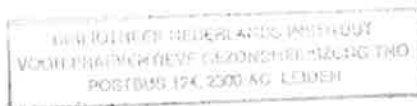


De operator bij procesautomatisering;
een visie vanuit TNO.

P. Bockholts ¹
A.A.F. Brouwers ²
A.A.M. Kop ³
C.K. Pasmooij ²
W. Veldhuyzen ³
J. Vermeulen ⁴



Een studie in het kader van de Beleids-
ruimte TNO

- ¹ Afdeling Industriële Veiligheid TNO
Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie
- ² Nederlands Instituut voor Praeventieve
Gezondheidszorg TNO
Hoofdgroep Gezondheidsonderzoek
- ³ Instituut voor Werktuigkundige
Constructies TNO
Hoofdgroep Bouw en Metaal
- ⁴ Instituut voor Zintuigfysiologie TNO
Hoofdgroep Defensie-onderzoek

datum : juli 1983

contactadres IWECO, postbus 29
2600 AA Delft

druk: Reproprint Zuidpolder Delft

25/9/83

„Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
copie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO."

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten
en verplichtingen van opdracht-
gever en opdrachtnemer verwezen
naar de „Algemene Voorwaarden
voor Onderzoeks- en Ontwikke-
lingsopdrachten aan TNO, 1979"
dan wel de desbetreffende terzake
tussen partijen gesloten overeen-
komst.

Voorwoord

Gedurende de laatste decennia hebben zich in de procesindustrie belangrijke veranderingen voltrokken op het gebied van de procesbeheersing. Enerzijds werd door het beschikbaar komen van meer geavanceerde meet- en regelapparatuur de automatische regeling van complexere processen mogelijk; anderzijds nam de behoefte aan meer geavanceerde beheersingsapparatuur ook toe als gevolg van het streven naar meer veiligheid en een hoger rendement.

Bij deze ontwikkelingen is gebleken dat er voldoende aandacht besteed moet worden aan de mens die deze processen onder controle moet houden.

Niet alleen spelen de arbeidsomstandigheden een rol, maar ook factoren die de samenwerking tussen mens en proces beïnvloeden zoals bijvoorbeeld de wijze waarop informatie uit het proces wordt gepresenteerd. Ook is van belang de mate waarin de procesregeling en -bewaking geautomatiseerd is en het hieruit resulterende takenpakket voor de operators. Dit blijkt gevolgen te hebben voor de kwaliteit van de procesbeheersing.

Voor de komende jaren kan worden verwacht dat door toepassing van nog geavanceerdere technologie bij de procesbeheersing (zoals micro-electronica en beeldschermen) de rol van de mens daarin veel aandacht zal blijven vragen.

Bij de beantwoording van vragen vanuit het bedrijfsleven op dit gebied kan TNO bij uitstek een belangrijke rol spelen. Dit geldt te meer daar er reeds jaren door verschillende TNO-instituten werkzaamheden worden verricht die verband houden met de mens bij het regelen en bewaken van processen. Om tot een bundeling van kennis en expertise binnen TNO te komen en zodoende beter in staat te zijn vragen vanuit de industrie te beantwoorden, is er in 1982 bij TNO een project gestart. Aan dit project, gefinancierd uit de beleidsruimte van TNO, wordt deelgenomen door vier TNO-instituten. Het project bestaat uit twee fasen. In een eerste fase is getracht om een visie te ontwikkelen op de problematiek van de operator bij geautomatiseerde procesbeheersingssystemen.

In de volgende fase van het project zal getracht worden om door overleg met het bedrijfsleven deze visie te toetsen. Zo mogelijk zal hiertoe een concrete praktijksituatie meer in detail geanalyseerd worden.

De resultaten van de eerste fase van het project zijn vastgelegd in dit rapport. Het is als volgt opgebouwd. In het eerste hoofdstuk wordt de problematiek van de operator bij de procesbeheersing uitvoerig geschetst, alsmede de mogelijke rol van TNO hierbij.

Het tweede hoofdstuk beschrijft de situatie van de operator in de totale procesbeheersing meer systematisch, door deze op te splitsen in een aantal relevante aspecten. Het hoofdstuk gaat vervolgens in op het ontwerp van de operator situatie. De kennis en expertise binnen en buiten TNO komen in hoofdstuk 3 aan de orde, terwijl hoofdstuk 4 toekomstverwachtingen en conclusies bevat.

In de bijlagen worden een aantal aspecten door diverse TNO-deskundigen meer specifiek belicht.

De visie van waaruit het rapport is geschreven, is een aanzet om te komen tot een effectieve multi-disciplinaire aanpak van problemen die zich voordoen bij de rol van de mens bij de beheersing van processen.

Het rapport moet dan ook gezien worden als een discussiestuk, niet alléén voor gebruik binnen TNO, maar juist ook voor een zinvol contact met bedrijven die geconfronteerd worden met de genoemde problematiek.

In de loop van het project hebben een groot aantal personen een bijdrage geleverd. Het is niet zinvol om al deze mensen hier te vermelden. Een woord van dank aan hen past hier echter wel.

Dit rapport is geschreven door een projectteam, welk bestaat uit de personen zoals genoemd op de titelpagina. Daarnaast hebben ir. B.W. Jaspers en ir. W.L.T. Thijs een bijdrage geleverd aan een gedeelte van het rapport.

Bij de uiteindelijke realisering van het rapport is met name C. Chaloulakos-Barth een belangrijke steun geweest, daarin bijgestaan door het tekstverwerkingscentrum Zuidpolder. De formele leiding van het project berust bij ondergetekende, terwijl ir. C.K. Pasmooij als waarnemend projectleider optreedt.

Dit rapport zal in belangrijke mate aan zijn doel beantwoorden als het een bijdrage kan leveren aan de discussie over de rol van de mens bij de procesautomatisering. Deze wens spreek ik dan ook graag uit.

dr.ir. W. Veldhuyzen
projectleider

INHOUDSOPGAVE

	blz.
1. INLEIDING	
1.1 De problematiek rond de procesbeheersing in de proces- industrie	1
1.2 De rol van TNO	4
1.3 De inventarisatiefase	5
2. HET ONTWERPEN VAN MENS-MACHINE SYSTEMEN	7
2.1 Mens-Machine Systemen: begripsbepaling	7
2.2 Relevante aspecten van een MMS	10
2.3 Het ontwerpen van een MMS	12
2.3.1 Het ontwerpen van systemen	12
2.3.2 Het ontwerpen van een MMS	14
2.4 TNO-expertise in het ontwerpen van mens-machine systemen	18
3. OVERZICHT KENNIS EN EXPERTISE BINNEN EN BUITEN TNO	19
3.1 Voorbeelden van TNO-kennis op het gebied van mens-machine systemen	19
3.2 Vergelijking van kennis binnen en buiten TNO	20
4. TOEKOMSTVERWACHTINGEN EN CONCLUSIES	22
4.1 Marktontwikkelingen in de procesindustrie	22
4.2 De concurrentiepositie van TNO	23
LITERATUUR	25
BIJLAGEN	
I Brouwers, A.A.F. en C.K. Pasmooij, Operatortaken bij proces- automatisering: ontwikkelingen m.b.t. taakinhoud en werkor- ganisatie, aspecten van gezondheid en welbevinden	31
II Vermeulen, J., Werkplekontwerp	55
III Vermeulen, J., Alarmsystemen	71
IV Bockholts, P., Crisismanagement	81
V Jaspers, B.W., Opleiding en training	95
VI Thijs, W.L.Th., Fault management	109

1. INLEIDING

1.1 De problematiek rond de procesbeheersing in de procesindustrie

De ontwikkelingen in de procesindustrie gedurende de afgelopen decennia hebben zich relatief snel voltrokken. Niet lang geleden bestond er nog de situatie waarin operators in een chemische fabriek met de hand een gedeelte van het proces bestuurden. Het directe contact met de installatie was daarbij een belangrijk kenmerk. Door de opkomst van de meet- en regeltechniek kon een deel van de directe regeltaken van de operators worden overgenomen door automatisch werkende technische systemen, en kon de bediening van het proces door de operator op afstand gaan plaats vinden. Met deze apparatuur voldeed de procesregeling beter aan criteria t.a.v. economie en veiligheid. Kostenreductie en de beschikbaarheid van geavanceerde en relatief goedkope meet- en regelapparatuur leidde verder tot schaalvergroting van de te beheersen processen. De schaalvergroting impliceerde echter nóg stringenter eisen t.a.v. de bewaking en regeling van de processen uit oogpunt van veiligheid en later ook milieu. Aan deze eisen werd getracht te voldoen door meer gebruik te maken van automatische meet- en regelapparatuur.

Hierdoor is de situatie ontstaan waarin de directe procesregeling grotendeels wordt verzorgd door automatische systemen. Ook de digitale computer heeft zijn intrede gedaan in de procesindustrie. Mede door toepassing van computers is het mogelijk geworden de reeds in belangrijke mate geautomatiseerde procesregeling en bewaking verder te automatiseren.

Het werk van de operators heeft door deze ontwikkelingen sterke veranderingen ondergaan. Hun taak is nu vooral de algehele bewaking van de procesgang, en in veel mindere mate de bediening ervan.

Deze taken worden uitgevoerd vanuit een centrale regelkamer. Had de operator vroeger nog een directe invloed op het procesverloop, in de huidige situatie is deze invloed in toenemende mate afstandelijk te noemen. Men omschrijft de rol van de operator dan ook wel als die van een supervisor. Terecht kan men zich afvragen of een operator in staat is de taken die hem zijn toegewezen, correct uit te voeren [1,2,8,13,15,22]. Het te beheersen proces wordt zelf al gekenmerkt door een zeer complex dynamisch gedrag; daarnaast wordt de complexiteit nog vergroot door de automatische regel- en beveiligingssystemen.

Uit vele publicaties blijkt dat een groot gedeelte van het werk van een operator bestaat uit het passief observeren en bewaken van het procesverloop. Hierdoor wordt er onvoldoende beroep gedaan op zijn kennis en vaardigheden; in dit verband spreekt men wel van onderbelasting.

In veel gevallen ervaart de operator zijn werk als weinig bevredigend en voelt zich niet zo sterk betrokken bij de procesbeheersing.

Deze situatie kan gevolgen hebben voor het functioneren van het proces.

Zo is een belangrijke functie welke de operator moet vervullen, het identificeren en verhelpen van onregelmatig optredende storingen in de procesgang en het voorkomen van gevaarlijke procestoestanden. Door de complexiteit van het totale proces en door zijn geringe betrokkenheid kan een operator juist deze essentiële functie moeilijk afdoende vervullen. Hierdoor is het mogelijk dat aan bepaalde eisen welke aan de procesgang gesteld worden, niet wordt voldaan.

Een ander probleem is de informatievoorziening van de operator in relatie tot zijn taken. De overdracht van procesinformatie aan de operator vindt plaats in de centrale regelkamer, waar de informatie gepresenteerd wordt op grote regelpanelen. Het ontwerpen van deze panelen staat al jaren in de belangstelling en vormt, blijkens de voortdurende onderzoeksinspanning, nog steeds een probleem [19]. De introductie van de digitale computer in de regelkamer, met de mogelijkheid tot aanwending van beeldschermen voor meer intensieve informatie-uitwisseling tussen operator en proces, heeft vragen m.b.t. informatievoorziening van de operator nog actueler gemaakt. Met name de hoeveelheid en de soort informatie die de operator nodig heeft bij het uitvoeren van bepaalde taken, is een belangrijk aspect daarvan [22].

Mogelijke problemen die uit het voorgaande kunnen voortvloeien kunnen op verschillende manieren tot uitdrukking komen:

- Er kunnen problemen ontstaan voor de operators als gevolg van knelpunten in hun werk en werkomstandigheden, die tot uitdrukking komen in onder- of overbelasting, demotivatie, arbeidsverzuim en/of -verloop enzovoorts. De taakuitvoering door de operators kan hierdoor ongunstig worden beïnvloed.
- In relatie hiermee kunnen problemen gaan ontstaan in het functioneren van het proces, aangezien de operators hun taak niet meer adequaat uit kunnen voeren. Dit kan leiden tot processtoringen, productieverlies, verminderde productkwaliteit en hogere productiekosten.

Als de geschetste vragen voortkomend uit de praktijk of uit onderzoek, kritisch worden beschouwd, kan daar uit worden afgeleid dat de beheersing van grote processen ingewikkelde problemen met zich meebrengt, zeker ook wat betreft de rol van de operator hierin.

Voor de nabije toekomst valt te verwachten dat de te stellen eisen aan de procesbeheersing zwaarder zullen worden t.a.v.:

- veiligheid;
- milieu;
- arbeidsklimaat;
- de economie van het proces (met het oog op grondstof- en energieprijzen, en uit concurrentie oogpunt) [1,4,15,22].

Een verdergaande automatisering zal mogelijk plaatsvinden om aan deze eisen te kunnen voldoen. Dit betekent dat nog meer taken van de operator door automatische systemen worden overgenomen. Gezien de reeds bestaande problemen rond de operator en zijn werk, lijkt verdere automatisering dan ook niet zondermeer een afdoende oplossing. Daarnaast wordt van verschillende kanten verwacht dat een volledig automatische procesbeheersing, de zgn. "onbemande" fabriek, een fictie zal blijven [1,11,13]. Procesbeheersingssystemen zullen waarschijnlijk altijd mens-machine systemen blijven. De mens lijkt met name onmisbaar te zijn bij de procesbeheersing om de volgende redenen:

- bij het ontwerpen, bouwen en in het bedrijf nemen van de procesinstallatie en de automatische systemen kunnen fouten worden gemaakt;
- de automatische systemen kunnen uitvallen;
- het proces kan in een toestand komen, waarin de automatische systemen niet voldoen;
- voor een normale procesgang zijn uiteenlopende acties op onregelmatige tijdstippen noodzakelijk.

