen kan vaak worden gekozen voor meerdere mogelijkheden, of codes, om één en dezelfde boodschap duidelijk te maken. Sommige coderingen lenen zich voor bepaalde taken beter dan andere. Tabel I toont een samenvatting van mogelijkheden en beperkingen van de verschillende coderingsdimensies (Grether & Baker, 1972).

Om bepaalde informatie extra te benadrukken wordt er dikwijls gebruik gemaakt van een combinatie van coderingsprincipes. Bekende voorbeelden om de aandacht sterker te trekken zijn IETS ONDERSTREPEN, of om iets in een *afwijkend lettertype* weer te geven. Een ander voorbeeld is het stop teken op een politie-auto, waar in helder, rood licht de woorden "**STOP POLITIE**" met een bepaalde frequentie knipperen. De algemene opvatting is dat belangrijke informatie bij voorkeur door een dergelijke redundante codering dient te worden gegeven. In principe is dit bevorderlijk voor zowel de snelheid als de accuratesse waarmee de informatie wordt verwerkt (McCormick & Sanders, 1983). Een verkeerslicht maakt bijvoorbeeld gebruik van kleur- en positiecodering. Bij non-redundante informatie leidt missen van (de gecodeerde) informatie tot het ontbreken van kennis, zonder dat dit uit gegevens is af te leiden. Heglin (1973) adviseert om niet meer dan twee coderingsprincipes tegelijkertijd te gebruiken indien een snelle interpretatie van belang is. McCormick en Sanders (1983) stellen dat redundante coderingen niet gauw minder effectief zullen zijn en dus als "veilig" kunnen worden beschouwd. Sommige coderingsdimensies gaan echter niet goed samen of kunnen simpelweg niet worden gecombineerd (Heglin, 1973). De mogelijke effectieve combinaties van verschillende coderingsdimensies wordt in Tabel II getoond.

Tabel I Vergelijking van coderingsprincipes.

		Aantal coderingsstappen			
Codering		Maximum	Aanbevolen	Evaluatie	Commentaar
Kleur					
	Gekleurd Licht	10	3	Goed	Localisatieduur kort. Neemt weinig ruimte in. Goed voor een kwalitatieve codering.
	Oppervlak	50	9	Goed	Als boven, doch omgevingslicht mede van grote invloed. Over een breed gebied toepasbaar.
Alfa-numeriek		oneindig	afhankelijk	Varieert	Localisatieduur langer dan bij kleur of vorm. Goede resolutie noodzakelijk. Bruikbaar voor kwantitatieve en kwalitatieve codering. Bepaalde symbolen kunnen worden verward.
Vorm	Geometrisch	15	5	Redelijk	Geheugen vereist voor decodering. Goede resolutie noodzakelijk.
	Pictogram	30	10	Goed	Tijdens het decoderen zijn directe associaties mogelijk. Goede resolutie noodzakelijk. Alleen "Goed" voor een kwalitatieve aanduiding.
Grootte	Oppervlak	6	3	Redelijk	Localisatieduur is goed. Vereist veel ruimte voor de symbolen.
	Lengte	6	3	Redelijk	Bij beperkte toepassing goed bruikbaar. Vereist veel ruimte voor de symbolen
	Frequentie	4	2	Matig	Het leidt mensen af. Werkt wel goed indien de aandacht moet worden getrokken.
	Stereo-diepte	4	2	Matig	Beperkt populatie van gebruikers. Moeilijk te operationaliseren.
Inclinatie-hoek		24	12	Goed	Goed voor een kwantitatieve decodering. Wel beperkte toepassing. Advies: Ronde aanwijs-instrumenten.
Combinatie van codes		oneindig	afhankelijk	Goed	Vele mogelijkheden om complexe informatie aan te bieden. Staat combinaties van kwalitatieve en kwantitatieve codering toe.
N.B.: Niet alle mogelijke combinaties zijn bruikbaar.					

Tabel II Mogelijke combinaties van coderingen (naar Heglin, 1973; Sanders & McCormick, 1987).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Betekenis van genoemde cijfers:
1		x	x	x	x	x	x	x	x	1 = kleur
2	x			x		x	x			2 = alfanumeriek
3	x			x	x		x			3 = vorm
4	x	x	x		x		x			4 = grootte
5	x		x	x						5 = helderheid
6	x	x						x	x	6 = positie
7	x	x	x	x					x	7 = knipper frequentie
8	x					x			x	8 = lijn lengte
9	x					x	x	x		9 = hoek oriëntatie

In de volgende paragrafen zullen allereerst de principes van plaatsing van displays in het visuele veld worden behandeld en wordt kort ingegaan op de basisprincipes die gelden voor kwantitatieve en kwalitatieve displays. Vervolgens worden principes behandeld waaraan alfanumerieke en symbolische displays (pictogrammen) moeten voldoen. Daarna worden de principes behandeld waaraan representatie displays moeten voldoen. Dit zijn displays die iets concreets op een directe manier (attitude indicator) of symbolisch (geografische kaart) weergeven. Representatie displays bieden met de opkomst van beeldschermen (hoofdstuk 5) steeds meer mogelijkheden voor informatiepresentatie in vliegtuig cockpits. Met deze behandeling van de verschillende display-soorten komen impliciet de belangrijkste coderingsdimensies (alfanumeriek, vorm, grootte, positie) aan bod. Dit geldt niet voor kleur. Daarom zal in de daarop volgende paragraaf dieper worden ingegaan op kleur als coderingsdimensie. Tot slot wordt een kort overzicht gegeven van de lichttechnische eisen die gelden voor beeldschermen.

2.2 Plaatsing van displays

Bij de plaatsing van instrumenten dient rekening te worden gehouden met de voorkeursstand van hoofd en ogen en antropometrische gegevens. In Fig. 2 wordt de stand van zaken over de, overigens niet altijd eenduidige gegevens, optimale en acceptabele posities voor lichtsignalen en displays in het verticale en horizontale visuele veld weergegeven (Ellens, 1989, 1993). Hierbij wordt rekening gehouden met een ontspannen hoofd en ontspannen vs. rechte oogposities.

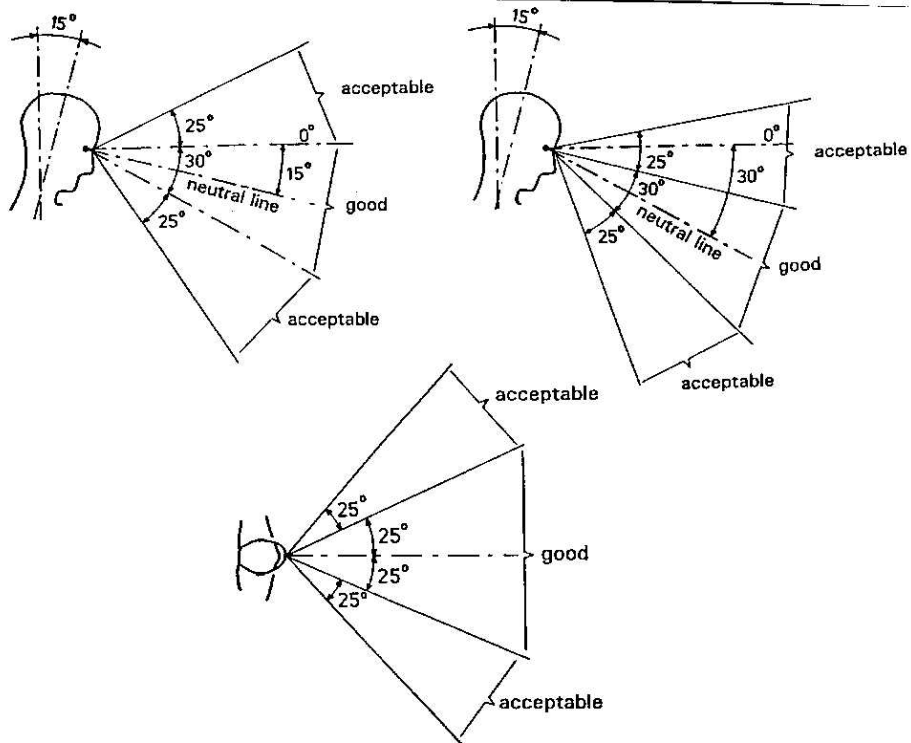


Fig. 2 Het optimale en acceptabele visuele veld.

Fig. 2 Het optimale en acceptabele visuele veld.

Belangrijke en kritische informatie moet centraal, in het optimale gebied, worden gepresenteerd en minder kritische informatie in het perifere veld.

2.3 Kwalitatieve en kwantitatieve displays

Bij de keus van een display gelden de volgende algemene principes:

- Presenteer het eenvoudigste signaal dat nodig is voor een juiste beslissing van de gebruiker, bijvoorbeeld status indicators: aan/uit, afwezig/aanwezig;
- Als dit onvoldoende is, biedt dan het eenvoudigste, voor het doel geschikte, kwalitatieve signaal aan, zoals: leeg/beneden normaal/ normaal/boven normaal/vol;
- Daarbij verdienen circulaire schalen de voorkeur. Als hiervan groepen bestaan moeten de neutrale posities systematisch op 9 of 12 uur posities worden gepositioneerd;
- Als het resultaat nog steeds ontoereikend is, presenteer dan kwantitatieve informatie, zoals temperatuur in C, druk in N/m^2 . Daarbij dienen de volgende regels in acht te worden genomen:
 - Kies een meter waarvan het schaalbereik overeenstemt met de maximaal te meten waarde;
 - De aangeboden afleesnauwkeurigheid moet overeenstemmen met de vereiste precisie van de meting en met de nauwkeurigheid van de sensor;
 - Schaalverdelingen moeten zo zijn ontworpen dat een snelle en accurate aflezing mogelijk is;

- Geef gekleurde schaalsectoren of een andere referentie (zoals een instelbare wijzer) om identificatie van kritische waarden te onderscheiden van de normale bedrijfstolerantie in de aanwijzing;
- Een display met een bewegende wijzer en een vaste schaal voldoet voor de meeste toepassingen het beste;
- Als kleine veranderingen en numerieke waarden moeten worden waargenomen of bij een zeer lange schaal kan een type met een vaste wijzer en een bewegende schaal voordeel hebben;
- Digitale displays zijn superieur bij het aflezen (en noteren) van numerieke waarden, mits de afleestijd lang genoeg is (langzame processen);
- In processen waar een specifieke (natuurlijke) onder/boven, links/rechts relatie bestaat, verdienen displays met een lineaire schaal de voorkeur;
- Als veel displays in een paneel zijn aangebracht, moet verwarring voorkomen worden door een functionele scheiding of groepering. Hierbij kunnen Gestalt-principes, zoals die in hoofdstuk 3 worden gepresenteerd worden toegepast (zie ook: § 4.5);
- Wanneer trends worden aangegeven verdienen lijn-diagrammen de voorkeur boven staafdiagrammen (Schutz, 1961).

Met betrekking tot de schaal en uitvoeringsvorm van displays is uit onderzoek van o.a. Whitehurst (1982) gebleken dat de belangrijkste factoren die de snelheid en nauwkeurigheid van de aflezing beïnvloeden zijn:

- De schaal moet op de juiste wijze door getallen zijn onderverdeeld (Fig. 3).
Fig. 3 Voorbeelden van enkele kwantitatieve schalen met diverse voorbeelden

van numerieke indelingen (McCormick & Sanders, 1983).

- De afstand tussen de schaalstrepen is van belang voor een nauwkeurige interpolatie. Deze kunnen met de volgende formule (Murrel, 1969) worden berekend:

$$L = D/14,4 * (i*m)/100$$

L = lengte van de schaal tussen de eindstrepen, gemeten langs de schaal (cm)

D = kijkafstand in cm

m = totaal aantal schaalstrepen

i = aantal schaaleenheden tussen twee schaalstrepen die door interpolatie onderscheiden moeten worden.

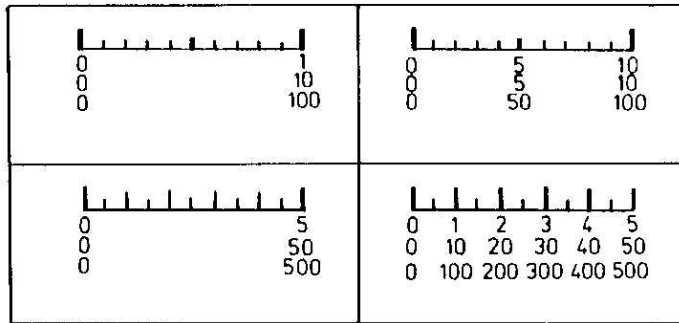
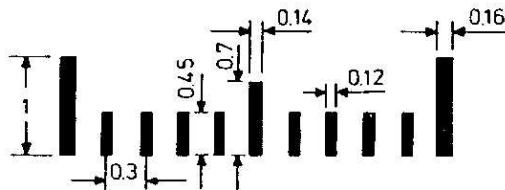


Fig. 3 Voorbeelden van enkele kwantitatieve schalen met diverse voorbeelden van numerieke indelingen (McCormick & Sanders, 1983).



- 1 1 = lengte van grote schaalstreep
- 0,8 1 = cijferhoogte
- 0,7 1 = lengte van middelste schaalstreep
- 0,45 1 = lengte van kleine schaalstreep
- 0,33 1 = cijferbreedte
- 0,3 1 = hartafstand tussen schaalstrepen

Fig. 4 De schaalverdeling volgens DIN 43802. In deze figuur zijn de onderlinge verhoudingen aangegeven. De absolute grootte van de schaalverdeling en de bijschriften is afhankelijk van de kijkaafstand.

- In DIN 43802 zijn de verhoudingen voor de afmeting van de schaalverdeling als volgt vastgelegd:

Fig. 4 De schaalverdeling volgens DIN 43802. In deze figuur zijn de onderlinge

verhoudingen aangegeven. De absolute grootte van de schaalverdeling en de bijschriften is afhankelijk van de kijkafstand.

- De getallen dienen aan de buitenzijde van de schaal te zijn aangebracht, zodat ze niet door de wijzer worden afgedekt.
- Wijzers dienen vlak boven de wijzerplaat te zitten en moeten puntig te zijn met een top die eindigt bij de kleinste schaalmarkeringen, zonder deze te bedekken (McCormick & Sanders, 1983).

2.4 Alfa-numerieke displays

Met de komst van computers is de regeling van systemen nagenoeg volledig geautomatiseerd. Als de vlieger toch zelf handelingen moet verrichten, worden deze geïnstrueerd door de automaat. In "check-lists" en andere alfa-numerieke procedures die op beeldschermen kunnen verschijnen zijn instructies aan de vlieger een wezenlijk onderdeel van de informatie die wordt gepresenteerd. Voorbeelden hiervan zijn check-lists en de procedures die gevolgd moeten worden in de verschillende situaties.

2.4.1 Leesbaarheid

Om goed te kunnen worden waargenomen moeten alfanumerieke instructies aan de volgende eisen voldoen:

- Het contrast (hier gedefinieerd als de luminantieverhouding tussen letter en ondergrond) moet voor optimale leesbaarheid ca. 1 : 5 à 10 (of 10 à 5 : 1) bedragen. Beneden 1 : 3 gaat de leesbaarheid duidelijk achteruit; boven 1 : 30 gaat overstraling optreden. Bij gedrukte tekst bestaat dat laatste risico niet, want met inkt op wit papier is 1 : 10 zo ongeveer het

maximaal haalbare contrast. Het gebruik van kleur zal de leesbaarheid eigenlijk nooit verbeteren. Indien kleur gebruikt wordt, moet altijd gestreefd worden naar een zo groot mogelijk luminantiecontrast.

- Witte letters op een donkere ondergrond moeten een geringere stokdikte hebben dan zwarte tekst op wit en de spatiëring dient ook ruimer te zijn. Dit laatste geldt in het bijzonder bij inwendig verlichte teksten.
- De optimale breedte/hoogte verhouding van de letters ligt tussen 0,5 en 1,0. De optimale verhouding wordt mede bepaald door de toepassing. Een breed lettertype verdient de voorkeur als de tekst onder een hoek in het horizontale vlak wordt waargenomen.
- Of kapitalen (hoofdletters) dan wel onderkastletters (kleine letters) de voorkeur verdienen hangt van de toepassing af. Kapitalen hebben, door een betere ruimtebenutting, een grotere intrinsieke herkenbaarheid. Echter, de afwezigheid van staarten en stokken levert een minder karakteristiek woordbeeld op, waardoor de leesbaarheid van kapitalen in lopende tekst minder goed is. Dat heeft tot consequentie dat kapitalen de voorkeur verdienen bij korte aanduidingen (b.v. naambordjes), waarbij het hoogtebeslag de beperkende voorwaarde is, en dat onderkast de voorkeur verdient bij (lees)teksten waarbij de regellengte het beperkende element is.
- Tekenhoogte:
Ca. 1/150 van de kijkafstand
- Stokdikte:
Bij donkere tekens op lichte ondergrond: 12 - 17% van de tekenhoogte;
Bij lichte tekens op donkere ondergrond: 10 - 12% van de tekenhoogte;
- Aspectratio:
Hoogte-breedteverhouding van tekens: tussen 1,25 en 1,55;
- Onderkast:
Stok- en staartlengte minimaal 40% van de hoogte van rompletters;
- Tekenmatrix:
Minimaal 7 elementen horizontaal $\times$ 9 verticaal;
- Letterspatie:
20 - 50% van de tekenbreedte;
- Woordspatie:
1 à 1,5 $\times$ de tekenbreedte;
- Regelspatie:
Minimaal 1/30 van de regellengte.

2.4.2 Informatieverwerking

Met betrekking tot de effectiviteit waarmee de boodschappen worden verwerkt moet bij het toepassen van alfanumerieke instructies met de volgende principes rekening worden gehouden (Wickens, 1987):

- Instructies die ontkenningen bevatten worden langzamer verwerkt dan degene met bevestigingen. De voorkeur gaat daarom uit naar een instructie in de vorm van: "*Check to see that switch is on*" dan een instructie: "*Check to see that switch is not off.*"

- Een ware stelling met bevestigingen wordt sneller correct geverifieerd dan een ware stelling met ontkenningen. Evenzo wordt een onware stelling met ontkenningen sneller geverifieerd dan een onware stelling met bevestigingen.
- Het presenteren van informatie moet geassocieerd zijn met de noodzaak tot kennisname in relatie met de verwachting. In het voorbeeld van een kaart moet de afwezigheid van radar op een bepaalde locatie waar men dit verwacht (een vliegveld) aangeven met een symbool dat deze betekenis heeft in plaats van het weglaten van het symbool dat de betekenis heeft van het aanwezig zijn van een radar.
- De volgorde van instructies moet overeenkomen met de volgorde van handelen.
- Eventuele volgorden van instructies moeten van links naar rechts of van boven naar beneden worden georganiseerd.
- Het gebruik van passieve bewoordingen vertraagt het begrip van de boodschap.

2.5 Symbolische displays

Een veel gebruikte coderingsvorm is het gebruik van geometrische of illustratieve symbolen (pictogrammen). Symbolen worden geprefereerd boven het gebruik van alfanumerieke coderingen als het symbool de informatie betrouwbaar en ondubbelzinnig weergeeft. Een argument hiervoor is dat een symbool in zo'n geval niet meer hoeft te worden gedecodeerd zoals woorden of andere alfanumerieke coderingen. Hierbij wordt opgemerkt dat symbolen niet altijd de bedoelde informatie correct weergeven en dat de operator deze moet leren herkennen. Ellis en Dewar (1979) toonden in een experiment aan dat het gebruik van symbolen vooral de voorkeur verdiende in een situatie waarbij de lichtomstandigheden suboptimaal waren. Heel wezenlijk is dat het gebruik van symbolen zo veel mogelijk wordt gestandaardiseerd, waarbij aan een gegeven symbool *altijd* dezelfde betekenis wordt toegekend.

Bij het gebruik van symbolen dienen de volgende principes te worden gehanteerd. Deze principes worden in Fig. 5 nog eens geïllustreerd:

Figure/ground	Een duidelijke en stabiele figuur ten opzichte van zijn achtergrond is noodzakelijk.
Figuur grenzen	Het gebruik van gevulde symbolen is te prefereren boven het gebruik van niet gesloten figuren.
Gesloten figuren	Het gebruik van gesloten figuren verbetert de perceptie en moet worden geprefereerd tenzij er duidelijke redenen voor een niet gesloten figuur zijn aan te geven.
Simpliciteit	Symbolen moeten zo simpel mogelijk worden weergegeven.
Eenheid	Symbolen moeten zo veel mogelijk worden weergegeven als een eenheid.

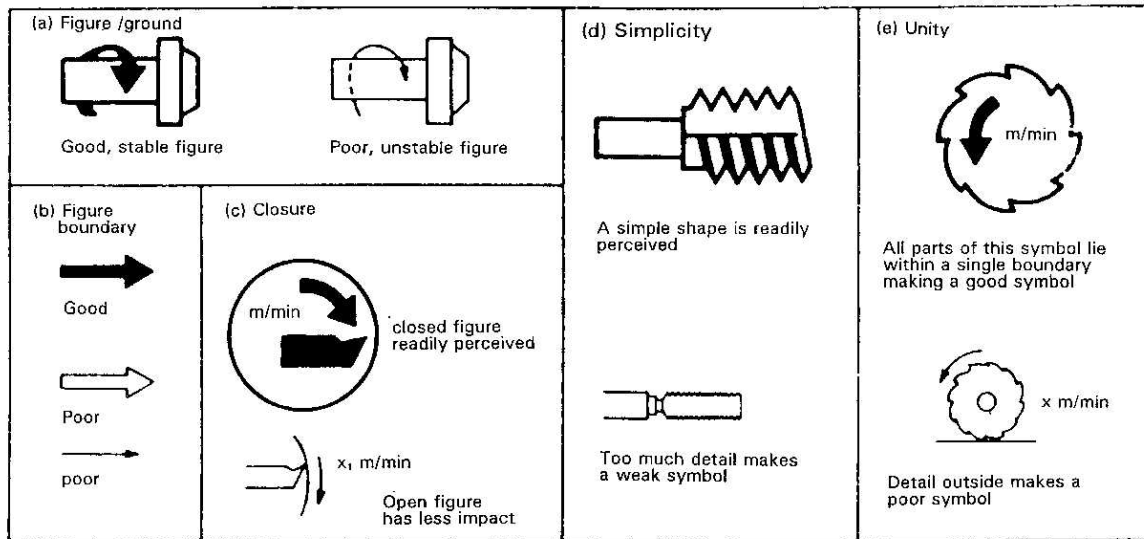


Fig. 5 Voorbeelden van perceptuele principes relevant voor visuele symbolische coderingen (Easterby, 1970).

Fig. 5 Voorbeelden van perceptuele principes relevant voor visuele symbolische

coderingen (Easterby, 1970).

2.6 Representatie displays

Representatie displays reproduceren een object of scene op een pictorale of illustratieve wijze. Daarbij moet rekening worden gehouden met de volgende principes:

Pictorial realism

De informatie op representatie displays moet direct duidelijk zijn en dus geen interpretatie of vertaalslag vereisen. Symbolen moeten goed geïdentificeerd kunnen worden met hetgeen ze representeren. Dit principe wordt *pictorial realism* genoemd en is afkomstig van Roscoe e.a. (1981). Zie ook § 5.3.1.

Display integratie

Dit begrip houdt in dat *samenhangende* informatie gepresenteerd moet worden in een gezamenlijk display op een zodanige wijze dat de relatie onmiddellijk duidelijk wordt. Het gaat hierbij dus niet om het willekeurig combineren van informatie in één display. Voorbeelden waarin dit gebeurt zijn geografische kaarten en displays die, bijvoorbeeld d.m.v. poortjes, een optimaal lokaal vliegp pad aangeven (§ 4.2 en 5.2).

Pursuit tracking

Wanneer de index van de gewenste prestatie ("target") en de index van de feitelijke prestatie ("cursor", "pointer", "stuurelement") samen bewegen over een gezamenlijke achtergrond (schaal of coördinaten systeem) wordt gesproken van *pursuit tracking*. Dit leidt tot doorgaans tot betere prestaties dan wanneer de index van de gewenste of feitelijke prestatie gefixeerd is en dus alleen het verschil ("error") wordt getoond (*compensatory tracking*).

Consistente referenties

Displays die beweging weergeven doen dit door uit te gaan van een referentievlak (Wickens, 1984). Dit is het vlak wat bij de presentatie van de beweging stabiel blijft. Bijvoorbeeld bij een standaard kunstmatige horizon is het referentievlak het vlak dat door de dwars- en top-as van het vliegtuigsymbool valt. Dit wordt daarom ook een inside-out presentatie genoemd, omdat dezelfde relatieve beweging wordt getoond als de beweging die de vlieger ziet indien hij naar buiten kijkt. Mensen vinden het omschakelen tussen verschillende referentievlakken lastig. Dit soort situaties leidt vaak tot grove fouten in een taakuitvoering vanwege de hieruit ontstane incompatibiliteit. Indien men tussen referentievlakken moet wisselen is het raadzaam om door middel van plaatsing van het beeldscherm of door kleurgebruik of door een ander differentiatie-principe verwarring te minimaliseren.

Compatibiliteit met het bewegende onderdeel

Dit principe gaat uit van het feit dat mensen op grond van de ervaring een algemeen schema hanteren van objecten (vliegtuigen) die bewegen ten opzichte van een niet-bewegende wereld (Roscoe, 1968). Het onderdeel dat op het beeldscherm beweegt, het vliegtuig, zou dus hetzelfde moeten zijn als het onderdeel in het mentale schema, alsof je van buitenaf naar je eigen vliegtuig kijkt. Dit perspectief wordt *excentrisch* genoemd en de bijbehorende dynamiek van het bewegende onderdeel wordt *outside-in* genoemd. Evenzo moeten stabiele elementen in het model, b.v. de horizon, stabiel blijven op het beeldscherm. In het geval van de standaard kunstmatige horizon (attitude indicator) wordt dit principe geschonden omdat volgens het algemene schema van de vlieger het vliegtuigsymbool zou moeten bewegen en niet de horizon. Dit is evenwel in tegenspraak met het volgende principe.

Compatibiliteit met het oogpunt van de operator

De operator die in een voertuig zit heeft per definitie een *egocentrisch* oogpunt met een *inside-out* dynamiek. Daarbij lijkt de buitenwereld ten opzichte van hemzelf te bewegen, waarbij het vliegtuig de stabiele referentie wordt. Bij de kunstmatige horizon gebeurt hetzelfde. Daardoor heeft een vlieger een beeld op een kunstmatige horizon dat identiek (compatibel) is met zijn oogpunt. Aan het principe van compatibiliteit met het bewegende onderdeel en aan het principe van compatibiliteit met het oogpunt van de operator kan "tegelijktijd" worden voldaan door middel van een *frequency separation* algoritme (Roscoe, 1980). Hierbij worden snelle veranderingen in de stand van het vliegtuig getoond door een beweging van het vliegtuigsymbool (*outside-in*, het bewegende onderdeel) waarna de horizon en het vliegtuig langzaam bewegen naar de stand van een normale kunstmatige horizon (*inside-out*, oogpunt van de operator). Een dergelijk algoritme is in overeenstemming met het principe van compatibiliteit met het bewegende onderdeel (voor snelle bewegingen) en met het principe van compatibiliteit met het oogpunt van de operator (voor trage bewegingscomponenten). Het algoritme is echter in strijd met het principe van consistente referenties waardoor een duidelijk differentiatie-mechanisme dient te worden toegepast om verwarring te minimaliseren.

Simpliciteit

Wanneer representatie displays complexe configuraties weergeven, zoals geografische gebieden, verkeerslijnen of diagrammen gaat het er vooral om alleen de relevante informatie op te nemen en die zo eenvoudig mogelijk, zonder irrelevante details ("clutter") te representeren (McCormick & Sanders, 1983; zie ook § 2.7.2, 3.7.4, 3.7.5). Daarbij dient de vraag voorop te staan: "*Welke informatie heeft de gebruiker nodig?*" de beantwoording van deze vraag bepaalt tevens de mate waarin de informatie natuurgetrouw wordt gerepresenteerd of waarin hiervan wordt afgeweken, bijvoorbeeld door "stereotiepering" en "schematisering".

2.7 Kleurcodering

Effecten van kleurcodering zijn vrij complex omdat ze op meerdere niveaus van informatieverwerking een rol kunnen spelen. Voordat een kleur betekenis kan krijgen binnen de taak, zal de kleur eerst waargenomen moeten worden. Een eerste factor van invloed op deze kleurgewaarwording is het beeldscherm. Van de gangbare beeldschermen is bekend dat, indien hogere eisen aan de helderheid worden gesteld, de kleurenruimte waarbinnen allerlei kleurtinten kunnen worden gerealiseerd, beperkt is. Daarnaast spelen een aantal elementaire psychofysische factoren een rol die de kleurwaarneming beïnvloeden. Voor uitgebreide informatie over de psychofysische waarnemingsaspecten van kleuren wordt verwezen twee rapporten van Walraven (1985, 1987). Tot slot heeft kleur ook invloed op meer cognitieve processen zoals het structureren, herkennen en onthouden van gegevens.

