

dr. ir. H. Schuffel

**Taak en gedrag
in de systeemergonomie:
gezond verstand of inzicht?**

vrije Universiteit amsterdam



dr. ir. H. Schuffel

Taak en gedrag in de systeemergonomie: gezond verstand of inzicht?

Rede uitgesproken op 11 april 1996 bij de aanvaarding van het ambt van bijzonder hoogleraar vanwege de Stichting Het Vrije Universiteitsfonds op de bij de faculteit der psychologie en pedagogiek gevestigde bijzondere leerstoel systeemergonomie.

vrije Universiteit *amsterdam*



Taak en gedrag in de systeemergonomie; gezond verstand of inzicht?

Mijnheer de Rector Magnificus, Dames en Heren,

Kwaliteit als maatstaf.

Kan de bemanning de systemen bewaken en bedienen? Dat is de primaire vraag bij het ontwerpen van de regelkamer van een technisch proces, de brug van een schip of de commandocentrale van een fregat. Deze vraag is voor ontwerpers van mens-machine systemen steeds belangrijker geworden en de aandacht is daardoor gericht op het functioneren van de mens. De techniek dringt zich op en door deze 'technology-push' wordt bijna alles mogelijk. Als evenwel taken en middelen worden bedacht die de mens in verwarring brengen of onjuist belasten, wordt zijn prestatie ten onrechte beperkt en kunnen ongelukken ontstaan.

De onvolkomenheden van een ontwerp-proces komen onder onze aandacht als een ongeluk in de media publiciteit krijgt. Deze publiciteit is vaak aanleiding tot ingrijpende maatregelen. De beschieting van een passagiersvliegtuig door een Amerikaans marineschip in de Perzische Golf in 1988 was zo'n ongeluk. Het was mede aanleiding om bij het ontwerpen van complexe mens-machine systemen met het gedrag van de bemanning systematisch rekening te gaan houden (Booher, 1990). Het betreffende programma, MANPRINT genaamd, werd in 1990 gepresenteerd en vereist een verantwoording van het ontwerp-proces met betrekking tot de eigenschappen van de mens, zijn training, het benutten van ergonomische kennis en de analyse van veiligheid en gebruiksrisico's. De procedure is inmiddels in enkele Europese landen overgenomen en vormt een belangrijke drijfveer om in het ontwerp-proces de taken en het gedrag van de gebruikers in samenhang te beschouwen. In ons land wordt deze werkwijze bevorderd door de wet op de arbeidsomstandigheden. Daarin wordt vereist werkplekken in te richten met de stand van de wetenschap op het gebied van de ergonomie als criterium.

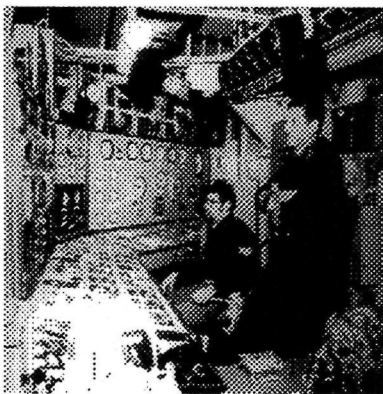
Om te laten zien dat een integrale benadering van mens- en machine-eigenschappen in het ontwerp-proces succes kan hebben, werden in het MANPRINT programma enkele demonstratieprojecten uitgevoerd. Zo bleek ondermeer dat door in het ontwerp-stadium van een helipectermotor de taken en het gedrag van gebruikers te betrekken, het onderhoud van de motor uitgevoerd kon worden zonder speciale training van monteurs en dat het aantal gereedschappen voor onderhoud van 134 naar zes kon worden teruggebracht. Dat bracht geen extra kosten met zich mee en wel een verhoging van de betrouwbaarheid van de motor. Het gaat natuurlijk niet alleen om het ontwerpen van zulke ingewikkelde systemen. Ook bij de ontwikkeling van betrekkelijk eenvoudige software produkten, zoals elektronische invulformulieren of elektronische informatiediensten, kan een nadrukkelijke oriëntatie op gedrag het succes in gebruik zeker met dertig procent verhogen. Een te éénzijdige technische oriëntatie kan tot gevolg hebben dat slechts vijf procent van de potentiële gebruikers zo'n formulier de eerste keer goed kan invullen.

Het MANPRINT-programma markeert een hernieuwde belangstelling voor de kwaliteit van het ontwerp-proces. In de Verenigde Staten verloor de industrie in de tachtiger jaren terrein aan Japan omdat de reputatie van produkten en diensten verslechterde. Daardoor viel het oog op een centraal element van de Japanse industrie: het leveren van produkten die voldoen aan de beloofde kwaliteit. Demming (1982) is wellicht de meest bekende vertegenwoordiger van de daaraan ten grondslag liggende methode van Total Quality Management. De methode beoogt een analytische beheersing van het voortbrengings-proces van produkten en diensten, waarbij de gebruikers en de ontwerpers centraal staan. Inmiddels hebben wij in Europa ook bijna allemaal met kwaliteitsborging te maken, waardoor de aandacht vrij dringend wordt gevestigd op het ontwerp-proces met kwaliteit als maatstaf.

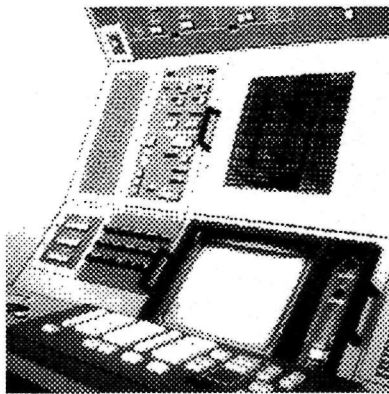
De systeemergonomie levert een bijdrage aan deze kwaliteit door het verwerven en benutten van kennis over taken en gedrag. Het ideaal is om in een vroeg ontwerp-stadium de systeemprestatie en de werklust te voorspellen als gevolg van de kwaliteit van de middelen, de mate van training en de kwaliteit van de fysieke en sociale omgeving. Aan de hand

van een voorbeeld over de ontwikkeling van een regelkamer van een technisch proces wil ik dit illustreren.

De afbeelding (figuur 1) laat een wel zeer klassieke regelkamer zien, met een bezetting van twee personen. Eén bewaakt als supervisor het gehele proces en de ander bedient als operator een deelsysteem. De procestoestand wordt gepresenteerd met analoge meters en bediening is mogelijk met knoppen en hendels.



Figuur 1: Conventionele regelkamer met een operator en een supervisor.

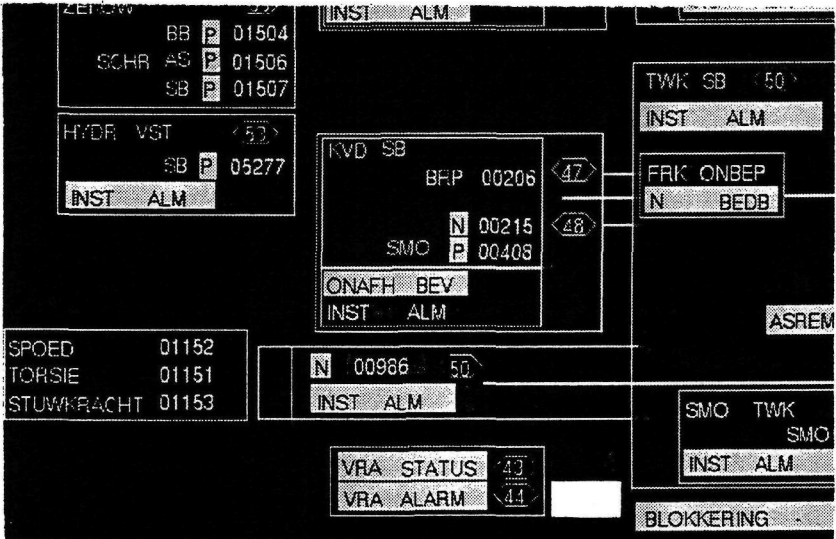


Figuur 2: Mock-up van een werkplek van een supervisor, waarbij taken van de operator zijn geautomatiseerd.