De noodzaak tot het vinden van oplossingen voor de geschetste problemen rond de situatie van de operator wordt, gezien de te verwachten zwaardere eisen, groter dan ooit. Daarbij gaat het erom te komen tot procesbeheersingssystemen, waarin de operator zijn taken goed kan vervullen naast de taken welke de automatische systemen vervullen. Dit is een ontwerpprobleem waarbij met randvoorwaarden van sterk uiteenlopende aard (zowel kwalitatief als kwantitatief) rekening moet worden gehouden. Het te ontwerpen systeem is een mens-machine systeem, waarbij juist tijdens het ontwerp ook

aandacht dient te worden besteed aan de mens in het uiteindelijke systeem [3,8,15,19,21]. Het gaat hier om het verkrijgen van een systeem dat enerzijds voldoet aan criteria van technische en economische effectiviteit en waarin anderzijds het werk voldoet aan menselijke behoeften en verwachtingen. Het vinden van werkwijzen, concepten en methodieken om mens-machine systemen te ontwerpen is dus van groot belang. De mogelijke oplossingen hiervoor liggen, gezien de inspanning waarmee er al jaren naar gezocht is, niet voor de hand [4].

1.2 De rol van TNO

Afzonderlijke TNO-instituten houden zich al van oudsher met bepaalde aspecten van mens-machine systemen bij de procesbeheersing bezig. In toenemende mate is het besef ontstaan, dat de gesignaleerde problematiek bij de beheersing van mens-machine systemen om een aanpak vraagt, waarbij de verschillende afzonderlijke problemen met elkaar in relatie worden gezien, en waar nodig in combinatie moeten worden opgelost. Binnen TNO heeft de vraag post gevat of TNO zich intensiever met dit terrein zou moeten gaan bezig houden. Deze vraag moet gezien worden tegen de achtergrond, dat het bedrijfsleven in de komende jaren met de aangegeven problemen naar TNO zou kunnen komen met de opdracht tot onderzoek en/of advisering. Om daaraan tegemoet te kunnen komen dient TNO dan wel over voldoende deskundigheid en expertise op dit gebied te beschikken, en waar nodig deze deskundigheid uit te breiden. Eén en ander moet worden afgestemd op datgene dat andere instellingen en bedrijven die op dit gebied werkzaam zijn, te bieden hebben. In ieder geval leek het raadzaam om de aanwezige kennis binnen TNO op dit gebied te bundelen, en na te gaan of en op welke wijze TNO hier nu en in de toekomst een rol van betekenis zou kunnen spelen.

Om deze vragen te beantwoorden is een project gestart, waarvoor subsidie is verleend uit de beleidsruimte TNO in de tweede helft van 1981. De doelstelling van het project betreft het verbeteren van de beheersbaarheid van complexe procesinstallaties en het ontwerpen van operatortaken in dergelijke systemen. Enerzijds houdt dit in het opstellen van richtlijnen voor het ontwerpen van mens-machine systemen in de procesindustrie die

voldoen aan criteria van veiligheid, doelmatigheid en welzijn. Anderzijds richt de aandacht zich meer concreet op het ontwerpen van operator-hulpmiddelen zoals trainingssimulators, voorzieningen voor het herkennen en beheersen van noodsituaties en informatie-presentatiemiddelen.

Het project is gefinancierd uit de beleidsruimte. Een belangrijke reden daarvoor is het samenbundelen van de kennis en inzichten op het gebied van de procesbeheersing van een aantal TNO-instituten, om daarmee en meer geïntegreerde aanpak van de verschillende problemen mogelijk te maken.

Het project is in twee fasen opgezet. In de eerste fase worden de huidige problemen betreffende het ontwerpen van mens-machine systemen meer in detail geïnventariseerd en wordt nagegaan of de kennis van TNO hierbij aansluit. In een tweede fase zal de kennis en kunde meer worden geoperationaliseerd aan de hand van een concreet project.

Gedurende het hele project zullen zo mogelijk contacten met de industrie worden gelegd en opgebouwd.

1.3 De inventarisatiefase

In deze fase wordt in detail geïnventariseerd waar de huidige problemen m.b.t. het ontwerpen van mens-machine systemen liggen en in welke richting deze zich in de nabije toekomst zullen gaan ontwikkelen. Daarnaast wordt de expertise van TNO geïnventariseerd op de verschillende probleemgebieden.

Bij de inventarisatie zijn de volgende vragen het meest van belang:

- Wie zijn de potentiële opdrachtgevers en wat voor vragen kunnen er van hen verwacht worden?
- Valt er een visie te ontwikkelen welke TNO in staat stelt te anticiperen op toekomstig te verwachten problemen in de industrie?
- Gesteld dat TNO opdrachten zou kunnen verwerven, welke rol moeten de afzonderlijke instituten dan vervullen? Wat is de meerwaarde van een bundeling van de deskundigheden der instituten t.o.v. een sommering van de afzonderlijke inbreng?
- Hoe is de positie van TNO t.o.v. andere instellingen die op dit gebied werkzaam zijn, wat betreft kennis en kunde? Is er op specifieke gebieden aanvulling van kennis nodig?

In de eerste fase, die thans is afgerond is een start gemaakt om tot antwoorden te komen op deze vragen. De resultaten van de eerste fase zijn vastgelegd in dit rapport. Hierbij is gebruik gemaakt van de kennis van de betrokken TNO-medewerkers, alsmede van relevante literatuur.

De indeling van dit rapport is als volgt. In hoofdstuk 2 wordt gedetailleerd ingegaan op de problemen rond het ontwerpen van mens-machine systemen. Aangegeven wordt bij welke aspecten problemen te onderkennen zijn van zowel de ontwerpmethodiek op zich, als van het uiteindelijke systeem.

Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 ingegaan op de expertise die binnen en buiten TNO aanwezig is.

In hoofdstuk 4 volgen tenslotte toekomstverwachtingen en conclusies. In de bijlagen wordt door de afzonderlijke TNO-instituten dieper ingegaan op die aspecten waarin zij expertise bezitten.

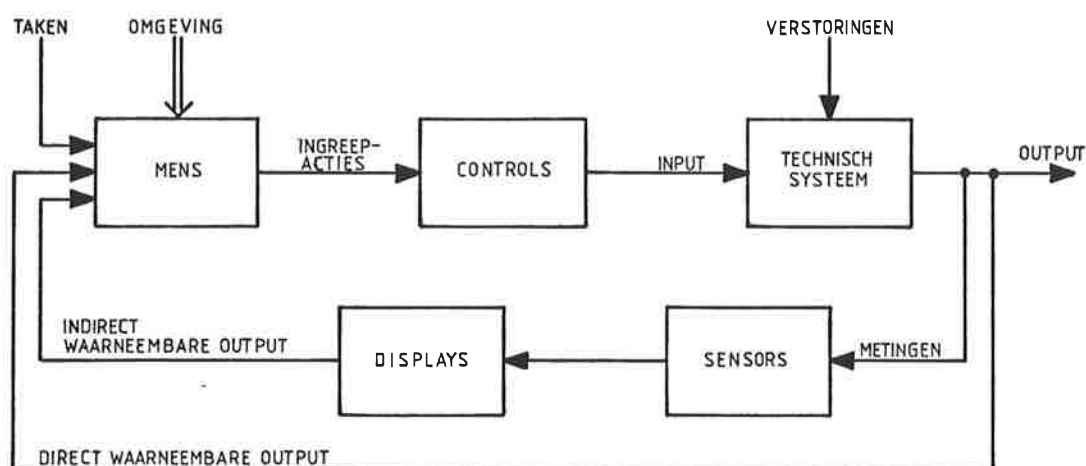
2. HET ONTWERPEN VAN MENS-MACHINE SYSTEMEN

2.1 Mens-Machine Systemen: begripsbepaling

In de literatuur en in de praktijk wordt de term Mens-Machine Systeem (MMS) vaak gehanteerd, hoewel niet altijd duidelijk is wat nu precies een dergelijk systeem karakteriseert.

In het algemeen kan gesteld worden dat iedere combinatie van een technisch systeem en een mens, welk een bepaald doel nastreeft een MMS is. Het blijkt echter dat de term MMS vaak voor een specifieke combinatie van mens, technisch systeem en doel wordt gebruikt. Het betreft systemen, welke aan hun doel voldoen, als een bepaalde systeem-output geleverd wordt. De reden van de aanéenschakeling van de mens met een dergelijk systeem is het realiseren van die gewenste output bij een beheerste systeemtoestand. Kenmerkend is dat de mens hierbij een stuur-, regel- en/of bewakingstaak heeft. Voorbeelden van een dergelijk MMS kunnen gevonden worden in die situaties waarin een mens een voertuig of vaartuig bestuurt (fiets, auto of schip). Een dergelijk MMS wordt geclassificeerd onder de categorie Manual Control (zie figuur 1).

Figuur 1 : De mens in de regelkring in geval van zgn. 'manual control' van een technisch systeem

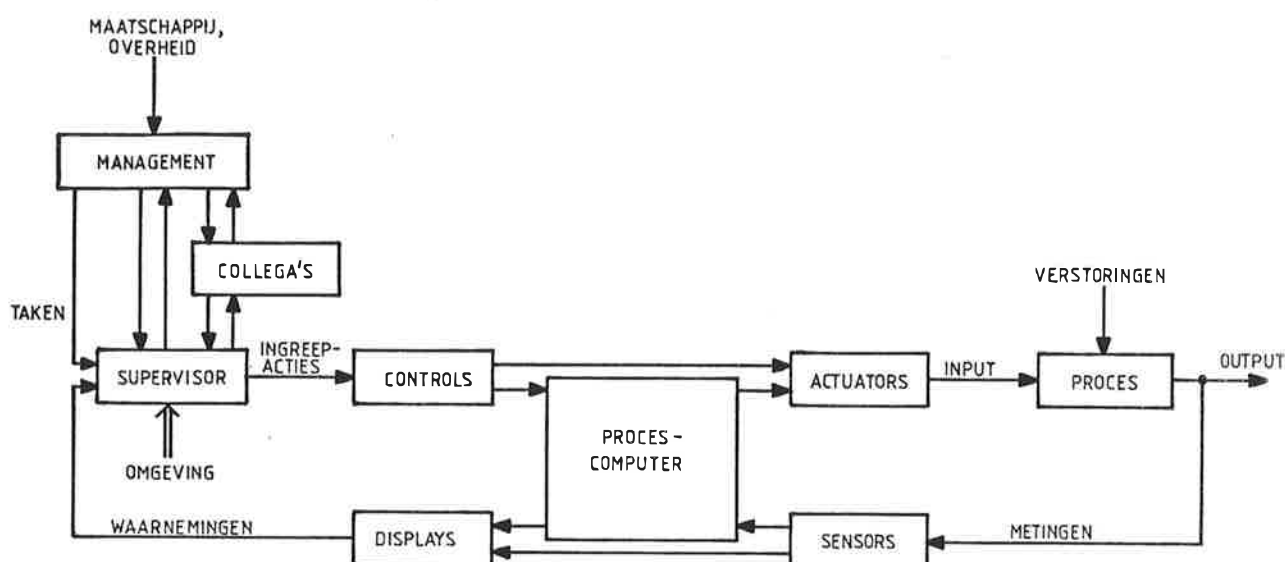


In de manual control-situatie heeft de mens tot taak bepaalde systeemgrootheden volgens een bepaald plan direct te sturen. De hiervoor noodzakelijke informatie kan hij zelf waarnemen, direct vanuit het systeem of indirect via meters etc. Ook heeft hij ingreepmogelijkheden op het

systeem. Essentieel is dat de mens zich in deze situatie binnen de regelkring bevindt, m.a.w. iedere ingreep op het systeem is van hem afkomstig. De manual-control situatie kwam in het verleden ook voor in de procesindustrie. De operator regelde toen direct een gedeelte van een proces. Door schaalvergroting zijn echter veel complexere systemen ontstaan. Automatische regelsystemen zijn noodzakelijk om het proces te beheersen en daarbij te laten voldoen aan eisen van veiligheid, economie e.d.

Door de verzwaring van eisen aan de procesbeheersing en door de beschikbaarheid van uit financieel oogpunt steeds aantrekkelijker wordende electronica, is er recentelijk een tendens ontstaan tot het gebruik van (centrale) computers bij de procesbeheersing. De situatie die dan ontstaat is aangegeven in figuur 2; bij een dergelijk MMS wordt gesproken van Supervisory Control. De directe regeling geschiedt nu door een automatisch systeem (bijv. een procescomputer), terwijl de operator hoofdzakelijk een bewakingstaak heeft. De procesinformatie op grond waarvan de operator kan beslissen of hij op het proces ingrijpt, bereikt hem via sensoren en displays. (dus indirect)

Figuur 2 : De mens in de regelkring in geval van zgn. supervisory control van een technisch systeem (bron: [22])



In essentie zijn bij supervisory control drie regelkringen te onderscheiden (zie figuur 2):

- (1) een automatisch systeem (bijv. een procescomputer) die bepaalde procesonderdelen regelt en bewaakt;
- (2) de operator die de procesgang bewaakt en indien nodig, deze corrigeert;
- (3) de operator die het automatisch systeem controleert, en eventueel daarin wijzingen aanbrengt.