2.7.1 Psychofysische factoren

Bij kleurcodering zal gelet moeten worden op verschillen in helderheid tussen extreme kleuren, zoals kortgolvig blauw en langgolvig rood en minder extreme of minder verzadigde kleuren, zeker indien deze helderheidsverschillen een prioriteitsstelling in de taak suggereren die irrelevant of onjuist is.

Indien kleurcodering wordt toegepast op symbolen en alfanumerieke gegevens met fijne spatiële details leveren verzadigd blauw en rood problemen op wat betreft opvallendheid en leesbaarheid door de relatief lage contrasten met een donkere achtergrond. De leesbaarheid van gekleurde symbolen wordt vrijwel volledig bepaald door de luminantieverhouding tussen teken en achtergrond.

Het gebruik van met name verzadigd blauw in combinatie met verzadigd rood is ook te ontraden in verband met *chromatische aberratie* en *kleurenstereoscopie*. Chromatische aberratie houdt in dat kortgolvig blauw en langgolvig rood als de "extremen" van het kleurenspectrum niet gelijktijdig scherp op het netvlies worden afgebeeld. Kleurenstereoscopie wordt veroorzaakt doordat kleuren die spectraal ver van elkaar liggen, op verschillende afstand worden waargenomen. Dit geeft een diepte-effect, waarbij de blauwe objecten verder weg worden gezien dan de rode objecten. Voor beide fenomenen kan gecompenseerd worden door gebruik te maken van minder verzadigde kleuren (kleurmenging).

De kleur van een visueel object wordt beïnvloed door de kleur en helderheid van de achtergrond waarop het object gepresenteerd wordt. Deze *chromatische inductie* manifesteert

zich als een kleurverschuiving in een richting tegenovergesteld aan de kleur van de achtergrond. Een aantal maatregelen kunnen overwogen worden om te vermijden dat voorgrond-symbolen en achtergrond interfereren:

- Verhoog de helderheid van de voorgrond-symbolen ten opzichte van de achtergrond.
- Verhoog indirect de helderheid van de voorgrondsymbolen door symbolen meer "body" te geven, bijvoorbeeld door symbolen als een gesloten contour te definiëren die met een kleur wordt opgevuld.
- Geef symbolen een donkere occlusiezone, bijvoorbeeld een donkere omlijning van het symbool.
- Gebruik voor de achtergrond sterk verontzadigde kleuren die in de buurt liggen van grijs en wit-tint. Gebruik in ieder geval geen opvallende kleuren die de aandacht trekken terwijl de aandacht gericht dient te zijn op de voorgrond-informatie.

2.7.2 *Kleur voor gestructureerd en selectief waarnemen*

Van kleur is bekend dat het een belangrijke bijdrage levert aan de structuur van de perceptie. Beeldelementen in eenzelfde kleur worden als sterk gerelateerde structurele eenheden geassocieerd. Evenzo geldt dat beeldelementen in een verschillende kleur veelal als duidelijk onderscheidbare eenheden worden gezien. Op basis van taakvereisten, integrale informatieverwerking dan wel selectieve verwerking, hebben Wickens en Andre (1990) de bijdrage van kleur getoetst aan hun *proximity compatibility* principe (§ 3.7.9): Om een goede prestatie te verkrijgen dient de mate van geïntegreerd- of gescheiden verwerken, zoals de taak voorschrijft, weerspiegeld te zijn in de mate waarin beeldelementen meer als een geheel of meer gescheiden worden gezien. Manipulatie van kleurpresentatie op cockpit displays, ter controle van *aircraft stall*, leverde een prestatieverbetering op bij verhoogde compatibiliteit en een prestatievermindering op bij verlaagde compatibiliteit. Ook onderzoek van Bundesen en Pedersen (1983) duidt erop dat objecten van dezelfde kleur in het visuele veld gezamenlijk worden waargenomen. Indien de aandacht op één object gericht dient te zijn, en andere objecten in de directe omgeving een andere kleur hebben, wordt informatie sneller en accurater verwerkt door een afname in interferentie (Harms & Bundesen, 1983). Davidoff (1987) komt op basis van een literatuuronderzoek tot de conclusie dat segmentatie, het onderscheiden van perceptuele eenheden, wellicht de belangrijkste toepassing van kleurgebruik is. Belangrijk is dat deze segmentatie op basis van kleur over een groot visueel veld kan plaatsvinden.

Een duidelijke structurering over het gehele beeldscherm moet vooral ook zoektaken ten goede kunnen komen. Carter en Cahill (1979) vonden dat een set van "targets" (b.v. de *hostile tracks* op het tactisch beeld) makkelijker gevonden kan worden, indien de targets eenzelfde onderscheidbare kleur hebben. Bovendien stelden Treisman en Gelade (1980) vast dat, indien meer objecten op een beeldscherm gepresenteerd worden, de zoektijd voor een object met een bepaalde kleur niet toeneemt. Dit in tegenstelling tot bepaalde vormcoderingen waar de zoektijd voor een object aanzienlijk kan toenemen als meer objecten op een scherm gepresenteerd worden. Dit zoeken op basis van kleur wordt echter wel minder effectief als het aantal kleurcategorieën toeneemt (Bunden & Pedersen, 1983). Voorts blijkt dat unieke kleuren of vormen ongewild de aandacht kunnen trekken (Theeuwes, 1992).

Een conflict kan ontstaan als twee coderingswijzen gelijktijdig twee verschillende structuren opdringen. Het betreft hier vooral combinaties van spatiële en niet-spatiële kenmerken

(Carswell & Wickens, 1990), zoals kleur- en vormkenmerken. Deze kenmerken, waarvan bekend is dat ze onafhankelijk door het zenuwstelsel worden verwerkt (Livingstone & Hubel, 1988), versterken elkaar niet. Dat wil zeggen kleur en vorm krijgen in de combinatie niet een bepaalde meerwaarde, zoals bekend is voor vormkenmerken die kunnen samen smelten tot nieuwe, unieke kenmerken, de zogenaamde *emergent features* (Pomerantz, 1981).

Kleur kan dus zeer effectief zijn bij het zoeken naar objecten op een beeldscherm. Daarbij dienen mogelijke structureringsconflicten te worden vermeden.

2.7.3 *Kleur en herkenning*

Als snelle, correcte herkenning gewenst is kan een prestatie-verbetering worden behaald door redundante vorm/kleurcodering toe te passen, waarbij zowel kleur als vorm dezelfde betekenis krijgen. Doordat kleur en vorminformatie onafhankelijk, parallel kunnen worden verwerkt, kan geprofiteerd worden van de mogelijkheid dat op het ene moment de kleurdimensie en op een volgend moment de vormdimensie tot een korte verwerkingstijd leidt (Eriksen & Hake, 1955; Garner & Creelman, 1964). Dit effect is maximaal indien kleur en vorm gemiddeld eenzelfde verwerkingstijd opleveren, en er nog al wat spreiding in de verwerkingstijden zit.

Er zijn voorbeelden bekend, waarin kleurcodering voor het categoriseren of benoemen van objecten of toestanden tot een slechtere prestatie leidt dan bijvoorbeeld vormcodering (Davidoff, 1987; Christ, 1975). Ten dele heeft dit te maken met de onderscheidbaarheid van kleurcategorieën ten opzichte van vormcategorieën. Een andere reden kan zijn het niet overeenkomen met culturele S-R stereotypen of gebrek aan *natural mapping* (Hudson, 1984), de relatie tussen de gekozen kleur en de betekenis die er in de taak aan wordt toegekend. Een voor de hand liggende relatie is bijvoorbeeld rood voor gevaar of dreiging. Een typisch slechte *mapping* is de kleuren rood, groen en blauw te kiezen om drie verschillende dieptecategorieën aan te geven, in plaats van bijvoorbeeld drie blauwtinten.

2.7.4 *Kleur en geheugen*

Als objecten door een gemeenschappelijke kleur meer integraal worden verwerkt, mag worden verwacht dat deze objecten ook meer geïntegreerd worden onthouden. Moar (1977) vond inderdaad dat objecten in eenzelfde kleur in het geheugen beter geassocieerd zijn. Worden bijvoorbeeld in luchtverkeer-begeleiding vliegtuigen die op gelijke hoogte zitten in eenzelfde kleur gerepresenteerd, dan is de herinnering ten aanzien van het aantal vliegtuigen op deze hoogte beter dan zonder kleurcodering (Wedell & Alden, 1973). Betekent dit ook dat kleur een goede codering is voor het herkennen van een vlieghoogte en voor het onthouden van hoogte-informatie? Op dit punt is in de literatuur enige terughoudendheid te bespeuren.

In tegenstelling tot wat soms intuïtief verwacht wordt, wordt kleurinformatie niet automatisch onthouden (Park & Mason, 1982). Er zal vaak aan kleur expliciet aandacht moeten worden geschonken om later de kleur te kunnen herinneren. Verder zijn er aanwijzingen dat kleur vooral in verbale vorm gecodeerd in het geheugen wordt opgeslagen, en in die zin gescheiden kan zijn van pictografisch opgeslagen informatie (Davidoff, 1987).

2.8 Beeldschermen

Recente ontwikkelingen laten zien dat steeds meer informatie in de cockpit via beeldschermen wordt, en zal worden, aangeboden. Daarom volgt hieronder een beknopt overzicht van de lichttechnische eisen die aan beeldschermen moeten worden gesteld.

- Beeldpolariteit:
Beeldschermen met donkere tekens op een lichte ondergrond zijn te prefereren vanwege mindere gevoeligheid voor spiegelingen en betere luminantieverhoudingen in het gezichtsveld;
- Beeldfrequentie:
Lichte tekens op donkere ondergrond: minimaal 50 Hz;
Donkere tekens op lichte ondergrond: minimaal 70 Hz;
- Contrast:
Tussen teken en ondergrond (voor beide typen beeldschermen): $15 > C > 5$;
- Schermluminantie:
Instelbaar (minimumwaarde voor oudere typen monochroomschermen 50 cd/m^2 ; voor moderne typen 150 cd/m^2);
- Diffuse reflectiefactor:
Bij lichte tekens op donkere ondergrond: $< 15\%$
Bij donkere tekens op lichte achtergrond: $< 20\%$
- Spiegelende reflectiefactor:
Bij lichte tekens op donkere achtergrond: $< 0.5\%$
Bij donkere tekens op lichte ondergrond: $< 2\%$

Reflecties op het beeldscherm

Als daglicht of andere lichtbronnen, strooilicht en reflecties op het beeldscherm veroorzaken, is een lichte achtergrond met donkere symbolen, het zogenaamde positief contrast, te prefereren boven een donkere achtergrond met lichte symbolen, het zogenaamde negatief contrast. De reflecties worden dan namelijk door de achtergrond geabsorbeerd, terwijl het helderheidscontrast tussen achtergrond en symbool niet hinderlijk wordt aangetast, hetgeen de opvallendheid en leesbaarheid duidelijk ten goede komt.

2.9 Conclusies

Dit hoofdstuk heeft laten zien dat er vrij duidelijke ergonomische principes en normen zijn voor de verschillende manieren waarop informatie gecodeerd en geconfigureerd kan worden. Dit betekent niet nog niet dat deze kennis altijd in het ontwerp van de cockpit volledig is terug te vinden. Vaak stuit men op allerlei bezwaren die het moeilijk maken om *de* oplossing aan te kunnen geven. In de praktijk komt het er vaak op neer dat vliegtuigbouwers zich willen houden aan reeds bestaande (en beproefde) concepten. Als voorbeeld hiervan de Fokker 50, een redelijk modern vliegtuig¹, ontworpen met een scala aan moderne ergonomische inzichten en kennis, heeft nog steeds dezelfde hydraulische- en oliedruk meters die men dertig-en-meer jaar geleden ook al in de vliegtuigen had zitten en waarbij het niet mogelijk is om met één

¹ De "maiden-flight" van de F-50 vond plaats op 28 december 1985.

oogopslag te zien of de meters al of niet op één lijn staan. Daarnaast is het praktisch gezien niet altijd mogelijk aan alle eisen te voldoen omdat deze, door de complexiteit van de vliegertaak als geheel, nogal eens met elkaar in strijd zijn, b.v. een optimaal uitzicht op de buitenwereld in combinatie met het vermijden van reflecties in het beeldscherm of de noodzaak visuele zoektijden naar display informatie zoveel mogelijk te beperken. Op basis van taakanalyse dienen hier dus taakeisen en prioriteiten te worden afgewogen. In sommige gevallen is het mogelijk oplossingen te vinden door gebruikmaking van technieken die duidelijk afwijken van de bestaande displays, zoals beeldschermen, head-up displays en helmet-mounted displays. Dit komt in hoofdstuk 5 aan de orde.

3 INFORMATIEVERWERKING

3.1 Inleiding

Hoe kunnen mensen complexe taken, die verschillende operaties tegelijkertijd vereisen, uitvoeren en wat bepaalt de kwaliteit van een dergelijke taakprestatie? In dit hoofdstuk zullen de meest gangbare opvattingen en theoretische kaders hierover kort worden behandeld. Geen van deze kaders vormt een volledige en consistente theorie die alle fenomenen goed kan verklaren. Als eerste benadering leveren ze echter te zamen een aantal globale human-factors principes en aanknopingspunten voor het analyseren en verklaren van verschijnselen van taakbelasting in complexe praktijk situaties. Op een eclectische manier zal dit hoofdstuk daarom besluiten met een aantal algemeen aanvaarde principes die relevant zijn voor het optimaliseren van mens-machine interfaces met het oog op verhoging van vliegveiligheid en efficiënt optreden met vermindering van werklast.

3.2 Het gangbare basismodel

Fig. 6 toont een typisch model van de menselijke informatieverwerking zoals dat zeer gangbaar was en deels nog steeds is. Voor iedere zintuigmodaliteit bestaat een onderscheiden sensorische buffer, vervolgens een aantal stadia van informatieverwerking (meestal 3), een werkgeheugen (centrale verwerkingseenheid), een lange-termijn geheugen en een vaste en beperkte hoeveelheid beschikbare aandacht ("resources", "energie", "brandstof", "capaciteit") voor deze processen ("energetische input").

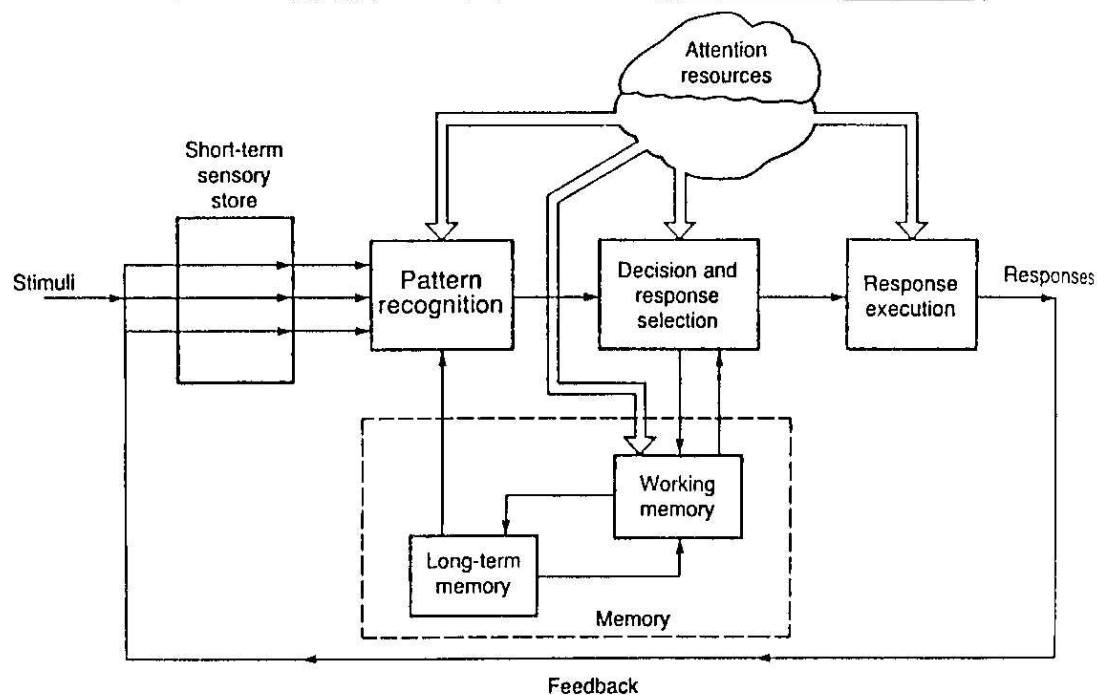


Fig. 6 Een typisch model van de menselijke informatieverwerking (uit Wickens & Flach, 1988).

Fig. 6 Een typisch model van de menselijke informatieverwerking (uit Wickens

& Flach, 1988).

Zowel de beschrijving van informatieverwerking als die van de werking van het geheugen zijn geënt op de computer metafoor. Kenmerkend uitgangspunt hierbij is dat de taakprestatie in complexe taaksituaties per definitie begrensd wordt door beperkingen in de capaciteit van centrale verwerkingsmechanismen (werkgeheugen en aandachtsmechanismen). Deze capaciteitsbeperkingen verklaren het selectieve karakter van de informatieverwerking, dat is het selectief verwerken en negeren van relevante, resp. irrelevante informatie. Daarnaast wordt het lange-termijn geheugen beschouwd als een *opslagplaats* voor informatie. Deze informatie wordt als relatief onafhankelijk beschouwd van het substraat waarin het is opgeslagen; informatie is dus verplaatsbaar, net zoals software dat is met betrekking tot de hardware van computers. De theorieën zijn voorts statisch in die zin dat de beperkte hoeveelheid aandacht een onveranderlijk gegeven is. Variaties in taakprestaties, bijvoorbeeld door training, worden verklaard door middel van een *efficiënter* gebruik van deze beperkte capaciteit, bijvoorbeeld door directe toegang van informatie tot routines die zijn opgeslagen in het lange-termijn geheugen. Tot slot hebben de theorieën de neiging centrale beheers- en controleprocessen in de informatieverwerking als het ware wèg te verklaren met behulp van een *homunculus*; een mensje in het hoofd die het eigenlijke superviserende denkwerk verricht. Dit wordt enigszins bedekt weergegeven door termen als: supervisory attentional system, attention, central controller.

Informatie uit de omgeving komt binnen via de zintuigorganen. Direct verbonden met de zintuigorganen zijn de sensorische registers, waarin de zintuiglijke indruk even, bijna volledig, wordt vastgehouden en waarin fysische energie omgezet wordt in neurale energie. Dit gebeurt onbewust. De informatie verdwijnt echter zeer snel, hetzij door spontaan verval met het verstrijken van de tijd, hetzij als gevolg van het binnenkomen van nieuwe informatie

in het betreffende register. Tijdens het korte verblijf in het sensorisch register kan een "superviserend aandachtsmechanisme" echter routines uitvoeren om informatie die nader geanalyseerd moet worden te selecteren. De sensorische registers stellen ons in staat gebeurtenissen die zich buiten ons aandachtsveld voordeden tot op zekere hoogte terug te roepen om er alsnog aandacht aan te schenken.

Vervolgens worden in de informatieverwerking grofweg drie hoofdstadia in de één of andere vorm onderscheiden: waarneming (patroonherkenning), centrale verwerking (beslissen en responsselectie), handeling (responsuitvoering)².

In het eerste stadium, waarneming, worden signalen uit de omgeving ontvangen en onbewust beoordeeld op stimuluskenmerken en patronen. Fysische stimulusvariabelen zoals contrastverhouding en intensiteit hebben invloed op de benodigde reactietijd in dit stadium. Een fel knipperend lampje zal eerder worden opgemerkt dan een zachtblauwe tekst op een grijs beeldscherm.

In het volgende, meer cognitieve stadium, worden beslissingen genomen t.a.v. de uit te voeren acties. De verwerkingsduur in dit stadium is afhankelijk van bijvoorbeeld het aantal alternatieve responsies en de stimulus-respons (S-R) compatibiliteit. Een koppeling tussen stimulus en respons is meer compatibel naarmate er minder transformaties op de stimulus behoeven te worden uitgevoerd om tot de respons te komen. Het begrip compatibiliteit wordt in § 3.7.9 verder uitgewerkt.

In het derde stadium wordt de geselecteerde respons omgezet in motorische commando's. De duur van dit stadium is vooral afhankelijk van respons variabelen, zoals de complexiteit en de duur van de respons.

Boven de drie verwerkingsstadia wordt een *aandachtsreservoir* gedacht, die over de verschillende functies kan worden verdeeld. Indien een van de functies meer aandacht vereist, blijft er minder over voor andere functies. Er is dan sprake van een te grote mentale belasting. In het model van Fig. 6 wordt één aandachtsreservoir ("resource") voorgesteld, waaruit kan worden geput als aandacht wordt vereist. Voor meerdere taken zal uit dezelfde bron moeten worden geput en zal dit uiteindelijk leiden tot een prestatievermindering van de taken. Sommige taakcombinaties blijken echter veel beter samen uitgevoerd te kunnen worden dan andere. Sturen en met iemand anders praten zijn goed te combineren, zo ook sturen en hoofdrekenen, maar praten en hoofdrekenen is vrijwel onmogelijk. Deze *single-resource* benadering wordt tegenwoordig dan ook als min of meer achterhaald beschouwd door het *multiple resource* model. Dit wordt in de volgende paragraaf behandeld.

Theorieën over informatieverwerking beschouwen het *werkgeheugen* als het actieve programma in de centrale verwerkingseenheid. Het werkgeheugen heeft een welomschreven maximale capaciteit. Met andere woorden: de hoeveelheid informatie die op een zeker moment door de "centrale processor" gebruikt kan worden is beperkt, namelijk ca. 7 (5-9) onafhankelijk, overgeleerde eenheden zoals letters, cijfers, woorden of korte frasen. Deze kunnen hoogstens enkele tientallen seconden worden vastgehouden. Het feit dat het werkgeheugen een beperkte capaciteit heeft van ongeveer zeven eenheden, blijkt uit ieders ervaring dat een rijtje van zes cijfers meestal goed te onthouden is, bijvoorbeeld bij het

² Vaak worden er ook meer stadia onderscheiden, maar de basis hiervoor is dermate arbitrair en losstaand van de inmiddels bekende neuronale architectuur dat hieraan geen verdere aandacht zal worden besteed.

draaien van een telefoonnummer, maar dat een rijtje van tien cijfers meestal te lang is om ineens te worden afgewerkt. Dan wordt blijkbaar de capaciteit overschreden. Overschrijding van de capaciteit van het werkgeheugen kan echter even goed optreden bij het luisteren naar ingewikkelde boodschappen of het kijken naar complexe beelden die niet ineens te begrijpen zijn; het opnemen en verwerken van alle beschikbare informatie is daarbij vrijwel onmogelijk. De eenheden waarmee het werkgeheugen actief is kunnen sterk variëren in hun informatiewaarde en in hun onderlinge samenhang. Sterk samenhangende eenheden kunnen bijvoorbeeld een nieuwe eenheid (*chunk*, zie § 3.7.3) op zich vormen. Hiermee neemt de informatiewaarde van een dergelijke eenheid sterk toe en lijkt het getal 7 als maximale capaciteit van het werkgeheugen beter gedefinieerd dan het in feite is.

Informatieverwerking waarbij de mens gebruik maakt van zijn werkgeheugen wordt ook wel actief of bewust genoemd (*controlled processing*). Indien te veel informatie te veel bewerkingen in het werkgeheugen nodig heeft zal dit problemen opleveren. Dit wordt capaciteitsinterferentie genoemd. De mentale belasting wordt dan te groot. Het werkgeheugen kan beslissingen nemen over te volgen strategieën bij het coderen tijdens opname, bij het repeteren of veranderen tijdens opslag en bij zoekprocedures tijdens het ophalen van informatie uit het geheugen. Het werkgeheugen staat aldus centraal in informatieverwerkingstheorieën. Door de gecodeerde inhoud van het werkgeheugen in verband te brengen met nadere, relevante informatie uit het lange-termijngeheugen, kan nieuwe informatie ook blijvend in het lange-termijngeheugen worden opgeslagen.

Het *lange-termijngeheugen* wordt meestal gezien als "the storehouse of all accumulated knowledge" (Wickens & Flach, 1988). Het herbergt de blijvende neerslag van onze ervaringen ("episodische geheugen") en onze opgebouwde algemene kennis en vaardigheden ("semantisch geheugen"). Het lange-termijngeheugen bevat een onbepaalde hoeveelheid informatie die op allerlei wijzen kan zijn gecodeerd. Herkenning treedt op wanneer de door het superviserende systeem geselecteerde stimulusinformatie in het werkgeheugen in verband gebracht kan worden met informatie die in het lange-termijn geheugen is opgeslagen. Informatie kan op twee manieren naar het lange-termijngeheugen worden overgebracht. Toepassing van actieve aandachts- of controleprocessen, waardoor de inhoud van het werkgeheugen wordt verankerd aan die van het lange-termijngeheugen is de eerste manier; een niet bewuste overdracht, waarover veel minder bekend is, maar waarin, bijvoorbeeld door sterke indrukken of door herhaling, passief ontstane associaties een rol spelen is de andere manier. Het is moeilijk aan te tonen dat gegevens die eenmaal in het lange-termijngeheugen zijn opgeslagen, echt spoorloos kunnen verdwijnen. Cognitieve kennis is doorgaans sterker aan verval onderhevig dan perceptief-motorische vaardigheden.

3.3 Multiple Resource theorie

Op grond van experimenten waarin proefpersonen tegelijkertijd twee taken moesten uitvoeren (dubbeltaken) heeft Wickens (1984) het *Multiple Resource* model ontwikkeld. In plaats van één aandachtsbron wordt gesteld dat de mens verschillende aandachtsbronnen "resources" heeft. Taken zullen meer interfereren indien dezelfde bronnen moeten worden gebruikt. De structuur van het model wordt in Fig. 7 getoond. Het model stelt dat mense-lijke

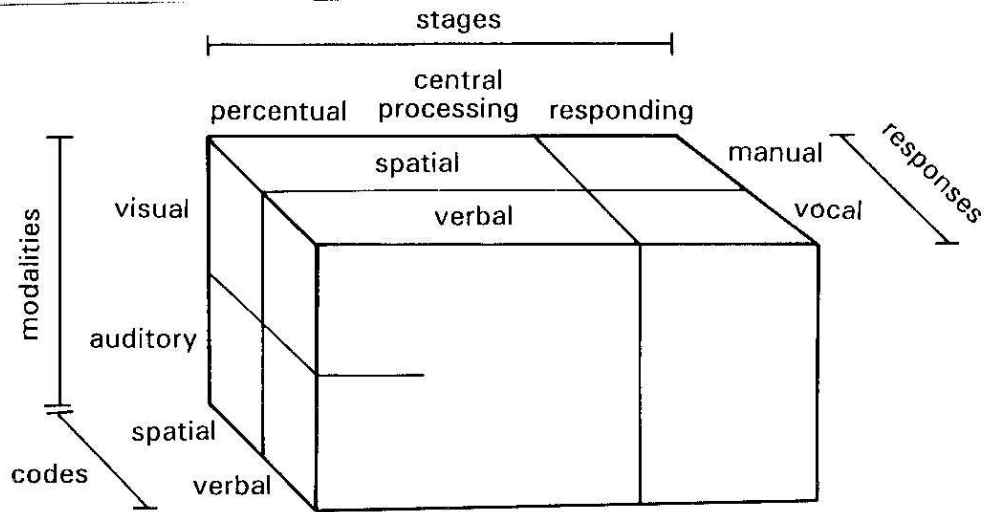


Fig. 7 "Multiple Resource Model" (uit Wickens, 1984a).

informatieverwerking gedeeltelijk kan worden beschreven door drie dimensies: *Verwerkingsstadia*, *Modaliteiten* en *Coderingen*.

Fig. 7 "Multiple Resource Model" (uit Wickens, 1984a).

Stadia

De resources nodig voor de waarneming en handeling blijken functioneel verschillend te zijn van die van de centrale verwerking. Een aangeleerde stuurtaak (accent op waarneming en handeling) zal niet worden gestoord door een hoofdrekenaak (accent op informatieverwerking) maar wel door een andere stuurtaak.