Er bestond behoefte aan een nieuw systeem, om met moderne technologie de bedrijfsvoering te rationaliseren. Uit een analyse van de taakuitvoering werd afgeleid hoe taken over mens en machine herverdeeld konden worden. Toepassing van nieuwe technologie maakte het mogelijk een werkplek te ontwerpen waarin minder mensen meer taken uitvoeren.

In figuur 2 zien we een houten model, een mock-up van de werkplek voor één supervisor. De taak van de operator is geautomatiseerd. Het paneel laat een statusoverzicht van de procestoestand zien en de supervisor kan met beeldscherm en toetsenbord het proces bewaken. Eén

van de vragen die in deze fase opkomt, is of de supervisor eventuele afwijkingen in het procesverloop kan detecteren en de oorzaak kan opsporen. Als daarover onzekerheid bestaat kan in een simulatie-opstelling de verwachting over het gedrag van de supervisor worden getoetst. Een eerste test daarbij is of de leesbaarheid en de begrijpelijkheid van het processchema voldoet.



Figuur 3: Deel van een processchema waarin de structuur van het proces is te herkennen. Alarmeringen worden in rood aangegeven (hier in helder wit) en vragen aandacht van de operator, omdat de grijsgradaties waarin de structuur is aangegeven, het contrast tussen alarm en achtergrond vergroten.

Dit processchema (figuur 3) is opgezet volgens ergonomische richtlijnen. Dit komt ondermeer tot uiting dat elk van u nu zal denken dat er iets mis is met een onderdeel van dit systeem. Dat is juist. Zonder uitleg herkent iedereen een alarm ("VRA ALARM 44") en de plaats van het alarm in de structuur van het proces. Een tweede test bestaat uit een experiment waarin toekomstige operators de oorzaak van een alarm moeten opsporen. De prestatie wordt bijvoorbeeld uitgedrukt in het percentage correcte diagnoses.

Percentage correcte diagnoses

	interface hulp	
	zonder	met
elektrotechnici	66%	94%
werktuigkundigen	59%	84%
Totaal	62%	89%

Figuur 4: Diagram waarin het aantal opgespoorde oorzaken van alarmen als percentage van het totale aantal aangeboden alarmen is aangegeven.

In dit diagram (figuur 4) zien we de kolom 'zonder' (62%), als alleen gebruik wordt gemaakt van een processchema, en wanneer de operator actief hulp krijgt van de interface, de kolom 'met' (89%). Een organisatie kan natuurlijk 62 procent correcte diagnose voldoende vinden. In dit geval is gezocht naar een hoger percentage (Raaymakers, 1993). Uit de cognitieve psychologie is bekend dat supervisors de neiging hebben bij een alarm te snel te concluderen wat de oorzaak is. Door bij alarmen de supervisors eerst via de interface de mogelijke oorzaken voor te houden en pas daarna de diagnose te laten vaststellen kon het percentage correct tot 89 procent worden opgevoerd. Het diagram laat ook een verschil zien tussen electronici en werktuigkundigen. Dit suggereert dat ook door opleiding en training verbetering van het diagnoseproces mogelijk is.

Het voorbeeld illustreert het streven van de ergonomie naar een ontwerp-proces met kwaliteit als maatstaf. Dit proces volgt de gangbare opvattingen over het oplossen van problemen. Eerst worden de doelstellingen en de werkwijzen geanalyseerd, meestal aangeduid met missie- en functieanalyse. Vervolgens worden oplossingen bedacht hoe mensen en middelen die functies kunnen vervullen. De ergonomie besteedt daarbij bijzondere aandacht aan de verdeling van werkzaamheden over mens en machine en de inrichting van de werkplek in de meest brede betekenis. En tenslotte wordt, zoals in het voorbeeld is

aangegeven, het gedrag getoetst en de middelen en eventuele training bijgesteld. Dit bijstellen is een essentieel element.

Het ontwerp-proces wordt daarom verschillende keren herhaald en wordt naar mate de voortgang vordert, meer in detail doorlopen. Het is geslaagd als, na realisatie, geen aanpassingen nodig zijn en de beloofde kwaliteit wordt geleverd. De ergonomie levert het grootste effect als in een vroeg stadium van het ontwerp de gebruikerseigenschappen worden betrokken. Curatieve ergonomie, het achteraf aanpassen van de taken en hulpmiddelen, is ondoelmatig en voor de betrokkenen weinig bevredigend. De kwaliteit van de prestatievoorspelling bepaalt het nut van de bijdrage en daar hangt de waardering van de ergonomische inbreng vanaf.

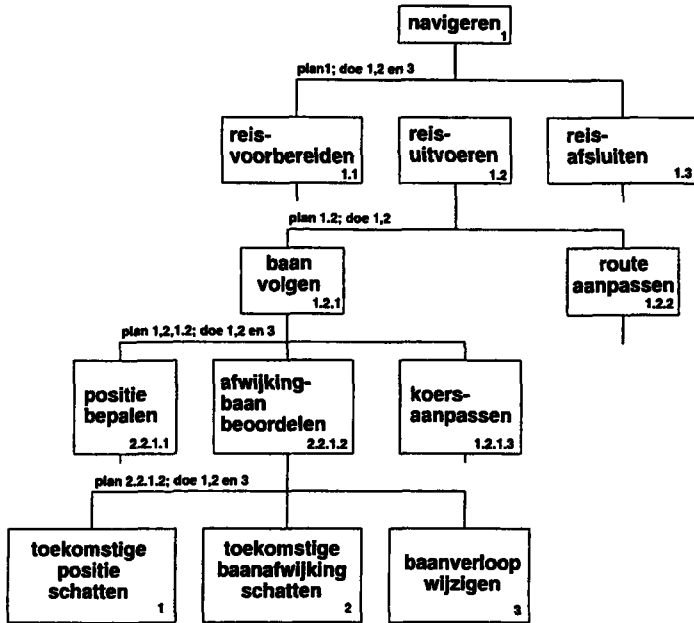
Ik wil nu met u nagaan hoe dit proces van missie- en functie-analyse, van taakverdeling en ontwerp en van test en evaluatie kan verlopen, welke ontwikkelingen zich daarbij voordoen en welke plaats ergonomisch onderzoek daarbij inneemt.

Missie- en functie analyse.

In de fase van analyse worden missies en scenario's bestudeerd en wordt in een normatieve, functionele beschrijving vastgelegd hoe de missie vervuld zal worden. De ambitie van organisaties wordt meestal uiteengezet in een beschrijving van de missie. Daaruit volgen doelstellingen voor het mens-machine systeem. Het is een probleem als organisaties daarover in verwarring zijn, want het behalen van kwaliteit staat of valt met de helderheid van de vraagstelling. Scenario's definiëren de loop van de gebeurtenissen en de omstandigheden onder invloed waarvan de doelstellingen gerealiseerd dienen te worden.