Bij processen in de procesindustrie is het uiteindelijke doel van het MMS het realiseren van een bepaalde hoeveelheid product, welke voldoet aan specifieke eisen, onder de gestelde randvoorwaarden van bijv. veiligheid en milieu. In de manual control-situatie is de mens als bestuurder en bewaker een beperkende factor, wanneer de processen complexer worden. De capaciteiten van de mens bij het verwerken van informatie en het verrichten van handelingen zijn immers begrensd. Bij schaalvergroting van de processen bleek dat de operators het takenpakket niet meer op een acceptabele wijze konden uit te voeren. De meet- en regelapparatuur en later de procescomputers hebben feitelijk de taken van de operator in de procesbeheersing weer uitvoerbaar gemaakt, maar brachten ook problemen met zich mee.

Zo zijn veel directe ingreepacties overgenomen van de operator waardoor zijn rol is veranderd van bestuurder naar bewaker. Het gevolg van deze rolverandering is dat operators gedurende langere tijd als voornaamste taak het observeren van het procesverloop hebben. Dit is een taak met een passief karakter; mensen kunnen onderbelast raken als zich langere perioden van inactiviteit voordoen, met als mogelijk gevolg dat zij zich niet erg betrokken voelen bij de procesbeheersing. Daarnaast treedt er gedurende korte, onverwachte perioden (storingen) piekbelasting oftewel overbelasting op. Hieruit kunnen risico's voortkomen, zoals bijv. in nood-situaties [7,14,18,23].

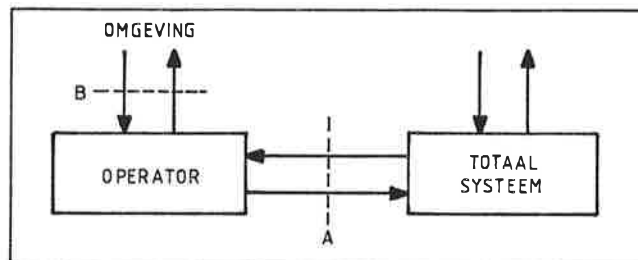
In verschillende bronnen wordt dan ook gesteld, dat de verdeling van taken tussen operator en automatische systemen niet optimaal is [1,2,8,13,15,22]. Zoals vermeld in 1.1 zal de mens waarschijnlijk altijd bij de procesbeheersing betrokken zijn. Een mens kan echter alleen doelmatig bij de procesbeheersing betrokken worden als aan een aantal randvoorwaarden is voldaan. Deze randvoorwaarden hebben betrekking op een aantal relevante aspecten van een MMS. Op deze aspecten zal nu nader wor-

den ingegaan.

2.2 Relevante aspecten van een MMS

In figuur 3 is de situatie van de operator schematisch geschetst. Er zijn vanuit de operator twee contactvlakken te onderkennen, nl. het contactvlak operator-totaal systeem (proces en automatische systemen) en het contactvlak operator-omgeving.

Figuur 3 : De contactvlakken tussen operator, totaal systeem en de omgeving; A is het contactvlak tussen operator en totaal-systeem en B is het contactvlak tussen operator en omgeving



De functies die de operator moet vervullen, zijn globaal op te splitsen naar deze contactvlakken. Zo zal de operator een belangrijke rol spelen bij het verstrekken van procesinformatie aan belanghebbenden in zijn omgeving: zoals collega's, management, laboratoria en onderhoudsploegen. Zijn voornaamste functie t.a.v. het totale systeem is die van proces-beheerser.

Deze functie kan verder gesplitst worden in functies welke vervuld moeten worden tijdens "normale" procestoestanden en die bij "abnormale" procestoestanden.

Tijdens normale procestoestanden kan de operator functies hebben zoals bijv. stabilisatie en regulatie van het proces, planning, optimalisatie en veranderen van procestoestanden. De taken die hij moet verrichten om de functies te vervullen bestaan uit activiteiten als plannen, leren, probleem-oplossen en ingrijpen in het proces. Bij abnormale procestoestanden gaat het om functies als bijv. het corrigeren van verstoringen en het vermijden van shutdowns (dus zolang mogelijk handhaven van een gewenste productie-omvang, rekening houdend met de veiligheid van mensen en materieel), of in geval van een calamiteit, het minimaliseren van schade

aan mensen, milieu en middelen. De taken houden hier vooral activiteiten in als probleem-oplossen en ingrijpen [6,20].

Van belang is nu dat in de praktijk bij het ontwerp van een specifiek MMS, aangegeven wordt welke functies een bepaalde operator bij de proces-beheersing moet gaan vervullen. Uit deze functies kunnen dan de taken voor die operator bepaald worden. Bij het bepalen van de taakinhoud van de verschillende operators moeten keuzen gedaan worden m.b.t. de taakverdeling tussen operators en automatische systemen, en tussen operators onderling. De plaats van de operator in de organisatie is ook een belangrijk aspect bij het uitvoeren van zijn taken; het gaat hier vooral om de organisatiestructuur. De taakinhoud en organisatiestructuur moeten met name ook voorzien in situaties van abnormale procestoestanden (faultmanagement) en noodsituaties (crisismanagement). Op grond van de taakinhoud en de daaruit resulterende activiteiten kan selectie van personen plaatsvinden, gevolgd door opleiding. De opleiding verschaft de aanstaande operator de noodzakelijke basiskennis van het proces en vaardigheden in bijv. het regelen van het proces en bedienen van de apparatuur. De basiskennis is groten-deels "off-the-job" te leren, terwijl de vaardigheden meestal "on-the-job" verkregen moeten worden. Het verkrijgen van deze vaardigheden kan geschieden door training, waarbij gebruik kan worden gemaakt van hulpmid-delen zoals een processimulator.

Van belang is ook de informatie-uitwisseling tussen proces en operator be-zien in relatie tot zijn functies en taakinhoud. Bij aanwezigheid van een procescomputer is de communicatie tussen operator en proces op te splitsen in die tussen operator en computer en die tussen computer en proces. Met name is het signaleren van abnormale procestoestanden een belangrijk aspect (alarmeringssystemen). In verband met de taakinhoud van de operator en de communicatie met het proces verdient ook zijn werkplek meer aan-dacht, te meer omdat hier de feitelijke uitvoering van zijn taken plaats-vindt. Belangrijke aspecten zijn ook de arbeidstevredenheid en motivatie van de operator. Problemen op deze punten kunnen enerzijds, zeker op langere termijn, de gezondheid en het welbevinden negatief beïnvloeden; Anderzijds kunnen zij van invloed zijn op de kwaliteit van de taakuit-voering. De genoemde aspecten zijn alle van belang voor het optimaal func-tioneren van een MMS.

Dat problemen m.b.t. deze aspecten al veel eerder gesignaleerd werden, blijkt mede uit het feit dat TNO al jaren werkzaamheden verricht waarin deze aspecten aan de orde komen (zie 2.4).

Voor een optimaal functioneren van het totale systeem dienen de genoemde aspecten op een juiste wijze op elkaar afgestemd te zijn. Zoals eerder gezegd wordt er in de literatuur veelvuldig geconstateerd dat dit in de praktijk niet altijd het geval is. Enerzijds is dit te wijten aan de wijze van ontwerpen die in de praktijk gevolgd wordt. Deze wordt gekenmerkt door een traditionele aanpak. Op deze aanpak wordt later ingegaan (zie 2.3.2). Anderzijds is echter ook het "vertalen" van bevindingen uit de praktijk-onderzoeken naar een beter ontwerp nog steeds een probleem. Dit is voor een belangrijk deel te wijten aan het grote aantal aspecten die bij een MMS van belang zijn en de onderlinge relaties tussen die aspecten. Veelvuldig is geprobeerd om via laboratorium-experimenten uitspraken te doen over de verbanden tussen bepaalde factoren. Maar ook de resultaten hiervan bieden onvoldoende houvast bij het ontwerpen van complexe mens-machine systemen. Het probleem is dat veel praktijkervaring en onderzoeksbevindingen moeilijk te generaliseren zijn, omdat blijkt dat ieder MMS weer een afzonderlijk probleem is [5]. Wel is het mogelijk de aanpak bij het ontwerpen van een MMS meer te standaardiseren. Daarbij moet zoveel mogelijk gebruik worden gemaakt van relevante onderzoek- of praktijkbevindingen [2]. Op deze ontwerpmethodiek van een MMS wordt nu verder ingegaan.

2.3 Het ontwerpen van een MMS

Bij het ontwerpen van een MMS kan in grote lijnen een soortgelijke methodiek toegepast worden als wordt gebruikt bij het ontwerpen van technische systemen in het algemeen, al zijn bij het MMS de aan het ontwerp te stellen eisen van veel complexere aard dan bij zuiver technische systemen. Eerst zal daarom worden ingegaan op het ontwerpen van (technische) systemen in het algemeen.

2.3.1 Het ontwerpen van systemen

Over het ontwerpen van systemen is vrij veel literatuur beschikbaar; over specifieke toepassingen van voorgestelde ontwerpmethodieken in de proces-industrie is echter minder bekend. Uit publicaties blijkt niet altijd

duidelijk of zij een werkwijze zoals gebruikt in de praktijk beschrijven, of dat het gaat om een mogelijk te gebruiken werkwijze.

Bij het in kaart brengen van ontwerpmethodieken is één van de mogelijkheden een zgn. fasenstructuur. Deze structuur leidt bij toepassing op grote systemen tot het volgende schema [9]:

Fase 1: systeem-analyse

Fase 2: systeem-ontwerp

Fase 3: implementatie

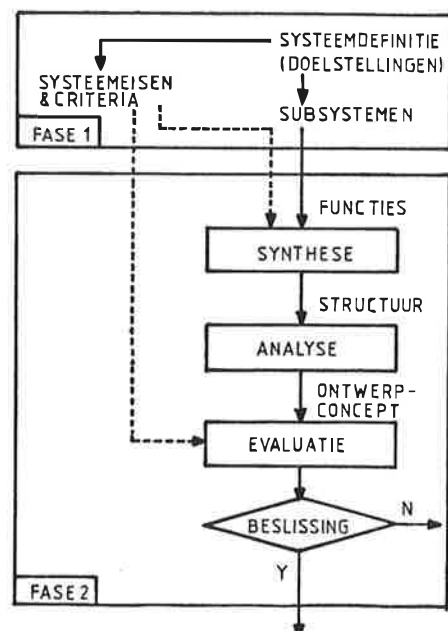
Fase 4: gebruik

De activiteiten in iedere fase resulteren in gegevens welke voor de daaropvolgende fase van belang zijn. Zo houdt fase 1 de organisatie van het ontwerpproces in, de definitie en de doelstellingen van het te ontwerpen systeem en de aan het ontwerp te stellen eisen. De tweede fase gaat uit van het resulterende eisenpakket uit de eerste fase en mondt uit in een concreet ontwerp. Het ontwerp wordt gerealiseerd in de derde fase, en in bedrijf gesteld in de laatste fase.

In iedere fase kunnen eerder gemaakte keuzen en beslissingen worden bijgesteld. Zonder de problemen in de overige fasen te willen onderschatten, wordt nu dieper ingegaan op fase 2.

In deze fase wordt feitelijk het ontwerpconcept ontwikkeld en getoetst aan het eisenpakket van de eerste fase. Meer gedetailleerd kan dit de volgende activiteiten inhouden (zie figuur 4): vanuit de eerste fase, de systeem-analyse, wordt het totale systeem opgesplitst in een aantal subsystemen, welke bepaalde functies dienen te vervullen.

Figuur 4 : De eerste twee fasen in het ontwerpproces: de systeem-analyse (fase 1) en het systeem-ontwerp (fase 2)
(Bron: [12])



De invulling van deze subsystemen, welke het vervullen van de functies mogelijk maakt, wordt aangeduid met structuur. De volgende handelingen zijn van groot belang voor het uiteindelijke ontwerp: een analyse en synthese van functie en structuur leidt tot een ontwerpconcept, dit wordt geëvalueerd op grond van de eisen uit fase 1. Hierbij wordt vaak een iteratieve cyclus gevolgd. Tot slot wordt de beslissing genomen of het concept gebruikt wordt in de volgende fase.

In de techniek wordt bij de genoemde handelingen veel gebruik gemaakt van modellen. Deze modellen zijn vaak van wiskundige aard en maken mede hierdoor een gedetailleerde analyse en evaluatie mogelijk. Een beslissing is meestal te nemen op grond van een kwantitatieve afweging van ontwerpconcept en systeemeisen. Afhankelijk van het doel van de activiteit zijn er meer of minder gedetailleerde modellen beschikbaar. Hierbij is het feit dat het om fysische systemen gaat van groot belang, want daaraan ontleen de modellen hun wiskundige grondslag.

Dergelijke technieken blijken bij het analyseren van de problemen van een MMS echter beperkt bruikbaar. Om tot een goed ontwerp te komen van een MMS is daarom een bredere ontwerp-aanpak noodzakelijk.