Modaliteiten

De mens is beter in staat om aandacht te verdelen tussen visuele en auditieve invoer van informatie dan tussen twee visuele of twee auditieve invoerkanalen. Hiermee worden niet de gevallen bedoeld waarbij het ene visuele kanaal zich fysiek op een andere locatie bevindt dan het andere of wanneer het ene auditieve kanaal de andere maskeert. In die gevallen is interferentie evident. Ook in andere gevallen waar oogbewegingen niet nodig zijn en maskering niet optreedt is het presenteren via verschillende modaliteiten gunstig voor de prestatie op verschillende taken tegelijk.

Coderingen

Gesteld wordt dat de resources nodig voor verbale en spatiële processen verschillend zijn. Het effect, aangetoond door Kinsbourne en Hicks (1978), waarbij een verbale taak nadeliger wordt beïnvloed door een stuurtaak met de rechterhand dan een stuurtaak met de linkerhand, suggereert dat deze resources verbonden zijn met de linker en rechter hersenhelften. Spatiële processen domineren in de rechter hersenhelft (verbonden met de linkerhand) en verbale processen domineren in de linker hersenhelft (rechterhand).

Resource competition

Taken kunnen worden ingedeeld volgens de bovengenoemde dimensies. De conventionele besturing van een vliegtuig is bijvoorbeeld visueel/spatieel/handbediend, terwijl het begrijpen van een luchtverkeersleider kan worden beschouwd als auditief/verbaal. Resource competition heeft betrekking op het feit dat taken gelijktijdig een beroep kunnen doen op dezelfde resources. Omdat resources per definitie beperkt zijn zullen deze in dat geval vaak niet voldoende "input" ("energie", "capaciteit") leveren om beide taken optimaal uit te kunnen voeren. Hieruit volgt dat de presentatie van informatie voor twee verschillende gelijktijdig uit te voeren (deel)taken zoveel mogelijk op verschillende resources moet worden gericht. Indien twee taken een beroep doen op verschillende resources is het tot op zekere hoogte mogelijk de twee taken onafhankelijk van elkaar, en dus zonder interferentie, uit te voeren. Vliegen en het begrijpen van luchtverkeersleiding kunnen daarom goed tegelijkertijd worden uitgevoerd. In dit model wordt er stilzwijgend vanuit gegaan dat taken zoveel mogelijk onafhankelijk van elkaar dienen te worden uitgevoerd. Wederzijdse beïnvloeding levert interferentie op, en is daarmee nadelig voor de taakuitvoering. Deze is dus optimaal bij scheiding van resources.

Recente inzichten laten echter zien dat complexe praktijktaken een hoge mate van interne samenhang kunnen vertonen. In dat geval zouden deeltaken juist moeten worden gecombineerd om een optimale prestatie te kunnen leveren. In de § 3.7.11 wordt op dit aspect nader ingegaan. Behalve dit probleem bestaan er twee andere bezwaren tegen het Multiple-Resources model (b.v. Korteling, 1994). Het voorgestelde systeem van resources is te grof om het gedifferentieerde patroon van interferentie-effecten te verklaren dat in dubbeltaak experimenten wordt gevonden. Aan de ene kant zijn er gedifferentieerde interferentie-effecten binnen dezelfde resources. North (1977) vond bijvoorbeeld meer interferentie in een dubbele druktoetstaak of dubbele stuurtaak, dan in een dubbeltaak bestaande uit een druktoets- en een stuurtaak. Aan de andere kant zijn er globale interferentie-effecten gevonden tussen taken die op grond van het model niet met elkaar zouden moeten interfereren (b.v. Keele, 1967). Tot slot is het model niet zo geschikt om leereffecten te verklaren omdat die eigenlijk slechts voort kunnen komen uit een betere verdeling van de resources die voor een dubbeltaak worden aangesproken.

Deze problemen nemen niet weg dat de multiple-resources theorie in het algemeen voldoet als eerste benadering bij de analyse van taakbelasting in complexe (dubbel)taken.

3.4 Dual-Process theorie

De belangrijkste theorie die prestatieverbetering door oefening bij en vaste verwerkingscapaciteit is gebaseerd op de "herontdekking" van een reeds lang bestaand onderscheid (James, 1890; Bahrick & Shelley, 1958) tussen twee wijzen van informatieverwerking: *automatische* en *gecontroleerde* verwerking (b.v. Logan, 1978; Posner & Snyder, 1975; Schneider & Detweiler, 1988; Schneider & Shiffrin, 1977).

Automatische verwerking is snel, parallel, moeiteloos, niet onder directe beheersing van de persoon, veroorzaakt geen interferentie en is daar ook vrij ongevoelig voor, wordt niet beperkt door de capaciteit van het werkgeheugen en voltrekt zich grotendeels onbewust. Automatische informatieverwerking wordt gezien als een belangrijk onderdeel van doorgeleerde vaardigheden, maar het kan zich alleen ontwikkelen als er sprake is van een consistente

stimulus-respons relatie (waarbij een bepaalde stimulus altijd eenzelfde respons vereist). Dit wordt *consistent mapping* genoemd. Gedurende de training wordt de benodigde aandacht voor een gecontroleerde respons, indien er sprake is van consistent mapping tussen stimulus en respons langzamerhand minder, totdat er sprake is van een automatische, onmiddellijke en van andere processen minder afhankelijke informatie-verwerking. Automatische processen worden door stimuli beheerst; ze zijn moeilijk te onderdrukken, te negeren of te veranderen. Tot slot is automatische verwerking minder gevoelig voor differentiële effecten zoals die van veroudering of hersenbeschadiging.

Gecontroleerde informatieverwerking is het tegenovergestelde van automatische verwerking. Deze verwerkingsvorm is traag, serieel, belastend, beperkt door de capaciteit van het werkgeheugen, en voltrekt zich bewust. Gecontroleerde verwerking wordt gebruikt in nieuwe situaties die een beroep doen op algemene vaardigheden of in situaties die worden gekenmerkt door inconsistente stimulus-respons relaties. Gecontroleerde processen worden door intenties (strategieën, verwachtingen, plannen) van het subject beheerst; ze zijn makkelijk te veranderen, te onderdrukken of te negeren. Taken die gecontroleerde verwerking vereisen laten grote individuele verschillen zien.

Bij dit onderscheid moet worden opgemerkt dat niet al deze criteria algemeen worden geaccepteerd (b.v. Bargh, 1992; Cohen, Servan-Schreiber & McClelland, 1992; Neumann, 1984; Logan, 1992). Volgens de Dual-Process theorie zijn automatische processen, in tegenstelling tot gecontroleerde processen, niet afhankelijk van de beperkte aandachtscapaciteit. Verbeterde taakprestaties in complexe taken komen voort uit de ontwikkeling van automatische verwerking, waardoor de taak als geheel minder aandacht vereist. Als onderdelen van een complexe taak automatisch kunnen worden uitgevoerd komt dus meer aandacht beschikbaar voor de moeilijker, gecontroleerd uit te voeren, taakonderdelen. Ontwikkeling van automatische verwerking heeft daarmee hetzelfde effect op de uiteindelijke taakuitvoering als verminderde taakmoeilijkheid of taakbelasting.

De meest directe empirische bezwaren tegen de Dual-Process theorie hebben betrekking op het feit dat de criteria voor de twee verwerkingsmodaliteiten niet samenhangen op de gesuggereerde alles-of-niets manier. De kenmerken zijn relatief onafhankelijk en kunnen in ongeveer alle combinaties optreden (Bargh, 1989, 1992). Voorts zijn de kenmerken van automatische verwerking context-afhankelijk, d.w.z. afhankelijk van de kenmerken en de andere taak. Als irrelevante elementen van de ene taak juist de essentiële cues voor een andere taak zijn, dan zal er ondanks een hoge graad van automatische verwerking waarschijnlijk wel degelijk interferentie tussen beide deeltaken optreden. Automatische verwerking is dus een vrij betrekkelijk proces dat zich door oefening geleidelijk ontwikkelt. Tot slot is de Dual-Process theorie oppervlakkig; er wordt geen inzicht gegeven in de onderliggende mechanismen die leiden tot een verbeterde taakuitvoering op grond van consistente training.

Dit alles neemt niet weg dat de algemene—zij het vrij triviale—boodschap van de Dual-Process theorie overeind blijft, nl. dat oefening ertoe leidt dat een taak als steeds makkelijker ervaren wordt, en daarmee sneller, beter en moeitelozer kan worden uitgevoerd, zodat steeds meer aandacht besteed kan worden aan andere deeltaken.

3.5 Skills, Rules, and Knowledge

Een met de Dual-Process theorie vergelijkbare en veel gebruikte beschrijving van verschillende niveaus van gedrag is die van Rasmussen (1983) die het gedrag classificeert in: "Skill-based", "Rule-based" en "Knowledge-based".

3.5.1 *Skill-based gedrag*

Op het eerste niveau bevindt zich "Skill-based" gedrag dat wordt gekenmerkt door vaardigheden, waarin lang trainen automatisch handelen heeft bewerkstelligd (zie § 3.7.1, i.e., goed getraind met een consistente stimulus-respons relatie). Een skill wordt gekenmerkt door doelgerichte responsies en bestaat in het algemeen uit vloeiende, goed op elkaar afgestemde, vaak ingewikkelde verrichtingen die geen aandacht van de operator vergen. Een typisch voorbeeld is het autorijden op een snelweg, waarbij de chauffeur zonder problemen de weg kan volgen en een gesprek kan voeren met een passagier (zie ook "multiple resource theorie" § 3.3). De omgeving wordt tijdens deze vorm van handelen waargenomen als een *signaal*, dat als een continue kwantitatieve indicator van de taakomgeving fungeert. De operator gebruikt de informatie om zijn autopositie en beweging te toetsen in een gesloten-lus-sturing. De tijdvertraging is kritisch en het signaal moet duidelijk zichtbaar zijn, zo mogelijk moet men op de fout kunnen anticiperen.

3.5.2 *Rule-based gedrag*

Er is sprake van "Rule-based" gedrag indien een operator bewust op basis van procedurele kennis handelt. Hierbij is dus geen sprake van automatische verwerking zoals bij "Skill-based" gedrag. De kennis over hoe een handeling moet worden uitgevoerd kan extern worden gegenereerd, zoals bij instructies uit een handboek, of intern, zoals bij taken waarbij de operator door training en ervaring een aantal regels volgt. In tegenstelling tot "Skill-based" gedrag, waarbij de manier waarop de handelingen worden uitgevoerd door de operator niet of nauwelijks kan worden beschreven, kunnen bij "Rule-based" gedrag de gehanteerde regels wel worden genoemd. Op dit niveau worden handelingen in het algemeen bewust uitgevoerd ("gecontroleerde verwerking", zie § 3.4). Informatie wordt beschouwd als een *teken* om een voorafbepaalde actie te activeren of te modificeren. Deze tekens worden herkend in relatie tot eerder beschreven situaties of eigen ervaringen. Zij worden niet gebruikt om te redeneren of om nieuwe regels te produceren.

3.5.3 *Knowledge-based gedrag*

Knowledge-based gedrag is een vorm van gedrag waarbij de operator geen regels heeft die direct het vereiste gedrag voorschrijven. In dat geval moet er creatief worden gereageerd op een onbekende situatie. De operator reageert bewust op basis van declaratieve kennis. Het gedrag wordt bepaald door een expliciet geformuleerd doel, gebaseerd op een analyse van de omgeving en op de algemene doelstellingen van de operator. De mentale representatie van de taakomgeving kan in korte tijd verschillende vormen aannemen. Informatieverwerking vindt langzaam plaats en heeft alle aandacht nodig. Daarnaast kunnen veel fouten worden gemaakt door toedoen van zaken zoals fixatie op een bepaalde hypothese en het niet opmerken van tegenstrijdige bewijzen. De informatie wordt gezien als *symbolisch*, refererend aan interne conceptuele representaties die de basis vormen voor redentie en planning van acties.

Net zoals bij de Dual-Process theorie is deze driedeling vrij beschrijvend van aard. Het vormt daarmee meer een te hanteren *typologie* dan een verklarende theorie over informatieverwerking. In de volgende paragraaf wordt een dergelijk raamwerk wel gegeven en het zal blijken dat veel van de hierboven behandelde concepten hierin, zij het in aangepaste vorm, passen.

3.6 Cognitive Neuroscience

3.6.1 Algemeen theoretisch kader

Een van de grootste wetenschappelijke uitdagingen binnen de psychologie is het vinden van een verklaring voor de orde en doelgerichtheid in het gedrag van hogere organismen in complexe situaties, zonder dat dit probleem met behulp van een centrale controlerende supervisor (*homunculus*) wordt "wegverklaard". Met name op het gebied van de cognitive neuroscience, waar een brug geslagen wordt tussen de cognitieve en de neurowetenschappen, worden op dit gebied theoretische vorderingen gemaakt. De cognitive neuroscience heeft de computer als metafoor voor menselijk gedrag verlaten en heeft daarvoor het zenuwstelsel in de plaats gesteld (Allport, 1989; Korteling, 1994; Shallice, 1978).

Zenuwstelsels worden gekenmerkt door een sterke mate van *associatieve interconnectiviteit*. Deelsystemen vertonen een hoge graad van onderlinge koppeling, nodig om het geheel aan stimuli als een samenhangend geheel te kunnen verwerken. Interconnectiviteit vormt de basis voor een grote verwerkingscapaciteit en ligt ten grondslag aan flexibiliteit in het momentane gedrag van organismen. Bovendien zijn zenuwstelsels *plastisch*; op basis van hun eigen activiteit veranderen ze voortdurend (geheugen). Plasticiteit zorgt tezamen met interconnectiviteit voor aanpassing aan de omgeving, i.e., flexibiliteit op langere termijn (leren) en daarmee *vergroting* van de verwerkingscapaciteit voor steeds weer terugkerende taken.

De associatieve organisatie van neuronale systemen moet op één of andere manier beknot of gekanaliseerd worden (niet door een homunculus) teneinde chaotisch functioneren te voorkomen (Korteling, 1994; Neumann, 1987). Hieruit vloeien direct de beperkingen in de verwerkingscapaciteit voort. Capaciteitsbeperkingen, bijvoorbeeld in dubbeltaken, worden primair verklaard door het zorg moeten dragen voor *samenhangend, georganiseerd en doelgericht* gedrag, gegeven de hoge associatieve interconnectiviteit en flexibiliteit (Korteling, 1994). Hiervoor bestaan allerlei elementaire neurobiologische mechanismen, zoals reciproke inhibitie. Deze basismechanismen zorgen ervoor dat er altijd één actiesysteem domineert over de geassocieerde systemen. Binnen de verschillende lagen en segmenten van neuronale organisatie strijden deelsystemen als het ware om dominantie waarbij er altijd een overwinnaar is die het resulterende gedrag bepaalt. Dit proces wat normaliter "beslissen", of "respons selectie" genoemd, manifesteert zich het duidelijkst in de centrale fase van informatieverwerking. Het staat garant voor georganiseerde activiteitspatronen, zonder dat er een homunculus nodig is om dit te verklaren.

Vrijwel alle psychologische gegevens wijzen erop dat beperkingen in de verwerkingscapaciteit, zoals die zich bij het uitvoeren van complexe taken voordoen, niet liggen in de combinatie van verwerkingsoperaties, maar juist in het gescheiden moeten houden ervan. Hoe meer simultaan geactiveerde neuronale deelsystemen van elkaar

gescheiden zijn, des te minder interferentie er tussen de systemen zal optreden. Dit principe ligt ten grondslag aan de basisgedachte van de Multiple-Resources Theorie, die hier echter een vrij grove afspiegeling van vormt. Het aantal neuronale deelsystemen is erg hoog en de mate waarin deelsystemen gekoppeld zijn kan sterk variëren.

Analoog aan de biologische evolutie passen deelsystemen zich in deze dominantiestrijd aan de taakomstandigheden aan. Effectieve circuits worden sterker en niet-effectieve circuits worden zwakker. Dit is de zgn. Hebb-doctrine (Hebb, 1949), een nog steeds onomstotelijk gegeven dat in de hoofdstroom van de psychologie ten onrechte in de vergetelheid is geraakt. In deze optiek worden prestatiebeperkingen in complexe taken niet verklaard door beperkingen in de verwerkingscapaciteit, maar uit een aantal fundamentele neurale principes die voortvloeien uit het maximaliseren van verwerkingscapaciteit (interconnectiviteit en plasticiteit) in combinatie met het vermijden van chaos (Allport, 1989; Korteling, 1994; Neumann, 1987; Shallice, 1978).

Praktisch gezien komt het uiteindelijk allemaal op het volgende neer: samenhang tussen taakelementen of tussen deeltaken onderling bevordert de prestatie. In dat geval kan één geïntegreerd actiesysteem de taak uitvoeren. Moeten er echter allerlei zaken gescheiden en onafhankelijk van elkaar worden verwerkt dan moeten verschillende actiesystemen tegelijkertijd dominant zijn. In dat geval komt het zenuwstelsel in de problemen (Allport, 1980; Korteling, 1994; Neisser, 1976; Neumann, 1984).

Deze globale regel wordt door trainingseffecten gemoduleerd. Op basis van de Hebb-doctrine leidt training tot aanpassing van de neuronale connectiestructuur aan de kritische kenmerken van de taak. Het gaat dus niet in letterlijke zin om "opslag van informatie in het lange-termijn geheugen", waarbij het geheugen gezien wordt als een apart systeem (zoals bij een computer). Leren en geheugen hebben betrekking op de structurele veranderingen van het zenuwstelsel door de tijd heen, waarbij zich nieuwe neuronale circuits, of hersenprogramma's, vormen of waarbij oude circuits worden aangepast, zodanig dat ze worden afgestemd op de kritische perceptieve, centrale en motorische taakkenmerken, waarmee de verwerkingscapaciteit voor deze kenmerken in feite wordt verhoogd. Daarnaast leidt training tot versterking en dominantie van geschikte hersenprogramma's. Effecten van training zijn daarmee gebaseerd op de formatie van zgn. *special-purpose* hersenprogramma's. Deze programma's worden al bij een laag activatiepatroon dominant. Ze zijn direct, selectief en doelgericht. Eenmaal geactiveerd, beheersen ze het gedrag volledig zodat een samenhangend handelingspatroon het gevolg is. *Special-purpose* programma's worden alleen geactiveerd door zeer specifieke trigger inputs of specifieke combinaties van inputs.

Zonder training of bij inconsistent mapping past een zenuwstelsel zich niet aan de taak aan. De persoon blijft dan afhankelijk van non-specifieke *general-purpose* hersenprogramma's, i.e., neuronale netwerken met een abstract karakter, bestemd voor verschillende doeleinden en indirect gerelateerd aan bepaalde taken. Deze programma's zorgen ervoor dat taken kunnen worden uitgevoerd waarvoor een persoon nog geen gerichte routines heeft ontwikkeld.

In het volgende zullen op een eclectische manier de voor het huidige rapport meest relevante principes van informatieverwerking worden behandeld die uit het hier beschreven cognitive neuroscience kader voortvloeien of uit de daarvoor behandelde theorieën. Ook zal een aantal principes van informatieverwerking worden besproken die hun bestaansrecht reeds lang hebben bewezen.

3.7 Principes van informatieverwerking

3.7.1 *Consistentie*

Alle vaardigheden moeten worden geleerd. Dat kan alleen als informatie-elementen steeds weer in dezelfde patronen opduiken en als de relatie tussen deze patronen en de vereiste handelingen steeds hetzelfde is (consistent mapping). In beide gevallen ontwikkelt het zenuwstelsel special-purpose programma's die op deze combinaties (of invarianten, Gibson, 1966, 1969) zijn afgestemd. Special purpose programma's vormen de basis van wat in de Dual-Process theorie automatische informatieverwerking werd genoemd. Omdat special-purpose programma's al bij lagere activatieniveaus dominant zijn, kunnen general-purpose programma's alleen goed functioneren als er voor de zelfde functie geen (dominante) special-purpose programma's beschikbaar zijn. Beide kunnen echter ook samenwerken mits ze gericht zijn op verschillende taakniveaus, b.v. het uitvoeren van deeltaken die behoren bij *communication* en *flight* (zie hoofdstuk 4).

3.7.2 *Interferentie*

Als het gedrag door special-purpose programma's wordt gedomineerd, zal het aantal vereiste neuronale operaties relatief laag zijn. Subjectief wordt dit ervaren als makkelijk, minder bewust en dus automatisch ("automatic processing"). Dit is met speciale technieken die de metabolische activiteit van de hersenen in kaart brengen (PET scan) gedemonstreerd (Posner & Rothbart, in press). Bij een lage metabolische activiteit kunnen verwerkingsoperaties makkelijk simultaan worden uitgevoerd zonder dat er interferentie optreedt. Daarnaast wordt de mate van interferentie tussen deeltaken bepaald door de structurele verbondenheid van de onderliggende neuronale systemen (Kinsbourne & Hicks, 1978; Korteling, 1994). Bij de uitvoering van niet-samenhangende deeltaken geldt dat hoe meer de geactiveerde neuronale deelsystemen van elkaar gescheiden zijn, des te minder interferentie er tussen de systemen zal optreden. De multiple-resources theorie geeft een eerste grove indeling van gescheiden deelsystemen. De werkelijkheid is echter aanzienlijk complexer; het aantal neuronale deelsystemen is erg hoog en de mate waarin deelsystemen gekoppeld zijn kan sterk variëren (Korteling, 1994).

3.7.3 *Chunking*

Mensen zijn goede patroonwaarnemers, die op basis van consistente training steeds beter in staat zijn afzonderlijke elementen geïntegreerd, als één geheel, te verwerken. In tegenstelling tot beginners, zien gevorderde schakers bijvoorbeeld patronen en configuraties van stukken, i.p.v. afzonderlijke stukken in relatie tot elkaar (Chase & Simon, 1973; de Groot, 1966). Op dezelfde manier lezen wij configuraties van letters (woorden) i.p.v. letters afzonderlijk. Onder bepaalde condities kunnen wij zelfs gehelen, zoals object tekeningen, beter beoordelen dan afzonderlijke gedeelten van gehelen (een lijnstuk). Dit wordt het *object-superiority* effect genoemd (McClelland, 1978; Wandmacher, 1981; Weisstein & Harris, 1974). Op grond van deze combinatie van elementen kunnen wij informatie in grote brokken (chunks) verwerken. Op basis van *chunking* kan de hoeveelheid informatie die op een bepaald moment kan worden

vastgehouden en verwerkt (functionele capaciteit van het werkgeheugen) enorm worden vergroot, hoewel het aantal chunks dat kan worden vastgehouden altijd ongeveer gelijk zal blijven. Wij kunnen net zoveel willekeurige woorden als letters onthouden. Het verwerken van informatie in grotere chunks moet worden geleerd. Dit is alleen mogelijk als elementen zich steeds weer in dezelfde combinaties voordoen (zie consistentie).

3.7.4 *Schema's*

Waarneming en informatieverwerking maken deel uit van een continue cyclus waar motorische en perceptieve acties en anticipaties een essentieel onderdeel van uitmaken. Iedere waarneming leidt tot, kortdurende of meer permanente, veranderingen in het zenuwstelsel, welke op hun beurt weer mede bepalen wat er in de toekomst zal worden waargenomen, oftewel waarvoor het zenuwstelsel gevoelig wordt en waar het naar zoekt. Deze anticipaties, die opgebouwd en geactiveerd worden door eerdere ervaringen worden meestal *schema's* genoemd (Neisser, 1976). Schema's zijn mentale modellen die kennis bevatten omtrent het belang van gegevens, over de statistische relaties tussen gegevens en over de context die aan de stimuli betekenis verleent. Het niet beschikken over de juiste schema's geeft bij leken doorgaans een gevoel van overweldiging bij het zien van de grote hoeveelheid instrumenten en informatiemiddelen in een cockpit. Door training leert men schema's af te stemmen op de kritische stimuli van een taak en snel en effectief te reageren op de beschikbare informatie. Bij training van een nieuwe taak gaat het erom schema's te ontwikkelen, gericht op de selectie en het gebruik van nieuwe invarianten, chunks, relaties, combinaties, enz. Een voorbeeld hiervan is het leren gebruiken van richtpunten op de motorkap voor koerscontrole, of het waarnemen van covariaties tussen bijvoorbeeld haptisch waargenomen weerstand van een joystick, auditief waargenomen veranderingen in motorgeluid, en visueel, haptisch en vestibulair waargenomen g-krachten. Het gaat hier steeds om het steeds beter en effectiever anticiperen op en gebruiken van, informatie die in principe altijd in de taaksituatie als geheel beschikbaar is.

3.7.5 *Selectie*

Schema's impliceren dat een waarneming en informatieverwerking dynamische en cyclische processen zijn die in belangrijke mate actief door het subject wordt aangestuurd (Neisser, 1976). Deze aansturing impliceert niet zozeer het toevoegen van informatie aan het gebodene of het reconstrueren ervan teneinde tot een interpretatie te komen. Reconstructie in de waarneming treedt alleen op als de beschikbare informatie gebrekkig is en het systeem dus niet goed in staat is om de stimulussituatie te interpreteren. Normaliter zullen stimulussituaties samenhangende en goed gestructureerde informatie bevatten, die op een consistente en consequente en redundante manier specificeert wat er gebeurt, zowel met de waarnemer, als met de omgeving. Waarneming is onder normale omstandigheden daarom vooral een proces van *selectie*. Een getrainde operator verschilt van een beginner, niet zozeer in het kunnen toevoegen van informatie (uit zijn lange termijn geheugen) aan de stimulus, maar vooral in het vermogen om beter de relevante en kritische informatie uit de beschikbare stimuli (displays) te selecteren (Gibson, 1969). Dit geldt in sterke mate voor getrainde vliegers die, afhankelijk van de missie, de taak en de omgevingscontext precies weten wat er op een bepaald moment relevant is, wat verwacht mag worden en waar dus, tussen alle mogelijke

bronnen van informatie, op gelet moet worden. Alleen getrainde vliegers beschikken over de voor hun taak noodzakelijke schema's die, als ze door de juiste cues worden getriggerd, overbelasting kunnen vermijden. Ondanks het vermogen van getrainde vliegers om relevante informatie en irrelevante "*clutter*" van elkaar te kunnen scheiden dient er in displays altijd zo weinig mogelijk irrelevante informatie (details) te worden gepresenteerd.

Wat bepaalt nu in het algemeen in situaties waarin displays moeten worden geïnspecteerd of iets veel of weinig aandacht krijgt? In samenhang met het bovenstaande blijkt uit onderzoek dat de inspectiefrequentie van een display hoger wordt naarmate de frequentie van gebeurtenissen een display, de voorbereiding op mogelijke gebeurtenissen, en de directe beschikbaarheid van display-informatie toenemen en naarmate de correlatie met andere displays, het aantal te inspecteren displays en de stress en preoccupatie met een probleem afnemen (Stokes & Wickens, 1988).

3.7.6 *Context*

Het selectieve karakter van de informatieverwerking, gestuurd door de aangeleerde schema's, zorgt ervoor dat gegevens die overeenkomen met de structuur en organisatie van de bestaande kennis beter worden opgepikt en onthouden; ze kunnen de waarneming en herinnering zelfs sterk beïnvloeden of vervormen. Daarbij speelt *context* informatie een belangrijke rol. Deze informatie activeert (de juiste) schema's en levert daarmee het kader voor het selecteren en interpreteren van informatie. Voor verbale boodschappen geldt bijvoorbeeld dat de boodschap "fuel low" beter begrepen wordt (onder overigens belastende omstandigheden) als de primaire boodschap omgeven wordt door redundante contextuele informatie, zoals: "your fuel is low" (Simpson & Williams, 1980). Contextuele informatie creëert dus verwachtingen, i.e., relevante (special-purpose) hersenprogramma's worden geselecteerd en geprepareerd voor het verwerken van de informatie. Daarmee wordt irrelevante informatie genegeerd. Een potentieel nadeel hiervan is dat door allerlei oorzaken verkeerde schema's kunnen worden geactiveerd waardoor relevante informatie, die strijdig is met de verwachtingen, systematisch wordt genegeerd of vergeten.

3.7.7 *Organisatie van kennis*

Een belangrijk punt met betrekking tot het ontwerp van interfaces is hoe kennis is georganiseerd. Aangenomen wordt dat het vermogen van de operator informatie te lokaliseren, selecteren en te benutten meer efficiënt wordt gebruikt als de kennis van informatiesystemen wordt aangeboden op een manier die consistent is met de organisatievorm (het model) waarin de operator deze kennis heeft begrepen. Dit kan zeer relevant zijn met betrekking tot de menu-organisatie van computerprogramma's. De taakprestatie wordt in sterke mate beïnvloed door onze verwachtingen omtrent wat in een *logische* wereld zou hebben moeten gebeuren, oftewel een wereld die georganiseerd is zoals wij hem intern hebben gerepresenteerd (schema's).