Wat het systeem moet doen wordt vastgelegd in functies. Dit zijn activiteiten die letterlijk met werkwoorden aangeven wat er gedaan dient te worden om de missie te volbrengen. In het geval van ladingstransport met schepen gaat het om navigeren, voortstuwen, drijven en

ladingsbewaking. Deze globale systeemfuncties worden uiteengegrafeld in ondergeschikte functies tot het niveau waarop de ontwerper zich af kan vragen of deze elementaire functie door een mens of middel uitgevoerd kan worden. Dit proces van hiërarchische onder- en nevenschikking is in aanleg logisch, deductief en berust vooral op het gezonde verstand.



Figuur 5: Een voorbeeld van een hiërarchische decompositie van een navigatiefunctie.

Dit voorbeeld (figuur 5) toont een decompositie van de navigatiefunctie op een schip. Van links naar rechts wordt de volgorde van activiteiten aangegeven (voorbereiden, uitvoeren en afsluiten). Van boven naar beneden worden de activiteiten steeds verder gedetailleerd. Hier wordt, op het één na laagste niveau, aangegeven dat afwijkingen van de baan beoordeeld dienen te worden. Criteria die daarbij gelden zijn niet altijd voor handen. Soms kunnen ze op analytische wijze worden opgesteld,

maar in veel gevallen dient een beroep te worden gedaan op methoden uit de psychologie om kennis van ervaren experts te benutten. Zo werd in een studie over het beloodsen van schepen in de haven van Rotterdam (Schraagen, 1994) met de methode van 'hard-op-denken' geanalyseerd welke baanafwijkingen acceptabel gevonden worden. Deze methode is ontwikkeld om het niet observeerbare gedrag in kaart te brengen (Van Someren et al., 1994).

Analyse methoden, zoals de hier genoemde methode van 'hard-op-denken' en van 'hiërarchische functie decompositie' zijn al vrij lang beschikbaar, maar het gebruik is nogal eens onderwerp van discussie. Uit een inventarisatie van Beevis in 1988 inzake kennis en toepassing van dergelijke methoden bleek dat ergonomen er weinig bekend mee zijn en dat de toepassing sterk uiteenloopt (Beevis, 1992). De methoden zijn noch consistent, noch gestandaardiseerd. Ze laten een hoge mate van subjectiviteit in het gebruik toe en de toepassing is tijdrovend. Inmiddels blijkt uit recente overzichten van Beevis (1992) en Kirwan en Ainsworth (1994) dat onder invloed van de ontwikkelingen in de computerindustrie verbetering is opgetreden. Voor een deel zijn software engineering methoden overgenomen (Marca and Growan, 1987, Yourdan 1989). Hierdoor wordt de kwaliteit van het ontwerp-proces bevorderd, voor wat betreft reproduceerbaarheid, consistentie, nauwkeurigheid en objectiviteit van de analyses.

De functionele benadering van het ontwerp-proces ondervindt hierdoor, ondermeer bij het ontwerp van marineschepen, herwaardering (Huisman 1995, Pearce 1990), vooral omdat de complexiteit van het ontwerp-proces zo is toegenomen. Zowel voor de aanschaf van apparatuur, als voor het vaststellen van de bemanningsgrootte, is het noodzakelijk geworden de kosten van investering en instandhouding af te wegen tegen de prestaties op zee. De ontwikkelingen gaan hierbij verder in de richting van computer ondersteund ontwerpen en operations-research. Het streven is om in de fase van analyse, alternatieve concepten te ontwikkelen, waarbij eigenschappen van het schip als platform en ladingdrager worden afgewogen tegen de haalbaarheid van de missies onder diverse omstandigheden. Deze ontwikkeling wordt geconcretiseerd

in een computermodel, waarin kennis van de diverse disciplines is opgenomen. Het conceptontwerp wordt gevarieerd en laat zien hoezeer de prestaties onder diverse omstandigheden aan de ontwerp-criteria beantwoorden. Een onderdeel hiervan is een bemanningsmodel dat de benodigde omvang van de bemanning berekent voor verschillende scenario's.

Verdeling van taken en andere ontwerp-stappen.

Zoals dit overzicht (figuur 6) laat zien wordt de functieanalyse gevolgd door de functieallocatie. De toewijzing van elementaire functies aan mens of machine is een proces waarin door iteratie de vereiste taken en het gewenste gedrag worden vastgesteld. Het interface-ontwerp, de training en de omgevingsfactoren worden gespecificeerd, rekening houdend met de beschikbare technologie. De verrichting van deze taken door mens of machine wordt nagegaan in het proces van de taakanalyse.

Missie- en scenario analyse

functie analyse

functie allocatie

taakanalyse

interface ontwerp

omgevings factoren

training

? {
taken mens
taken machine

Figuur 6: Overzicht van de ontwerp-stappen die volgens de systeemergonomie doorlopen worden.

Vastgesteld wordt welke gegevens tussen mens en machine uitgewisseld dienen te worden, welke kennis daarbij nodig is en hoe acties geïnitieerd en teruggemeld dienen te worden.

Historisch gezien werden taken geautomatiseerd als dat kosten-effectief was. Vooral in de luchtvaart (Wiener, 1980, 1985) bleek al heel snel dat daardoor de rol van de vlieger verandert in die van een supervisor van geautomatiseerde deelsystemen en dat daarmee de veiligheid van de procesbeheersing extra aandacht verdient. Vooral Singleton (1974) heeft naar voren gebracht dat de systeembenadering logischerwijs de vraag oproept door wie en waarmee functies vervuld dienen te worden. Het ligt voor de hand deze toe te wijzen op basis van de relatieve voordelen van mens of machine. De eerste pogingen om deze relatieve voordelen te kenmerken zijn van Fitts (1962). De zogenoemde lijst van Fitts, zoals 'de mens is goed in improviseren', 'de machine is goed in consistente en snelle uitvoering van routinetaken' dient evenwel voortdurend te worden herzien, omdat de eigenschappen van de machine door de 'technology-push' zo aan verandering onderhevig zijn. Het proces van functieallocatie is daardoor in discussie (Price, 1985; Fuld, 1993).

Op een onlangs gehouden internationale workshop over functieallocatie werd de stand van zaken nog eens in kaart gebracht (Beevis 1994). Het ging in hoofdzaak over functies in command- and control systemen. Er kwam naar voren dat het toewijzingsproces vooral creatief en inductief van aard is en zich nog niet leent voor een wetmatige benadering. Ruwweg werden er twee visies gepresenteerd. Een eerste, traditionele visie van Fitts, waarin eigenschappen van de mens tegenover eigenschappen van de machine worden gesteld, wordt nog steeds in een aangepaste vorm gebruikt. Een tweede visie kan gekenmerkt worden door de adaptieve samenwerking van mens met computer. Sheridan (1994) stelt voor dat mens en computer elkaar voortdurend op de hoogte houden van de systeemtoestand en elk zo nodig acties voorstellen en uitvoeren. Een dergelijke benadering is door Onken (1994) gerealiseerd bij de ontwikkeling van een prototype 'cockpit assistant system' voor vliegtuigbesturing.