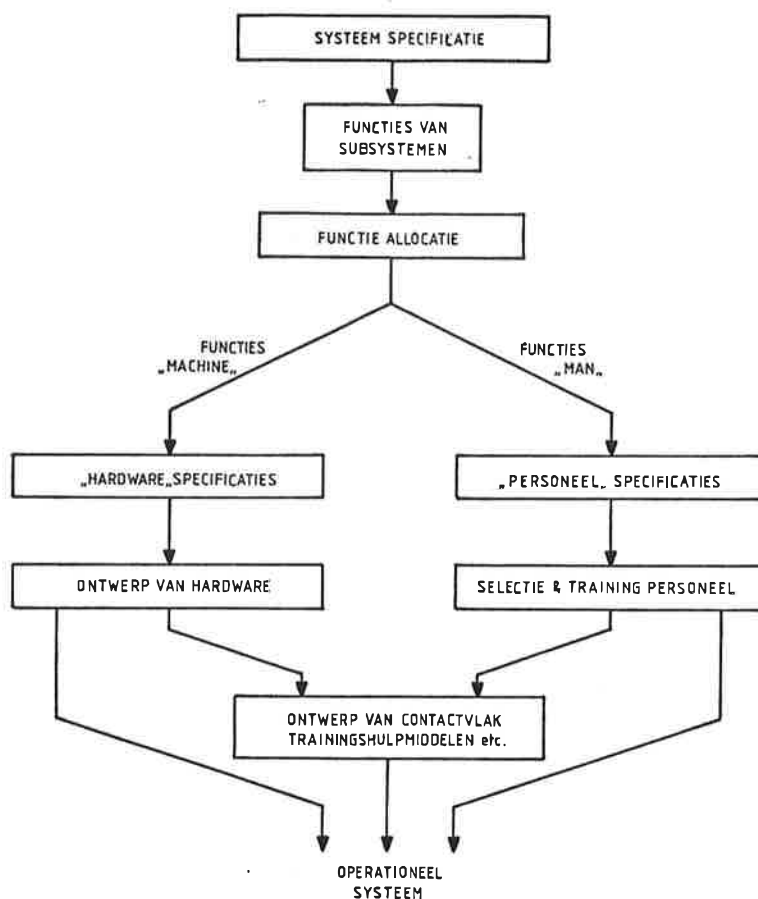
2.3.2 Het ontwerpen van een MMS

Wanneer in een technisch systeem de mens een belangrijke rol speelt, dient daar in de ontwerpfase al rekening mee gehouden te worden. Dit geldt zeker ook in de supervisory-control situatie zoals geschetst in paragraaf 2.1, waar de operator in samenwerking met de automatische systemen verantwoordelijk is voor de procesbeheersing.

De in de literatuur voorgestelde ontwerpschema's geven dan ook aan dat er, tegelijkertijd met het ontwerpen van het technische gedeelte van het MMS, begonnen moet worden met het definiëren en invullen van de door de mens te vervullen functies in het MMS (zie fig. 5).

Het parallel ontwerpen van zowel de mens- als de machine-kant van het MMS leidt niet alleen tot een betere afstemming van mens en machine met daardoor een beter functionerend MMS als resultaat. Het kan bovendien een reductie in ontwikkelingstijd en kosten betekenen t.o.v. een aanpak waarbij eerst de machine en dan pas de plaats en functies van de mens in het

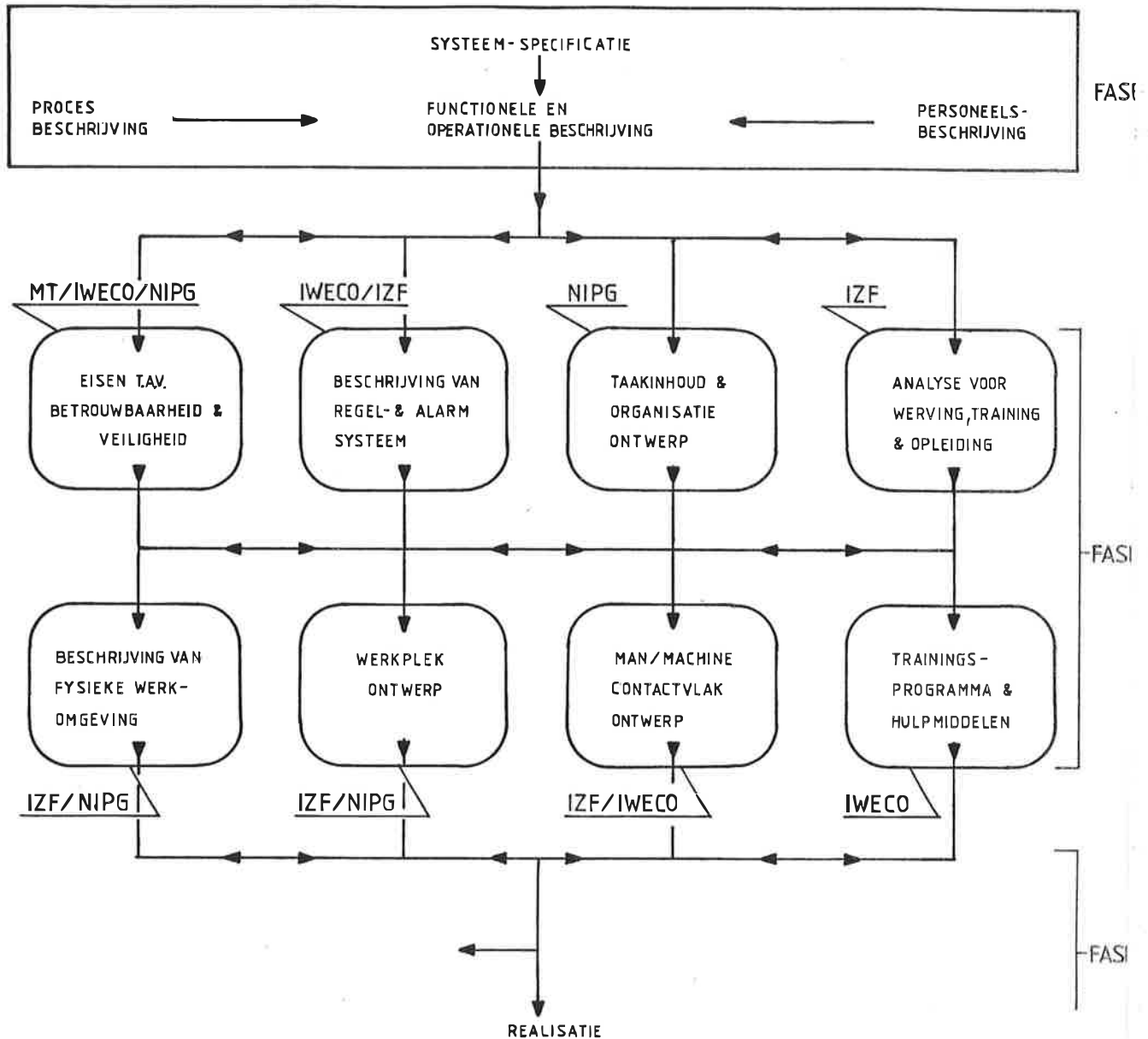
Figuur 5 : Algemeen ontwerp schema voor een mens-machine systeem (bron: [11])



MMS wordt ontworpen [21]. Deze laatste aanpak wordt in de praktijk vaak gevolgd. In figuur 6 is een meer gedetailleerd ontwerpschema gegeven, welke de aspecten laat zien die in 2.2 al aan de orde kwamen. Bij het hanteren van dergelijke schema's in het ontwerpproces zal gebruik moeten worden gemaakt van beschikbare kennis over de mens in mens-machine systemen. Belangrijk is dat met deze kennis kan worden nagegaan of het totale systeem aan de gestelde eisen voldoet. Enerzijds kan dit bijvoorbeeld inhouden dat getoetst wordt of het ontwerpconcept zal resulteren in een acceptabele systeemprestatie, anderzijds of dit bijvoorbeeld niet een te hoge of te lage belasting van de operators inhoudt.

Traditioneel gezien is ontwerpen een typische ingenieursactiviteit. Problemen bij technische systemen, dus ook bij een MMS, zijn mogelijk hierdoor vaak opgelost door technische wijzigingen aan het systeem. Zo is bij schaalvergroting van processen in de procesindustrie een acceptabele procesbeheersing mogelijk gemaakt door de meet- en regelapparatuur. Minder

Figuur 6 : Ontwerpschema voor de aspecten m.b.t. de mens in een mens-machine systeem (bron: [24]). Tevens is aangegeven op welke aspecten TNO-instituten expertise bezitten



aandacht is daarbij geschonken aan de rol van de mens bij de procesbeheersing. Hoewel recentelijk de problemen met betrekking tot mens-machine systemen meer in de aandacht zijn komen te staan, blijkt uit onderzoek dat er bij het ontwerpen van een MMS in de praktijk weinig of onvoldoende gebruik wordt gemaakt van de beschikbare kennis met betrekking tot de mens-component binnen het MMS [16].

Uit het voorgaande is reeds duidelijk geworden, dat de problemen die zich met betrekking tot de procesbeheersing in MMS kunnen voordoen, niet louter

van technische aard zijn. Deze problemen hebben tevens betrekking op het menselijk functioneren in geautomatiseerde systemen, en in relatie daarmee op het functioneren van het MMS als geheel. Hieruit valt af te leiden, dat de criteria die bij het ontwerpen van een MMS gehanteerd dienen te worden zich niet alleen tot het technisch functioneren, doch ook op het menselijk functioneren dienen te richten.

Anders dan in de technische wetenschappen gebruikelijk is, laat het menselijk gedrag zich moeilijk in mathematische formuleringen vastleggen. De sociaal-wetenschappelijke vakliteratuur geeft echter voor bepaalde aspecten van het menselijk handelen (bijv. reactietijden, afwisseling in het werk, werk-rusttijden, werkbelasting, cyclusduur van repetitieve handelingen, enzovoorts) grenswaarden, welke bij over- en/of overschrijding ongunstig kunnen zijn voor de kwaliteit van de taakuitvoering. Het is goed mogelijk om deze humane criteria in te brengen bij de beoordeling van een conceptontwerp van een MMS.

De beste garantie dat verschillende criteria voldoende worden meegewogen bij het ontwerpen van mens-machine systemen wordt waarschijnlijk bereikt door het samenstellen van een multidisciplinair ontwerpteam. In dit ontwerpteam dient dan bijvoorbeeld procestechnische (hardware, software, proceskundige), menskundige (ergonomische, arbeids- en organisatiepsychologische, veiligheidkundige) en bedrijfskundige expertise bijeengebracht te worden.

Een belangrijke taak van zo'n ontwerpteam zal zijn, om in een vroeg stadium van het ontwerpproces de plannen in de vorm van een consequentie-analyse te toetsen aan de verschillende criteria. Bijstelling van deze plannen is dan nog mogelijk, hetgeen in latere stadia van het ontwerpproces steeds moeilijker wordt [8].

In het volgende hoofdstuk zal nader worden ingegaan op de expertise die TNO bij de uitvoering van dergelijke consequentie-analyses zou kunnen inbrengen. Daarnaast zal aandacht worden gegeven aan de mogelijkheden die TNO heeft om deze kennis en ervaring toe te passen bij het aangeven van technische en/of organisatorische oplossingen, waarbij de gesignaleerde problemen voorkomen kunnen worden.

2.4 TNO-expertise in het ontwerpen van mens-machine systemen

Om een overzicht te krijgen van de expertise die TNO tot haar beschikking heeft, zijn in figuur 6 de probleemgebieden schematisch weergegeven met daarbij aangegeven welke TNO-instituten op die gebieden werkzaam zijn.

Op het gebied "betrouwbaarheid en veiligheid" kunnen MT en IWECO een inbreng hebben vanwege hun kennis van resp. crisismanagement en faultmanagement; binnen het NIPG bestaat kennis en ervaring op het gebied van de arbeidsveiligheid. De instituten IWECO en IZF kunnen een bijdrage leveren bij het ontwerp van "regel- en alarmeringssystemen", daar IWECO expertise heeft in besturing en simulatie en IZF in alarmeringssystemen. "Organisatieontwerp en taakinhoud en effecten op gezondheid en welbevinden" zijn aandachtsgebieden van het NIPG. Het IZF heeft ervaring in het ontwerpen van selectiecriteria voor werving en het analyseren en invullen van de training en opleiding, terwijl IWECO ervaring heeft aan de uitvoerende kant van trainingsprogramma's en het ontwikkelen van hulpmiddelen (zoals simulatoren) daarvoor. Het gebied "mens/machine interface ontwerp" valt op te splitsen in de deelaspecten mens/computer en mens/proces. In het deelaspect man/proces hebben zowel IWECO als IZF expertise, terwijl het IZF en het NIPG (ergonomische) kennis hebben van het aspect man/computer. De werkomgeving en het werkplek-ontwerp zijn aspecten waar zowel het IZF als het NIPG relevante expertise hebben.

Uit figuur 6 blijkt dat TNO op alle aspecten van het ontwerpen van MMS expertise heeft. In het volgende hoofdstuk zal meer in detail geschetst worden welke kennis TNO heeft, en hoe deze zich verhoudt tot de expertise van andere instellingen en instanties die op dit gebied werkzaam zijn.

3. OVERZICHT KENNIS EN EXPERTISE BINNEN EN BUITEN TNO

3.1 Voorbeelden van TNO-kennis op het gebied van mens-machine systemen

In paragraaf 2.2 zijn de volgende aspecten van mens-machine systemen genoemd:

- organisatiestructuur;
- selectie, opleiding en training van operators;
- takenverdeling tussen operators onderling en computer(s);
- taakinhoud van de operator;
- crisis- & faultmanagement;
- werkplek van de operator;
- informatieuitwisseling tussen operator, computer en proces (waaronder alarmeringssystemen);

Over ieder aspect is door een TNO-instituut, dat een zekere expertise heeft op dat aspect, een bijdrage geschreven. De volledige bijdragen zijn opgenomen in de bijlagen. Hier wordt slechts volstaan met het kort aangeven van de inhoud van iedere bijdrage en door welk instituut het verzorgd is.