3.7.8 *Gestalt principes*

Het chunking principe suggereert het belang van de vraag naar de basiselementen (atomen) van de waarneming, of de psychologisch zinvolle eenheden. Zo wordt een *Gestalt* opgevat als

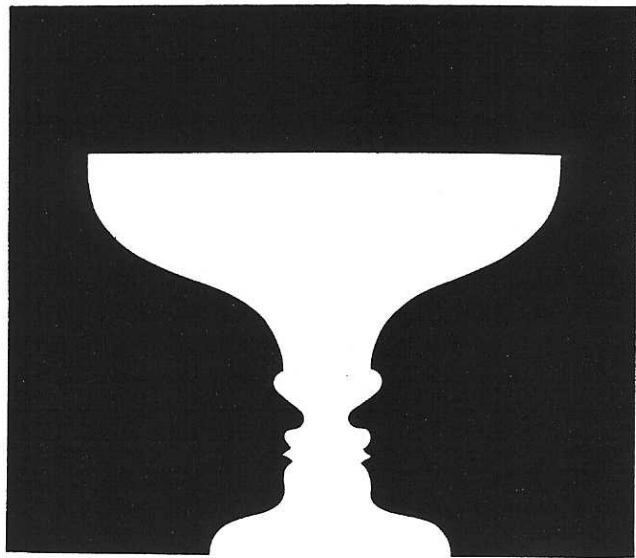


Fig. 8 De reversibele goblet stamt uit 1915 (Edgar Rubin) en is nog steeds een favoriet voorbeeld van figuur-grond omkering.

iets dat meer is dan de delen (elementen, kenmerken, atomen) waaruit het is opgebouwd. het werk van de zgn. Gestalt-psychologen naar ingebouwde organisatie principes van de waarneming heeft overtuigend laten zien hoe het visuele systeem de beschikbare visuele informatie volgens vaste principes "ordent" volgens principes die bij iedere menselijke waarnemer hetzelfde zijn. De werking van deze mechanismen kan men niet of nauwelijks bewust te beïnvloeden. Een voorbeeld hiervan is dat het beeld altijd verdeeld wordt in een figuur-deel en een achtergrond-deel. In gevallen waarbij er weinig of geen cues zijn voor deze scheiding is dit goed te merken omdat mogelijke interpretaties elkaar dan blijven afwisselen. Fig. 8 toont een bekend voorbeeld.

Fig. 8 De reversibele goblet stamt uit 1915 (Edgar Rubin) en is nog steeds een

favoriet voorbeeld van figuur-grond omkering.

De Gestalt wetten beschrijven op perceptueel niveau hoe discrete elementen als geheel (Gestalt) worden waargenomen. Bovendien tonen ze hoe de interpretatie van elementen afhangt van het geheel en dat het niet voldoende is de waarneming van gehelen (Gestalten, samengestelde stimuli) te verklaren door analyse van de afzonderlijke delen.

Fig. 9 Afhankelijk van de tussenruimtes kunnen de punten als kolommen (links)

of als rijen (midden) worden gezien. Als de verticale en horizontale tussenruimtes hetzelfde zijn kunnen de punten als rijen of kolommen worden gezien, maar nooit beide tegelijkertijd.

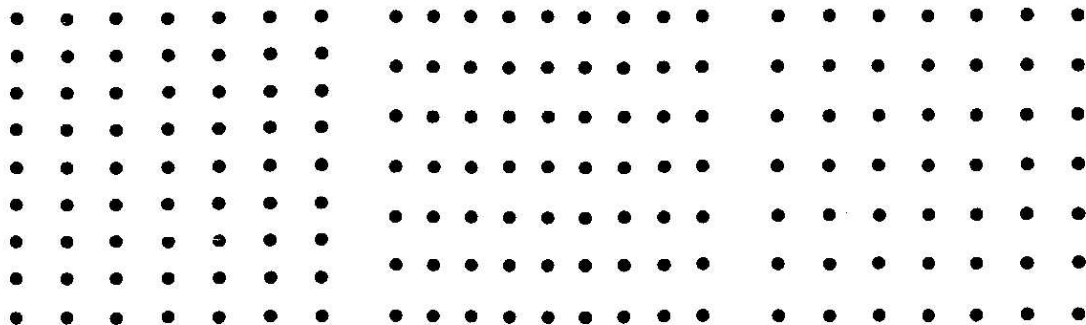


Fig. 9 Afhankelijk van de tussenruimtes kunnen de punten als kolommen (links) of als rijen (midden) worden gezien. Als de verticale en horizontale tussenruimtes hetzelfde zijn kunnen de punten als rijen of kolommen worden gezien, maar nooit beide tegelijkertijd.

Het verklaren van de waarneming van afzonderlijke zwarte puntjes op een witte achtergrond, levert geen inzicht in de Gestalt verschijnselen zoals in Fig. 9, nl. dat puntjes die dicht bij elkaar liggen eerder gegroepeerd, als kolommen of als rijen, worden gezien dan puntjes die verder uit elkaar liggen. Dit heet het principe van nabijheid ("proximity"). Andere principes zeggen dat het visuele systeem een voorkeur vertoont voor vloeiende opeenvolging van elementen (good continuation) en complete figuren (closure). Fig. 10 toont voorbeelden van deze principes. Te zamen worden deze wetten het *Pregnantie-principe* genoemd (Koffka, 1935) of de *Wetten van de Goede Figuur*. Wanneer een figuur in principe als verschillende gestalten kan worden gezien, ziet men altijd toch slechts 1 van deze interpretaties tegelijk. Een voorbeeld hiervan is de alom bekende projectie van een kubus-raamwerk op een plat vlak (de zgn. Necker kubus), een mooi voorbeeld van het idee dat bepaalde neuronale systemen niet tegelijkertijd dominant kunnen zijn.

Fig. 10 Voorbeelden van de *Wetten van de Goede Figuur*.

Stimuli die voldoen aan Gestalt principes worden beter waargenomen, herinnerd en herkend dan andere stimuli. Dit wordt *globale superioriteit* genoemd. De perceptie van een Gestalt kan worden aangeleerd en onthouden. Zo leert men gezichten, vormen of woorden, bestaande uit grote aantallen afzonderlijke stimuli, als geheel herkennen.

3.7.9 *Compatibiliteit*

Onder het begrip compatibiliteit wordt een aantal principes en fenomenen gevat die alle gemeen hebben dat verwerkingsoperaties soms goed op elkaar aansluiten en soms niet. Vaak zijn compatibiliteitsverschijnselen universeel, d.w.z. dat ze van nature altijd en overal gelden. Soms zijn ze echter ook aangeleerd en cultuurgebonden.

S-R compatibiliteit

Een koppeling tussen input en output (stimulus en respons) wordt compatibel genoemd naarmate minder transformaties uitgevoerd dienen te worden om tot de respons te komen. De stimulus en de bijbehorende respons passen als het ware het best bij elkaar. De ruimtelijke ordening van motor-instrumenten komt in cockpits bijna altijd overeen met die van de

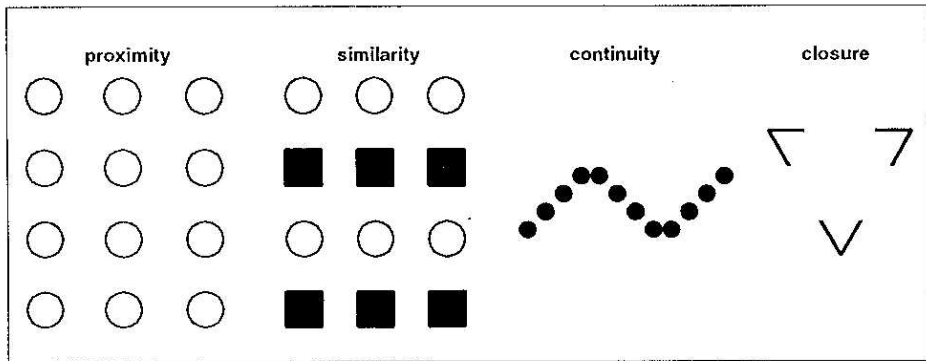


Fig. 10 Voorbeelden van de *Wetten van de Goede Figuur*.

relevante bedieningsmiddelen. Als een hendel naar voren wordt bewogen verwacht men dat de meterindicatie een overeenkomstige beweging uitvoert.

Ideomotorische compatibiliteit

In sommige gevallen zit de output als het ware al in de input verborgen. Deze—in feite een zeer krachtige vorm van S-R compatibiliteit—heet ideomotorische compatibiliteit. Als taken ideomotorisch compatibel zijn, correspondeert de perceptuele informatie al met de vereiste actie. Bijvoorbeeld een auditieve boodschap nazeggen, of een stuurhendel in een richting bewegen waarin deze vanuit zichzelf al beweegt. Door de integratie van stimulus en respons worden stappen in de informatieverwerking geëlimineerd, waardoor de taak minder belastend wordt en er sneller en adequater kan worden gehandeld.

S-C compatibiliteit

Stimulus-central processing compatibiliteit (S-C compatibiliteit), heeft betrekking op de relatie tussen informatiepresentatie en centrale informatieverwerking. De vorm waarin de informatie wordt aangeboden kan goed of minder goed aansluiten op de wijze waarin de informatie centraal moet worden verwerkt. Taken met een spatiaal karakter (navigeren, tracking taken) kunnen het beste worden uitgevoerd met een visuele, analoge informatiepresentatie. Evenzo kunnen taken met een verbaal-digitaal karakter het beste uitgevoerd met een auditieve presentatiewijze.

Andere compatibiliteit combinaties

De bovenstaande vormen van compatibiliteit leveren in andere combinaties weer nieuwe varianten op, zoals *central-processing-respons* compatibiliteit (C-R, bij een ruimtelijk taak hoort een manuele respons) of *respons-feedback* compatibiliteit (R-F, intensiteit van terugkoppeling, bijvoorbeeld de luidheid van een toon, neemt toe met de grootte van de fout) of *feedback-stimulus* compatibiliteit (F-S, de direct volgende stimulus is de feedback, zoals in continue regeltaken). Daarmee is de cirkel stimulus-verwerking-respons-feedback-stimulus rond.

Proximity compatibiliteit

Dit principe is nauw verwant aan de integratie- en separatie-principes. Dit principe houdt in dat verschillende bronnen van informatie fysiek (ruimte, tijd) bij elkaar dienen te worden gepresenteerd als ze ook mentaal moeten worden gecombineerd of geïntegreerd. Wanneer dat laatste niet het geval is dienen de informatiebronnen juist gescheiden te blijven. Proximiteit kan in termen van ruimte en tijd, maar ook in termen van andere stimulus attributen worden gedefinieerd, b.v. het vormen van een Gestalt of in termen van kleur (Barnett, Goettl, Kramer & Wickens, 1986; Garner, 1970; Garner & Felfoldy, 1970).

S-R stereotiepen

Als groepen mensen bepaalde stimulus-respons relaties op grond van hun cultuur gewend zijn spreekt men van stimulus-respons stereotypen. Een bekend voorbeeld hiervan is als men komende van het vasteland van Europa in Engeland in de problemen raakt bij het oversteken van straten omdat men gewend is om links-rechts-links uit te kijken in plaats van andersom.

3.7.10 *Compatibiliteit en interferentie*

Zowel in selectieve- als in verdeelde aandachtstaken zullen interferentie effecten bepaald worden door de mate van compatibiliteit (alle hierboven besproken typen) tussen stimuli, verwerkingsoperaties en handelingen.

In selectieve aandachtstaken veroorzaken irrelevante stimuli sterke interferentie als ze compatibel zijn met de klasse van vereiste verwerkingsoperaties of reacties. Als distractors bijvoorbeeld uit geschreven of gesproken woorden bestaan, terwijl er vocaal moet worden gerespondeerd dan zullen deze distractors veel storender zijn dan wanneer er bijvoorbeeld handmatig moet worden gestuurd.

Op dezelfde manier zal bij dubbeltaken interferentie moeilijk te vermijden zijn als stimuli of verwerkingsoperaties van de ene taak compatibel zijn met het vereiste soort handelingen van de andere taak. Als bijvoorbeeld een dubbeltaak bestaat uit sturen op basis van verbale instructies en verbaal antwoord geven op basis van ruimtelijke stimuli, dan zal de interferentie groter zijn dan bij een combinatie van een stuurtaak op basis van visueel-ruimtelijke stimuli en een verbale communicatietaak.

3.7.11 *Integratie*

Integratie van taken of vaardigheden is een vrij nieuw, en veelal nog slecht-begrepen, begrip. Het heeft betrekking op het gecombineerd uitvoeren van taken op basis van de *samenhang* die er tussen de taken bestaat. Deze samenhang kan betrekking hebben op stimuli, verwerkingsoperaties, handelingen of taakdoelen. Het verwerken van samenhangende informatie wordt bevorderd door nabijheid in ruimte en tijd (*Proximity*, b.v., Barnett & Wickens, 1988). In de vorige paragraaf werd gesteld dat het aanbeveling verdient om verschillende resources te gebruiken voor verschillende taken. In dit gedeelte zal een uitzondering op deze regel worden besproken. Het integratie-principe stelt dat gemeenschappelijke in plaats van verschillende resources moeten worden gebruikt indien de respons van verschillende stimuli afhangt. Daarbij is het voordelig als de verschillende relevante stimulus variabelen, zoals hoogte, snelheid en bewegingsrichting van een object, als geïntegreerd onderdeel van dit object waarneembaar zijn en dus niet als apart gepresenteerde dimensies. In het verlengde hiervan zal een luchtverkeersleider de dimensies van de verschillende vliegtuigen per vliegtuig bij elkaar en op één scherm willen zien omdat zijn respons van de relatie tussen de verschillende dimensies afhangt. Het principe van taakintegratie betekent ook dat wij informatie afkomstig van verschillende bronnen makkelijk simultaan kunnen verwerken, zolang deze informatie samenhang vertoont, bijvoorbeeld kijken naar de mondbewegingen van iemand die spreekt. Een ander voorbeeld van taakintegratie is dat het niet moeilijk is hardop te lezen ofschoon er daarbij een lees-sprek pauze van enkele seconden overbrugd moet worden. Dit komt doordat de te lezen en de uit te spreken woorden hetzelfde zijn. De deeltaken hebben gemeenschappelijke kenmerken. Met andere woorden: een deel van de informatie is relevant voor beide taken.

Op basis van integratie kunnen complexe dubbeltaken steeds meer als een enkeltaak worden ervaren (b.v. hardop lezen). Het principe van integratie stelt ook dat een volledig geïntegreerde dubbeltaak in feite een enkeltaak is geworden. Het vermogen tot integratie staat daarmee aan de basis van het grote verwerkingspotentieel van mensen, mits er voldoende training plaatsvindt.

Voor het ontwerp van interfaces geldt als eenvoudige algemene richtlijn dat taakelementen die in samenhang kunnen of moeten worden verwerkt, ook zoveel mogelijk geïntegreerd of in combinatie moeten worden aangeboden. Als operators verschillende samenhangende variabelen moeten combineren om tot een beslissing te komen, zouden displays die deze stimuli geïntegreerd aanbieden, bijvoorbeeld als dimensies van een object (kleur, positie, oriëntatie) de voorkeur kunnen verdienen (Carswell & Wickens, 1985). Op zijn minst zullen displays die betrekking hebben op samenhangende taakelementen in tijd en ruimte bij elkaar moeten worden gebracht.

3.7.12 *Redundantie*

Samenhangende informatie kan niet alleen goed worden geïntegreerd tot behapbare eenheden waarmee beperkingen die voortvloeien uit het moeten organiseren van afzonderlijke verwerkingsoperaties verdwijnen; het kan taakprestaties ook verbeteren doordat informatie overvloedig of *redundant* wordt gepresenteerd. Dit houdt in dat informatie zelfs sneller en makkelijker verwerkt kan worden als het tegelijkertijd op verschillende manieren, bijvoorbeeld auditief en visueel, wordt gepresenteerd of wanneer het begeleid wordt door veel extra contextuele informatie, zoals bijvoorbeeld in taal: *Dez booschp is og seed redlijk e berijpn al we ider viede lte wegate*. Recent onderzoek in de part-task vluchtsimulator van TNO-TM heeft aangetoond dat het opsporen van een bewegende target sneller en makkelijker gaat als naast visueel gepresenteerde radar informatie over de ruimtelijke positie van het doel ook auditieve informatie hierover wordt aangeboden via een 3D auditief display (Veltman, van Breda & Bronkhorst, 1994). Zowel taakintegratie als redundantie wijzen erop dat overbelasting niet zozeer gevolg is van het moeten verwerken van te veel informatie-elementen, maar veel meer veroorzaakt wordt door een gebrek aan samenhang tussen de elementen. Als een taak of stimulus-configuratie weinig interne samenhang vertoont moeten de afzonderlijke cues en taakelementen afzonderlijk worden afgehandeld. De uitspraak: "toestel twee-vier-drie" wordt daardoor veel eerder misverstaan dan "toestel tweehonderddrieënveertig".

3.7.13 *Taak segregatie*

Integratie en winst uit redundantie is alleen mogelijk voorzover taakvariabelen samenhang vertonen. Dat is lang niet altijd het geval. Als taken niet samenhangen moeten ze zoveel mogelijk apart, zonder wederzijdse beïnvloeding, worden uitgevoerd. Hoe beter ze gescheiden kunnen worden, des te minder interferentie er zal optreden. Zoals eerder gesteld, is het zenuwstelsel niet goed in het uit elkaar te houden van processen. Capaciteitsbeperkingen treden dan ook altijd op voorzover er geen samenhang tussen simultane deeltaken bestaat, en deeltaken dus apart moeten worden uitgevoerd (Korteling, 1994). In dat geval wordt de taakprestatie bepaald door de mate waarin het subject erin slaagt de taakelementen gescheiden te houden. Dit kan worden bemoeilijkt doordat de taken oppervlakkig op elkaar lijken, in tijd of ruimte dicht bij elkaar liggen, of wanneer dezelfde elementen in verschillende deeltaken

een verschillende rol vervullen. Er bestaan in dat geval overeenkomsten tussen deeltaken of tussen relevante en irrelevante stimuli die het scheiden ervan bemoeilijken. Reacties die behoren bij de ene taak worden in dat geval geactiveerd door stimuli van de andere taak. Hoe meer een dubbeltaak gekenmerkt wordt door dit soort *incoherente overeenkomsten* (Korteling, 1994), des te moeilijker wordt het de deeltaken gescheiden en simultaan uit te voeren. Luchtverkeersleiders, die verschillende vluchten tegelijkertijd in de gaten moeten houden, hebben in sterke mate te maken met segregatie problemen. Hoe beter het lukt om op alle niveaus en modaliteiten van informatieverwerking deze vluchten gescheiden te houden, bijvoorbeeld door auditieve boodschappen 3-dimensionaal (spatiële segregatie) en in overeenstemming met de positie van het bijbehorende toestel op het display aan te bieden (stimulus integratie), des te beter deze complexe taak zal kunnen worden uitgevoerd.

Een vrij simpele richtlijn voor het ontwerp van interfaces die uit het bovenstaande voortvloeit is dat stimuli die apart moeten worden verwerkt op verschillende dimensies onderscheiden moeten worden aangeboden. Voorts geldt dat taken die een sterk beroep doen op visuo-spatiële verwerkingsoperaties beter gecombineerd kunnen worden met verbale taken dan met visuele neventaken, terwijl taken die een zwaar beroep doen op het verwerken en onthouden van verbale informatie zo weinig mogelijk te lijden moeten hebben van taken waarbij verbale communicatie (spreken, luisteren) een rol speelt.

Semantische betekenissen van stimuli spelen zowel bij het separaat als bij het geïntegreerd verwerken ervan een grote rol. Ruimtelijke nabijheid wil daarom nog niet zeggen dat stimuli samen worden verwerkt (b.v. Neisser & Becklen, 1975) toonden aan dat mensen goed in staat waren over elkaar geprojecteerde videobeelden selectief waar te nemen als de videobeelden betekenisvolle informatie vertoonden zoals een sportwedstrijd.

3.7.14 *Twee visuele waarnemingsmodaliteiten*

Ten aanzien van de visuele waarneming worden vaak twee psychologische modaliteiten onderscheiden: de focale en de ambiënte modaliteit³ (Leibowitz & Owens, 1977; Leibowitz & Post, 1982).

Focale modaliteit

De focale modaliteit heeft betrekking op de onderscheiding en identificatie van stimuli (de "wat?" vraag). Focale waarneming is het meest gevoelig voor hoge spatiële frequenties (details, >15 cycli/graad) en is optimaal in het centrale blikveld. Dit betekent tevens dat het systeem minder functioneert bij lage luminantie (helderheid) en bij refractie-fouten. Focale waarneming vindt hoofdzakelijk bewust, via corticale processen plaats. Focale waarneming is waarschijnlijk van groot belang bij de hogere niveaus van vliegkunst (F-16 vliegen), als bijvoorbeeld al op grote afstand op kleine veranderingen in het terrein moet worden geanticipeerd. Ook is de focale modaliteit belangrijk voor het lezen van displays of het herkennen van vijanden. Focale waarneming speelt vooral een rol bij de waarneming van de omgeving op grotere afstanden, waarbij elementen in de omgeving nog maar zeer klein zijn.

³ Deze functies kunnen behalve op psychologisch niveau ook fysiologisch/anatomisch worden onderscheiden. Focale waarneming wordt verzorgd door het parvocellulaire deel van het geniculo-striate systeem. Ambiënte waarneming wordt verzorgd door het magnocellulaire deel van het geniculo-striate systeem en het tecto-pulvinare systeem (b.v. Livingstone & Hubel, 1988).

Ambiënte modaliteit

De ambiënte modaliteit heeft betrekking op stimulussignalering (detectie), ruimtelijke oriëntatie en bewegingszien via de periferie van het netvlies (de "waar?" vraag). Ambiënte waarneming verschaft het referentiekader van de waarnemer in zijn omgeving. Het stuurt daarbij de focale waarneming met betrekking tot een nadere inspectie van details. Het oplossend vermogen van ambiënte waarneming is laag (de effectieve stimuli zijn grof, <15 cycli/graad) maar het systeem is minder beïnvloedbaar door lage luminantie, contrastratio en resolutie (b.v. Leibowitz & Owens, 1977). Het belang van stimulussignalering bij vliegen ligt vooral in het perifeer opmerken van dreigend gevaar, zoals het plotseling opdoemen van een vijandelijk toestel. Ruimtelijke oriëntatie heeft betrekking op het bepalen van de positie (afstand, richting) van elementen, zowel ten opzichte van elkaar als ten opzichte van de waarnemer en bewegingszien, waarbij zelfbeweging en objectbeweging worden onderscheiden. Waarneming van zelfbeweging via de ambiënte modaliteit van het visuele systeem is vooral belangrijk ten aanzien van *steady state* bewegingen en laagfrequente (<0.5 Hz) veranderingen daarin (Rolfe & Staples, 1986). Hoogfrequenter zelfbeweging wordt primair door het vestibulaire en het haptische systeem verzorgd.

Omdat focaal en ambiënt zien afhankelijk zijn van duidelijk verschillende onderliggende neurobiologische mechanismen zijn beide functies meestal goed simultaan te gebruiken, b.v. door een gang lopen terwijl je leest.

3.8 Conclusies

De werklast van een gevechtsvlieger kan worden beperkt door bij het ontwerp van de mens-machine interface gebruik te maken van de hier gepresenteerde modellen en algemene human-factors principes van de menselijke informatieverwerking. Het verdient dus aanbeveling om de informatiepresentatie ten behoeve van de taakuitvoering door de vlieger zodanig in te richten dat optimaal gebruik wordt gemaakt van deze principes. Het aantal verwerkingsoperaties dient geminimaliseerd te worden door gebruik te maken van de verschillende vormen van compatibiliteit, zoals die tussen stimulus en respons of tussen stimulus en centrale verwerkingsoperatie. Daarnaast moet maximaal geprofiteerd worden van het menselijke vermogen tot patroonherkenning (Gestalt), chunking, integratie, globale ordening, anticipatie, selectie, contextgebruik, redundantie en het ontwikkelen van schema's die deze processen sturen en moduleren. Dit wordt bevorderd door taken op een consistente en compatibele wijze in ruimte en tijd en in andere psychofysische dimensies (hoofdstuk 2) te configureren. Informatie van samenhangende taken dient daarbij zoveel mogelijk met behulp van deze dimensies geïntegreerd te worden aangeboden. Niet-samenhangende variabelen dienen duidelijk te worden gescheiden. In de volgende twee hoofdstukken zal op deze principes nader worden ingegaan, eerst vanuit de verschillende hoofdfuncties van de vliegtuik (hoofdstuk 4) en vervolgens in relatie tot de nieuwe (technologische) ontwikkelingen met betrekking tot informatiepresentatie in de cockpit (hoofdstuk 5).

4 INFORMATIEPRESENTATIE IN RELATIE TOT VliegTAKEN

4.1 Inleiding

In hoofdstuk 3 werden de huidige modellen en human-factors principes van menselijke informatieverwerking m.b.t. de uitvoering van complexe en getrainde taken in kaart gebracht. Op grond hiervan werd een aantal algemene verwerkingsprincipes behandeld die aanknopingspunten geven voor het optimaliseren van informatiepresentatie in mens-machine interfaces. In dit hoofdstuk zullen de verschillende functies in de cockpit in relatie worden gebracht met de in hoofdstuk 3 genoemde informatieverwerkingsprincipes. Hierbij is aangenomen dat aan de ergonomische basis-eisen die in hoofdstuk 2 werden geformuleerd is voldaan.

De vlieger moet met behulp van zijn boordsystemen een zestal hoofdtaken vervullen om een bepaalde missie te volbrengen (Hollister, 1986):

- *Flight*, waarbij de vliegvector van het vliegtuig wordt bestuurd. De functie omvat die handelingen die van belang zijn om te kunnen vliegen. Het is een vliegvector omdat het per definitie de resultante is van de krachten in de x-, de y- en de z-as.
- *Navigation*, waarbij de gewenste richting en grootte van de vector wordt bepaald. Het is deze functie die er voor zorgt dat het vliegtuig op die plaatsen komt, waar het als uitvoerend systeem de feitelijke taak die het heeft, kan verrichten. De regels en randvoorwaarden, zoals die door de andere functies (3 t/m 6) worden aangegeven, zijn hierbij mede bepalend voor het profiel van de vector.
- *Communication*, waarmee de "Navigation"-functie wordt ondersteund. Dit omvat o.a. de verstrekking van informatie en hulp om de vlucht op een juiste manier te volbrengen.
- *System monitoring*, waarmee de "Navigation"-functie wordt voorzien van limieten en randvoorwaarden waarbinnen het vliegtuig mag opereren. Een voorbeeld: met volle wing-tanks mag een F-16 nog geen maximale G-krachten opbouwen, dit kan pas nadat de hoeveelheid brandstof—afhankelijk van het soort tanks dat wordt gebruikt—onder een bepaalde waarde is gekomen.
- *Combat management*, welke de "Navigation"-functie met mogelijke wijzen van optreden tegen geselecteerde doelen ondersteunt. In geval van een onverwacht doel (een zgn. Target of Opportunity) zal er ook een directe koppeling met "Flight"-functie kunnen of moeten worden gemaakt (afhankelijk van de prioriteit van de primaire taakstelling).
- *Threat management*, waarmee de "Navigation"-functie van te vermijden gebieden wordt voorzien. Ook hier is er een directe verbinding met de "Flight"-functie om te kunnen reageren op onverwachte dreigingen die het hoofd moeten worden geboden.

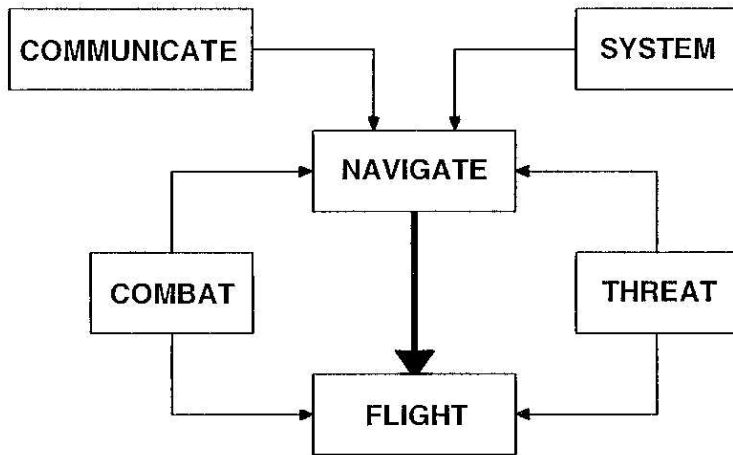


Fig. 11 De voorgestelde hiërarchische structuur van het gevechtsvliegen.