De vraag daarbij is ondermeer of de computer de mens dient te controleren. Recentelijk is uit de krachtmeting van een van de beste schakers ter wereld, Kasparov, met de schaakcomputer 'Deep Blue' gebleken dat in deze bijzondere situatie van training en analyse van het schaakproces, de mens nog maar net kan winnen. Kort daarop hebben Karpov en de schaakcomputer 'Fritz' deze krachtmeting nog aangescherpt. Dit bevestigt wel dat we de gelijkwaardige en soms superieure rol van de computer, zoals die hiervoor gesuggereerd werd bij het 'cockpit assistant system', moeten gaan erkennen. Het vormt een extra uitdaging voor het onderzoek op dit onderwerp, want uit de bevindingen van de workshop kwam ook naar voren dat de voorspellende kracht van het functieallocatie-proces gering is. Het proces is echter essentieel om problemen op te lossen die zijn geassocieerd met menselijke fouten, sub-optimale taakuitvoering en onbetrouwbaarheid van het systeem als geheel. Het komt er daarom op aan de interactie tussen mens en machine in specifieke situaties en in detail te analyseren. Door Rasmussen (1986) is een raamwerk ontwikkeld dat zich leent voor een systematische benadering. Het raamwerk maakt onderscheid tussen drie hiërarchische niveaus van gedrag: gebaseerd op kennis, regels en vaardigheden. Deze hiërarchische structuur vinden we terug bij de structuur van command- and control systemen en bijvoorbeeld bij de navigatie van een schip (Schuffel, 1992).

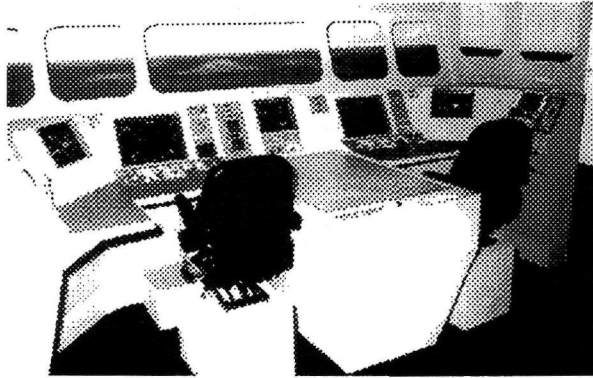
Dit diagram (figuur 7) laat zien hoe het raamwerk gebruikt kan worden bij de taakverdeling op een scheepsbrug. Op het niveau van planning en besluitvorming benut de gezagvoerder zijn kennis om de route op te stellen. Dit is een weinig frequente activiteit met een tijdvenster van uren en dagen. Met deels onbetrouwbare informatie dient gekozen te worden uit alternatieve routes. Mens en computer werken hier samen. De uiteindelijke verantwoordelijkheid voor het handelen ligt bij de mens. Op het niveau van superviseren bewaakt de wachtofficier afwijkingen van de geplande route met een tijdvenster van minuten tot uren. Gedrag is gebaseerd op regels, zoals het berekenen van het gevaar voor aanvaring. Dit type berekeningen is voor een groot deel door de computer overgenomen. Bij het waarnemen van de omgeving kan de mens, ondanks de beschikbaarheid van radar, nog niet gemist worden. Op het

niveau van regelen compenseert de roerganger koersafwijkingen met een tijdvenster van seconden tot minuten. Gedrag is hierbij voornamelijk op vaardigheid gebaseerd. De computer is in dit geval superieur ten opzichte van de mens.

Verdeling van taken tussen mens (M) en computer (C) op een scheepsbrug			
activiteiten	taakverdeling		
	waarnemen	verwerken	handelen
besluitvorming (gezagvoerder)	CM	CM	M
superviseren (wachtofficier)	CM	C(M?)	C
regelen (roerganger)	C	C	C

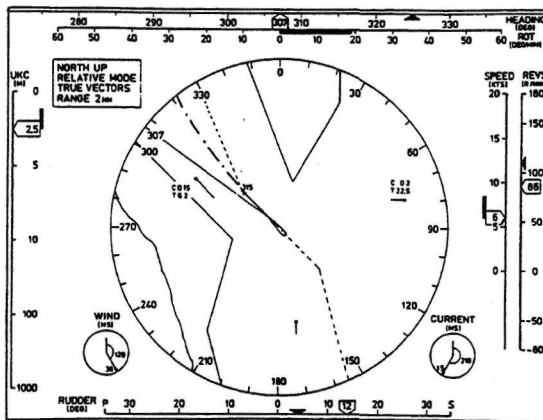
Figuur 7: Raamwerk voor het toewijzen van taken aan mens of computer op een scheepsbrug.

Dit diagram geeft ook de stand van de automatisering in het algemeen aan. Regel- en supervisietaken zijn voor het grootste deel geautomatiseerd. Het onderzoek concentreert zich op de besluitvorming en het superviseren onder kritische omstandigheden. Als illustratie volgt hier een voorbeeld over de taakverdeling tussen mens en computer op het niveau van superviseren. In het proces van taakverdeling was het een vraag of de mens bij het schatten van toekomstige baanafwijkingen (zie figuur 5) nog een nuttige bijdrage kon leveren. Dit is hier aangegeven met een 'M-vraagteken'. Deze vraag maakte deel uit van een onderzoek naar de modernisering van scheepsbrug-concepten.



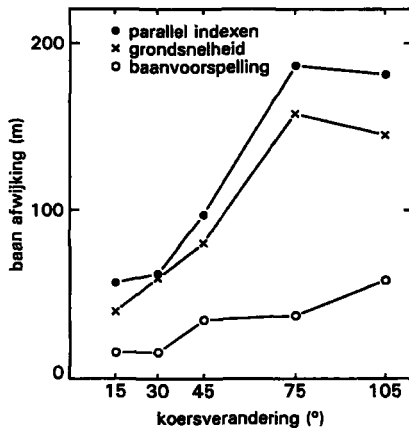
Figuur 8: Mock-up van een scheepsbrug voor gebruik door één of twee personen.

Deze afbeelding (figuur 8) laat zo'n concept zien, waarbij bediening door één of twee personen mogelijk is. Vanuit de bedieningsposities kan de gehele omgeving worden waargenomen. De instrumenten voor de navigatie, voortstuwing, drijven en ladingsbewaking zijn geïntegreerd in de consoles. Recht voor elke positie bevindt zich een navigatiebeeldscherm.



Figuur 9: Een navigatie beeldscherm waarop hier op vereenvoudigde wijze informatie voor besluitvorming, supervisie en regelactie is weergegeven. De gekromde baan (hier streep-stip) is met een baanvoorspeller berekend.

Op deze afbeelding (figuur 9) zien we het navigatiebeeldscherm met in het midden het schip. Op vereenvoudigde wijze zijn hier gegevens voor de drie niveaus van activiteit gepresenteerd: de regeling van roer en schroef, de bewaking van koers en vaart en de planning van de route. Het voorgenomen traject is met een streeplijn aangegeven. De toekomstige baanafwijking kan door de wachtofficier worden geschat of met een baanvoorspeller worden berekend. De gekromde baan geeft aan waar, volgens een baanvoorspeller, het schip over enkele minuten terecht zal komen.



Figuur 10: Resultaten van een experiment waarin de nauwkeurigheid van manoeuvreren is uitgezet als functie van koerswijziging, baanvoorspelling en twee meer conventionele wijzen voor het bewaken van een baanafwijking.

In deze afbeelding (figuur 10) zien we op de verticale as de baanafwijking en op de horizontale as de grootte van de koerswijziging. De onderste kromme geeft de prestatie weer met de baanvoorspeller; de baanafwijking is betrekkelijk klein en vrijwel constant voor alle koerswijzigingen. Een koersverandering door de wachtofficier met conventionele middelen laat zeer grote afwijkingen zien. De uitkomst van de functieallocatie zou de ontwerper dus moeten overtuigen dat de computer in dit geval superieur is.