In bijlage 1 is een bijdrage gegeven afkomstig van het NIPG welke ingaat op de aspecten taakinhoud, organisatiestructuur en werkverdeling. Daarnaast wordt aandacht geschonken aan subjectieve ervaringen van het werk en effecten voor gezondheid en welbevinden van de operator. Beschreven wordt hoe de effecten van automatisering op deze factoren zich in de afgelopen decennia ontwikkeld hebben, en welke de onderlinge relaties zijn. Daarnaast worden toekomstige verwachtingen geschetst.

Bijlage 2 behandelt het ontwerpen van de operator-werkplek in relatie met de informatieuitwisseling tussen operator en proces, welke bijdrage is verzorgd door het IZF. De werkplek omvat het contactvlak tussen mens en machine, in de vorm van een regelpaneel, en de omgeving of ruimte waarin dit regelpaneel geplaatst is. De indeling van de regelpanelen komen nader aan de orde als mede de daarbij gebruikte presentatie- en bedieningselementen en de invloeden uit de omgeving. Tot slot volgen enige toekomstverwachtingen. Bijlage 3 geeft een overzicht van alarmeringssystemen, welke

de operator waarschuwen voor abnormale procestoestanden.

Crisismanagement komt aan de orde in bijlage 4, afkomstig van MT-IV. Er wordt aandacht geschonken aan de van ongevalspreventie, de specifieke aspecten voor de operator in "noodsituaties" en de verandering van zijn taak t.g.v. de toepassing van nieuwe technieken.

De opleiding en training van operators wordt behandeld in bijlage 5 van IWECO. Er wordt ingegaan op het gebruik van simulatoren bij de training; ook worden toekomstverwachtingen aangegeven. Bijlage 6 gaat tenslotte in op het onderwerp faultmanagement. Het gaat hier om een lopend onderzoek van TH-Delft en IWECO, welke zich richt op bestudering van de taken van een operator bij storingen in het systeem. De huidige stand van zaken wordt geschetst, alsmede toekomstige ontwikkelingen.

3.2 Vergelijking van kennis binnen en buiten TNO

In deze paragraaf zal aangegeven worden welke instanties er naast TNO betrokken zijn bij het ontwerpen van mens-machine systemen of bepaalde aspecten ervan.

Wanneer een bepaalde fabriek in de procesindustrie gebouwd moet gaan worden, zal in het algemeen de opdrachtgever zelf de systeemspecificaties opstellen en ook de beschrijving van het proces. In samenwerking met zgn. contractors, wordt het verdere ontwerp gemaakt en de installatie gebouwd. Zoals al opgemerkt in 2.3, hebben deze bedrijven in het algemeen niet de kennis en ervaring om het hele probleemgebied met betrekking tot een MMS te kunnen overzien. Voor specialistische deskundigheid op deelgebieden, alswel voor het totaal overzicht, zal men zich dan ook in veel gevallen tot externe deskundigen wenden. In Nederland komen daarvoor naast TNO en verschillende gespecialiseerde bureau's (ingenieursbureau's, organisatie-adviesbureau's, installatiebureau's e.d.) in aanmerking de drie Technische Hogescholen, resp. in Delft (THD), in Eindhoven (THE) en in Twente (THT) en verschillende Universiteiten, met name in Nijmegen (KUN) en in Utrecht (RUU). Iedere instelling houdt zich bezig met specifieke aandachtsgebieden van MMS.

Bij het beoordelen van de kennis en expertise van de diverse instanties is

het moeilijk om tot absolute uitspraken te komen. De volgende opmerkingen kunnen wel gemaakt worden:

- (1) De Technische Hogescholen en Universiteiten hebben veel ervaring in de procesindustrie. Het gaat hier meestal wel om specifieke kennis, hoewel de activiteiten van alle TH's en Universiteiten tesamen een groot gebied bestrijken. Het is gezien de doelstellingen van TH's en Universiteiten enerzijds en die van TNO anderzijds, duidelijk dat deze instellingen beide in het onderzoeksgebied aanvullend kunnen werken. De hier genoemde instellingen zijn aangesloten bij de SMBT, de Stichting Meet- en Besturingstechnologie, waar zij regelmatig informatie uitwisselen over de lopende onderzoeken. Bij deze Stichting is TNO ook vertegenwoordigd.
- (2) Hoewel ingenieursbureaus e.d. veel ervaring hebben opgebouwd, blijkt dat zij in de praktijk zelden een geïntegreerde ontwerpaanpak bezigen. Bovendien wordt door deze bureau's vaak in technische oplossingen gedacht, i.p.v. de mogelijkheden en beperkingen van de mens als uitgangspunt te gebruiken.
- (3) De expertise van TNO vertoont nauwelijks "witte plekken". Wel is er nog relatief weinig ervaring met een geïntegreerde aanpak van de gesignaleerde problemen, en dus met intensieve samenwerking tussen afzonderlijke TNO-onderdelen.

Een inhoudelijk nieuw gebied voor alle betrokken instanties is bij de mens-computer samenwerking de zgn. "software-ergonomie". Hieronder vallen gebruikersvriendelijke computertalen en mens/computer dialogen.

4. TOEKOMSTVERWACHTINGEN EN CONCLUSIES

Teneinde inzicht te krijgen in de mogelijke rol die TNO in de toekomst kan spelen bij onderzoeks- en advieswerk op het terrein van de procesautomatisering, wordt in dit hoofdstuk nader ingegaan op de marktontwikkelingen. Zowel de ontwikkelingen in de procesindustrie zelf, als de positie van TNO ten opzichte van andere instellingen komen hierbij aan de orde.

4.1 Marktontwikkelingen in de procesindustrie

Tot de procesindustrie kunnen een aantal verschillende sectoren worden gerekend zoals de chemie, olie, levensmiddelen, staal, energieopwekking, etc. Deze verschillende sectoren hebben gemeen dat er in het algemeen sprake is van grootschalige en complexe systemen met een hoog niveau van automatisering. Daarnaast zijn er verschillen tussen deze systemen, bijvoorbeeld ten aanzien van de risico's van procesvoering, de toelaatbare fluctuaties in produktkwaliteit, de mogelijkheid tot optimalisering van de procesgang enzovoorts. Deze verschillen zijn terug te vinden in de manier waarop de operator bij de procesbeheersing is ingeschakeld, en de problemen die zich hiermee kunnen voordoen.

Voor veel van de genoemde sectoren in de procesindustrie bestaat momenteel zowel in Nederland als in het buitenland een overcapaciteit. De huidige economische situatie maakt het niet aannemelijk dat er in deze situatie op afzienbare termijn verandering komt. Nieuwe omvangrijke investeringen in de procesindustrie zijn zeldzaam, terwijl bestaande bouwplannen in een aantal gevallen zelfs zijn teruggedraaid. Het accent verschuift in veel gevallen van nieuwbouw naar ombouw en/of aanpassing van bestaande installaties. Redenen hiervoor kunnen gelegen zijn in de wenselijkheid het systeem aan te passen aan moderne technologische ontwikkelingen. Ook kunnen stringenter eisen van de overheid (bijvoorbeeld t.a.v. milieueisen, of in het kader van de Arbeidsomstandighedenwet) aanleiding zijn tot wijzigingen. Het kan hierbij gaan om gedeeltelijke vernieuwing van het machinepark, verbouwing van de centrale regelkamer, organisatorische aanpassingen, wijziging van de automatiseringsgraad bijvoorbeeld door computerisering, e.d.

De problemen die in dit rapport uitgebreid aan de orde zijn geweest, betreffen niet alléén nieuw te ontwerpen systemen, maar kunnen zich eveneens voordoen bij te wijzigen bestaande systemen.

4.2 De concurrentiepositie van TNO

In het algemeen beschikken de grote bedrijven in de procesindustrie op deelgebieden van procesautomatisering over voldoende deskundigheid en ervaring. Wanneer het gaat om zuiver proces- of installatietechnische zaken, wordt daarnaast vaak de hulp ingeroepen van gespecialiseerde ingenieursbureaus. Ook de leveranciers van de installaties in de procesindustrie zijn op hun marktgebied uiteraard ter zake deskundig. De kleinere en de middelgrote bedrijven vallen meestal op deze externe deskundigheid terug bij gebrek aan eigen, gespecialiseerde mankracht. Bij de problematiek met betrekking tot de inschakeling van de mens in de procesbeheersing is er echter sprake van een vereiste deskundigheid met een veel breder karakter. De verschillende deelproblemen zijn weliswaar verschillend per MMS in de te onderscheiden sectoren, doch kunnen vrijwel nooit los van elkaar worden gezien. Enerzijds is een integrale benadering van deze problematiek in mens-machine systemen dan ook noodzakelijk om de diagnose van de problematiek te kunnen stellen, terwijl anderzijds een combinatie van verschillende deskundigheden vereist is om de gesignaleerde problemen op te kunnen lossen.

Nu in de huidige situatie de begrotingen van onderzoeksinstituten als ingenieursbureaus, organisatieadviesbureaus, universiteiten en hogescholen maar ook die van TNO-instituten onder druk komen te staan, kunnen wij aannemen dat de concurrentie in een krimpende markt zal toenemen.

In dit rapport is al aangegeven dat TNO met betrekking tot het probleemveld van de procesautomatisering te maken heeft met een aantal instellingen die op de verschillende deelgebieden werkzaam zijn. TNO is echter in de gunstige situatie, dat haar deskundigheid op deze verschillende deelgebieden weliswaar bij instituten van diverse hoofdgroepen is gelocaliseerd, doch in één en dezelfde organisatie aanwezig is. Geen van de genoemde andere onderzoeksinstituten beschikt over deze combinatie van technische en menswetenschappelijke deskundigheid in zo'n uitgesproken vorm als dat bij TNO het geval is.

Het onderkennen van de problematiek bij procesautomatisering zowel als het aangeven van oplossingen voor deze problemen vraagt om een integrale benadering. De bundeling van de deskundigheden binnen TNO op dit terrein maakt een dergelijke integrale benadering mogelijk. Teneinde het marktaandeel van TNO op dit gebied te behouden dan wel te vergroten, zal deze bundeling

met kracht moeten worden nagestreefd, waartoe de totstandkoming van dit rapport een eerste stap is geweest. Afhankelijk van de vraagstellingen die TNO op dit gebied bereiken zal dan ook steeds moeten worden nagegaan, welke combinatie van deskundigheden in de vorm van een samenwerkingsverband tussen TNO-onderdelen het best is uitgerust om de onderzoekswerkzaamheden uit te voeren. In principe zal de samenstelling van een dergelijk onderzoeksteam elke keer maatwerk zijn, waarvoor geen algemene regels kunnen worden opgesteld.

Samenvattend luiden de conclusies als volgt:

- De opdrachten die TNO op het gebied van procesautomatisering in de nabije toekomst kunnen bereiken, zullen in veel situaties te maken hebben met het aanpassen en/of wijzigen van bestaande installaties.
- De ervaringen, opgedaan met bestaande installaties, kunnen in de verdere toekomst met vrucht worden gebruikt bij het ontwerpen van nieuwe MMS in de procesindustrie.
- TNO heeft deskundigheid op een groot deel van het betreffende onderzoeksveld, waarbij opgemerkt moet worden dat deze deskundigheid bij TNO-instituten van verschillende hoofdgroepen gelocaliseerd is.
- Op het gebied van de procesautomatisering zijn meerdere instellingen werkzaam (ingenieursbureau's, organisatiebureau's, universiteiten en hogescholen, TNO). Gezien de krimpende markt lijkt het raadzaam dat deze instellingen proberen hun verschillende werkzaamheden op elkaar af te stemmen, hetzij in een vorm van samenwerking, hetzij door een zekere taakverdeling.
- De problemen met betrekking tot de procesbeheersing en de rol van de operator daarin vragen om een integrale benadering. TNO moet haar kracht ontleen aan de mogelijkheid om door middel van bundeling van haar deskundigheden die integrale benadering aan te kunnen bieden.

LITERATUUR

1. Bainbridge, L. (1982)
"Ironies of automation".
in: Johannsen, G. en J.E. Rijnsdorp, Eds. (1982)
"Analysis, design and evaluation of man-machine systems".
IFAC Conference, Baden-Baden.
pp. 151 - 157.
2. Bibby, K.S., F. Margulies, J.E. Rijnsdorp en R.M.J. Withers (1975)
"Man's role in control systems".
6th IFAC Congress, Boston.
3. Bosman, D. (1974)
"Ergonomic considerations in design methodology for man-machine systems".
TH-Twente, Enschede.
4. Brödner, P. (1982)
"Human work design for man-machine systems - a challenge to engineers and labour scientists".
in: Johannsen, G. en J.E. Rijnsdorp, Eds. (1982)
"Analysis, design and evaluation of man-machine systems".
IFAC Conference, Baden-Baden.
pp. 179 - 198.
5. Chapanis, A. (1967)
"The relevance of laboratory studies to practical situations".
Ergonomics, Vol. 10, no. 5, pp. 557 - 577.
6. Crossman, E.R.F.W. (1960)
"Automation and skill".
in: Edwards E. en F.P. Lees, Eds. (1974)
The human operator in process control".
Taylor and Francis, London.
pp. 1 - 24.