Fig. 11 De voorgestelde hiërarchische structuur van het gevechtsvliegen.

Van al deze taken wordt *flight* als de meest basale en kritische beschouwd. Hoe belangrijk andere taken ook kunnen zijn, indien een vlieger het vliegtuig niet in de lucht kan houden, houdt letterlijk alles op. Uit Fig. 11 blijkt ook dat *flight* samen met *navigation* een spil-functie vervullen. *Combat management* en *Threat management* zijn in hoge mate afhankelijk van een effectieve uitvoering van *Flight*. Immers, om een doel aan te kunnen vallen moet de vlieger een zeer nauwkeurige aanvliegeroute bepalen en uitvoeren de vlieger moet daarnaast zodanig vliegen dat de kwetsbaarheid van het vliegtuig voor luchtafweer wordt geminimaliseerd.

Deze functies zullen grotendeels worden beschreven aan de hand van voorbeelden uit een hedendaags gevechtsvliegtuig, de F-16 (BLOCK 15, General Dynamics). Ook zullen voorbeelden van recent onderzoek uit de literatuur worden belicht als op basis van de theorie verwacht wordt dat zij de werklast van de vlieger kunnen verlichten.

4.2 Flight

Zoals hiervoor werd opgemerkt geldt *flight* als de basisfunctie voor de andere functies. Bij de F-16 wordt *flight* informatie met de volgende instrumenten gepresenteerd (General Dynamics, 1989a):

- luchtsnelheidsmeter/"mach"-meter
- klok
- magnetisch kompas
- hoogtemeter
- kunstmatige horizon/attitude indicator
- verticale snelheidsmeter.

Deze gegevens (behalve de klok) worden ook in de HUD (§ 5.3.2) geprojecteerd en in het algemeen zal de vlieger de HUD gebruiken onder normale vliegomstandigheden, omdat hij daarbij zijn ogen op de omgeving gericht kan houden. Naast de bovengenoemde gegevens

wordt ook de "Flight Path Marker" (FPM) in de HUD geprojecteerd en met name deze indicatie is zeer behulpzaam. De FPM geeft de richting van de vliegvector aan. De grootte van de vliegvector wordt gegeven door de luchtsnelheidsmeter, die op de linker verticale schaal in de HUD wordt geprojecteerd. Met de FPM en de luchtsnelheid is de vliegvector bepaald. Als referentie worden dan de stand ten opzichte van de aarde, de richting ten opzichte van het noorden en de hoogte gebruikt. Deze worden respectievelijk geprojecteerd als aan de horizon evenwijdige lijnen, een horizontale kompasschaal boven of onderin de HUD en een verticale schaal aan de rechterkant van de HUD. De gewenste referentiewaarden worden door de *navigation* functie geleverd.

Het besturen van de vliegvector is een ruimtelijke taak, waarvoor, op grond van S-C compatibiliteit, visueel-analoge informatiepresentatie het meest geschikt is. In de moderne cockpit is dat inderdaad het geval. Voorts is de taak *skill-based* met een kritische tijdsfactor en duidelijk zichtbare signalen, op basis waarvan men eventueel moet kunnen anticiperen. *Flight* wordt gekenmerkt door doelgerichte responsies en bestaat in het algemeen uit vloeiende, goed op elkaar afgestemde, vaak ingewikkelde verrichtingen die, na voldoende training, geen aandacht van de operator vergen. De vliegers die eenmaal op een F-16 vliegen zijn zeer uitvoerig getraind in het gebruik van de *flight* instrumenten door hun eerdere trainingsvluchten op lesvliegtuigen. Bovendien is er in het algemeen sprake van "consistent mapping". Praktisch elk vliegtuig heeft bovengenoemde instrumenten (behalve de HUD) in een vrij vaste configuratie, de zgn. *Basic T* (Fig. 12, zie ook § 5.2). De toevoeging van een HUD maakt in het algemeen het uitvoeren van de "flight" functie alleen maar eenvoudiger omdat focale display-informatie goed simultaan met de ambiënte informatie over de buitenwereld kan worden waargenomen. Omdat deze informatie sterk samenhangt, en dus covarieert, gelden hierbij tevens de integratie- en redundantie principes. Tot slot wordt *flight* prestatie van getrainde vliegers bevorderd door de hoge mate van samenhang, of correlatie, tussen de verschillende *flight* informatiebronnen/displays, bijvoorbeeld tussen de hoogtemeter, de verticale snelheidsmeter, de snelheidsmeter en de attitude indicator. Het totale geïntegreerde *patroon* van deze indicaties geeft direct informatie over wat er gebeurt. Voor getrainde vliegers vormt deze samenhang de basis voor een effectieve informatieverwerking (zie hoofdstuk 3).

Fig. 12 Geschematiseerde weergave van de *Basic T*.

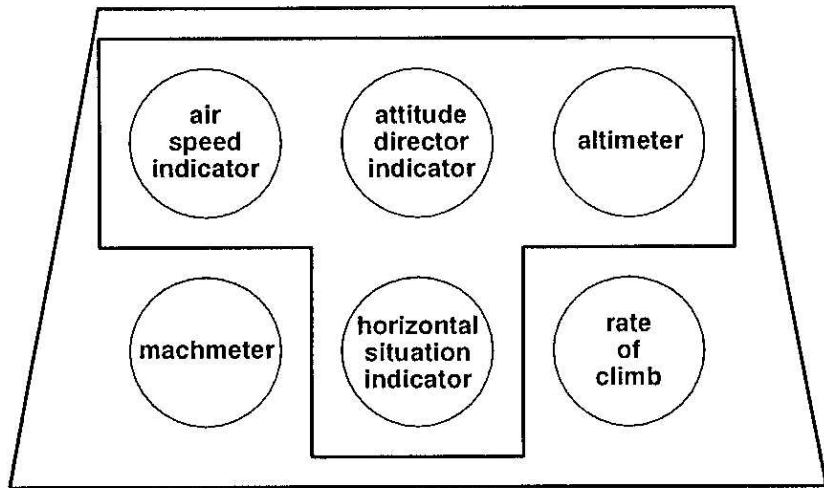


Fig. 12 Geschematiseerde weergave van de *Basic T*.

Op grond van het bovenstaande kan geconcludeerd worden dat de *flight* functie qua werklast in het algemeen geen problemen zal leveren. Toch zijn in de literatuur, behalve de HUD nog andere informatiepresentatie-principes aan te wijzen waarvan men verwacht dat deze zullen leiden tot een efficiëntere informatieverwerking, en daarmee mogelijk minder interferentie van *flight*-functies met de overige functies zal opleveren.

Frequency separation

Voor vliegtaken speelt, vanwege de drie-dimensionale ruimte, de spatiële informatieverwerking een belangrijke rol. In hoofdstuk 3 is deze besproken en daarbij werd tevens de kunstmatige horizon besproken. Hierbij werd opgemerkt dat op grond van de theorie een kunstmatige horizon met *Frequency separation* twee optimalisatieprincipes zouden kunnen worden gecombineerd. Hierbij worden snelle veranderingen in de stand van het vliegtuig getoond door een beweging van het vliegtuigsymbool (outside-in, het bewegende onderdeel) waarna de horizon en het vliegtuig langzaam bewegen naar de stand van een normale kunstmatige horizon (inside-out, oogpunt van de operator). Dit is in overeenstemming met het principe van compatibiliteit met het bewegende onderdeel (voor snelle bewegingen) en met het principe van compatibiliteit met het oogpunt van de operator (voor trage bewegingscomponenten). Er dient een duidelijk differentiatie-mechanisme te worden toegepast om verwarring te minimaliseren. *Frequency separation* geeft mogelijk minder kans op *reversals* (waarbij de beweging door de vlieger als omgekeerd wordt ervaren) zou geven.

Command displays en predictie

De conventionele flight displays behoren alle tot de groep van *kwantitatieve status displays*, die kwantitatieve informatie geven over de huidige toestand van het vliegtuig. Om het gewenste vluchtprofiel te handhaven of te bereiken moet de vlieger zijn kennis omtrent deze toestand vertalen in een beslissing m.b.t. besturingshandelingen (Stokes & Wickens, 1988). Dit vereist extra cognitieve operaties. Mensen zijn niet goed zijn in het voorspellen van toekomstige uitkomsten van systemen, op basis van de op dat tijdstip aanwezige status informatie (Wickens, 1987). Daarom worden er steeds meer displays ontwikkeld die op basis van een computer algoritme (wiskundig systeem-model en huidige in- en uitvoerwaarden) helpen bij beslissingen omtrent de besturingshandelingen die op ieder moment nodig zijn (*command displays*). Deze zijn onder te verdelen in displays die een directe presentatie geven van afgeleiden van systeemtoestanden die moeilijk direct waarneembaar zijn (*quickening*, Kelley, 1968), of die voorspellen wat de systeemtoestand over een zekere tijd zal zijn en daar direct informatie over presenteren (*predictor displays*). In beide gevallen wordt het werkgeheugen van de vlieger, om op basis van aanwezige gegevens een toekomstige systeemuitkomst te voorspellen, ontlast en wordt het nemen van beslissingen over besturingshandelingen vereenvoudigd. Behalve systeemtoestanden kunnen predictor displays ook op basis van metingen op afstand toekomstige omgevingsparameters van te voren aankondigen, zoals in het voorbeeld van een *Wind Shear Alert* en in het geval van een weerradar. Voorwaarde van het gebruik van command displays is dat voorspellingen nauwkeurig dienen te zijn. Aangezien de nauwkeurigheid afneemt met de tijd zal een

ontwerper een tijdspanne moeten kiezen waarbij de nauwkeurigheid nog zodanig is dat het voor de taakuitvoering effectief is. Fig. 13 toont een predictor display met voorspeller zoals gebruikt door Jensen (1981). Hierbij is de kunstmatige horizon vervangen door een zogenaamde *contact analog display*.

Fig. 13 Een voorbeeld van een predictor display, het zgn. *contact analog display*

(naar Jensen, 1981).

Een *contact analog display* presenteert het beeld gezien vanuit het oogpunt van de vlieger in perspectief op een beeldschermvlak. Dit beeld bevat over het algemeen een grondvlak en een gewenst vluchtpad en eventueel ook obstakels. Het unieke van dit type beeldpresentatie is dat het beeld de wetten van geometrische perspectief en beweging volgt. Hierdoor wordt de informatie gecodeerd op een wijze die analoog is aan hetgeen de vlieger zou zien indien hij naar buiten zou (kunnen) kijken. Deze vorm van beeldpresentatie resulteert in superieure prestaties bij alle niveaus van werkbelasting (Dougherty, Emery & Curtin, 1964). Bij een *contact analog display* speelt ook de visuele proprioceptie die door de projectie van het vluchtpad wordt geleverd een belangrijke rol. Verticale en horizontale translaties kunnen direct en op een natuurlijke wijze worden opgemerkt. Daarnaast krijgt de vlieger informatie over de toekomstige te volgen baan (*preview*), waardoor hij kan anticiperen op in de toekomst benodigde stuuruitslagen.

Een versie waarbij een vliegtuig in formatie wordt geprojecteerd levert relatieve snelheidsinformatie en kan ook bepaalde handelingen zoals het uittrekken van het landingsgestel initiëren. Deze vorm van informatiecodering is veel natuurlijker dan de auditieve waarschuwingssignalen die in huidige vliegtuigen worden toegepast. Nadeel van een dergelijke presentatie is de noodzaak van een volledig van tevoren bekend en voorgeprogrammeerd vluchtpad.

Om de vliegtaak naar behoren te kunnen vervullen moeten er naast *flight*, als basisfunctie, altijd additionele taken worden uitgevoerd. Dit kan interferentie tussen deze functies opleveren. Daarom zullen in de volgende paragrafen de andere functies in relatie tot *flight* worden besproken.

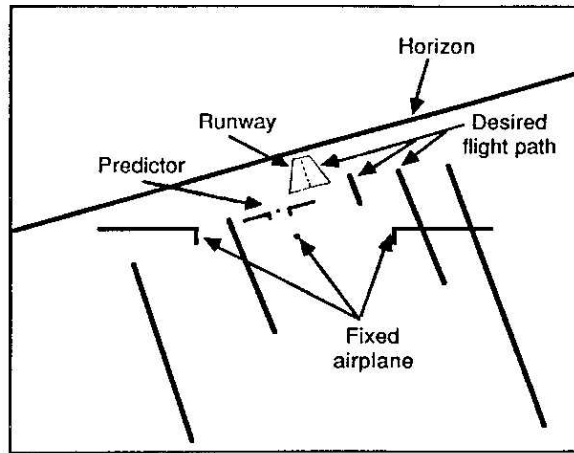


Fig. 13 Een voorbeeld van een predictor display, het zgn. *contact analog display* (naar Jensen, 1981).

4.3 Navigation

Doorgaans wordt vóór de vlucht al vastgesteld wat men gaat doen. De meest optimale route voor wat betreft richting, hoogte en snelheid wordt vastgesteld, waarbij er onder andere rekening moet worden gehouden met luchtwegen, verboden gebieden, dreigingsgebieden (*threat management*), doellocaties (*combat management*) en de maximale tijd—en dus ook afstand—die men kan vliegen (de zgn. "endurance"). Als wordt uitgegaan van een automatisch navigatiesysteem, dat continu de positie van het vliegtuig bijhoudt, dan houdt dat een koppeling in tussen de vluchtinstrumenten en de aangegeven gewenste route middels een computer. Dit navigatiesysteem voorziet de vlieger dan voortdurend van informatie over zijn feitelijke positie in relatie tot zijn gewenste positie. In de vooraf geprogrammeerde route wordt de werklast van de vlieger, voor wat betreft de *navigation*-functie, bepaald door het moeten volgen van de referentiewaarden op de vlucht-instrumenten en het controleren van de werking van de computer door de verkregen gegevens te controleren met informatie die hij uit andere bronnen verkrijgt (*cross-checks*). Wat deze andere bronnen betreft kan worden gedacht aan: de buitenomgeving (herkennen van routekenmerken, secundaire navigatiesystemen of andere gegevens die van buiten het vliegtuig komen (communicatie)). Als er zich geen bijzonderheden voordoen wordt hierbij voldaan aan de principes van S-C compatibiliteit en integratie. De werklast zal dus laag zijn. Fig. 14 toont de HUD van een F-16 in een navigatie mode die vrijwel de complete navigatie symbologie omvat (General Dynamics, 1989b).

Fig. 14 F-16 HUD in navigatie mode (General Dynamics, 1989b).

Op het moment dat automaten falen of in de vlucht nieuwe routes moeten worden bepaald, kan de werklast van de vlieger aanmerkelijk toenemen. Immers hij zal of de computer opnieuw moeten "programmeren" of hij zal met gebruik van zijn *horizontal situation indicator* (HSI) een alternatieve route moeten bepalen. Daarvoor moeten posities op de kaart en de

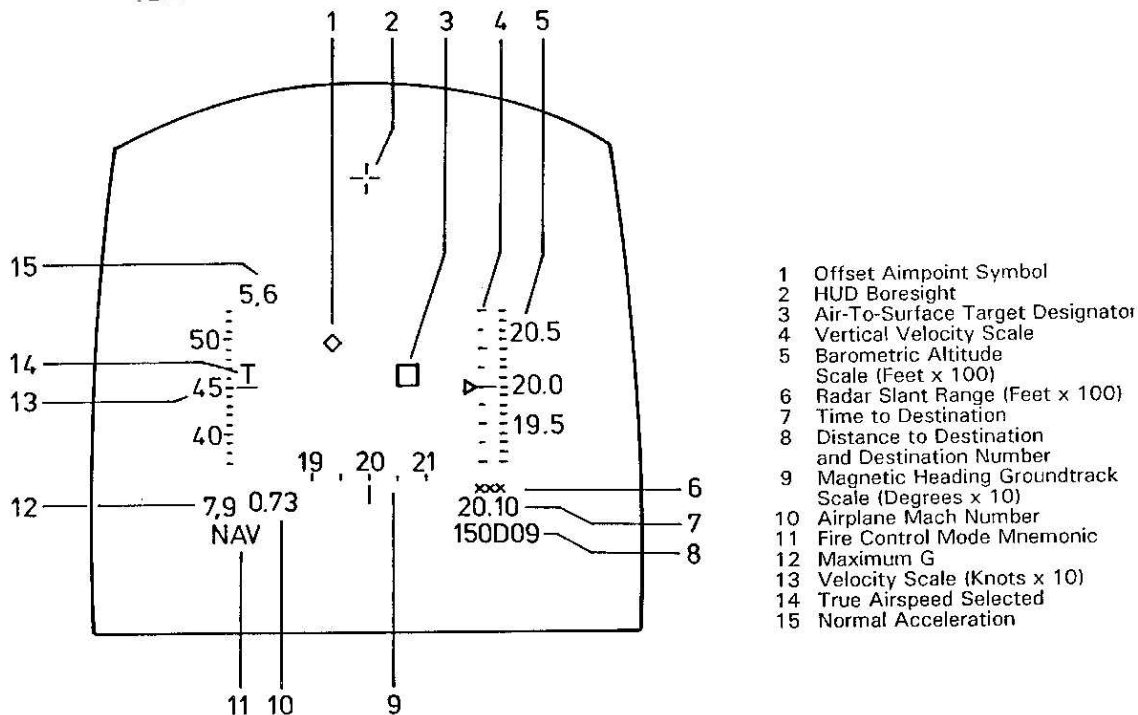


Fig. 14 F-16 HUD in navigatie mode (General Dynamics, 1989b).

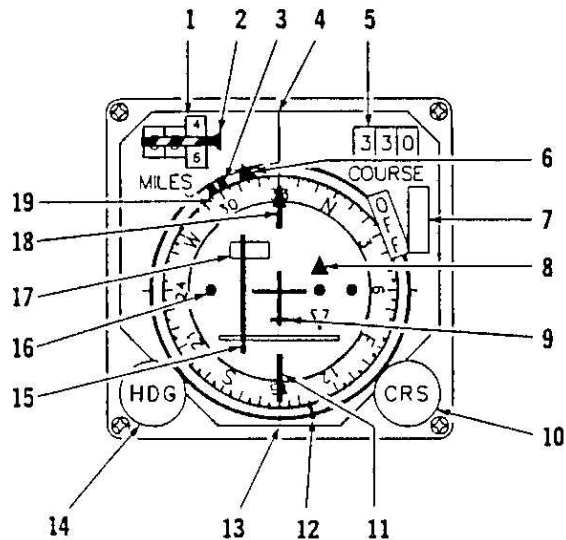
daarbij behorende coördinaten en/of frequenties worden opgezocht, afgelezen en ingetoetst. Gelijktijdig dienen dan visuele, spatiële, verbale en motorische verwerkingsoperaties te worden uitgevoerd. Omdat dit soort situaties oplossingen moeten worden gezocht voor algemene problemen (Knowledge-based, general purpose skills) kan er geen sprake zijn van een efficiënte (automatische) informatieverwerking, i.e., omdat missies niet altijd dezelfde routes of route-alternatieven hanteren, kan er slecht in beperkte mate sprake zijn van consistente stimulus-respons relaties. Dit betekent dat de taak op zich belastend is en dat de *navigation*-functie kan gaan interfereren met de *flight*-functie, met name vanwege de verschillen en beperkte samenhang in visuele inputs en ruimtelijke verwerkingsoperaties voor deze functies.

Fig. 15 HSI van de F-16 (General Dynamics, 1989a).

Een verhoogde flexibiliteit kan worden verkregen door gebruik te maken van elektronische kaarten, waarop een automaat de positie van het vliegtuig projecteert en waarop door middel van een cursor eventuele veranderingen door de vlieger kunnen worden aangegeven, waarna de veranderde referentiewaarden op de HUD worden geprojecteerd. Tegenwoordig is het mogelijk om met behulp van elektronische kaarten en automatische navigatiesystemen te voldoen aan de oogpunt-compatibiliteit via het *heading-up* principe terwijl met het gebruik van *frequency separation* tevens het vliegtuigsymbool kan worden voorgesteld als een bewegend onderdeel. Hierdoor wordt de taak eenvoudiger aangezien er gebruik wordt gemaakt van visuele modaliteit, spatiële informatieverwerking en een motorische respons (S-C en C-R compatibiliteit). Het is echter te verwachten dat de taak zal blijven interfereren met *flight*, aangezien er met verschillende displays moet worden gewerkt.

4.4 Communication

De *communication* functie voorziet tijdens de vlucht de *navigation* functie van toestemmingen, procedures en randvoorwaarden komende van buiten het vliegtuig. Dit gebeurt meestal via radiokanalen en kan als spraak of als data worden overgezonden. Bij de huidige F-16 geschiedt het grootste gedeelte van de communicatie via spraak (General Dynamics,



- 1 Range Indicator
- 2 Warning Flag-Range
- 3 Heading Reference Marker
- 4 Upper Lubber Line
- 5 Course Selector Window
- 6 Bearing Pointer
- 7 OFF Warning Flag-HSI Power
- 8 TO-FROM Indicator
- 9 Miniature Aircraft
- 10 CRS Set Knob
- 11 Course Arrow Tail
- 12 Bearing Pointer Tail
- 13 Lower Lubber Line
- 14 HDG Set Knob
- 15 Course Deviation Indicator
- 16 Course Deviation Scale
- 17 Warning Flag-Course Deviation
- 18 Course Arrow
- 19 Compass Card

Fig. 15 HSI van de F-16 (General Dynamics, 1989a).

1989a). Deze functie is daarmee gebaseerd op auditieve, verbale en vocale informatieverwerking en is daarmee gebaseerd op andere verwerkingsmechanismen dan *flight*. Daardoor zal *communication* onder normale omstandigheden niet snel met *flight* interfereren. Aangezien gebruik wordt gemaakt van standaard terminologie en procedures voldoet deze functie ook aan de consistentie-eis en kan, wat betreft het herkennen van de informatie, en mits hierop voldoende getraind is "automatisch" plaatsvinden. Dit geldt indien gebruik wordt gemaakt van voorgeprogrammeerde kanalen en frequenties en indien het verbale informatie betreft. De verwerking van de auditief-verbale informatie grijpt meestal aan op de *navigation* functie en zal hier ook veel samenhang mee vertonen. Op grond hiervan genereert de *navigation* context geschikte schema's om de verbale informatie te interpreteren. Aan de andere kant genereert *communication* informatie (b.v. nieuwe randvoorwaarden of instructies) waarmee de *navigation* werklast aanzienlijk kan worden verhoogd.

Indien spatiële informatie wordt verzonden, zoals posities van vijandige doelen, is het beter deze informatie visueel-ruimtelijk aan te bieden in plaats van auditief-verbaal. Het Joint Target Information Distribution System (JTIDS) (Jaszka, 1989) toont dergelijke informatie dat door middel van "datalinks" naar het vliegtuig wordt gezonden en daar op een beeldscherm verschijnt. Ook hier grijpt de informatie direct aan op de *navigation* functie. De respons op dergelijke informatie wordt meestal met de hand uitgevoerd (toetsen op displays). De functie zal dan meer interfereren met *flight* omdat dit ook grotendeels met de hand wordt uitgevoerd. Ook hier kan door gebruik van consistente symbolen de informatie makkelijk worden herkend. Als het aantal doelen en dreigingen dat op het beeldscherm wordt getoond zeer groot is kan de verwerking van de informatie een hoge werklast teweegbrengen. In de paragrafen over *combat management* en *threat management* zal dit in meer detail worden besproken. Ontwerpers en gebruikers dienen te realiseren dat er gevaar schuilt in de toegenomen technische mogelijkheden om eindeloze stromen informatie over te zenden (Vigier, 1982; Myhre, 1988).

4.5 System monitoring

Een modern vliegtuig bestaat uit vele verschillende systemen, die in principe alle correct moeten functioneren. Hiertoe worden brandstofsysteem, koelingssystemen, hydraulische systemen, elektrische systemen enz. gerekend. Met de toename van systemen werd de bewaking ervan verder geautomatiseerd. Het attenderen van de vlieger bij afwijkende systeemtoestanden wordt hierdoor steeds belangrijker. Bij complexe vliegtuigen zoals in het voorbeeld van de F-16 loopt het aantal waarschuwingssystemen op tot enkele tientallen. Waarschuwingssystemen tonen in de regel een binaire toestand. De situatie is veilig of onveilig, aan of uit, etc. Een ideaal waarschuwingssysteem voldoet aan vier eisen (Van Cott & Kinkade, 1972):

- het trekt de aandacht van zowel de drukbezette als de zich vervelende vlieger;
- het vertelt de vlieger wat er mis is en wat er aan gedaan moet worden;
- het verhindert niet het kunnen richten van de aandacht op andere systemen;
- het is betrouwbaar en geeft geen valse waarschuwingen af.

Omdat er in de cockpit over het algemeen op de centrale plek in de cockpit te weinig plaats is voor een hele serie, duidelijk afleesbare waarschuwingslampjes op die locatie, wordt er veelal gewerkt met een zgn. *master-caution*, een waarschuwingslampje om de aandacht te trekken als er iets niet in orde is. Een nadere verwijzing naar wat er aan de hand is wordt elders geplaatst.

De intensiteit van het master-caution signaal moet zodanig zijn dat het in alle omstandigheden te zien is en toch de vlieger niet verblindt. Een veel gebruikte manier om dit tot stand te brengen is het koppelen van de intensiteit aan de regeling van de binnenverlichting. Naast de intensiteit is ook de knipper-frequentie van een waarschuwingslampje bepalend voor de effectiviteit (Sanders & McCormick, 1987). Bij kritische waarschuwingen laat men het betreffende lampje knipperen met een frequentie van 4 Hz, waarbij het "aan"-interval gelijk is aan het "uit"-interval. Voor zeer ernstige storingen: bijvoorbeeld motorbrand, te lage hoogte of een verkeerde landingsconfiguratie zijn doorgaans aparte specifieke "WARNING" lichten en/of geluidssignalen die de vlieger onafhankelijk van het master-caution en het bijbehorende waarschuwingspaneel een signaal geven. Een bekend voorbeeld is de auditieve waarschuwing door het *Ground Proximity Warning System* (GPWS), waarin een indringende "stem" de boodschap: "WHOO, WHOO, PULL UP WHOO, WHOO, PULL UP ..." voortdurend laat horen, net zolang tot de vlieger òf hoogte en/of snelheid wint òf "landingsgestel omlaag" selecteert.

Er komen vele presentatievormen van systeeminformatie voor: kwalitatieve en kwantitatieve meters, analoge en digitale weergaven van limieten die men niet mag overschrijden, waarschuwingslampjes, pictogrammen, presentaties van (alfanumerieke) waarden. Eén manier waarop de veelheid aan systeeminformatie overzichtelijk op een bewakingspaneel kan worden gepresenteerd is het zodanig aanpassen van de schalen rond de meters dat in een "normal operating range" de wijzers te zamen een eenvoudig patroon vormen (open design). Dit kan eventueel nog worden versterkt d.m.v. lijnen in het verlengde van wijzers in hun normale positie, zodat afwijkingen nog duidelijker worden (Dashevsky, 1964). Een aantal voorbeelden hiervan wordt in Fig. 16 getoond.

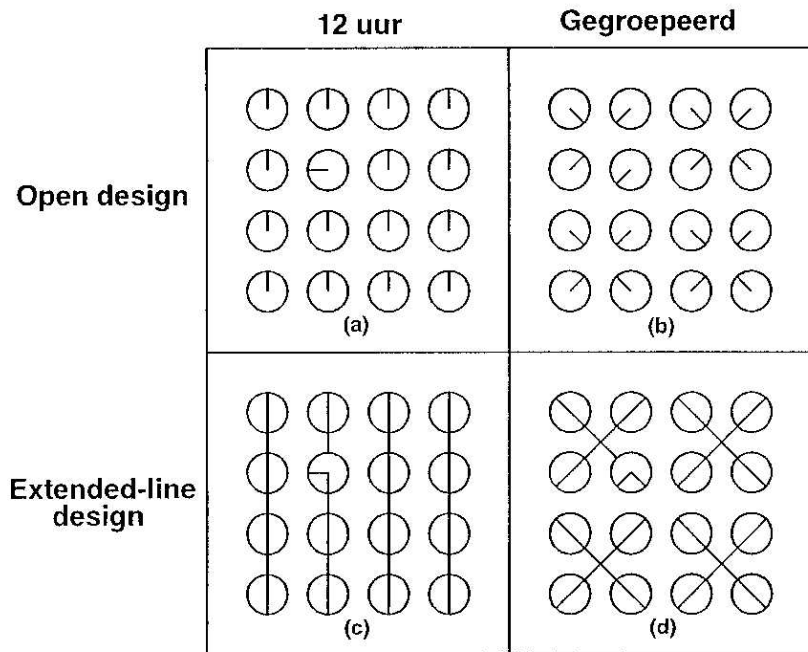


Fig. 16 Patronen van bewakingspanelen met steeds hetzelfde afwijkende display (links-boven). Het *12 uur extended line display* geeft het laagste aantal afleesfouten (Dashevsky, 1964).