In het bijzonder voor deze meer cognitief gerichte taken wordt gezocht naar systematiek voor het functieallocatie-proces. Zo stellen Campbell en Essens (1995) een methode voor die uit twee stappen bestaat. De eerste stap betreft de beoordeling van 18 elementen uit de informatie verwerkingscyclus volgens een verbeterde lijst van Fitts. In de tweede stap wordt de uitvoering gecontroleerd. Bij deze controle neemt de cognitieve taakanalyse een belangrijke plaats in. Welke kennis is nodig en hoe wordt die kennis door mensen of machines gebruikt in de specifieke taak (Diaper, 1989, Merkelbach en Schraagen, 1994). Bezien vanuit de 'technology-push' zal een technisch gerichte benadering de kennis van ervaren gebruikers in kaart willen brengen om een kennissysteem te ontwikkelen dat het menselijk redeneren vervangt. De mens-gerichte benadering zal door 'cognitive-engineering' trachten aan te sluiten bij de gedachtenvorming van de gebruiker (Klein 1990).

Het functieallocatie-proces behoeft niet noodzakelijkerwijs uit te monden in verbetering van de interface. Het is ook het proces om na te gaan of training van de operator kan helpen. Met de hiërarchische taakanalyse (Annet, 1971) als uitgangspunt verbeterden Schaafstal en Schraagen (1995) het storingzoeken in computersystemen. De taakanalyse maakte duidelijk welke systematiek de storingzoekers moesten volgen. De methode van trainen werd daardoor meer op functionaliteit en minder op techniek gericht, met het resultaat dat de trainingstijd werd gehalveerd en de kwaliteit van het storingzoeken werd verdubbeld.

Hiermee ben ik aangeland bij de test- en evaluatiefase van het ontwerp-proces.

Analytische Test en Evaluatie

In deze fase kunnen twee hoofdlijnen worden onderscheiden: de analytische en de empirische evaluatie. In beide gevallen zijn in de loop van het ontwerp-proces de missie, scenario's, functies en taken beschreven. Het gaat er vervolgens om de scenariobeschrijving te operationaliseren en het volvoeren van de missie te testen. Uiteraard zou

men alle kritische en gevaarlijke situaties die zich in de praktijk kunnen voordoen willen inventariseren, maar helaas kunnen we niet alles dat fout gaat verzinnen. Bovendien ontstaan kritische situaties veelal door een samenloop van omstandigheden. Om nu deze kritische en gevaarlijke situaties zo dicht mogelijk te benaderen, is het aan te bevelen op zoek te gaan naar de grenzen van het mens-machine systeem. Een test onder de gevaarlijke omstandigheden dient de grenzen van de operationele inzetbaarheid aan te tonen en de wijze waarop de veiligheid dan gehandhaafd kan worden. Een test onder routinematige en kritische condities moet aantonen dat het systeem werkelijk aan de gestelde eisen kan voldoen.

Bij de analytische benadering worden taken wiskundig beschreven. De taken worden aan elkaar gerelateerd, hetgeen een netwerk oplevert. Met dit netwerk berekent de computer de taakuitvoering door een hypothetische operator. Het spreekt vanzelf dat nogal wat aangenomen moet worden over reacties van de operator en dat geeft natuurlijk ook de beperkingen aan. Toch hebben studies van Kraiss (1981) en Van Breda (1989) laten zien dat met dergelijke netwerken het besturen van een onderzeeboot heel reëel kan worden nagebootst. Het sterke punt van deze benadering is dat de vermoedelijk benodigde en de normatief beschikbare tijd van een operator voor het uitvoeren van diverse taken berekend kan worden. Dit bepaalt het kritische pad in de taakuitvoering en de eventuele zwakke plekken in dat proces. Verfijningen zijn mogelijk door in het netwerk ongevalsfactoren in te voeren. Nog realistischer wordt het netwerkmodel door de perceptief, cognitief en motorische processen te modelleren volgens inzichten uit theorie over informatieverwerking. Deze inspanningen kunnen ertoe leiden dat het normatieve, analytisch vastgestelde model van de taakuitvoering bij benadering gedrag beschrijft (Harris, 1989, Card et al., 1983).

Deze analytische benadering is uit het oogpunt van systeemontwikkeling aantrekkelijk, omdat juist in de ontwerp-fase de haalbaarheid van verschillende concepten vergeleken kan worden. 'Human Performance Models' (McMillan, 1989) staan hierdoor opnieuw in de belangstelling en scheppen kansen om kennis over gedrag toe te passen.

Empirische beproeving.

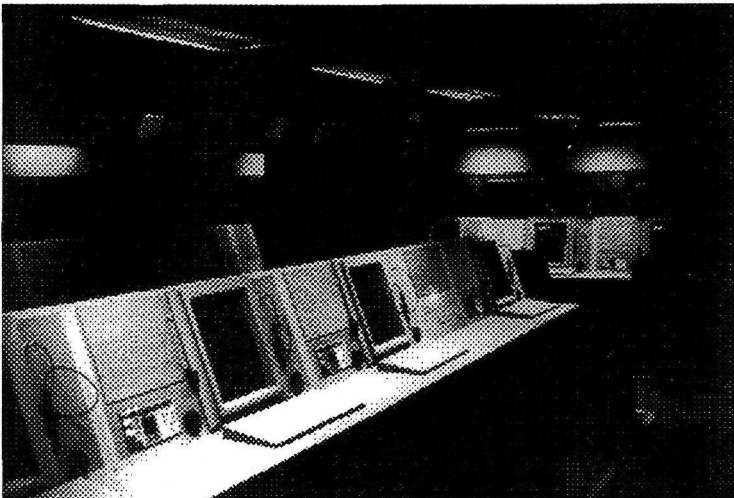
De empirische beproeving met 'human-in-the-loop' simulatie komt aan de orde, als enkele kandidaatssystemen zijn geselecteerd en de interactie tussen mens en machine in detail geanalyseerd dient te worden. De beproeving bevindt zich tussen twee polen; die van het gedragsonderzoek en die van de 'systems-engineering'. Het is een kwetsbare positie, want vanuit het standpunt van experimenteel psychologisch onderzoek verklaart zo'n benadering te weinig en in de visie van de systems-engineering is deze te beperkt, te weinig realistisch en te duur. Door Gopher en Sanders (1984) werd in dit verband een benadering voorgesteld waarin proefopzetten met slechts enkele variabelen, en gebaseerd op theorie, worden gecombineerd met meer op de werkelijkheid gelijkende, maar veel complexere, simulatieopstellingen. Het voordeel is dat voor de werkelijke situatie een uitspraak gedaan kan worden hoezeer kandidaatssystemen verschillen. In het licht van theorie kunnen verschillen geïnterpreteerd worden.

Onlangs liet een student van de vakgroep psychonomie van deze universiteit zien dat zo'n benadering goed kan aansluiten bij het onderwijs en onderzoek. Het ging daarbij om de invloed van scheepsbeweging op monitortaken. Een complex onderwerp, waarbij door combinatie van eenvoudige keuze-reactietaken in het licht van theorie over informatieverwerking enig inzicht verworven kon worden (Helsdingen, 1996).