7. Edwards E. en F.P. Lees, Eds. (1974)
"The human operator in process control".
Taylor and Francis, London.
8. Ekkers C.L., A.A.F. Brouwers, C.K. Pasmooij en P.M. de Vlaming (1980)
"Menselijke Stuur- en Regeltaken".
NIPG-TNO, Leiden.
9. Jenkins, G.M. (1969)
"The systems approach".
Journal of Systems Engineering, Vol. 1, no. 1, pp. 3 - 46.
10. Johannsen, G. en J.E. Rijnsdorp, Eds. (1982)
"Analysis, design and evaluation of man-machine systems".
IFAC Conference, Baden-Baden.
11. de Jong, J.J. en E.P. Köster (1971)
"The human operator in the computer-controlled refinery".
in: Edwards E. en F.P. Lees, Eds. (1974)
"The human operator in process control".
Taylor and Francis, London.
pp. 196 - 205.
12. van den Kroonenberg, H.H. (1974)
"Methodisch ontwerpen".
De Ingenieur, no. 47, pp. 915 - 923.
13. Lees, F.P. (1974)
"Research on the process operator".
in: Edwards E. en F.P. Lees, Eds. (1974)
"The human operator in process control".
Taylor and Francis, London.
pp. 386 - 425.

14. Lees, F.P. en B. Sayers (1976)
"The behaviour of process operators under emergency conditions".
in: Sheridan, T.B. en G. Johannsen, Eds. (1976)
"Monitoring behaviour and supervisory control".
Plenum Press, New York.
pp. 331 - 341
15. Margulies, F. en H. Zemanek (1982)
"Man's role in man-machine systems".
in: Johannsen, G. en J.E. Rijnsdorp, Eds. (1982)
"Analysis, design and evaluation of man-machine systems".
IFAC Conference, Baden-Baden.
pp. 143 - 150
16. Meister, D. en E.D. Farr (1967)
"The utilization of human factors information by designers".
Human Factors, Vol. 9, no. 71, pp. 71 - 87.
17. Norros, L., J. Ranta en B. Wahlström (1982)
"On the modelling of the human process operator".
in: Johannsen, G. en J.E. Rijnsdorp, Eds. (1982)
"Analysis, design and evaluation of man-machine systems".
IFAC Conference, Baden-Baden
pp. 67 - 74.
18. Rasmussen J. en W.B. Rouse, Eds. (1980)
"Human detection and diagnosis of system failures".
Plenum Press, New York.
19. Rijnsdorp, J.E. en W.B. Rouse (1977)
"Design of man-machine interfaces in process control".
In: van Nauta Lemke, H.R. en H.B. Verbruggen, (Eds.) (1977)
"Digital computer applications to process control", North-Holland
Publishing Company, New York.

20. Sheridan, T.B. en G. Johannsen, Eds. (1976)
"Monitoring behaviour and supervisory control".
Plenum Press, New York.
21. Singleton, W.T. (1974)
"Man-machine systems".
Penguin, London.
22. Stassen, H.G. (1981)
"Mens-machine systemen: een groot probleem bij de toekomstige automatisering".
De Veiligheid, Vol. 57, no. 9, pp. 391 - 397.
23. Talmon, H. (1980)
"Faultmanagement in process control: a review".
TH Delft, Delft.
24. Wirstad, J. (1979)
"On the allocation of functions between human and machine".
Ergonområd AB, Karlstad.

BIJLAGEN

	blz.
I Operatortaken bij procesautomatisering: ontwikkelingen m.b.t. taak- inhoud en werkorganisatie, aspecten van gezondheid en welbevinden	31
II Werkplekontwerp	55
III Alarmsystemen	71
IV Crisismanagement	81
V Opleiding en training	95
VI Fault management	109

A.A.F. Brouwers

C.K. Pasmooij

BIJLAGE I

OPERATORTAKEN BIJ PROCESAUTOMATISERING:
ONTWIKKELINGEN M.B.T. TAAKINHOUD EN
WERKORGANISATIE, ASPECTEN VAN GEZONDHEID
EN WELBEVINDEN

Inhoudsopgave

Blz.

1. TAAKINHOUD, HET BEELD TOT AAN DE HUIDIGE SITUATIE	1
1.1 Aspecten van taakinhoud	1
1.2 Technologische ontwikkelingen; de jaren vijftig tot aan tachtig	2
1.3 Automatiseringsgraad en taakinhoud	4
1.4 Effecten m.b.t. de werkbeleving en gezondheid van operators	7
2. ASPECTEN VAN ORGANISATIE	9
2.1 Ontwikkelingen m.b.t. organisatiestructuur en werkverdeling	9
2.2 Subjectieve beleving van aspecten van de organisatie . . .	10
3. TOEKOMSTVERWACHTINGEN M.B.T. DE TAAKINHOUD	11
3.1 Ontwikkelingen m.b.t. de technologie	11
3.2 Ontwikkelingen m.b.t. de taakinhoud	12
3.3 Toekomstige knelpunten m.b.t. de taakinhoud	15
4. TOEKOMSTVERWACHTINGEN M.B.T. ASPECTEN VAN ORGANISATIE	19
LITERATUUR	20

1. TAAKINHOUD, HET BEELD TOT AAN DE HUIDIGE SITUATIE

1.1 Aspecten van taakhoud

In essentie bestaat de taak van de operator in de procesindustrie erin, het complexe min of meer geautomatiseerde technische systeem (de chemische fabriek, de electriciteitscentrale) in een gewenste toestand te houden dan wel daar naar toe te brengen.

Voor de uitvoering van deze taak beschikt de operator over informatie m.b.t. de toestand en werking van het systeem. Deze informatie bereikt de operator via een interface; het raakvlak tussen mens en machine, meestal in de vorm van een paneel. Tevens heeft de operator kennis van normwaarden en overschrijdingsgrenzen m.b.t. de gepresenteerde grootheden.

Via hetzelfde interface kan de operator de bedieningshandelingen uitvoeren. Deze kunnen direct in het systeem ingrijpen óf via de automatische regelapparatuur verlopen.

Wanneer we nu in systemen in de procesindustrie naar activiteiten van operators kijken [1, 2], dan zien we dat een aanzienlijke hoeveelheid tijd wordt besteed aan de bewaking van het systeem; de observatie van displays e.d. op het paneel. De bewaking kan daarbij in meer of minder actieve vorm plaatsvinden, bijv. actief de meters op het paneel in de gaten houden, resp. alleen reageren op bepaalde alarmsignalen.

Ook besteedt de operator een zekere hoeveelheid tijd aan bedieningsactiviteiten. Het gaat daarbij om bijstellingen aan het productieproces en om reacties op storingssituaties.

We zien verder dat de operator overlegt met bijv. collega-operators of de ploegchef. De communicatie-activiteiten van de operator kunnen ook betrekking hebben op de zogenaamde indirecte regeling van het systeem; het gaat hierbij om opdrachten aan operators die in het systeem zelf werkzaam zijn.

Tenslotte zien we nog dat de operator administratieve taken verricht en ook wel onderhoudstaken uitvoert aan bijv. paneelinstrumenten. Daarnaast is er een zekere hoeveelheid tijd waarin voor de operator geen systeemgebonden activiteiten voorhanden zijn. Afhankelijk van de situatie kan het hierbij gaan om een geringe maar ook om een aanzienlijke hoeveelheid tijd.

1.2 Technologische ontwikkelingen; de jaren vijftig tot aan tachtig

Het is duidelijk dat de technologische ontwikkelingen die ingrijpen op activiteiten als "bewaking" en "bediening" een grote invloed hebben op het werk van de operator. In de afgelopen decennia is het in toenemende mate mogelijk geworden om bedieningsactiviteiten en ook aspecten van de bewakingstaak over te brengen van de operator naar de machine, naar de "automaat"

Een eerste belangrijke voorwaarde voor een automatisch procesverloop in een systeem is dat de energie die nodig is voor transport en/of productie door machines wordt geleverd; het proces moet zijn gemechaniseerd. Een tweede aspect is dat er in het systeem informatie moet kunnen worden opgenomen over de (te regelen) procesgrootheden. Deze informatie moet getransporteerd, verwerkt en evt. weergegeven kunnen worden. De informatie geeft al dan niet aanleiding tot ingrijpen in het procesverloop. Vindt dit plaats dan moet de informatie van deze actie m.b.v. instrumenten in het systeem, leiden tot de gewenste wijziging van de procestoestand.

In de periode na de tweede wereldoorlog zijn het met name deze laatste punten geweest die door technologische ontwikkelingen werden mogelijk gemaakt. We doelen hier op de opname, de transmissie en de verwerking van informatie door daartoe geëigende apparatuur. We kunnen in dit verband spreken van "automatisering"; de hiervoor genoemde "mechanisering" is daarvoor een noodzakelijke voorwaarde. Voor een belangrijk deel vindt de snelle groei van de automatisering haar oorsprong in de ontwikkeling die de electronica vanaf de jaren vijftig heeft doorgemaakt en vandaag de dag nog steeds doormaakt. Het beschikbaar komen van steeds kleinere elektronische componenten (micro-electronica) met steeds meer geavanceerde mogelijkheden heeft geleid tot de ontwikkeling van samengestelde informatieverwerkende systemen. De snel verbeterde prestatie/kostprijsverhouding van de halfgeleiders [3] heeft hierbij ook een belangrijke rol gespeeld (in 10 jaar een factor 10^5). In het onderstaande schema (schema 1) zijn belangrijke ontwikkelingen van de electronica aangegeven alsmede daarmee samenhangende veranderingen m.b.t. de meet- en regelapparatuur, de signaaltransmissie en het interface.

Schema 1* Technologische ontwikkelingen, '50-'80

		viijftiger jaren	zestiger jaren	zeventiger jaren	tachtiger jaren
elektronika	komponenten	transistoren	Integrated Circuits (IC's)	micro-processoren	single-chip computers, submicron-technologieën
	samen-gestelde systemen	computers met buizen	computers met transistoren	computers met IC's	
meet- en regelapparatuur		handwielen, afsluiters	remote-control, opkomst procescomputers	digitale apparatuur, toepassen redundantie, procescomputers	lokale regelingen, digitaal geïnstrumenteerd
signaaltransmissie		pneumatisch, mechanisch	pneumatisch, elektrisch	elektronisch, pneumatisch	elektronisch, pneumatisch
organisatie van de apparatuur		panelen ter plekke (lokale centralisatie), grote analoge instrumenten	volledige centralisatie in regelkamers, analoge instrumenten	centralisatie, miniaturisering van interfaces, digitale instrumenten, opkomst van beeldschermen	decentralisatie, miniaturisering van interfaces
automatiseringsgraad * *	manuele regeling	inschakeling informatie-verwerkende systemen (II)	opkomst van superviserende regelingen (III)	superviserende regelingen? (IV)	

* Overgenomen uit ref. 4.

** Dit deel van het schema wordt in par. 1.3 besproken.

De samenhang tussen de verschillende in het schema geschetste ontwikkelingen is zoals gezegd vrij sterk. Zo ontstond er door het beschikbaar komen van moderne meet- en regelapparatuur, de mogelijkheid om de informatiepresentatie, -verwerking en bediening steeds verder te centraliseren. Wat betreft bijvoorbeeld de systemen zelf heeft de betere beheersbaarheid schaalvergroting mogelijk gemaakt. Over het algemeen is deze gepaard gegaan met een toename van de complexiteit van de systemen. Voor wat betreft de situatie van dit moment zien we dat de technologische ontwikkelingen zich vooral richten op verdergaande automatisering van de feitelijke verwerking van informatie: programmering van meet- en regelprocedures, mogelijkheden voor verschillende samengestelde vormen van informatiepresentatie etc.; de automatiseringsgraad van systemen kan daardoor toenemen.

1.3 Automatiseringsgraad en taakhoud

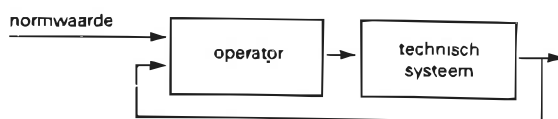
We beschrijven nu welke relatie er bestaat tussen de "automatiseringsgraad" en ontwikkelingen m.b.t. de taakhoud. Daarbij gaat het dan om ontwikkelingen m.b.t. regelactiviteiten (bediening) en m.b.t. bewakingsactiviteiten.

Vanuit de menselijke arbeidstaak bezien vatten we de "automatiseringsgraad" op als een begrip dat aangeeft in hoeverre de regeling van het systeem aan de operator dan wel aan de "automaat" is overgelaten [5].

Een hoge automatiseringsgraad betekent dat de regeling van het systeem in sterke mate door de automaat wordt uitgevoerd, in principe blijven er dan minder regelactiviteiten over voor de operator. We maken nu onderscheid tussen 3 niveaus van automatisering (zie ook 1 en 4).

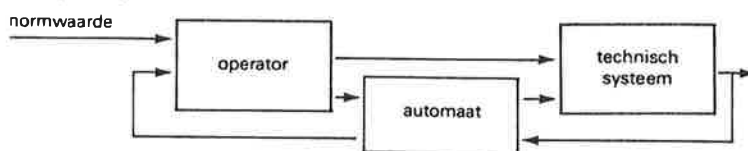
We merken nog op dat we bij deze indeling het oog hebben op een systeemtoestand waarin sprake is van een ongestoord procesverloop. Een dergelijke situatie wordt wel aangeduid als "stationair procesverloop".

Niveau I: Manuele regeling



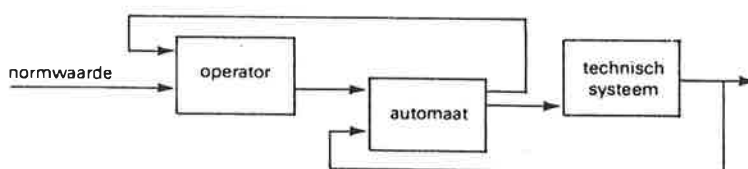
De operator is direct ingeschakeld bij de regeling van het systeem en is volledig opgenomen in de gesloten regelkring.