Fig. 16 Patronen van bewakingspanelen met steeds hetzelfde afwijkende display

(links-boven). Het *12 uur extended line display* geeft het laagste aantal afleesfouten (Dashevsky, 1964).

Een andere vorm van presentatie van systeeminformatie werd voorgesteld door Beringer (1987). Fig. 17 toont het principe van een dergelijk display. In dit voorbeeld worden acht parameters als het ware analoog op de spaken van een wiel gepresenteerd, waarna de waarden worden verbonden met lijnen. Het principe is dat wanneer de waarden alle optimaal zijn de vorm van het "wiel" symmetrisch is t.o.v. elk van de spaken. Indien een of meerdere van de waarden niet optimaal zijn zal de vorm duidelijk verschillen. Bij voldoende training en bij voldoende met elkaar gecorreleerde waarden zullen de meest voorkomende configuraties (patroonherkenning) direct kunnen worden herkend en in relatie worden gebracht met de oorzaak van de afwijking. Dit is gebaseerd op Gestalt principes en het object superiority effect zoals genoemd in hoofdstuk 3.

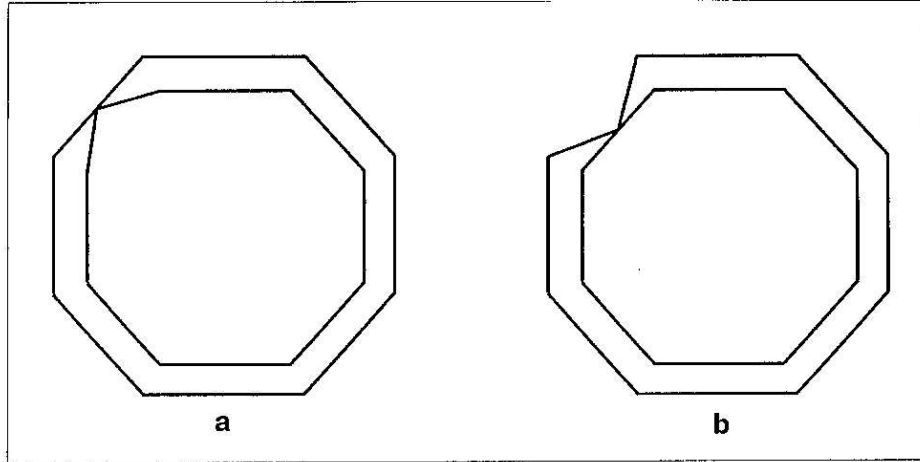


Fig. 17 Geïntegreerd spaak display; **a** parameter te hoog, **b** parameter te laag.

Fig. 17 Geïntegreerd spaak display; **a** parameter te hoog, **b** parameter te laag.

Een derde vorm van presentatie van systeem informatie is door middel van pictogrammen die het te bewaken systeem schematisch representeren. Bij pictogrammen wordt gebruik gemaakt van duidelijk herkenbare voorstellingen, zodat op een vrij directe en concrete manier de systeemtoestand wordt weergegeven. Stollings (1984) vergeleek alfa-numerieke presentaties met grafische en vond dat met name voor kortdurende presentaties van bepaalde informatie, de grafische vorm de voorkeur genoot. Naarmate de presentatie van informatie langer duurde nam het verschil tussen beide vormen af. Het werk van Stollings (1984) suggereert dat de bijdrage van grafische presentaties toeneemt met een toename van de werklust/tijdsdruk.

De informatieverwerking binnen de *system monitoring* functie doet een beroep op visuele, verbale en soms, indien specifieke handelingen zijn voorgeschreven, motorische en vocale functies. Vaak heeft een analyse van een storing tot gevolg dat via de *navigation* functie het vluchtverloop moet worden gewijzigd. Storingen verhogen onvermijdelijk de werklust, hetgeen, met name vanwege de visuele werklust, direct kan interfereren met *flight* en *navigation*. Dit probleem wordt verminderd, maar zeker niet volledig opgelost, door verbetering van visuele display configuraties, zoals hierboven beschreven. Visuele interferentie kan in principe alleen volledig worden opgelost d.m.v. auditieve of tactiele presentatie van informatie.

4.6 Combat management & Threat management

De *combat management* en *threat management* functies zijn nauw met elkaar verbonden en worden daarom tegelijk behandeld. Bij *combat management* gaat men uit van de eigen taak (een doel aanvallen, een verkenning plegen of een tactisch belangrijk transport uitvoeren), waarbij men er dan van uit mag gaan dat een tegenstander er belang bij heeft om het vervullen van die taak tegen te gaan. Er is dan dus sprake van een mogelijke dreiging. Bij *threat management* heeft de tegenpartij het initiatief en heeft men daadwerkelijk te maken met een dreiging. Hiertegen dient men het hoofd te bieden om te voorkomen dat de uiteindelijke taak niet meer kan worden uitgevoerd. Hoe een militair vlieger daar verder mee om moet gaan is

hier minder van belang, maar het is voorstelbaar dat een ingewikkelde gevechtssituatie bij voorkeur eenduidig en snel interpreteerbaar op een tactisch display dient te worden weergegeven. *Combat management* en *threat management* leveren de *navigation* en de *flight* functie specifieke doelen, dreigingen, te vliegen vluchtprofielen en tenslotte te volgen handelingen om de doelen te vernietigen en dreigingen te vermijden. Een groot gedeelte van deze functie wordt net als bij *navigation* van tevoren geprogrammeerd, zoals bij de F-16 in de Fire Control Computer. Daarnaast is het in toenemende mate mogelijk om tijdens de vlucht specifieke doelen, dreigingen en vluchtprogramma's van controleposten op afstand te verkrijgen. *Combat management* en *threat management* zijn zeer kritische functies bestaande uit zeer veel componenten die onder hoge tijdsdruk moeten worden uitgevoerd. Daarom vereist deze functie een optimale verdeling/prioritering van de aandacht. In dit verband wordt een groot gedeelte ervan van tevoren gepland of door anderen ("controllers") uitgewerkt.

4.6.1 *Combat management*

Indien de informatie vooraf volledig is, is de "combat management" functie te verdelen in:

- het vinden van het doel met sensoren; hierbij moet een sensor worden gekozen en/of ingesteld;
- het richten van een wapen; dit kan door middel van het richten van het vliegtuig of door middel van cursor-besturing op een beeldscherm (tegenwoordig komt ook de helmet-mounted display hiervoor in aanmerking, zie § 5.4);
- het afvuren van een projectiel;
- het controleren van de uitwerking.

De taak bevat de visuele, spatiële en motorische elementen en hangt in hoge mate samen met *flight*. Door de sterke samenhang en overlap met *flight* zullen deze functies interfereren indien de informatie niet geïntegreerd en op dezelfde manier wordt aangeboden. Bij "DTOS" (Dive Toss mode) bommenwerpen, waarbij de taakuitvoering via de HUD geschiedt, analoog aan *flight*, wordt daarom weinig of geen interferentie verwacht. Bij taken waarbij de "REO" (Radar Electro Optical display) moet worden gebruikt, mag meer interferentie worden verwacht. Dit wordt nog versterkt doordat er in de huidige cockpits geen volledig consistente stimulus-respons relaties worden gebruikt. Gelijkvormige symbolen hebben verschillende betekenissen. Dit is ook het geval bij het *Stores Management System* (SMS), waarmee de verschillende wapens kunnen worden geselecteerd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van zogenaamde "soft-keys". Dit zijn schakelaars op de randen van het instrument die afhankelijk van de mode waarin het systeem zich bevindt verschillende betekenissen kunnen hebben. Door deze inconsistenties zal er bij het bedienen van dit systeem, ook na uitgebreide training, niet gauw sprake zijn van automatische (skill-based) informatieverwerking.

4.6.2 *Threat management*

Het visuele instrument dat tijdens de vlucht het meest wordt gebruikt voor de *threat management* functie is de "Radar Warning Receiver" (RWR). Dit instrument detecteert vijandelijke radar-straling en toont deze twee-dimensioneel op een beeldscherm. Net als *combat management* is deze taak gebaseerd op visuele, spatiële en motorische

informatieverwerking, en sterk gerelateerd aan *flight*. Daarom zal hier interferentie optreden als de informatie niet geïntegreerd en zoveel mogelijk volgens dezelfde display principes wordt aangeboden (b.v. via de HUD).

Ook bij goed getrainde vliegers moeten *threat management* taken goed worden voorbereid. Vaak worden *threat*- en *combat management* taken verdeeld tussen de verschillende vliegtuigen van een formatie. De gebruikte tactiek bij grond aanvallen van F-16's tijdens de golf-oorlog was dat één vlieger zich bezig hield met de aanval (daarbij moest gedurende tien seconden op een display in de cockpit worden gekeken), een ander in de buurt vloog om te zorgen dat de eerste niet de grond zou raken, en weer anderen boven hen vlogen om eventuele tegenaanvallen af te slaan.

In het geval dat onverwachte situaties zich tijdens de vlucht voordoen, wordt het voor een vlieger nog lastiger omdat tevens de situatie van de omgeving moet worden geëvalueerd (Jaszka, 1989). Fig. 29 toont een voorbeeld van een huidig tactische situatie display (TSD) op basis van het Joint Target Information Distribution System (JTIDS). In deze presentatievorm is de informatie gegroepeerd met behulp van kleur en vorm.

Positie-informatie kan ook worden geïntegreerd met kennis van de doelen, zodat de vlieger in één oogopslag op het beeld kan zien waar het voor hem gevaarlijk is of waar de zwakke punten van de vijand zich bevinden waardoor hij effectiever zijn aanval kan plannen. Een nadeel bij deze presentatievormen is dat zij tweedimensionaal zijn. In een studie van Way (1989) zijn daarom stereoscopische beeldschermen gebruikt waar informatie in perspectief kan worden weergegeven. Er kon echter geen significant effect worden gemeten van het diepte zien bij missie-informatie. Wel zijn op basis van subjectieve waarderungen van vliegers een aantal presentatie-principes opgesteld voor missie-informatie.

Beide presentaties tonen een perspectivisch beeld van het eigen vliegtuig en de omgeving, gezien vanuit een oogpunt dat een mijl achter het vliegtuig en 1000 voet hoger ligt. De geplande route en navigatiepunten worden hierop aangegeven door respectievelijk driehoeken en vierkante vlaggen. In *ground-mode* zijn, naast het terrein ook de actierange van luchtdoelraketten en radars aangegeven. In *air-mode* wordt een volume met een radius van 90° en een hoogte van 40.000 voet getoond. Ook is er de mogelijkheid om de voorspelde baan aan te geven door middel van drie lijnstukken die respectievelijk de baan over 10, 20 en 30 seconden voorspellen.

Ondanks het feit dat deze presentatievormen een verbetering ten opzichte van de huidige situatie vormen, is niet te verwachten dat hiermee de interferentie met *flight* wordt opgelost. Hiervan kan slechts sprake zijn indien de presentatie op een adequate manier kan worden gecombineerd met de *flight* displays. Voorzover beide taken met elkaar samenhangen, bijvoorbeeld met betrekking tot de ruimtelijke aspecten van doelen en afweergeschut is dit in principe mogelijk.

4.7 Conclusions

Uitgaande van theorieën van menselijke informatieverwerking wordt in dit hoofdstuk getoond dat de functies *navigation*, *system*, *combat* en *threat*, zoals die in huidige

gevechtsvliegtuigen zijn gerealiseerd, alle interfereren met *flight*. Voor *communicate* is dit dus in mindere mate het geval. De functies *navigation* en *system* kunnen echter in principe zodanig worden aangepast dat verwacht wordt dat de werklast en de interferentie met *flight* kan worden geminimaliseerd. De verbeteringen aan de visuele presentaties van *combat* en *threat* nemen de interferentie met *flight* vooralsnog niet weg, tenzij uitgegaan wordt van in hoge mate voorgeprogrammeerde missies. De moderne interfaceprincipes zullen slechts het aantal verwerkingsoperaties verkleinen doordat informatie op een slimmere manier wordt aangeboden. Het mag dan ook niet verbazen dat een groot aantal gevechtsvliegtuigen een twee-koppige bemanning heeft, waardoor de werklast wordt verdeeld. Tenzij deze functies fundamenteel anders kunnen worden uitgevoerd zal interferentie met *flight* moeilijk te elimineren zijn.

5 NIEUWE ONTWIKKELINGEN IN DE COCKPIT

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste nieuwe ontwikkelingen besproken op het gebied van de informatiepresentatie in cockpits. Uitgangspunt voor deze bespreking vormt de basisconfiguratie van instrumenten en displays in de conventionele cockpit, waarin de hoofdmoot van de informatie gepresenteerd wordt door separate metertjes met een vrij uniforme coderingsvorm en één enkele specifieke functie.

5.2 Conventionele cockpit layout

In een conventionele cockpit geeft ieder instrument slechts die ene, eigen, waarde weer waarvoor het instrument is ontworpen. De vlieger zelf dient hierin het totale "beeld" van de separate instrumenten te integreren tot één overkoepelend totaal-inzicht van de vluchtparameters, de *situational awareness*. Uitgaande van een gemiddelde cockpit is er een min of meer vaste plaatsing en rangschikking in het geheel van besturings- en afleesinstrumenten.

De bruikbare ruimte in de cockpit bestaat ruwweg uit een driekwart cirkel rond de stoel van de vlieger om diverse instrumenten te plaatsen op een zodanige wijze dat alle zaken binnen de directe waarnemingsmogelijkheden en/of reikwijdte van de vlieger liggen. Die ruimte loopt van schuin links achter de vlieger via het paneel recht voor hem door tot schuin rechts achter de vlieger. Afhankelijk van het type vliegtuig kunnen ook in het plafond van de cockpit afleesinstrumenten (en handels of schakelaars) worden geplaatst.

Een belangrijk vast element van de configuratie van afleesinstrumenten wordt gevormd door de *Basic T* (zie Fig. 12). Deze bestaat uit een aantal flight displays die in een T-vorm centraal voor de vlieger zijn geconfigureerd. Deze displays zijn cruciaal voor het kunnen vliegen en worden hoogfrequent geïnspecteerd. In het hart van de T staat de kunstmatige horizon (attitude indicator, of indien het kompas hierin verwerkt is de attitude direction indicator), het belangrijkste instrument tijdens instrument vliegen. Ook het patroon waarmee deze

instrumenten worden geïnspecteerd ligt vrij vast waarbij steeds gealterneerd wordt tussen de attitude (direction) indicator en successievelijk één van de omliggende displays (*cross check*). De ruimtelijke configuratie van displays wordt tevens bepaald door de inspectievolgorde van de instrumenten. Dit is met name bij de opstartfase van belang, daar er hier volledig vastliggende procedures in een vaste sequentie, volgens een checklist, moeten worden uitgevoerd. Een voorbeeld: men zal eerst willen controleren of eventuele bewapening op "veilig" staat voordat men spanning op dat systeem brengt. Derhalve is het in zo'n geval logisch dat de vlieger die betreffende schakelaars eerder in zijn controle tegenkomt dan de schakelaar om spanning op het systeem aan te brengen. Men werkt daarbij van links naar rechts. Deze redundantie verlaagt de kans op missers.

Naast afleesvolgorde wordt de instrument-ruimte bepaald door functionele groepering. Dat betekent dat bij elkaar behorende of gelijksoortige displays ruimtelijk gegroepeerd zijn, vaak in een duidelijke configuratie. Hierbij kan worden gedacht aan clusters van: motor-instrumenten, navigatie-instrumenten, radio's, het waarschuwingspaneel, vlieginstrumenten etc. Op deze wijze worden er bepaalde gebieden gecreëerd waarop de vlieger zijn aandacht kan vestigen op die momenten dat het binnen de vervulling van zijn taak opportuun is. Zo'n duidelijk herkenbaar gebied wordt een *Area Of Interest* (AOI) genoemd.

5.3 De glass cockpit

De opmars van moderne CRT displays in recent ontwikkelde cockpits heeft geleid tot de zgn. *glass cockpit*, waarin conventionele special-purpose displays plaats maken voor multi-purpose "glazen" beeldschermen waarop allerlei informatie kan worden opgeroepen. De "oude" instrumenten spelen dan hooguit nog een back-up rol voor het geval dat de "high-tech" elektronica faalt (van der Borg, 1994). Het grootste voordeel van de glass cockpit t.o.v. de conventionele cockpit layout is de flexibiliteit ervan. Via beeldschermen kunnen centraal in de console special-purpose displays worden opgeroepen die slechts in zeer specifieke omstandigheden belangrijk zijn. Zo hebben van Breda en Veltman (1995) een perspectivisch radardisplay ontwikkeld en uitgetest dat zeer geschikt is voor het snel opsporen van en anticiperen op bewegende doelen. Dergelijke displays dienen normaliter bij voorkeur niet zichtbaar of afwezig te zijn, maar kunnen onder bijzondere omstandigheden, zoals luchtgevecht-situaties essentieel zijn voor het slagen van een missie zodat een goede waarneming ervan van doorslaggevend belang wordt. In de glass cockpit is dit in principe vrij eenvoudig te realiseren. De glass cockpit is ook op een ander niveau flexibel. Zonder al te grote veranderingen in het bestaande concept te hoeven doorvoeren kan vrij gemakkelijk meegegroeid worden met nieuwe ontwikkelingen. Als voorbeeld hiervan kan worden genoemd de verbetering van vliegen onder slechte zicht-condities. Onder zicht-condities die te slecht zijn voor de huidige instrument naderingen, kan men met behulp van een *Enhanced Vision System* (EVS) toch een veilige landing maken. Dit wordt in § 5.3.3 verder besproken.

5.3.1 Moderne grafische displays

Eén van de belangrijke voordelen van informatiepresentatie op beeldschermen is dat informatie geïntegreerd kan worden aangeboden op een manier die direct (intuïtief) begrepen kan worden, bijvoorbeeld omdat de presentatie aansluit bij de manier waarop wij onszelf in

normale omgevingen waarnemen. Dit principe dat met name een positieve invloed heeft op de situational awareness wordt *pictorial realism* genoemd (Roscoe e.a., 1981). Een voorbeeld hiervan is de *tunnel-in-the-sky*. Dit is een synthetisch gepresenteerd optimaal vluchtpad van poortjes waar doorheen moet worden gevlogen voor lokale geleiding met een verhoogde graad aan nauwkeurigheid (*pursuit tracking*, § 2.6), bijvoorbeeld landen (zie Fig. 18). De *tunnel-in-the-sky* kan goed in een *contact analog* display worden ondergebracht (§ 4.2, Fig. 13). Het principe van pictorial realism kan in principe zeer nuttig zijn voor het optimaliseren van flight functies. In de configuratie van glass cockpit beeldschermen wordt de basic T, die uit de meest belangrijke flight instrumenten bestaat, gehandhaafd, zij het meestal in gewijzigd format (i.e., Green e.a., 1991).

Fig. 18 Voorbeeld van een *tunnel-in-the-sky*.

Naast de primaire vliegdisplays, waarin vooral de situatie van het "eigen" vliegtuig wordt weergegeven (zoals dit ook in de conventionele cockpit van belang was), neemt het belang van het navigatie display in de moderne cockpit duidelijk toe. Voor de vlieger is het in een luchtoorlog van het grootste belang dat hij zich nauwkeurig kan houden aan bepaalde luchtwegen ("safe corridors/air-routes" etc.) omdat moderne radar (ondersteund door uiterst doeltreffende luchtdoelraketten) iedere navigatiefout onherroepelijk afstraft. Daarnaast is het zaak om zo efficiënt mogelijk te kunnen opereren. Moderne wapens zijn uiterst kostbaar en men dient daarmee een vijand op de meest gevoelige plaatsen te raken, zonder dat daarbij civiele slachtoffers te betreuen zijn. Moderne grafische displays kunnen in dit verband de situational awareness fors verbeteren. Hiervoor dient het display een elektronische kaart te presenteren waarop naast de eigen locatie ook de locatie van anderen wordt aangegeven. Hierbij valt te denken aan: locatie en soort van eigen troepen en vijandelijke eenheden, dreigingszones die door vijandelijk geschut worden bestreken, doelinformatie, status van wapensystemen en gegevens over heen- en de terugreis.

De CRT is ook hier de vervanger van de "oude" instrumenten. Het is vooralsnog echter een wens om in een modern grafisch display met behulp van symbolen en pictogrammen een zodanige weergave van de "buiten-situatie" te tonen, dat de vlieger in één oogopslag de situatie begrijpt en daarop kan anticiperen. Voor een totaal buitenbeeld is dat nog steeds

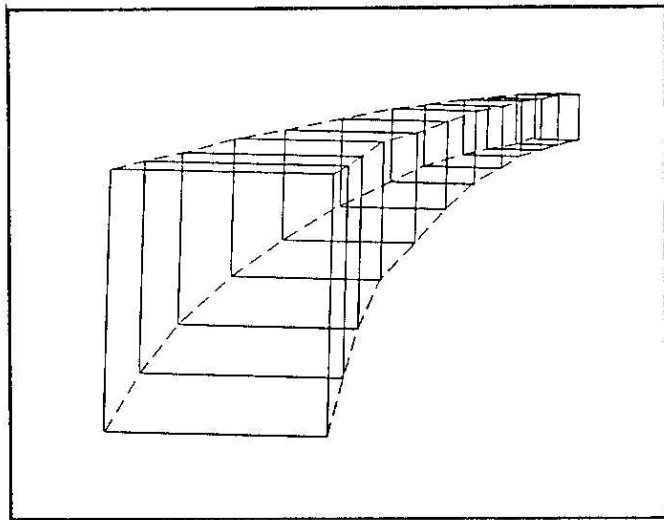


Fig. 18 Voorbeeld van een *tunnel-in-the-sky*.

toekomstmuziek, maar inzake bepaalde deeltaken (b.v. het landen; of gedurende een "ground-attack" tijdens het bombarderen) zijn er al enkele grafische displays die aan deze wens kunnen voldoen. De displays beschikken bovendien over de mogelijkheid om de gewenste gegevens afzonderlijk ofwel in combinatie te selecteren. De nodige drukknoppen om de CRT's heen kunnen de gevraagde veranderingen leveren.

Fig. 19 Schematische weergave van de CRT's en de HUD in de JAS39 Gripen

cockpit (uit Braybrook, 1988).

In Fig. 19 zijn de (programmeerbare) keuze-toetsen rondom de CRT's goed te zien. De vlieger selecteert bijvoorbeeld "AIR-MODE 1" en op dat moment heeft hij dan de beschikking over de "standaard" in het programma aanwezige—alsmede de door hem vooraf opgegeven aanvullende—informatie in zijn display. Wil hij dan bij een verandering van taak over naar een andere display-mode, dan hoeft hij slechts een andere knop in te drukken om daarmee de voor die taak relevante informatie op te roepen, bijvoorbeeld "AIR-MODE 2" of "GROUND-MODE 1", etc.

Voorts geldt dat vliegers een bepaalde voorkeur kunnen aangeven in de samenstelling van de door hen relevant geachte informatie. Zij hoeven dus niet alle display mogelijkheden van het systeem te benutten. De flexibiliteit van grafische displays biedt dus ruimte voor persoonlijke voorkeur. In hoeverre hiervan gebruik wordt gemaakt en of hier echt een positief effect op de prestatie van uitgaat is nog niet bekend.

Blijft de vraag of de geïntegreerde displays in de glass cockpit van vandaag de dag de werklast van de vlieger inderdaad verlichten of dat er een handicap in de vorm van alle knoppen die zij NIET hoeven (of mogen) bedienen is bijgekomen. Wegen de voordelen van het selectief kunnen oproepen van taakrelevante informatie op tegen de nadelen van de steeds

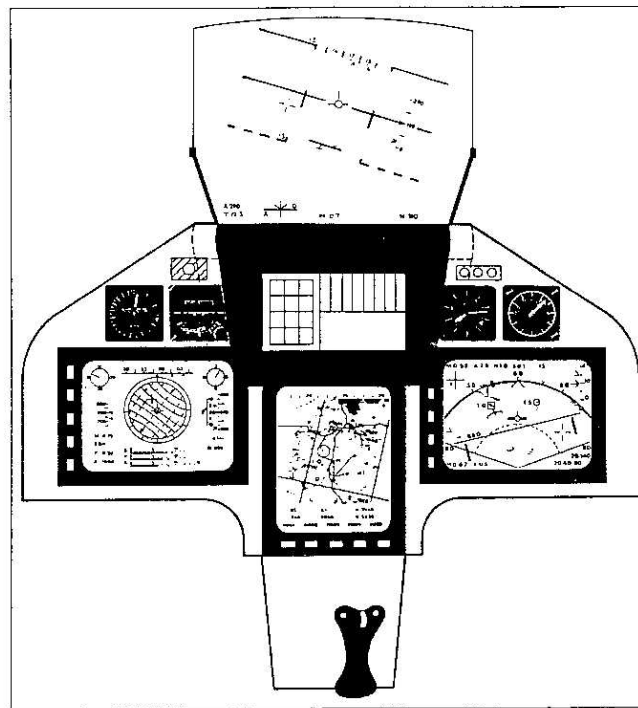


Fig. 19 Schematische weergave van de CRT's en de HUD in de JAS39 Gripen cockpit (uit Braybrook, 1988).

veranderende configuraties van de informatiepresentatie en *mapping* van functies. Deze vraag is op basis van de beschikbare literatuur niet te beantwoorden, omdat daarin vrijwel zonder uitzondering voortdurend gesproken wordt over alles wat wel mogelijk is (van der Borg, 1994).

Onderzoek, met name in simulatoren, kan hierover meer vertellen. Inmiddels wordt er ook onderzoek gedaan naar de mogelijkheid van een display wat heel toepasselijk "the big picture" (Stein, 1989) wordt genoemd, omdat men daarin tracht te komen tot een integrale weergave van de *flight* parameters in samenhang met de *navigation* gegevens. Daarbij wordt gemikt op het ontwikkelen van een 25 inch monitor. (Dit komt overeen met een CRT van 15 inch hoog met een breedte van 18 tot 20 inch) Een dergelijk grafisch display zou in staat moeten zijn om een ruimtelijke representatie van de "echte" wereld te kunnen weergeven met een daarin aangebrachte combinatie van gegevens die tijdens de vlucht gewenst zijn. Op deze wijze tracht men dan te kunnen komen tot een zo natuurlijk mogelijke weergave—*pictorial realism*—waarin de vlieger informatie makkelijker decodeert en daardoor sneller een grotere situational awareness verkrijgt.

De huidige stand van zaken in de ontwikkeling van High Definition TeleVision (HDTV) is veelbelovend, maar alle problemen zijn nog lang niet opgelost. Technisch is men reeds in staat om te komen tot een verdubbeling van het aantal beeldlijnen van 625 tot 1250 en tot een verhoging van de informatiedichtheid door een aanzienlijke toename van het aantal beeldpunten ofwel "pixels" (van de huidige 120.000 naar meer dan 700.000) (personal communication: Nederlands HDTV Platform, Hilversum). Veel meer dan "een" technische ontwikkeling is dit echter nog niet, maar het lijkt in ieder geval zinvol om deze ontwikkeling te volgen.

Een andere oplossing in de vorm van Liquid Crystal Displays (LCD's), de zgn. "flat panels" wordt ook onderzocht (Jones e.a., 1991). LCD's hebben een hoger rendement (lumens/Watt) dan CRT beeldschermen maar hun resolutie en contrast ratio ligt aanzienlijk lager (Jones e.a., 1991).

5.3.2 Head-up displays

het bovenstaande laat zien dat het huidige cockpit instrumentarium met zijn head down displays nog duidelijk niet uitontwikkeld is. In principe is het zelfs mogelijk dat de vluchtgegevens zó helder kunnen worden weergegeven, dat het zicht op de "echte" wereld niet of nauwelijks meer nodig is. Zo ver is het echter nog niet. Bovendien kan men zich afvragen waarom zoveel moeite doen om de "echte" wereld elektronisch op een beeldscherm te modelleren of genereren als die "echte" wereld buiten de cockpit toch al aanwezig is. Bij slechte weerscondities is het nut van goede instrumenten evident. Maar het is niet altijd slecht weer en wanneer het zicht goed genoeg is, ligt het voor de hand om de werkelijkheid te benutten. Dat gebeurt dan ook. Om de vlieger zoveel mogelijk buiten te kunnen laten kijken dient hij zo weinig mogelijk tijd te besteden aan de instrumenten onder in de console. Hiertoe wordt steeds meer gebruik gemaakt van head-up displays (HUD, Fig. 20). Daarmee kan de vlieger beschikken over de gewenste vluchtgegevens terwijl hij toch naar buiten kan kijken. Door de vlieger door een HUD heen naar buiten te laten kijken, creëert men de mogelijkheid om hem een zo compleet mogelijk beeld van de situatie te geven (situational awareness) en dit te koppelen aan op dat moment relevante informatie.