Soms is er een sterke behoefte om in proefopzetten de complexiteit van de werkelijkheid zo volledig mogelijk te simuleren. De neiging alles te willen nabootsen wordt ingegeven door gebrek aan inzicht en de daardoor veroorzaakte vrees de essentiële elementen uit de taakuitvoering te missen. Op dit punt zal de kennis van gedrag en techniek bijdragen aan vereenvoudiging van proefopzetten. Vooral een combinatie van technische en psychologische disciplines zal meerwaarde opleveren. De kwaliteit van de evaluatie hangt natuurlijk af van de

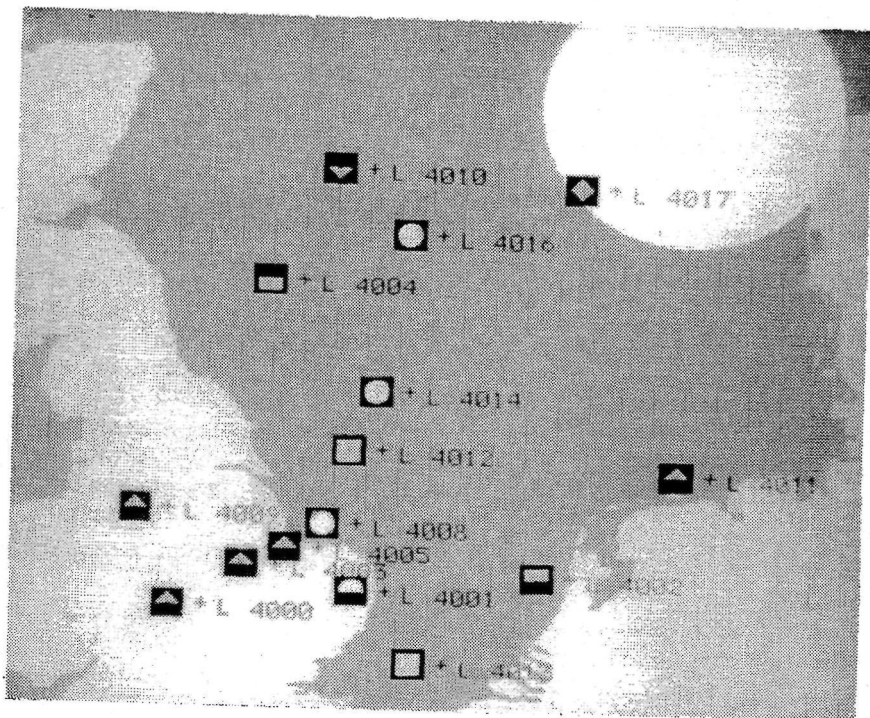
simulator-validiteit (Sanders, 1991), maar ik denk dat simulaties de werkelijkheid zo langzamerhand wel heel goed kunnen benaderen.

Om de grenzen van het mens-machine systeem te verkennen dient de ontwerper zich vooral te richten op de beperkingen van het gedrag van mens en techniek. Zo is de kennis die een operator heeft van een systeem zelden volledig. Ook is het vaak een probleem voor de operator om bij het superviseren van een aantal deelsystemen de aandacht goed te verdelen als er in een van de deelsystemen een fout optreedt. Daarnaast kunnen loze alarmen leiden tot verwaarlozing van de aandacht (Kerstholt, 1994). Scenario's om kandidaatssystemen te toetsen en te evalueren dienen zo ontworpen te worden dat de invloed van dergelijke factoren op de systeemprestatie gemeten kan worden. Een voorbeeld is het onderzoek van Passenier en Van Delft (1996) naar informatieoverdracht in commandocentrales.



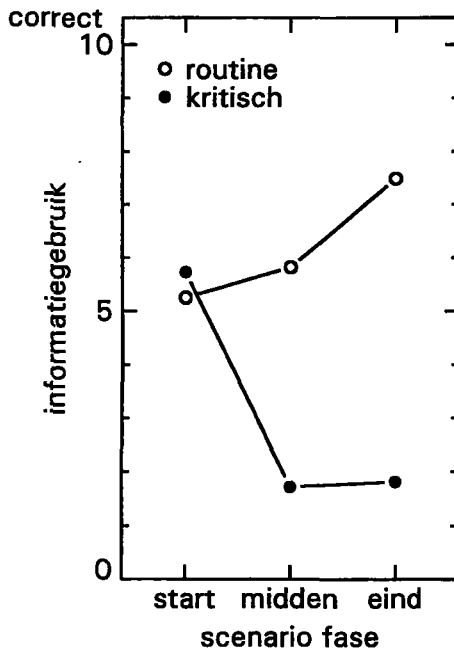
Figuur 11: Mock-up van een commandocentrale met beeldschermstations.

Deze afbeelding van een mock-up van een commandocentrale (figuur 11) laat een rij consoles met beeldschermen zien waarop via sensoren, objecten uit de omgeving worden afgebeeld.



Figuur 12: Beeldscherm uit een commandocentrale.

Op een beeldscherm (figuur 12) zien we symbolen met op de achtergrond structuur, die gemakkelijk als een deel van de Noordzee wordt herkend. Symbolen geven door vorm en kleur betekenis aan objecten en gebieden. Uit deze configuratie van symbolen dient de supervisor af te leiden wat er in de omgeving gaat gebeuren. In routinescenario's verloopt het beoordelingsproces vrijwel zonder denken. In onverwachte situaties dient de aandacht over de aangeboden informatie te worden verdeeld en vormt daardoor een kritisch scenario.



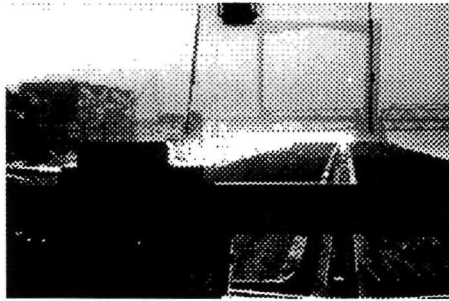
Figuur 13: Het informatiegebruik in een commandocentrale bij het beoordelen van een omgevingstoestand als functie van een routinematig en kritisch scenario.

In een experiment (figuur 13) over het beoordelen van de omgevingstoestand werd een routine en een kritisch scenario aangeboden. Als maat voor het beoordelen werd het gebruik van informatie genomen. Op de horizontale as voltrekt zich het verloop van het scenario: start, midden en eind. Op de verticale as staat correct informatiegebruik met een tien aangegeven. In het kritische scenario wordt, vooral in de midden- en eindfase, de informatie onvoldoende benut. In het routine scenario daarentegen is men patronen en regels gaan herkennen, waardoor het informatiegebruik verbetert in de eindfase. In het vervolg van het ontwerp-proces dient nu de interface bijgesteld te worden om de prestatie te verbeteren.

Neerincx (1995) heeft een dergelijke benadering gevolgd ten behoeve van de ontwikkeling van nieuwe planningssystemen voor treindienstleiders van de Nederlandse Spoorwegen. Onverwachte gebeurtenissen, zoals wisselstoringen, maken het noodzakelijk dat treindienstleiders van de oorspronkelijke planning afwijken. Door proefpersonen deze scenario's aan te bieden waarin meer of minder aandacht nodig was voor de planning, kon de kwaliteit van de interface en de werklust worden beoordeeld.