Niveau II: Automatische regeling



Bepaalde regelacties worden nu door de operator verricht, doch andere ingrepen worden door een automaat verricht.

Niveau: III Superviserende regeling



Het technisch systeem wordt nu door de automaat geregeld, de operator heeft een bewakende functie.

De hier onderscheiden niveaus van automatisering van de regeling typen tevens de ontwikkelingen m.b.t. de taakinhoud. Bij systemen die gebouwd zijn, om en nabij de jaren vijftig is het voornamelijk de operator die de regelacties uitvoert.

Door de voortschrijdende technologie wordt naar en in de jaren zestig het accent verlegd naar "automatische" regeling en, verder in de tijd naar superviserende regeling. De bijdrage van de operator aan de regeling van het systeem neemt af; het accent komt te liggen op de bewakingsactiviteit.

E.e.a. betekent overigens niet dat er in de zeventiger jaren alleen systemen met het hoogste niveau van automatisering voorkomen. Niet alleen geavanceerde procestechniek maar ook bijv. economische overwegingen bepalen hoe een systeem t.a.v. het niveau van automatisering van de regeling wordt uitgevoerd.

De bewaking van het systeem is eveneens een belangrijke taak van de operator. Maar ook hier hebben technologische ontwikkelingen het in toenemende mate mogelijk gemaakt om aspecten van deze taak over te dragen van de mens naar de machine. Wanneer bijv. een signaal van een "sensor" in het technische systeem automatisch wordt omgezet in een signaal naar een "effector", betekent dat voor de operator dat de betreffende regelkring niet permanent de aandacht behoeft. Een ander voorbeeld hiervan is de automatische detectie en melding van een afwijkende systeemtoestand.

Uit onderzoek blijkt dat dergelijke procesalarmsystemen een belangrijk hulpmiddel zijn voor de bewakingsactiviteiten van de operator [6].

Wanneer we nu de menselijke arbeidstaak als uitgangspunt nemen, kunnen we stellen dat de frequentie van observatie van systeem informatie een indicatie geeft van de mate van automatisering van de bewaking: een laag niveau van automatisering wanneer de operator de paneelgegevens zeer frequent observeert, een hoog niveau bij een lage frequentie.

Op basis van de hierna volgende typering onderscheiden we drie vormen; ook hierbij gaat het om situaties van "stationair procesverloop".

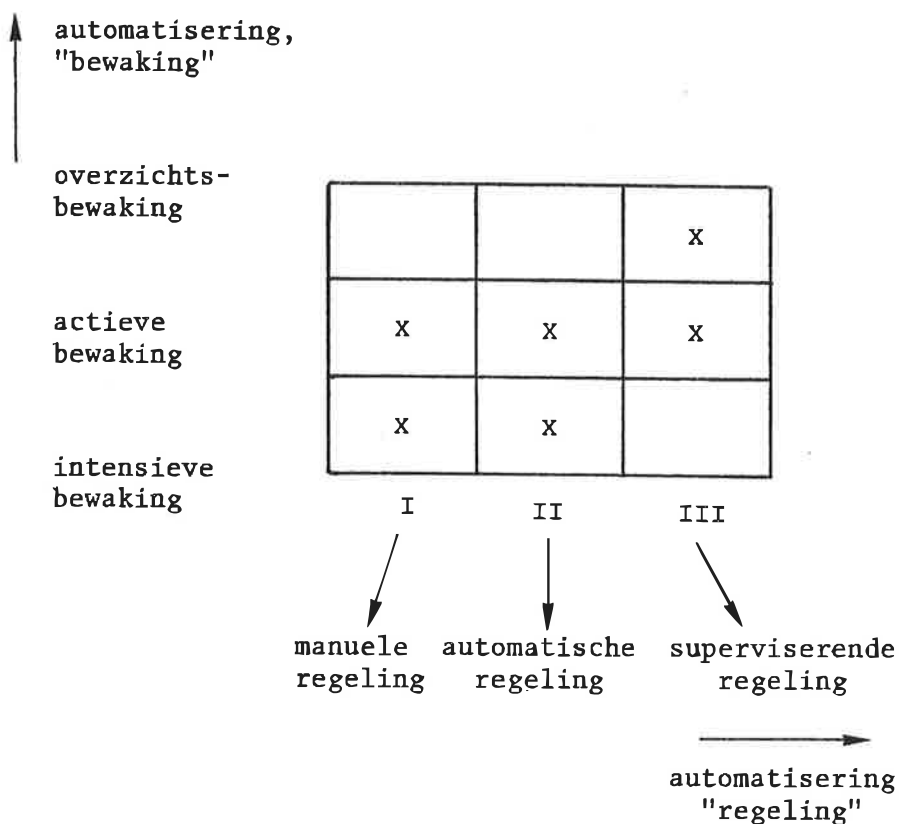
- Vorm I* : De operator observeert vrijwel permanent de displays op het paneel. Vrijwel permanent is er informatie nodig voor de regeling van het systeem (we duiden dit niveau aan als "intensieve bewaking");

* Laagste niveau van automatisering van de bewaking.

- Vorm II : De bewakingsactiviteiten van de operator zijn er op gericht regelmatig een beoordeling te maken van de toestand en werking van het systeem. Het initiatief voor de bewakingsactiviteiten ligt bij de operator; een bedieningsactie kan resultaat zijn van de bewaking ("actieve bewaking");
- Vorm III: De bewaking heeft het karakter gekregen van het lopen van een wachtronde. Vaak gaat het om een voorgeschreven activiteit waaraan ook het invullen van wachtstaten is gekoppeld. Met zekere intervallen moet de toestand en - trends in - de werking van het systeem worden waargenomen; de bewaking wordt zelden gevolgd door bedieningshandelingen ("overzichts-bewaking").

De niveaus van automatisering van "regeling" en "bewaking" gebruiken we nu als mogelijkheid om operatortaken in een aantal klassen in te delen. In het onderstaande schema (schema 2) is deze verdeling weergegeven.

Schema 2 Indeling van operatortaken naar niveau van automatisering van "regeling" en "bewaking"



In dit schema zijn een aantal cellen aangekruist. Het gaat hier om 24 verschillende operatortaken die deel uit hebben gemaakt van een NIPG-studie m.b.t. operatortaken in vln. de procesindustrie (zie 1 en 4). De onderzochte systemen zijn zowel van recente als van eerdere bouwdatum; in de aangekruiste cellen ligt een aspect van technologische ontwikkeling besloten. Op taakniveau is het effect hiervan zichtbaar in een diagonaal-achtige band van links-onder naar rechts-boven in het schema. Anders gezegd, de ontwikkelingen van de technologie hebben bewerkstelligd dat het beeld van de operator die het systeem regelt en daarbij voortdurend informatie nodig heeft voor de controle op zijn regelgedrag, zich heeft gewijzigd (links-onder in schema 2). We treffen situaties aan waarbij de automaat het systeem regelt, de operator alleen ingrijpt na systeemmeldingen; de bewaking door de operator heeft daarbij een passief karakter gekregen (rechts-boven in schema 2). Deze ontwikkeling, die zich de afgelopen ca. 20 jaar voltrokken heeft, heeft tevens gevolgen gehad voor de beleving en waardering van het werk door operators. Daarnaast zijn effecten te constateren m.b.t. de gezondheid van operators. Op deze punten wordt in de volgende paragraaf ingegaan.

1.4 Effecten m.b.t. de werkbeleving en gezondheid van operators

Wanneer we kijken naar studies uit de jaren vijftig en begin zestiger jaren, zien we dat deze een relatief gunstig beeld geven van het werk van operators in de procesindustrie.

Zo bijvoorbeeld vergelijken Mann & Hoffman [7] werk, werkomstandigheden en opinies van werknemers hierover in een tweetal electriciteitscentrales. Eén centrale dateert uit 1915, de andere is dan pas enkele jaren operationeel. In vergelijking tot de oude centrale vinden de operators in de nieuwe centrale hun werk interessanter, uitdagender. Ze vinden dat het in belangrijke mate een beroep doet op hun vaardigheden. Over het algemeen uiten ze een grote tevredenheid over hun werk.

Een soortgelijk beeld vinden we terug in een studie van Blauner [8] in de chemische procesindustrie. Ook hier zijn de operators positief wat betreft de mogelijkheden voor de eigen bijdrage aan de productkwaliteit en de systeemoperaties. Ook de afwisseling en de verscheidenheid van de werkzaamheden worden positief gewaardeerd.

Wel tekent Blauner nog aan dat het werk wordt gekarakteriseerd door langere perioden van rust en korte perioden van koortsachtige activiteit. Dit kan weleens leiden tot een zekere monotonie en gevoelens van verveling van operators.

Uit de resultaten van de al eerder genoemde NIPG-studie blijkt niet dat de, sinds de jaren zestig, verdergaande automatisering ook heeft geleid tot een verdere stijging van de kwaliteit van de arbeid. Eerder is er sprake van het tegendeel. We zien in de NIPG-studie dat bij de hooggeautomatiseerde arbeidssituaties (niveau III m.b.t. "regeling" en "bewaking") het werk over het algemeen negatiever wordt ervaren dan bij de lager geautomatiseerde systemen. Zowel de mate waarin operators vinden dat ze zich waar kunnen maken in het werk als de hoeveelheid afwijzing die ze ervaren in de taak, zijn minder bij een hoog niveau van automatisering. Dit geldt ook voor het totaal-oordeel van operators over hun arbeidstevredenheid. In dezelfde richting wijzen de resultaten m.b.t. het subjectief welbevinden en de ervaren gezondheid van operators. Ook het ziekteverzuim (frequentie) is hoger bij de hoger geautomatiseerde systemen.

We zien dus dat de als gevolg van technologische ontwikkelingen, gewijzigde taakinhoud uit een oogpunt van menselijke mogelijkheden en behoeften ongunstiger wordt beoordeeld. Tevens kunnen we constateren dat er problemen zijn gerezen m.b.t. aspecten van gezondheid van operators. Wel kan er, zo blijkt uit het NIPG-onderzoek, een zekere mate van arbeidstevredenheid aan het groepsfunctioneren worden ontleend. Bij de hoger geautomatiseerde systemen zijn operators over het algemeen meer tevreden over de samenwerking binnen de - relatief grote - ploeg.

In het volgende hoofdstuk gaan we in op de ontwikkelingen m.b.t. aspecten van organisatie van het werk van operators in de procesindustrie.

2. ASPECTEN VAN ORGANISATIE

2.1 Ontwikkelingen m.b.t. organisatiestructuur en werkverdeling

Bij systemen in de procesindustrie gaat het niet alleen om een verdeling van taken tussen mensen en machines, maar ook om een verdeling van de werkzaamheden tussen mensen onderling. Immers alleen bij een klein systeem kan er sprake zijn van een situatie waarin één operator het systeem bestuurt. In andere gevallen gaat het om een ploeg operators, die op basis van een zekere verdeling van taken en bevoegdheden de regeling uitvoeren.

De in de vorige paragraaf al genoemde studie van Mann & Hoffman gaat ook in op aspecten van organisatie. In vergelijking tot de oude centrale kan men in het nieuwe productiesysteem met aanzienlijk minder mensen toe. Vroeger specialistische functies zijn nu samengesteld. De ploegstructuur is sterk vereenvoudigd, het aantal leidinggevende niveaus teruggebracht. Tevens wordt er gewerkt met een geregelde taakroulering van operators. Daarnaast vindt er geregeld overleg plaats tussen de operator, als direct verantwoordelijke voor het hele proces, en zijn - directe - supervisoren.

Ook in de NIPG-studie is aandacht besteed aan aspecten van organisatie. Op grond van de resultaten hiervan kunnen we stellen dat er wat betreft organisatiestructuur en onderlinge werkverdeling, betrekkelijk weinig is veranderd t.o.v. het beeld dat we in de vijftiger jaren zien. Ook worden er weinig verschillen aangetroffen wat betreft organisatorische opbouw bij de aan het eind van de zeventiger jaren onderzochte bedrijven. Doorgaans staat een ploegchef boven de operator die de feitelijke besturing en bewaking van het systeem uitvoert. Boven de ploegchef is de chef van de wacht geplaatst die meestal meerdere ploegen onder zich heeft. Hierboven staat de afdelingschef, fabriekschef of plantmanager (doorgaans niet meer in ploegendienst werkzaam).

Binnen de ploeg is in een aantal gevallen sprake van operators van gelijk niveau, die via een systeem van taakroulatie afwisselend de feitelijke bewakings- en bedieningstaak uitvoeren (paneeloperator). In andere gevallen is er binnen de ploeg nog sprake van twee of drie hiërarchische niveaus, waarbij de paneeloperator een aantal veldoperators of assistenten onder zich heeft. Bij de hoger geautomatiseerde, grootschaliger technische systemen zijn, welhaast vanzelfsprekend, over het

algemeen meer werknemers betrokken. De afdelingen zijn gemiddeld groter, evenals de ploegen en, er wordt vaker in volcontinudienst gewerkt. De regeling van het systeem vindt hier meer in teamverband plaats, binnen de ploeg is meer samenwerking noodzakelijk.

2.2 Subjectieve beleving van aspecten van de organisatie

Wanneer we kijken naar de beleving van operators van aspecten van organisatie van het werk treffen we in de NIPG-studie het volgende beeld aan. Zoals eerder al opgemerkt wordt bij de hoger geautomatiseerde systemen, het functioneren van de ploeg wat betreft de sfeer en onderlinge relaties met collega's gunstiger beoordeeld dan bij systemen met een lager niveau van automatisering. Wel treedt tegelijkertijd een verlies op van autonomie van de individuele taakuitvoerder: bij de lager geautomatiseerde heeft de operator doorgaans het gevoel zelfstandiger te kunnen functioneren. Ook ervaren de operators bij de hoger geautomatiseerde systemen hun invloed op de gang van zaken in de afdeling als betrekkelijk gering. De afstemming van het werk en de eigen technische kennis wordt eveneens als minder goed ervaren.