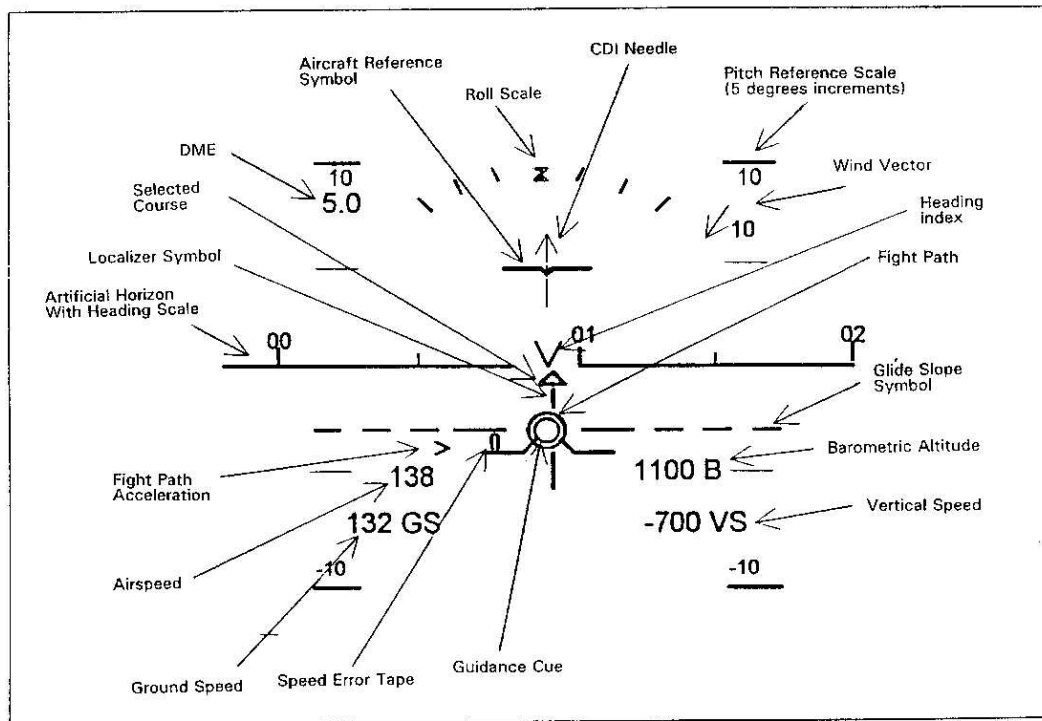


Fig. 20 Schematische weergave van een HUD.

Fig. 20 Schematische weergave van een HUD.

Het HUD is een projectie van een door de vlieger geselecteerd deel van het vlucht-informatiesysteem, wat een beeld genereert op het windscreen van de cockpit. De vlieger kijkt hier doorheen naar buiten, waarbij hij de informatie op dat scherm kan combineren met het waargenomen buitenbeeld. Het is (binnen een aantal keuze-mogelijkheden) aan de vlieger om te kiezen welke gegevens hij in zijn HUD wil zien (Navigatie, Wapens of, meer algemeen de Primaire Vluchtgegevens).

Ervaring met HUD's en training leiden tot een significant verschil in de perceptie van informatie dichtheid (Demosthenes, 1993). Het lijkt daarom voor de hand te liggen dat er in ontwerpen van moderne displays ruimte wordt gegeven aan de vlieger om zijn persoonlijke voorkeuren in het systeem te programmeren. Internationaal gezien is de wens om te komen tot standaardisatie meerdere malen geuit (FAA-Proceedings, 1992), doch tot nu toe is het daar nog niet van gekomen.

Op dit moment wordt HUD informatie in één kleur gepresenteerd. Kleurcoderingen zijn nog niet haalbaar. De eisen waaraan intensiteit en resolutie moeten voldoen worden of nog niet gehaald, of de levensduur van de ontwikkelde apparatuur is onacceptabel kort (Ebert, 1993). Dit laatste wordt veroorzaakt door de beperkte fotometrische mogelijkheden om de primair gebruikte lichtbron in de CRT door te zenden naar het HUD. Een goed werkend systeem heeft gemiddeld een reflectie van 22%, dit betekent dat 78% van het oorspronkelijk in de CRT gegenereerde licht de vlieger niet bereikt. Om toch een bruikbaar beeld te verkrijgen, selecteert de vlieger de intensiteit meer dan eens (bij daglicht, onder goede zichtcondities) op

het maximum. Bij het in conventionele HUD's gebruikte P-53 fosfor⁴ is het lichtverlies rond de 546 nanometer minimaal en levert de CRT bij een lagere intensiteit voldoende licht om bruikbare gegevens op de HUD te leveren. Deze zgn. relatieve spectraal intensiteit heeft echter een zeer smalle band, waardoor er slechts één kleur (groen) ter beschikking is. Om met meerdere kleuren te kunnen werken is een dermate hoge intensiteit nodig dat de levensduur van de CRT's onacceptabel kort wordt (Wood & Thomas, 1990). Toch is de ontwikkeling van een HUD, waarin met kleuren kan worden gewerkt, zeer belangwekkend en het verdient aanbeveling om de vorderingen nauwgezet te volgen.

5.3.3 *Enhanced Vision Systems*

Enhanced Vision System (EVS) is de term die is voortgekomen uit een onderzoek dat in november 1990 door het Maryland Advanced Development Laboratory (Greenbelt Maryland, USA) is gestart naar de voordelen die er werden vermoed in het samenvoegen van HUD's met elektro-optische beelden, zoals die konden worden gegenereerd m.b.v. moderne sensoren of synthetische technieken. Met name voor landingen onder slechte zichtcondities op (Amerikaanse) vliegdekschepen bleek er een grote behoefte te bestaan aan verbetering van de bestaande mogelijkheden om "manual" (d.w.z. met handmatige besturing; door de vlieger zelf) te landen⁵ (Connor & Mages, 1993). Onderzoek en evaluatie werden gericht op verschillende soorten HUD's, infrarood camera's en het gebruik van een millimeter golf radar (MMWR).

Zonder verder al te diep op de eisen van de apparatuur in te gaan, kan worden vastgesteld dat het programma een succes is geworden en dat landingen onder slechte zichtcondities m.b.v. EVS goed mogelijk zijn. Ook Boeing doet in verband onderzoek naar de toepassing van EVS in verband met de zogenaamde *multi runway approach* (het parallel aanvliegen van landingsbanen) en blind navigeren (van Breda, 1994). Dit laatste houdt verband met het te ontwikkelen supersonisch High Speed Civil Transport (HSCTP) vliegtuig. Voor dit type vliegtuig is er tijdens de landing geen direct zicht op de landingsbaan mogelijk. Dit wordt veroorzaakt doordat het vliegtuig bij de landing een grote *angle of attack* heeft. Bij de Concorde is dit probleem opgelost door de cockpit te scharnieren in de vliegrichting, maar voor Boeing is deze oplossing te duur en te zwaar. Daarom zal de Boeing vlieger beschikken over uitzicht in een gesimuleerde *virtual world* (virtual out-of-the-window-scene) die gebaseerd is over een *terrain database* die gemodelleerd is naar de werkelijke wereld. Onderzoek is daarbij nodig met betrekking tot type en detaillering van deze gesynthetiseerde informatie. Het gaat hierbij om de specificaties van variabelen als: resolutie, kleurgebruik, shading, texturing, etc. die nodig zijn om de beoogde vliegtaken goed te kunnen uitvoeren. Evenals voor het HUD moet ook voor deze "nieuwste" loot aan de boom van visuele hulpmiddelen voor de vlieger nog worden gekomen tot een standaardisatie.

⁴ Ook andere soorten kunnen worden gebruikt. P-43 bijvoorbeeld wordt ook veel gebruikt, dit heeft zijn "piek" rond 543 nm, hetgeen een geel/groene kleur oplevert. In gebruik is het echter "of/of", de band is dermate smal dat men met een waarde er tussen in net de optimale "piek" van beide zou missen (Pinkus & Lee, 1988).

⁵ In tegenstelling tot de "auto-land mode" waarin de machine het allemaal doet. Dit is echter een zeer kostbaar systeem en afhankelijk van (eveneens bijzonder dure) apparatuur die bij de vliegvelden moet worden opgesteld. Ter illustratie: Schiphol heeft maar één landingsbaan die geschikt is voor automatische landingen.

5.4 Helmet-mounted displays

Een helmet-mounted display (HMD) is een aan de helm gekoppeld systeem dat een visueel beeld projecteert op het oog van de drager van de helm. Als het HMD-beeld via een halfspiegel in het oog wordt geprojecteerd ("see-through"), blijft het buitenbeeld zichtbaar. Het geprojecteerde beeld kan daarbij in complexiteit variëren. Het kan een eenvoudig richtmiddel zijn, bijvoorbeeld een kruisdraadje, maar met behulp van moderne technieken kan er ook een grote hoeveelheid, computer-gegenereerde of sensor, informatie worden aangeboden. Aanvullend op het waarnemen van de buitenwereld moeten er tijdens het vliegen tal van instrumenten worden geïnspecteerd. Door projectie van de belangrijkste informatie op het vizier worden de hoofd- en oogbewegingen gereduceerd. Bovendien blijft de informatie focaal beschikbaar tijdens hoofdbewegingen, als een meedraaiend head-up display. Hierdoor kan de vlieger sneller over relevante informatie beschikken. De operationele inzetbaarheid van het vliegtuig kan verder worden vergroot door gebruik van bijvoorbeeld een helderheidsversterker of een warmtebeeld camera. Zichtlimieten die nu nog betekenen dat een vliegtuig niet kan opereren zullen m.b.v. deze technische hulpmiddelen een lagere waarde krijgen.

HMD's hebben ten opzichte van het normale menselijke gezichtsveld (voor beide ogen, 180°) een beperkte *Field of View* (FOV). De grootte van het benodigde FOV hangt sterk af van de taak (Bull, 1990). Een enkelvoudig symbool heeft slechts 4° nodig om te worden begrepen, voor een wat complexere taak als doeldetectie tijdens de vlucht, in samenhang met het kunnen richten van de boordwapens, is minstens 20° een vereiste om het systeem nuttig te kunnen gebruiken. Voor vliegen en navigeren is een nog grotere FOV benodigd. Zeker een helikopter-vlieger maakt in een zgn. taxi-vlucht (langzaam en zeer laag boven de grond) voortdurend gebruik van informatie ("cues") in zijn visuele periferie. Behalve beperkingen van het FOV zijn er problemen m.b.t. lage resolutie, slecht contrast, matige kleurweergave, draagcomfort, beeldfusie, traagheid bij het volgen van hoofdbewegingen en (bij doorzichtssystemen) helderheidsaanpassingen van het kunstmatige display aan de veranderende (hoge) lichtniveaus in de omgeving.

HMD-systemen kunnen *monoculair*, *binoculair*, of *bioculair* zijn. Onder monoculair zien wordt verstaan het kijken via een optisch instrument met één van beide ogen. Het andere oog blijft bij gebruik van een monoculaire HMD onbedekt. Het binoculair zien is overeenkomstig het kijken zoals de mens dat met twee ogen doet. Twee volledig gescheiden lichtwegen vormen twee verschillende beelden, waardoor stereoscopisch dieptepezen mogelijk is. Bioculair zien is het kijken met twee ogen door een optisch systeem naar een tweevoudige weergave van één en hetzelfde beeld, gevormd door één sensor.

5.4.1 Monoculaire HMD systemen

Een belangrijk voordeel van monoculaire systemen is besparing op gewicht. Dit heeft een positieve invloed op het draagcomfort (hoofd/nek belasting, g-tolerantie) en daarmee de duur en omstandigheden van de inzetbaarheid. Daarnaast blijft het onbedekte oog onbelemmerd in normaal waarnemen van de cockpit instrumenten, naar buiten te kijken of een checklist te lezen, etc.

Er zijn echter ook twee belangrijke nadelen verbonden aan monoculaire systemen. Bij het gebruik van een monoculair systeem is de kans groot dat er een "competitie" tussen de ogen

ontstaat. De retinale beelden "wedijveren" als het ware met elkaar om gezien te worden. Dit wordt "retinale- of binoculaire rivaliteit" genoemd (Tritsch, 1989). Retinale rivaliteit manifesteert zichzelf in het onvermogen om zonder al te veel moeite selectief de aandacht te kunnen richten op het beeld van één van beide ogen. Uit vraaggesprekken met AH-64 instructeurs lijkt het er op dat retinale rivaliteit geen onoverkomelijk bezwaar oplevert voor ervaren AH-64 IHADSS vliegers. De vraag is dan echter welke de maatstaven zijn voor de begrippen "onoverkomelijk" en "ervaren". Vast staat dat het vliegen met dit monoculaire systeem niet makkelijk is. Het benodigd aantal trainingsuren om te kwalificeren met de IHADSS in de AH-64 wordt niet vrij gegeven, maar het is zeker geen gering aantal getuige de opmerking van Rash en Martin: "... a considerable range in number of training hours ..." (Rash & Martin, 1988)⁶.

Een ander belangrijk nadeel van monoculaire systemen is oog-dominantie (Rash & Martin, 1988). Oog-dominantie heeft te maken met een "natuurlijke" voorkeur voor het gebruik van het ene oog boven dat van het andere in bepaalde visuele taken. Naar dit probleem is onderzoek gedaan door McLean (1983). In zijn studie waren er 16 vliegers geselecteerd die allen waren voorbestemd om naar de AH-64 te gaan. Tijdens de trainingsfase werden acht verschillende tests gebruikt om hun oog-dominantie te bepalen. Het bleek dat de verkregen resultaten, om de (mate van) oogdominantie vast te stellen, onderling mager correleerden. Het kan dus per persoon verschillen voor welk oog het systeem het beste kan worden geplaatst, maar een samenhangende test(batterij) voor het maken van de beste oog-keuze bestaat nog niet.

Volgens een literatuurstudie van de Luchtmacht vlieger-arts Groenhout (1991) leidt het gebruik van een monoclair systeem tot een verhoging van de werklust voor de vlieger, i.e., oog-vermoeidheid, algemene mentale vermoeidheid en oplopende stress. Met name 's nachts wordt het heldere FLIR display voor het betreffende oog als zeer belastend ervaren.

Empirische kennis omtrent gebruik van een monoculaire HMD wordt ontleend aan het *Integrated Helmet And Display Sighting System* (IHADSS), zoals ontwikkeld door *Honeywell*. Dit systeem is sinds juni 1985 in gebruik bij het Amerikaanse leger in de AH-64 (Apache) aanvalshelikopter. De IHADSS levert een elektronisch gegenereerd beeld van de buitenwereld met behulp van een warmtebeeld camera, die geplaatst is in de neus van de AH-64. Infrarood sensoren geven de hoofdbewegingen van de vlieger door aan de camera welke deze bewegingen "volgt" (*slaved system*). Ook informatie over de heli zelf wordt, met behulp van symbolen en video-beelden, geprojecteerd en naar keuze kunnen ook doel- en wapeninformatie op het display worden opgeroepen. Het systeem heeft een FOV van 40° horizontaal en 30° verticaal. Het IHADSS levert een geofende vlieger voldoende betrouwbare informatie om bij duisternis Nap-of-the-earth vluchten te kunnen uitvoeren.

5.4.2 Binoculaire HMD systemen

Binoculaire systemen hebben verschillende voordelen. Ze zijn redundant, i.e., als er een kanaal niet meer werkt, is er altijd nog de tweede. Daarbij levert het kunnen gebruiken van beide ogen in theorie een bredere FOV op voor het presenteren van sensor- of synthetische

⁶ In persoonlijke contacten met Amerikaanse vliegers is het aantal van 200⁺ vlieguren wel eens genoemd; dit zou neerkomen op een periode van meer dan een jaar voor deze opleiding.

informatie. Ook wordt dieptezien mogelijk en de contrastgevoeligheid neemt toe (Kooi, 1992).

Het FOV voor het see-through beeld is beperkt t.o.v. het FOV van het onbedekte oog van een monoclair HMD. Dit vormt met name een probleem m.b.t. de onderrand waar de cockpit instrumenten liggen. De cross-check vereist daardoor het maken van hoofdbewegingen i.p.v. veel snellere oogbeweging. In principe zouden bij binoculaire systemen geen rivaliteitsproblemen, zoals bij monoclair HMD's, hoeven op te treden. Dit zou de trainingstijd aanzienlijk beperken. Helaas treedt echter, bij niet exacte registratie of bij vervorming van de twee beelden, door het niet kunnen fuseren van de beelden, diplopia (dubbelzien) op. Bij kleine verschillen kunnen de beelden nog wel gefuseerd worden, maar dit leidt tot een extra visuele belasting. Als beelden moeilijk te fuseren zijn is de kans groot dat de vlieger gaat focussen op de combiner, terwijl het juist de bedoeling is dat hij van het virtuele beeld gebruik maakt door zijn focus op oneindig te houden om daarmee de buitenwereld te kunnen blijven waarnemen. In een binoclair systeem kan ook rivaliteit optreden, als aan beide ogen tegelijkertijd twee verschillende of niet-fuseerbare beelden worden aangeboden. Daarnaast kan rivaliteit optreden door de combinatie van het binoclair geprojecteerde virtuele beeld in combinatie met een (binoclair) "see-through"-beeld van de buitenwereld. Voor dit laatste geldt dat hoe groter het luminantieverschil tussen beide beeldtypen is, des te meer rivaliteit er zal optreden (Alblas, 1990). Dus, als een HMD bij alle soorten vluchten zal worden gedragen, waarbij naast de gewenste cockpit gegevens ook waarschuwings- en dreigingssignalen alsmede wapenselectie gegevens getoond kunnen worden, zijn de eisen van het doorzicht-beeld tegenstrijdig met die van de display indicaties. Enerzijds moeten de gebruikte indicaties dermate duidelijk zijn dat het altijd opvalt en anderzijds mag het "see-through"-beeld niet aan kwaliteit inboeten. Vooral bij fel zonlicht lijkt zal dit een probleem zijn. Hart en Brickner (1987) wijzen voorts op het toenemen van rivaliteitsproblemen met de tijd. Tijdens lange vluchten kregen vliegers het steeds moeilijker met focussen op gewenste informatie. Na één uur continu gebruik, moesten sommigen één oog sluiten om de informatie van het beeld in het andere oog te kunnen opnemen.

Kooi (1993) heeft aangetoond dat stereoscopisch dieptezien bij goed fuseerbare beelden behouden blijft als de luminantie van de twee beelden voor beide ogen in belangrijke mate verschilt. Dit betekent dat de voordelen van het binoculaire systeem (geen oog-vermoeidheid, aanzienlijk kortere trainingstijd) wellicht kunnen worden gecombineerd met het belangrijke voordeel van monoclair systemen, nl. bij duisternis de cockpit-instrumenten met het "aan het donker aangepaste oog" te kunnen cross checken. Dit dient verder te worden onderzocht.

5.4.3 *Bioculaire HMD systemen*

Met uitzondering van de mogelijkheid tot stereoscopisch dieptezien en vergroting van het FOV hebben bioculaire systemen boven monoclair systemen dezelfde voordelen als binoculaire systemen. Belangrijk extra voordeel van bioculaire systemen is dat er geen fusieproblemen optreden omdat het op elkaar afstemmen van twee verschillende beelden niet nodig is. Er wordt slechts één en hetzelfde beeld aan beide ogen apart aangeboden. Deze eenvoud levert t.o.v. binoculaire systemen als bijkomstig voordeel dat op gewicht kan worden bespaard. Ook de belangrijkste nadelen, m.b.t. de beperkte FOV voor de waarneming van paneel-displays en omgeving en de vaak tegenstrijdige eisen behorend bij een goede

waarneming van het "see-through" beeld en die van de gepresenteerde indicaties, zijn voor binoculaire en bioculaire systemen hetzelfde.

Het meest voor de hand liggende nadeel van bioculaire systemen ten opzichte van binoculaire systemen is het kwijtraken van de stereoscopische diepteperceptie. Met name door fabrikanten van binoculaire HMD-systemen wordt daar voortdurend op gewezen. Dit verdient derhalve enige nuancering. Ten eerste is stereoscopisch dieptezien alleen op kortere afstanden, tot hooguit 30 meter, effectief. Ten tweede wordt bij doorzichtsysteem de buitenwereld nog wel stereoscopisch waargenomen. En tot slot zijn er veel meer *cues* voor een driedimensionale kijk op de wereld (o.a. Korteling, 1991 voor een beschrijving hiervan). Deze zijn onder te verdelen in statische- (stilstaande waarnemer) en dynamische (bewegende waarnemer) cues. Statische diepte- of afstandscues zijn: luminantiegradiënt (shading), interpositie, relatieve grootte (lineair perspectief), positie t.o.v. de horizon, atmosferisch perspectief en structuurdichtheidsgradiënt (textuurgradiënt). Dynamische dieptecues zijn vergentiesnelheid en parallax. Een aantal van deze cues kunnen ook worden gebruikt voor het genereren van diepte in 2-dimensionale displays.

5.5 Conclusions

Om de informatie zo optimaal mogelijk weer te geven verlaat men geleidelijk de conventionele cockpit layout en wordt overgegaan op het gebruik van head-up displays en head-down beeldschermen gebaseerd op micro-processor technologie. Hiermee kan een samenhangend, overzichtelijk, en met de concrete wereld geïntegreerd informatie-beeld worden aangeboden. De oude *basic-T* kan worden vervangen door een beeldscherm met daarop alle informatie zoals die voorheen op de "losse" metertjes was te verkrijgen. Een logisch vervolg op vervanging van de *flight*-instrumenten door beeldscherm-technologie is het op overeenkomstige wijze ondersteunen van de *navigation* functie en de overige, minder centrale, functies. Met bovengenoemde ontwikkelingen is het nu mogelijk om de informatiestroom meer selectief, naar persoonlijke behoefte, aangepast aan veranderende operationele omstandigheden en op basis van human-factors inzichten op een flexibele wijze te configureren. Uiteindelijk kan hiermee een betere situational awareness onder kritische omstandigheden worden bereikt. Met behulp van geavanceerde sensorsystemen wordt het voor komende generaties vliegtuigen mogelijk om 's nachts en onder slechte weerscondities te kunnen opereren. Kunstmatig wordt er daarbij voor gezorgd dat de mens voldoende informatie krijgt om operaties uit te voeren die vroeger alleen onder goede zichtcondities mogelijk waren. Naast deze ontwikkelingen rond de beeldscherm-technologie, die samengevat worden onder de term *glass cockpit*, is er een nieuwe techniek tot ontwikkeling gekomen in de vorm van HMD-systemen. Hierin wordt de cockpit (console met windscreen) als primaire informatie-leverancier in feite losgelaten en wordt de benodigde informatie op het vizier van de vliegerhelm geprojecteerd. De voordelen daarvan liggen voor een belangrijk deel in de tijdsbesparingen die een vlieger verkrijgt, doordat hij de informatie niet meer op grond van een groot aantal separate stukjes tot één geheel hoeft op te bouwen. In plaats daarvan is het, net als bij de glass cockpit, mogelijk om vooraf de gewenste informatie elementen te selecteren, waarna het systeem deze elementen in één display weergeeft. In combinatie met een "see-through"-mogelijkheid levert dit een integraal beeld op van zowel de buitenwereld als de geselecteerde systeem informatie. HMD-systemen bestaan in drie

vormen: monoculaire, binoculaire en bioculaire systemen. In onderlinge vergelijking van de drie bovengenoemde systemen komt in de literatuur vaak naar voren dat monoculaire systemen gewoonlijk niet de voorkeur genieten. Vooralsnog is er echter alleen een monoculair systeem dat operationeel wordt ingezet, namelijk het IHADSS in de Amerikaanse AH-64 Apache helikopter.

6 DISCUSSIE

Door een toename in de technische mogelijkheden kan meer informatie aan de militaire vlieger worden gepresenteerd om hem te helpen bij het uitvoeren van zijn uiterst complexe en belastende taak. Het is hierbij van principieel belang te onderkennen dat *meer informatie* niet zonder meer tot gevolg heeft dat deze taken beter kunnen worden uitgevoerd. Waar het om gaat is dat, gegeven de deels veranderende taakeisen, zoveel mogelijk alleen de *relevante* informatie wordt aangeboden. Daarnaast dient deze relevante informatie zodanig gecodeerd, geconfigureerd en gestructureerd te worden dat deze optimaal, d.w.z. maximaal toegankelijk en goed waarneembaar, wordt aangeboden. Door fysische beperkingen (met name ruimte) kan niet alle informatie optimaal worden aangeboden. Er zal daarom altijd sprake zijn van keuzes of compromissen. Hierbij dient de meest kritische informatie prioriteit te krijgen boven minder kritische informatie ("*Crew Assistant*"). Daarnaast dient bij het ontwerp van de informatievoorziening altijd zoveel mogelijk gebruik te worden gemaakt van de ergonomische basisprincipes voor informatiepresentatie (hoofdstuk 2) en de in hoofdstuk 3 behandelde human-factors principes. Uitgangspunt bij het toepassen van deze principes zijn de sterk variërende taakkenmerken en taakeisen behorend bij de verschillende hoofdfuncties van de vliegtuigtaak. Deze werden in hoofdstuk 4 behandeld. In hoofdstuk 5 werden de nieuwe technologische ontwikkelingen behandeld die in principe kunnen worden gebruikt om de visuele informatie presentatie te optimaliseren.

Deze technologische ontwikkelingen zijn in vier categorieën onder te verdelen. Deze sluiten weliswaar grotendeels op elkaar aan, maar kunnen niet als één compatibel geheel worden opgevat. Die categorieën zijn:

- Verbeterde grafische displays. De oude instrumenten worden vervangen door beeldschermen beelden, waarmee meer selectieve en samenhangende informatie omtrent de verschillende hoofdfuncties van het vliegen worden gepresenteerd.
- Verbetering van bestaande HUD's, waardoor de vlieger naar buiten kan blijven kijken en desondanks toch in staat is om van belang zijnde gegevens mee te nemen in zijn cross check.
- Verbetering en uitbreiding van de bestaande sensor- en display-technieken (EVS), waardoor de vlieger autonoom, dat wil zeggen onafhankelijk van bestaande (grondgebonden) apparatuur, in staat is om onder slechte zichtcondities ('s nachts, slecht weer) veilig te vliegen.
- HMD-technieken waarmee de cockpit (console met windscreen) als primaire informatieleverancier in feite wordt losgelaten en de benodigde informatie op het vizier van de

vliegerhelm wordt geprojecteerd zodat alle direct van belang zijnde informatie continu beschikbaar en visueel zoeken niet meer nodig is.

Met bovengenoemde ontwikkelingen is het nu mogelijk om de informatiestroom meer dan voorheen, selectief, naar persoonlijke behoefte, aangepast aan veranderende operationele omstandigheden en op basis van human-factors inzichten op een flexibele wijze te configureren. Vergeleken met conventionele systemen is met name de flexibiliteit bijzonder toegenomen. Allerlei gegevens kunnen automatisch gepresenteerd worden volgens een vooraf geselecteerde grafische technieken, volgorde, format, kleuren, locaties, etc.; gegevens kunnen onderling worden vergeleken (cross-check en double-check), gescheiden, uitvergroet en bevroren; nieuwe combinaties van gegevens kunnen worden gecreëerd en geselecteerd. Uiteindelijk kan hiermee een aanzienlijk betere *situational awareness* onder kritische omstandigheden worden bereikt. Dit vereist echter dat bij het ontwerp of de aankoop van vliegtuigen goed onderzocht wordt wat de technische mogelijkheden zijn in combinatie met de kenmerken van vliegtaken, i.e., het soort vluchten dat moet worden uitgevoerd, naar de omstandigheden waarin men terecht kan komen en naar de eisen die daarbij aan de vlieger worden gesteld, bijvoorbeeld m.b.t. de informatieverwerking en de werklast. Op basis van die gegevens dient men dan een keuze te maken voor het systeem als ook voor de informatiestructuur in ruimte en tijd, afgestemd op de verschillende deeltaken. Desondanks zal er altijd een afweging gemaakt moeten worden tussen de voor- en nadelen van verschillende systemen. Het is vrij onwaarschijnlijk dat er één display-systeem te ontwerpen is dat onder alle omstandigheden de voorkeur verdient.