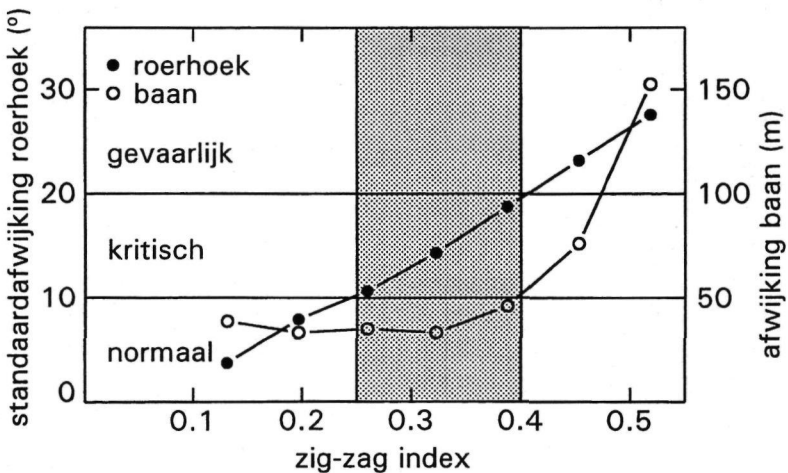
Met deze voorbeelden wordt nog eens aangegeven dat het niet alleen gaat om de vraag of scenario's uitvoerbaar zijn, maar ook of de aanspraak die het systeem op de vermogens van de gebruiker maakt binnen aanvaardbare grenzen ligt. Meestal wordt aangenomen dat een operator goed functioneert als het systeem binnen de gestelde grenzen blijft. We vinden het vanzelfsprekend dat de automobilist op de eigen wegheeft blijft en de vlieger in zijn baan. Aan de systeemprestatie is evenwel niet te zien hoeveel moeite de operator moet doen om het systeem binnen de grenzen te houden. Om een beeld te vormen van de werklust van een operator worden in het algemeen subjectieve oordelen, fysiologische maten of zogenaamde tweede taken benut, die aangeven hoeveel capaciteit van de mens nog in reserve is om de taak uit te voeren (Eggemeier en Wilson 1991).

Soms kan een subjectief oordeel over de werklust verbonden worden met de regelingrepen die een operator moet maken om het systeem binnen de grenzen te houden. Om dit te illustreren ontleen ik nog een voorbeeld aan onderzoek naar het sturen van schepen (Schuffel, 1990). Om het manoeuvreren te kenmerken kan men de kapitein van een schip een uitwijkmanoeuvre laten maken. Uitwijkmanoeuvres komen in de praktijk in allerlei vorm voor. Vanuit de stuurpositie op een binnenvaartschip kan zo'n uitwijkmanoeuvre er als volgt uitzien (figuur 14).



Figuur 14: Uitzicht vanaf de brug van een binnenvaartschip bij het inzetten van een uitwijkmanoeuvre.

Het is wel duidelijk dat, gegeven de traagheid van de scheepsreactie, het nogal kritisch is wanneer en met hoeveel roeruitslag ingegrepen moet worden. Om dit verder te onderzoeken is de taak gegeneraliseerd voor een serie kleine en grote uitwijkmanoeuvres. Uitwijkmanoeuvres worden in de volgende figuur met een index weergegeven.



Figuur 15: Mentale werklust en systeemprestatie van een serie uitwijkmanoeuvres. Kleine uitwijkingen hebben een index kleiner dan 0,2. Een subjectief oordeel over de werklust (normatief, kritisch, gevaarlijk) is verbonden met de regelingrepen (standaardafwijking roerhoek). De systeemprestatie wordt uitgedrukt in de afwijking van de baan.

In deze afbeelding (figuur 15) is op de horizontale as de uitwijkindex uitgezet. Kleine uitwijkingen staan links, grotere uitwijkingen staan rechts. Op de verticale as links is de werklast uitgezet in termen van roerbeweging. Aan de grootte van die beweging werd een werklast oordeel gegeven: normaal, kritisch of gevaarlijk. Hoe groter de uitwijkindex is, hoe meer roerbewegingen men maakt en hoe gevaarlijker men de manoeuvre vindt. Op de rechter as staat de baanafwijking. De resultaten laten zien dat tot ongeveer index 0,4 de baanafwijking constant kan worden gehouden. In het gestippelde gebied is te zien hoe de werklast oploopt terwijl de baanafwijking constant blijft. Alleen uit de mate van werklast en niet uit de baanafwijking als zodanig kan hier worden afgeleid of de manoeuvre kritisch of gevaarlijk is.

Onderzoek en toepassing.

Dames en heren,

Ik heb naar voren laten komen dat de systeemergonomie beoogt eerst het geheel van missie, functies en taken te overzien, alvorens in te gaan op het essentiële detail: het toetsen van de mens-machine interactie, in het bijzonder met betrekking tot het gedrag van mensen dat is gebaseerd op kennis. Het overzien van het geheel maakt het mogelijk te argumenteren over de verdeling van functies tussen mens en machine, het toetsen in detail maakt het mogelijk gekozen opties te herzien en fouten en suboptimale taakuitvoering te voorkomen.

Ik ben niet volledig geweest, zo is training slechts in het kort gesteld tegenover interface ontwikkeling als alternatief voor prestatieverbetering. De taakstructuur, waarbij het gaat om de vormgeving en inhoud van taken in termen van verantwoordelijkheden, contact met anderen en cyclusduur is slechts aangestipt, evenals omgevingsfactoren zoals verlichting en geluid. De nadruk is gelegd op de verrichting van taken in de context van wat een organisatie wil. Voor een deel zijn die taken logisch te analyseren, voor een ander deel zal een beroep gedaan dienen te worden op inzicht en kennis van gedrag.

De enorme ontplooiing van het computergebruik maakt een heroriëntatie op het functieallocatie-proces noodzakelijk. De systematiek van ontwerpen, testen en bijstellen door analyse en empirie staat daarin centraal. Het creatief benutten van technische en psychologische kennis vormt hier wellicht de grootste uitdaging.

De behoefte om in het ontwerp-proces het succes of falen van een mens-machine systeem te toetsen, zal het belang doen toenemen om kennis in modellen onder te brengen. Het empirisch toetsen zie ik als de kern van het vakmanschap dat de systeemergonomie aan de psychologie ontleent. Omdat het hier bedoelde gedrag inherent verbonden is met middelen, training en omgeving zal onderzoek zich vooral moeten richten op de ontwikkeling van paradigma's voor gegeneraliseerde taken. De recente dissertatie van Kerstholt (1996) laat zien dat deze benadering perspectieven biedt. Goed gekozen paradigma's maken tevens het definiëren van deelprojecten mogelijk, waardoor dit omvangrijke onderzoek toegankelijk wordt voor bijdragen van studenten.

Slot.

Aan het eind van mijn rede gekomen, Dames en Heren, wil ik degenen bedanken die mijn benoeming mogelijk hebben gemaakt. Dat zijn de betrokkenen van deze Universiteit, in het bijzonder het Bestuur van de Stichting Het Vrije Universiteitsfonds. Het Bestuur van de Vereniging voor Christelijk Wetenschappelijk Onderwijs en het College van Bestuur van de Vrije Universiteit wil ik bedanken voor het gestelde vertrouwen.

Mijnheer de Rector Magnificus,

Dames en Heren van de staf,

Dames en Heren medewerkers van de vakgroep psychonomie,

De mij gestelde taak aan deze universiteit is van zeer beperkte omvang en daardoor is slechts met weinigen een persoonlijk contact mogelijk.

Toch heeft u bij alle ontmoetingen mij het gevoel gegeven erbij te horen, en dat waardeer ik zeer.

Hooggeleerde Sanders, Beste Andries,
Het tot stand komen van deze bijzondere leerstoel komt uit jouw enthousiasme en initiatieven voort. Met jou ben ik van mening dat de aandacht voor de toepassing van psychonomische kennis, de creativiteit van het onderzoek en het onderwijs kan bevorderen. Ik stel het zeer op prijs onze samenwerking op deze wijze te kunnen voortzetten.

Zeer geleerde van Meeteren, Beste Aart,
Ik ben de organisatie TNO erkentelijk dat zij met de benoeming heeft ingestemd.

Het tot stand komen van deze bijzondere leerstoel is ook aan jou te danken. Het door TNO - Technische Menskunde gevoerde beleid munt uit in de aandacht die wordt besteed aan de voortdurende kennisontwikkeling van medewerkers. Ik zie de benoeming mede als een erkenning van dat beleid.

Dames en Heren medewerkers van TNO - Technische Menskunde,
Met u heb ik kennis van de ergonomie kunnen opdoen. De multidisciplinaire samenstelling van het instituut biedt mogelijkheden voor ontwikkeling in zowel de breedte als de diepte. Dit bevordert de discussie en in de verdere samenwerking met u vind ik het instandhouden van dit bijzondere karakter wel het meest waardevol.

Dames en Heren studenten,
De aandacht die ik aan de vervulling van dit ambt kan besteden is geheel voor u. Ik zie het als mijn taak met u te streven naar kwaliteit van onderzoek en toepassing. In de colleges en in de begeleiding van stages ervaar ik uw interesse als inspirerend.

Ik dank u voor uw aandacht.

Referenties.

Annett, J., Duncan, K.B., Stammers, R.B., Gray, M.J. (1971). Task analysis. Training information paper no.6. London: Manpower Services Commission.

Beevis, D. et al. (eds.) (1992). Analysis techniques for man-machine systems design. B-110 Brussels: Defence Research Section. NATO Headquarters.

Beevis, D., Essens, P.J.M.D., Schuffel, H. (eds.) (1994). Proceedings of the workshop on improving function allocation for integrated systems design. B-110 Brussels: Defence Research Section, NATO Headquarters.

Booher, H.R. (1990). MANPRINT, An approach to systems integration. New York: Van Nostrand / Reinold.

Breda, L. van (1989). Analysis of a procedure for multiple operator task performance on submarine using a network model. In: G.R. McMillan et al. (Eds.), Applications of human performance models tot system design. Defence Research Series volume 2. New York: Plenum Press.

Campbell, G.U., Essens, P.J.M.D. (1995). Function allocation in information systems. In: D. Beevis et al. (Eds.), Improving function allocation for integrated systems design. B-110 Brussels: Defence Research Section, NATO Headquarters.

Card, S., Mosan, T., Newell, A. (1983). The psychology of human-computer interaction. Hillsdale N.J.: Erlbaum.

Demming, W.E. (1982). Quality, productivity and competitive position. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, Centre for advanced engineering study.

Diaper, D. (Ed.) (1989). Task analysis for human-computer interaction. Chichester, U.K: Ellis Harwood Ltd.

Eggemeier, F.T., Wilson, G.F. (1991). Performance and subjective measure of workload in multitask environments. In: D.Damos (Ed.), Multiple-task performance. London: Taylor & Francis, 217-278.

Fitts, P.M. (1962). Functions of man in complex systems. Aerospace Engineering, 34-39.

Fuld, R.B. (1993). The fiction of function allocation. Ergonomics in design, 20-24.

Gopher, D., Sanders, A.F. (1984). S-Oh-R: Oh Stages! Oh Resources!. In: W. Preniz & A.F. Sanders (Eds.), Cognition and motor processes. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

Harris, R.M., Glenn, F., Lavechia, H.P., Zaklad, A. (1989). Human operator simulator. In: W. Karovski (Ed.), Trends in ergonomic / Human factors III (part A). Amsterdam: North Holland.

Helsdingen, A.S. (1996). Zeebeweging en systeemprestatie. Invloed van motion induced fatigue op een gesimuleerde commando centrale taak. Vrije Universiteit, Amsterdam, Vakgroep psychonomie.

Huisman, J. (1995), Ship design process for the Royal Netherlands Navy. Rotterdam: Schip en Werf de Zee, juli/augustus 1995, 9-13.

Kerstholt, J.H., Passenier, P.O., Schuffel, H. (1994). The effect of a priori probability and complexity on decision making in ship operation. Soesterberg, TNO Human Factors Research Institute, C-22

Kerstholt, J.H. (1996), Dynamic decision making. Dissertation, Soesterberg, TNO Human Factors Research Institute.

Kirwan, B., Ainsworth, L.K. (1994). *A Guide to Task Analysis*. London: Taylor & Francis.

Klein, G. (1990). *Knowledge engineering: Beyond expert systems*. *Information and Decision technologies*, 16, 27-41.

Kraiss, K.F. (1981). *A display design and evaluation study using task network models*. *IEEE-SMC-11*, 5, 399-351.

Marca, P.A.S., McGrowan, C.L. (1987). *SADT-TM-Structured analysis and design technique*. New York: McGrawhill Book Co.

Mc Millan, G.R. et al. (1989). *Application of human performance models to system design*. *Defence Research series volume 2*. New York: Plenum Press.

Merkelbach, E.J.H.M., Schraagen, J.M.C. (1994). *A framework for the analysis of cognitive tasks*. Soesterberg, TNO-Human Factors Research Institute, B-13.

Neerincx, M.A. (1995). *Harmonizing tasks to human knowledge and capacities*. Dissertation. Groningen: Rijksuniversiteit.

Onken, R. (1994). *Human-centered cockpit design through the knowledge-based cockpit assistant system cassy*. In: D. Beevis et al. (Eds.), *Improving function allocation for integrated systems designs*. B-110 Brussels: Defence Research Section, Nato Headquarters.

Passenier, P.O., Delft, J.H. van (1996). *The combat information centre; the interface between warfare officers and sensors weaponsystems*. *Proceedings of the INEC conference* (in press)

Price, H.E. (1985). *The allocation of functions in systems*. *Human Factors*, 27 (1), 33-45.

Pearce, F. (1990). Manned systems engineering in US NAVSEA. Presentation to 7th meeting of NATO AC/243 Panel-8/RSG14. Washington D.C.: US Naval Sea Systems Command.

Raaijmakers, J.G.W., Voorkamp, R.J. (1993). Solving diagnostic problems in the ship's control centre of the M-frigate. Soesterberg, TNO - Human Factors Research Institute, A-35.

Rasmussen, J. (1986). Information processing and Human-machine interaction: an approach to cognitive engineering. Amsterdam: Elsevier. Volume 12.

Sanders, A.F. (1991). Simulation as a tool in measurement of human performance. Ergonomics vol. 34, no. 8. 995-1005.

Schaafstal, A.M., Schraagen, J.M.C. (1995). Innovatie van opleiding in storingsoeken. Opleiding en ontwikkeling. Den Haag: DELWEL Uitgeverij B.V. nr. 11, 28-33.

Schuffel, H. (1990). Simulation: an interface between theory and practice, elucidated with a ship's controllability study. In: Proceedings of the eight ship systems control symposium, Bethesda, vol 2: 2.297-2.309.

Schuffel, H. (1992). Designing and testing a ship's bridge lay-out. In: H. Kragt (ed.), Enhancing industrial performance-experiences of integrating the human factor. Taylor & Francis.

Schraagen, J.M.S. (1994). What information do river pilots use?, Soesterberg, TNO - Human Factors Research Institute, C-10.

Sheridan, T.B. (1994). Allocating functions among humans and machines. In: D. Beevis et al. (Eds.), Improving function allocation for integrated systems design. B-110 Brussels: Defense Research Section, NATO Headquarters.

Singleton, W.T. (1974). *Man-machine systems*. Penguin modern psychology.

Someren, M.W. van, Barnard, Y.F., Sandberg, J.A.C. (1994). *The think aloud method. A practical guide to modelling cognitive processes*. Academic Press

Wiener, E.L., Curry, R.E. (1980). Flightdeck automation: promises and problems. *Ergonomics*, 23, 995-1011.

Wiener, E.L. (1985). Beyond the sterile cockpit. *Human Factors*, 27, 75-90.

Yourdan, E. (1989). *Modern structured analysis*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.



VU / Uitgeverij Amsterdam
ISBN 90 - 5383 - 491 - 5