Dit levert een nieuw principieel probleem op, nl met betrekking tot de keuze tussen displays die het beste compromis vormen tussen voor- en nadelen onder verschillende omstandigheden en displays voor specifieke doeleinden en daarvoor optimaal geschikt zijn. Dit laatste betekent dat er moet worden omgeschakeld tussen twee of meer optimale informatieverwerkingsmodes. Een voorbeeld is een display voor *local-guidance* taken, zoals landen, wat het beste lukt met een egocentrisch display en een inside-out dynamiek (b.v. in de HUD) vs. een display voor *global-guidance* taken, zoals navigatie, waarvoor een excentrisch display met outside-in dynamiek zich beter leent. Dient er nu gezocht te worden naar een "general-purpose" compromis, waarbij mentale omschakeling niet nodig is en er geen tijd verloren gaat met het selecteren van displays of dient per situatie het optimale "special-purpose" displaytype te worden gepresenteerd? Hetzelfde probleem speelt bij *north-up* vs. *track-up* presentatie van elektronische kaartinformatie of 2D vs. perspectivische 3D navigatiedisplays. De voorkeur voor deze verschillende presentatievormen hangt steeds sterk af van de deeltaak waarvoor ze worden gebruikt. Met de ontwikkeling van de glass cockpit is het in principe goed mogelijk geworden voor iedere taaksituatie optimale displaytypes te implementeren.

In veel gevallen hoeft het omschakelen tussen displays geen probleem zijn, al kost het natuurlijk tijd. Dat gebeurt immers ook in de conventionele cockpit waar een veelheid van verschillende displays alle hun eigen specifieke variabele continu en onveranderlijk presenteert (consistent mapping). Problematisch kan dit echter worden als er omgeschakeld moet worden tussen verschillende perspectieven zonder dat daarvoor zeer duidelijke en vanzelfsprekende aanwijzingen voor worden gegeven. Dit is bijvoorbeeld het geval bij het principe van *frequency separation* (§ 2.7.3). Bovendien is het de vraag in hoeverre mensen makkelijk kunnen switchen tussen verschillende referentiekaders, of in hoeverre getrainde

mensen (vliegers) hier vaardiger in kunnen worden dan ongetrainden. Nader onderzoek kan hierover uitsluitsel geven.

Daarnaast is het praktisch gezien niet altijd mogelijk dat displays aan alle eisen voldoen omdat deze, door de complexiteit van de vliegtaak als geheel, nogal eens met elkaar in strijd zijn. Een voorbeeld hiervan is het streven naar een optimaal zicht naar buiten in combinatie met het vermijden van reflecties in het beeldscherm of de wens visuele zoektijden naar display informatie zoveel mogelijk te beperken d.m.v. presentatie in de HUD.

Eén van de belangrijke mogelijkheden van de nieuwe technologische ontwikkelingen is dat informatie meer door middel van representaties kan worden aangeboden waardoor deze a.h.w. "direct" kan worden begrepen en vertaald naar actie. Het principe van "direct perception" bestaat al enige tijd (e.g. Gibson, 1966, 1979), maar de grafische technieken maken het nu pas mogelijk om hiervan effectief gebruik te maken in de cockpit. De conventionele cockpit levert voor een zeer groot deel gecodeerde informatie. Wil de vlieger daarmee kunnen werken, dan zal hij deze snel moeten kunnen decoderen en extrapoleren naar zijn situatie in de "real world". Onder invloed van de moderne technologie is het mogelijk geworden om bijvoorbeeld de principes van *pictorial realism* te verwezenlijken. De achterliggende gedachte is dat het tijd bespaart om informatie niet meer in complexe coderingen aan te hoeven bieden, maar gegevens te laten aansluiten bij informatie zoals die "van nature" reeds bestaat, zodat de betekenis van informatie in hoge mate vanzelfsprekend wordt. Als een eenvoudig voorbeeld zou met betrekking tot de interpretatie van kaartgegevens gedacht kunnen worden aan een blauwe ondergrond boven water, een groene ondergrond boven bossen etc.

Andere principes die op basis van de nieuwe technologieën veel beter kunnen worden toegepast zijn bijvoorbeeld *selectie*, *integratie* en *interferentie*. De vliegtaak bestaat uit een groot aantal deeltaken die al of niet tegelijk moeten worden uitgevoerd. Problemen met betrekking tot de werklast komen vooral voort uit het tegelijk moeten uitvoeren van deeltaken of moeten verwerken van informatie. Bij het volgen van een vijandelijk toestel moet afwisselend op de target en op displays worden gefocust, dit laatste bijvoorbeeld om de daalsnelheid te controleren of om te kijken of de target al binnen schootsafstand is gekomen. Uit de integratie- en proximity principes volgt dat deze informatie bij voorkeur geïntegreerd (schootsafstand-informatie gekoppeld aan b.v. de kleur of manier van weergave van het target) of in tijd en ruimte bij elkaar dient te worden gepresenteerd, bijvoorbeeld m.b.v. een HMD. Dit soort samenhangende informatie kan dan zeer efficiënt worden verwerkt.

Helaas is dit niet altijd mogelijk. Veel deeltaken zijn dermate onafhankelijk en verschillend van elkaar dat ze onmogelijk geïntegreerd kunnen worden. Tussen dergelijke taken zal altijd interferentie optreden, vooral als de deeltaken een beroep doen op dezelfde verwerkingsmechanismen (resources) en/of wanneer ze oppervlakkig gezien overeenkomst vertonen (Wickens, 1989; Korteling, 1994). Zoals in hoofdstuk 4 werd aangegeven geldt dit bijvoorbeeld voor *threat* en *combat* in combinatie met *flight*. Tenzij deze functies fundamenteel anders kunnen worden uitgevoerd, bijvoorbeeld volledig door automaten ("co-pilot" systemen), zal interferentie met *flight* niet echt te elimineren zijn. Een hoge graad van automatisering gaat echter ten koste van de noodzakelijke flexibiliteit die b.v. bij luchtgevechten essentieel is. Hierbij dient de man met betrekking tot een groot aantal taakcomponenten "in the loop" te blijven. Het is dan ook niet verwonderlijk dat een groot aantal gevechtsvliegtuigen een twee-koppige bemanning heeft, waardoor de werklast kan worden verdeeld. Ook komt het voor dat taken over verschillende toestellen worden verdeeld. Beide maatregelen zijn duur en stellen hoge eisen aan de samenwerking tussen vliegers. Deze

samenwerking stelt weer nieuwe, hogere-orde, eisen aan vliegers die voortvloeien uit de combinatie van de drie hoofdcomponenten, te weten: de vliegers met hun verschillende taken ("crew-resource management"), te bedienen systemen en (te superviseren) automaten. Hierbij moet gestreefd worden naar een optimale taakverdeling tussen mens en automaat bij de bediening van het systeem, gegeven de missie, deeltaken, technische mogelijkheden, etc. Vanwege de hoge eisen die onder kritische omstandigheden aan de flexibiliteit van meest centrale functies, *flight* en *navigation*, worden gesteld lijkt het van belang de vlieger bij deze functies "in the loop" te houden. Met het oog hierop ligt het wellicht meer voor de hand dat automatisering beter op supervisie- of management aspecten van de vliegtaak gericht kan worden, bijvoorbeeld voor het vermijden van *controlled flight into ground* (CFIG). Voor het beantwoorden van voor dergelijke vragen betreffende de functie allocatie tussen mens en machine en voor het ontwikkelen van effectieve systeemconcepten zal human-factors kennis en onderzoek een steeds belangrijkere rol gaan vervullen.

REFERENTIES

- Adam, E.C. (1981). F/A 18 Hornet Crew Station. In: *The Impact of New Guidance and Control Systems in Military Aircraft Cockpit Design*. AGARD-CP-312, Neuilly-Sur-Seine: NATO.
- Alblas, B.P. (1990). *Visueel ergonomische aspecten van een Helmet-Mounted Display: Een literatuurstudie*. Rapport IZF 1990 A-17, Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Allport, D.A. (1980). Patterns and actions. In Claxton, G. (Ed.), *Cognitive Psychology - New directions* (pp. 26-64). London: Routledge & Kegan Paul.
- Allport, D.A. (1989). Visual attention. In Posner, M.I. (Ed.), *Foundations of Cognitive Neuroscience*. Cambridge MA: MIT Press.
- Bahrack, H.P. & Shelley, C. (1958). Time-sharing as an index of automatization. *Journal of Experimental Psychology*, 56, 388-393.
- Barnett, B.J., Goettl, B., Kramer, A. & Wickens, C.D. (1986). *The object displays in decision making and judgement*. Tech. Report CPL-86-7. Urbana-Champaign: Cognitive Psychophysiology Laboratory, University of Illinois.
- Barnett, B.J. & Wickens, C.D. (1988). Display proximity in multicue information integration: The benefits of boxes. *Human Factors*, 30, 15-24.
- Beringer, D.B. (1987). Peripheral Integrated Status Display. *Displays*, 1, 33-36.
- Bargh, J.A. (1989). Conditional automaticity: varieties of automatic influence is social perception and cognition. In Uleman, J.S. & Bargh, J.A. (Eds.), *Unintended Thought* (pp. 3-51). New York: Guilford.
- Bargh, J.A. (1992). The ecology of automaticity: Toward establishing the conditions needed to produce automatic processing effects. *American Journal of Psychology*, 105, 181-200.
- Borg, W. van der (1994). *Visueel-ergonomische Ontwikkelingen in een Cockpit*. Literatuurscriptie Psychonomie, Vakgroep Psychonomie, Universiteit van Utrecht.
- Braybrook, R. (1988). A look at future cockpit designs. *Armada International*, 1, 18-27.
- Breda, L. van (1994). *Bezoek Boeing flight deck research, Seattle*. Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Breda, L. van & Veltman, J.A. (1995). *Perspectivische informatie in de cockpit als hulp bij het opsporen van doelvliegtuigen*. Rapport TNO-TM 1995 A-.. (in druk), Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Bull, G.C. (1990). Helmet Display Options—A Routemap. In: R.J. Lewandowski (Ed.), *Proceedings SPIE vol.1290, Helmet Mounted Displays II*, April 1990.
- Bundesen, C. & Pedersen, L.F. (1983). Color segregation and visual search. *Perception & Psychophysics*, 33, 487-493.
- Carswell, C.M. & Wickens, C.D. (1985). Lateral task segregation and the task-hemispheric integrity effect. *Human Factors*, 27, 681-694.
- Carswell, C.M. & Wickens, C.D. (1990). Integral, configural, and unitary graphs. *Perception & Psychophysics*, 47, 157-168.
- Carter, R.C. & Cahill, M.C. (1979). Regression models of search time for color-coded information display. *Human Factors*, 21, 293-302.
- Chase, W.G. & Simon, H.A. (1973) The mind's eye in chess. In Chase, W.G. (Ed.), *Visual information processing* (pp. 215-281). New York: Academic Press.
- Christ, R.E. (1975). Review and analysis of color coding research for visual displays. *Human Factors*, 17, 562-570.
- Cohen, J.D., Servan-Schreiber, D. & McClelland, J.L. (1992). A parrallel distributed processing approach to automaticity. *American Journal of Psychology*, 105, 239-269.
- Connor, G.L. & Mages, J.G. (1993). *Enhanced Vision System Flight Test and Development for Commercial Aviation*. Progress report for the international symposium on Head-up Displays and Enhanced Vision Systems. Amsterdam: 25-26 October 1993.
- Dashevsky, S.G. (1964). Check-reading accuracy as a function of pointer alignment, patterning, and viewing angle. *Journal of Applied Psychology*, 48, 344-347.
- Davidoff, J. (1987). The role of colour in visual displays. In: Osborne, D.J. (Ed.), *International Review of Ergonomics 1* (pp. 21-42). London: Taylor & Francis.
- DIN 43802; *Skalen und Zeiger für elektrische Messinstrumenten*.
- Demosthenes, T.A. (1993). Human Factors Aspects of Head Up Displays. In: *Looking Ahead, Proceedings of the International Symposium held in Amsterdam* (pp. 69-72). Amsterdam: 25-26 October 1993.
- Dougherty, D.J., Emery, J.H. & Curtin, J.G. (1964). *Comparison of perceptual work load in flying standard instrumentation and the contact analog vertical display*. TR D 228-421-019, Forth Worth: Bell Helicopter Co.

- Easterby, R.S. (1970). The perception of symbols for machine displays. *Ergonomics*, 13, 149-158.
- Ebert, J.C. (1993). *Color Holographic HUD*. SID 93 Digest.
- Ellens, E. (1989). Visuele informatie presentatie. In: *Richtlijnen voor de Ergonomie van Werkplekken*. Voorburg: Directoraat-Generaal voor de Arbeid.
- Ellens, E. (1993). *Ergonomic data for shipboard space design in NATO surface ships ANEP-26*. Report IZF 1993 A-12, Soesterberg, NL: TNO Human Factors Research Institute.
- Ellis, J.G. & Dewar, R.E. (1979). Rapid comprehension of verbal and symbolic traffic sign messages. *Human Factors*, 21, 161-168.
- Eriksen, C.W. & Hake, H.W. (1955). Multi dimensional stimulus differences and accuracy of discrimination. *Journal of Experimental Psychology*, 50, 153-160.
- FAA-Proceedings, (1992). *The 7th plenary session of the Synthetic Vision Certification issues study team*.
- Garner, W.R. (1970). The stimulus in information processing. *American Psychologist*, 25, 350-358.
- Garner, W.R. & Felfoldy, G.L. (1970). Integrality of stimulus dimensions in various types of information processing. *Cognitive Psychology*, 1, 225-241.
- Garner, W.R. & Creelman, C.D. (1964). Effect of redundancy and duration on absolute judgements of visual stimuli. *Journal of Experimental Psychology*, 67, 168-172.
- General Dynamics Forth Worth Division (1989a). *Flight Manual, F-16 A/B blocks 10 & 15*, T.O. 1F-16A-1.
- General Dynamics Forth Worth Division (1989b). *Nonnuclear weapons delivery F-16 A/B blocks 10 & 15*, T.O. 1F-16A-34-1-1.
- Gibson, E.J. (1969). *Principles of Perceptual Learning and Development*. New York: Appleton.
- Gibson, J.J. (1966). *The Senses considered as perceptual Systems*. London: Allen & Unwin.
- Gibson, J.J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Grether, W.F. & Baker, C.A. (1972). Visual presentation of information. In: Van Cott, H.A. en Kinkade, R.G. (Eds), *Human Engineering Guide to Equipment Design*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
- Green, R.G., Muir, H., James, M., Gradwell, D. & Green, R.L. (1991). *Human Factors for Pilots*. Aldershot, UK: Avebury Technical Academic Publishing Group.
- Groenhout, H.J.M. (1991). *Workload assessment techniques and Pilots Workload in the AH-64 Apache helicopter: A literature research*. Deelen AFB.
- Groot, A.D. de (1966). *Thought and Choice in Chess*. The Hague: Mouton.
- Harms, L. & Bundesen, C. (1983). Color segregation and selective attention in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, 33, 11-19.
- Hart, S.G. & Brickner, M.S. (1987). Helmet-mounted pilot night vision systems: human Factor issues. In Ellis, S.R. (Ed.) *spatial displays and spatial instruments*. NASA Conference Publication 10032, 13.
- Hebb, D.O. (1949). *The Organization of Behavior: a neuropsychological theory*. New York: Wiley.
- Heglin, H.J. (1973). *NAVSHIPS Display Illumination Design Guide: II Human Factors (NELC/TD223)*. San Diego, CA: Naval Electronics Laboratory Center.
- Hollister, W.M. (1986). *Improved Guidance and Control Automation at the Man-Machine Interface*. AGARD-AR-228, Neuilly-Sur-Seine: NATO.
- Hudson, P.T.W. (1984). Encoding information in displays: Colour vs. non-coloured methods and their uses, or, what can you do extra with a colour display? In: Gibson, C.P. (Ed.), *Colour coded vs. monochrome electronic displays*. Proceedings of a NATO Workshop, Farnborough.
- James, W. (1890). *Principles of Psychology* (Vol. I). New York: Henry Holt. Reprinted by Dover Publications: New York, 1950.
- Jaszka, P.R. (1989). JTIDS-A Primary Data Link. *Defence Electronics*, 2, 55-63.
- Jensen, R.J. (1981). Predication and quickening in prospective flight displays for curved landing and approaches. *Human Factors*, 23, 333-364.
- Jones, P., Tomita, A. & Wartenberg, M. (1991). Performance of NCAP projection displays. In: Assenheim et al. (Eds), *Proceedings SPIE vol. 1456, Large-screen projection avionic, and Helmet-Mounted Displays*.
- Keele, S.W. (1967). Compatibility and time-sharing in serial reaction time. *Journal of Experimental Psychology: General*, 75, 529-539.
- Kelley, C.R. (1968). *Manual and automatic control*. New York: Wiley.

- Kinsbourne, M. & Hicks, R. (1978). Functional cerebral space. In: Requin, J. (Ed.), *Attention and Performance VII* (pp. 345-362). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Koffka, K. (1935). *Principles of gestalt Psychology*. New York: Harcourt.
- Kooi, F.L. (1992). Visuele aspecten van Head Mounted Displays. *Memo IZF 1992-M6*, Soesterberg, TNO Technische Menskunde.
- Kooi, F.L. (1993). Binocular configurations of a night-flight head-mounted display. *Displays*, 14 (1), 11-20.
- Korteling, J.E. (1994). *Multiple-task performance and aging*. Academisch proefschrift. Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Kubovy, M. & Pomerantz, J.R. (1981). *Perceptual Organisation*. Hillsdale, NJ: Wiley.
- Leibowitz, H.W. & Owens, D.A. (1977). Nighttime accidents and selective visual degradation. *Science*, 197, 422-423.
- Leibowitz, H.W. & Post, R.B. (1982). The two modes of processing concept and some implications. In: Beck, J. (Ed.), *Organization and representation in Visual Perception*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Livingstone, M. & Hubel, D. (1988). Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science*, 240, 740-749.
- Logan, G.D. (1978). Attention in character classification tasks: evidence for the automaticity of component stages. *Journal of Experimental Psychology: General*, 107, 32-63.
- Logan, G.D. (1992). Attention and preattention in theories of automaticity. *American Journal of Psychology*, 105, 317-339.
- McClelland, J.L. (1978). Perception and masking of wholes and parts. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4, 210-223.
- McCormick, E.J. & Sanders, M.S. (1983). *Human factors in engineering and design*. Auckland, NZ: McGraw-Hill.
- McLean, W.E. (1983). *Comparison of tests for measurement of eye dominance*. Fort Rucker, AL: U.S. Army Aeromedical Research Laboratory.
- Moar, I. (1977). Spatial organization in the free recall of pictorial stimuli. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 29, 699-708.
- Murrel, K. (1981). Ergonomics, London, 1969. In: Schmidtke, H. (Ed.), *Lehrbuch der Ergonomie*, Munchen.
- Myhre, G. (1988). *Accidents in fighter aircraft caused by "human factors". Why do they occur?* AGARD-CP-458, Neuilly-Sur-Seine: NATO.
- Neisser, U. (1976). *Cognition and Reality*. San Francisco: Freeman.
- Neisser, U. & Becklen, R. (1975). Selective looking: attention to visually specified events. *Cognitive Psychology*, 7, 480-494.
- Neumann, O. (1984). Automatic Processing: A review of recent findings and a plea for an old theory. In Prinz, W. & Sanders, A.F. (Eds.), *Cognition and Motor Processes* (pp. 255-293). Berlin: Springer.
- Neumann, O. (1987). Beyond capacity. In Heuer, H. & Sanders, A.F. (Eds.), *Tutorials on Perception and Action* (pp. 361-394). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- North, R.A. (1977). *Task Components and Demands as Factors in Dual-Task Performance*. Report ARL-77-2. Institute of Aviation, University of Illinois: Aviation Research Laboratory.
- Park, D.C. & Mason, D.A. (1982). Is there evidence for automatic processing of spatial and color attributes present in pictures and words? *Memory & Cognition*, 10, 76-81.
- Pinkus, A.R. & Lee, H. (1988). *Display System Image Quality*. AGARD-LS-156, Neuilly-Sur-Seine: NATO.
- Pomerantz, J.R. (1981). Perceptual organization in information processing. In: Kubovy, M. & Pomerantz, J.R. (Eds.), *Perceptual Organization* (pp. 141-180). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Posner, M.I. & Rothbart, M.K. (in press). Constructing theories of mind. To appear in Koch, C. & Davis, J. (Eds.), *Large Scale Neuronal Theories of the Brain*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Posner, M.I. & Snyder, C.R.R. (1975). Attention and cognitive control. In Solso, R.L. (Ed.), *Information Processing and Cognition: The Loyola Symposium* (pp. 55-85). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Rash, C.E. & Martin, J.S. (1988). *The impact of the U.S. Army's AH-64 Helmet Mounted Display on future aviation helmet design*. USAARL Report No. 88-13, Fort Rucker, AL: U.S. Army Aeromedical Research Laboratory.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-13, no. 3.

- Rolfe, J.M. & Staples, K.J. (1986). *Flight simulation*. Cambridge University Press.
- Roscoe, S.N. (1968). Airborne displays for flight and navigation. *Human Factors*, 10, 321-332.
- Roscoe, S.N. (1980). *Aviation psychology*. Ames, IA: Iowa State University Press.
- Roscoe, S.N., Corl, L. & Jensen, R.S. (1981). Flight display dynamics revisited. *Human Factors*, 23 (3).
- Sanders, M.S. & McCormick, E.J. (1987). *Human Factors in Engineering and Design*. New York: McGraw-Hill.
- Schmidtke, H. (1981). *Lehrbuch der Ergonomie*, München.
- Schneider, W. & Detweiler, M. (1988). The role of practice in dual-task performance: towards workload modelling in a connectionist/control architecture. *Human Factors*, 30, 539-567.
- Schneider, W. & Shiffrin, R.M. (1977). Controlled and Automatic Human Information Processing: I. Detection, Search, and Attention. *Psychological Review*, 84, 1-66.
- Schutz, H.G. (1961). An evaluation of formats for graphic trend displays-Experiment II. *Human Factors*, 3, 308-313.
- Shallice, T. (1978). The dominant action system: An information-processing approach to consciousness. In Pape, K.S. & Singer, J.L. (Eds.), *The Stream of Consciousness*. New York: Plenum.
- Simpson, C. & Williams, D.H. (1980). Response-time effects of alerting tone and semantic context for synthesized voice cockpit warnings. *Human Factors*, 22, 319-330.
- Smith, E.E. (1968). Choice reaction time: An analysis of the major theoretical positions. *Psychological Bulletin*, 69, 77-110.
- Snyder, H.L. (1980). *Human visual performance and flat panel display image quality*. Blacksburg, VA: Virginia Polytechnic Institute and State University, Human Factors Laboratory.
- Stein, K. (1989). *The Big Picture*. TDCK nr. XL 19342. Avionics.
- Stokes, A.F. & Wickens, C.D. (1988). Aviation displays. In Wiener, E.L. & Nagel, D.C. (Eds.), *Human Factors in aviation*. San Diego: Academic Press.
- Stollings, M.N. (1984). *Information processing load of graphic versus alpha-numeric weapon format displays for advanced fighter cockpits*. Technical Report AFWAL-TR-84-3037, Dayton, Wright-Patterson Air Force Base, OH: U.S. Air Force Flight Dynamics Laboratory.
- Theeuwes, J. (1992). *Selective Attention in the Visual Field*. Academisch proefschrift. Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Thomassen, A.J.W.M. & Kempen, G. (1976). Het geheugen. In: Michon, J.A., Eijkman, E.G.J. & Klerk, L.F.W. de (Eds.), *Handboek der Psychonomie*. Deventer: Van Loghum Slaterus.
- Treisman, A.M. & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Tritsch, C.L. (1989). A helmet mounted display application for the Space Station Freedom extravehicular mobility unit. In Carollo, J.T. (Ed.), *Proceedings SPIE Vol 1116, March, Helmet Mounted Displays*.
- U.S. Department of Defence (1981). *Human engineering design criteria for military systems, equipment and facilities*. Military Standard 1472 C, Washington, DC.
- Van Cott, H.P. & Kinkade, R.G. (1972). *Human Engineering Guide to Equipment Design*. Washington, DC: American Institutes for Research.
- Veltman, J.A., Breda, L. van & Bronkhorst, A.W. (1994). *Informatievoorziening in de cockpit: Opsporen van andere vliegtuigen met behulp van een 3D audio display*. Rapport TNO-TM 1994 A-32, Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Vigier, M. (1982). *Aspects des Facteurs Humains dans les accidents d'aviation*. AGARD-LS-125, Neuilly-Sur-Seine: NATO.
- Walraven, J. (1985). *Kleuren op het beeldscherm—I: De psychofysische en fysiologische aspecten*. Rapport IZF 1985-11, Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Walraven, J. (1987). *Colour coding for ATC displays*. Rapport IZF 1987 C-27, Soesterberg, NL: TNO Human Factors Research Institute.
- Wandmacher, J. (1981). Contour effects in figure perception. *Psychological Research*, 43, 347-360.
- Way, T.C. (1989). 3-D in pictorial formats for aircraft cockpits. *Proceedings of the Human Factors Society 33rd Annual Meeting*, 23-27.
- Wedell, J. & Alden, D.G. (1973). Color versus numeric coding in a keep-track task: Performance under varying load conditions. *Journal of Applied Psychology*, 57, 154.

- Weisstein, N. & Harris, C.S. (1974). Visual detection of line segments: An object superiority effect. *Science*, 186, 752-755.
- Welford, A.T. (1968). *Fundamentals of skill*. London: Pergamon.
- Whitehurst, H.O. (1982). Screening designs used to estimate the relative effects of display factors on dial reading. *Human Factors*, 24, 301-310.
- Wickens, C.D. (1984). *Engineering psychology and human performance*. Columbus, OH: Charles Merrill.
- Wickens, C.D. & Andre, A.D. (1990). Proximity compatibility and information display: Efforts of color, space and objectness on information integration. *Human Factors*, 32, 61-77.
- Wickens, C.D. & Flach, J.M. (1988). Information processing. In Wiener, E.L. & Nagel, D.C. (Eds.), *Human Factors in aviation*. San Diego: Academic Press.
- Wickens, C.D., Vidulich, M. & Sandry-Garza, D. (1984). Principles of S-C-R compatibility with spatial and verbal tasks: The role of display-control location and voice-interactive display-control interfacing. *Human Factors*, 26, 533-543.
- Wickens, C.D. (1987). Information processing, decision-making and cognition. In Salvendy, G. (Eds.), *Handbook of Human Factors*. New York: Wiley.
- Wickens, C.D. (1989). Attention and skilled performance. In Holding, D.H. (Ed.), *Human Skills* (pp. 71-105). Chichester, UK: Wiley.
- Wood, R.B. & Thomas M.A. (1990). *Holographic head-up display combiners with optical photometric efficiency and uniformity*. In: Assenheim, H.M. & Bell, H.H. (Eds.), *Proceedings SPIE vol. 1289, Cockpit Displays and Visual Simulation*, 17-18 april 1990.

Soesterberg, 9 maart 1995

Dr. J.E. Korteling

REPORT DOCUMENTATION PAGE

1. DEFENCE REPORT NUMBER (MOD-NL)
TD 95-149

2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER

3. PERFORMING ORGANIZATION R
NUMBER
TNO-TM 1995 A-15

4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO.
788.1

5. CONTRACT NUMBER
A89/KLu/316

6. REPORT DATE
9 March 1995

7. NUMBER OF PAGES
75

8. NUMBER OF REFERENCES
127

9. TYPE OF REPORT AND DATES
COVERED
Final

10. TITLE AND SUBTITLE

Visuele informatiepresentatie in gevechtsvliegtuigen (Visual information presentation in combat planes)

11. AUTHOR(S)

J.E. Korteling, R.N.H.W. van Gent and W. van der Borg

12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES)

TNO Human Factors Research Institute
Kampweg 5
3769 DE SOESTERBERG

13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES)

Director of Airforce Research and Development
Binckhorstlaan 135
2516 BA DEN HAAG

14. SUPPLEMENTARY NOTES

15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 BYTE)

16. DESCRIPTORS

Aircraft
Displays
Ergonomics
Human Factors Engineering
Visual Ergonomics

IDENTIFIERS

Cockpit Interfaces
Helmet-Mounted Displays
Information Presentation

17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT)	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE)	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT)
18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT Mailing list only	17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES)	