Tenslotte nog worden op het gebied van het werken in continudienst meer nadelen ervaren bij systemen met een hoog niveau van automatisering. Dit houdt weer verband met het feit dat bij deze systemen doorgaans in volcontinudienst wordt gewerkt.

3. TOEKOMSTVERWACHTINGEN M.B.T. DE TAAKINHOUD

3.1 Ontwikkelingen m.b.t. de technologie

Van grote invloed voor het werk van operators in de procesindustrie is het beschikbaar komen van steeds meer geavanceerde apparatuur voor de bestudering en de bewaking van de productiesystemen.

De voortgaande noodzaak van de beheersing van energie- en grondstoffenkosten, het belang van een veilige procesvoering en de uitbreiding van de milieuwetgeving zijn belangrijke drijfveren voor de toepassing van dergelijke apparatuur.

In de systemen wordt de plaats van de conventionele regelapparatuur meer en meer ingenomen door microprocessors en de on-line procescomputer (zie ook schema 1, we spreken in dit verband verder van "procescomputer").

Weliswaar biedt de procescomputer beduidende mogelijkheden voor automatisering van industriële processen [9, 10]; het tempo van de invoering is op dit moment een relatief onzeker gegeven. De hedendaagse financieel-economische situatie zal bij veel bedrijven leiden tot een terughoudend investeringsbeleid. Deze terughoudendheid zal waarschijnlijk vooral de bouw van compleet nieuwe fabrieken gelden. Eerder is te verwachten dat de procescomputer wordt toegepast bij bestaande fabrieken, bijvoorbeeld bij uitbreidingen daarvan, bij vervanging van een deel van de regelapparatuur, etc. (hybride systemen).

Wat betreft de inschakeling van de procescomputer kunnen een aantal mogelijkheden worden onderscheiden [11]:

- inschakeling bij planning en programmering, verdeling van grondstoffen e.d. binnen de onderneming;
- inschakeling bij de optimalisering van de werkwijze van een bepaald proces;
- inschakeling bij het op meer verfijnde wijze handhaven van de waarde van procesgrootheden tussen grenswaarden;
- inschakeling bij opstart en shutdown procedures;
- inschakeling bij de programmasturing van batch-gewijze operaties;
- inschakeling bij de optimalisering van alarmeringen en beveiligingen;
- inschakeling bij de kwaliteitsbeheersing, kwaliteitsmetingen;
- verder kan gewezen worden op de mens-computer-interactie waar meer en meer beeldstations in de procesvoering worden ingeschakeld.

Aan dit aspect wordt aandacht besteed in bijlage II.

De inschakeling van de procescomputer maakt het mogelijk geavanceerde algorithmen toe te passen. Hierdoor kan een verbetering van de regelkwaliteit worden bereikt [12]. Een andere ontwikkeling die opvalt is het streven naar een verdere verhoging van de betrouwbaarheid en beschikbaarheid van de procescomputer. Het gaat hier om diverse manieren van het toevoegen van redundantie aan een systeem, bijv. m.b.t. de hardware, de software en technieken voor foutendetectie en correctie [13, 14]. Pas de laatste jaren is deze ontwikkeling economisch haalbaar geworden. Lage kosten en klein volume van componenten spelen hierin een rol.

3.2 Ontwikkelingen m.b.t. de taakinhoud

We hebben eerder aangegeven welke de belangrijkste activiteiten zijn van operators in geautomatiseerde systemen in de procesindustrie: bewaking, regeling, communicatie en administratie en onderhoud.

De vraag nu is wat de invloed zal zijn van de verdergaande inschakeling van de procescomputer op deze taken van de operator.

Wanneer we de activiteiten bezien waarop de procescomputer kan worden ingeschakeld, dan blijkt duidelijk dat het zowel gaat om aspecten van de regeling van het systeem als om aspecten van bewaking (optimaliseren procesregeling, alarmsystemen). De inschakeling van de procescomputer kan leiden tot een verdere automatisering van de regeling en/of bewaking en daarmee tot een verandering van deze activiteiten van de operator.

Wat betreft de regeling van het systeem hebben we eerder typeringen gegeven van het niveau van automatisering. Deze typeringen gelden voor een systeemtoestand die we hebben aangeduid als: "stationair bedrijf". Wanneer we nu naar "bijzonder situaties" kijken, bijv. het opstarten of afregelen van een systeem, het verhelpen van storingen, dan zien we bij veel systemen dat er sprake is van een ander niveau van automatisering van de regeling. Is er bij stationair bedrijf sprake van "superviserende regeling", dan kan bijv. gelden voor het opstarten het niveau "manuele" en/of "automatische regeling".

In de veldfase van het NIPG-onderzoek bleek dat op een enkele plaats het niveau "superviserende regeling" ook van toepassing was voor specifieke bijzondere situaties; bijv. een stappenautomatiek voor een deel van de opstartprocedure van een electriciteitscentrale.

Te verwachten nu is dat bij het verdergaand gebruik van de procescomputer meer en meer ook bijzondere situaties op het niveau van "superviserende regeling" worden gebracht. Mogelijk zit hierin nog een bepaalde ontwikkelingslijn: opstart-procedures, verhelpen van bekende storingen, vanuit specifieke condities terugregelen van het systeem naar een veilige toestand. Een en ander is mede afhankelijk van de karakteristieken van een systeem.

Aan de bestaande indeling van niveaus van automatisering van de regeling voegen we nu toe het niveau "uitgebreid superviserende regeling". We willen deze aanduiding gebruiken voor (toekomstige) systemen waar één of meer "bijzondere situaties" onder superviserende regeling zijn gebracht. Daarnaast laat het zich voorstellen, dat in een systeem alle denkbare situaties automatisch kunnen worden doorlopen en, storingen daarbij kunnen worden opgevangen en verholpen. Een voorbeeld hiervan is de Amerikaanse Space-shuttle waarin vijf computers de complete vlucht besturen [15]; een wijze van systeembesturing die voor de proces-industrie nog niet denkbaar is. Voor dit niveau stellen we de aanduiding voor: "extra superviserende regeling".

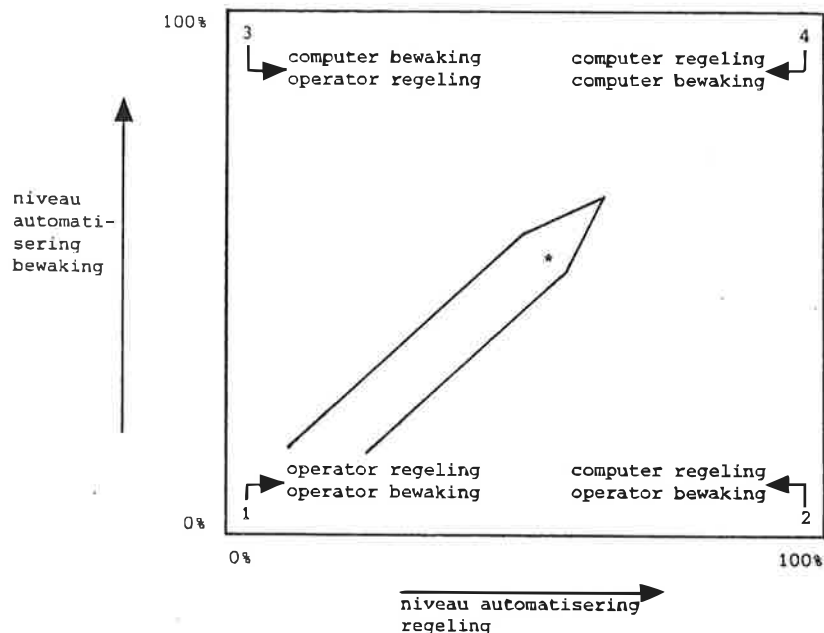
Wat betreft de verdere automatisering van de bewaking lijken vooral van belang de ontwikkelingen m.b.t. de verhoging van de betrouwbaarheid en beschikbaarheid van de apparatuur. Dit kan op termijn leiden tot een situatie waarin de operator niet meer de (voorgeschreven) routinematige "overzichtsbevaking" uitvoert, maar alleen bij het systeem wordt geroepen wanneer dat vanuit het systeem gezien noodzakelijk is. Het systeem verstrekt dan relevante informatie, de operator kan nadere gegevens opvragen. In een dergelijke situatie wordt de bewaking voor de operator een tweede hoofdtaak of mogelijk een neventaak. We willen voor deze toekomstige, vorm de aanduiding gebruiken: "bewaking bij uitzondering".

In schema 3 is de indeling weergegeven m.b.t. de thans voorkomende klassen van taakinhoud van operators (zie ook schema 2) en de toekomstige mogelijkheden op dit punt.

stellen dat de (toekomstige) technologie uitgebreide mogelijkheden geeft om de automatisering van regeling en bewaking precies af te stemmen op de karakteristieken, de eisen van een specifiek systeem. Dit kan leiden tot systemen waarbij het beeld van de taken van de operator er zeer verschillend uitziet. Wordt in een systeem vooral de automatisering van de regeling verhoogd, dan ontstaat de situatie waarin de operator de computer bewaakt. Wanneer het accent wordt gelegd op de automatisering van de bewaking dan gaat de computer de operator bewaken. Beide gecombineerd leidt tot de situatie van "computer regeling & computer bewaking". De onderstaande figuur (figuur 1) geeft deze situaties nog eens schetsmatig weer.

Figuur 1 Dimensies van automatisering: "regeling" en "bewaking". Mogelijkheden voor verschillende niveaus van automatisering van de regeltaak en de bewaking.

* De trend die zich aftekent.



3.3 Toekomstige knelpunten m.b.t. de taakinhoud

We gaan nu voor "regeling" en "bewaking" na welke toekomstige knelpunten zich kunnen voordoen. We doen dit in de vorm van een aantal vragen over regeling en bewaking. Uiteraard zijn deze taken niet onafhankelijk; bepaalde vragen houden met elkaar verband. Achter de vragen is tussen haakjes een algemene gebiedsaanduiding gegeven van het betreffende mogelijke knelpunt (MK).

Vragen m.b.t. regeling; situatie "uitgebreide superviserende regeling"

1. Blijft onder deze omstandigheden de regelvaardigheid van de operator op een voldoende hoog peil? Moet in verband hiermee een systeemonderdeel van tijd tot tijd "op de hand" worden genomen? Is het gebruik van simulatoren hiervoor een alternatief? (MK: regelvaardigheidstraining)
2. Hoe snel kan de operator vanuit een situatie van overzichtsbevakking omschakelen naar actieve regeling van het systeem? (MK: on-evenwichtige werkbelasting - tijdsdruk)
3. Welke vorm moet de interactie tussen de automaat en de mens hebben? Moeten wijzigingen in de systeemwerking worden doorgegeven aan de operator, met opgave van redenen? (MK: mens-machine communicatie)
4. Is het wenselijk/mogelijk dat de verschillende stadia in de procesvoering (opstarten, stationair bedrijf) eenzelfde niveau van automatisering van de regeling hebben?

Vragen m.b.t. bewaking; situatie "overzichtsbevakking"

5. Kan het niveau van alertheid van de operator-bewaker op een voldoende hoog peil blijven? Neemt de prestatie op de bewakingstaak af als functie van de tijd? (MK: vigilantie-effecten bij complexe bewakingstaak)
6. Meer dan vroeger is er de mogelijkheid procesgegevens in meer of minder gedetailleerde, cijfermatige vorm uit te drukken. Ook kan informatie in diverse andere vormen worden samengesteld, bijv. trendgegevens. Doorgaans worden deze gegevens niet gelijktijdig gepresenteerd maar vraagt de operator ze successievelijk op. De vraag is welke structuur dit proces van opzoeken onder diverse omstandigheden moet hebben? (MK: mens-machine communicatie)

Een specifiek aspect van de bewakingstaak betreft de detectie en diagnose van afwijkingen in het systeemgedrag (zie ook bijlage III). In dit verband gaat het ook om vragen m.b.t. alarm-, waarschuwings- en beveiligingssystemen (AWB-systemen).

7. Welke moeten de karakteristieken zijn van een optimaal - geavanceerd - AWB-systeem?
8. Moeten AWB-gegevens voor de operator aanwijzend van aard zijn of ondersteunend, richtgevend?
9. Moet de operator het AWB-gegeven op zijn juistheid controleren (hoe betrouwbaar is de apparatuur)?
10. Het komt nog steeds voor dat een alarm niet wordt gedetecteerd. Wat kan bijdragen tot een verder voorkomen hiervan?

Meer in het algemeen kan worden gesteld dat het toekomstige beeld van de taakverdeling tussen mens en machine, uit het oogpunt van menselijke mogelijkheden en behoeften er niet direct gunstiger op lijkt te worden. De nadruk ligt op een situatie waarin de operator als "bewaker" de onregelmatigheden in het systeem moet afwachten en oplossen.

We hebben eerder aangegeven dat onder dergelijke omstandigheden een situatie kan ontstaan waarin voor de operator te weinig zinvolle activiteiten voorhanden zijn, waarin de operator zich onvoldoende betrokken voelt bij het functioneren van het systeem. De geschetste ontwikkelingen lijken dergelijke gevoelens te kunnen versterken. Daarnaast zien we op diverse plaatsen dat de eisen toenemen t.a.v. de (voor-)opleiding van operators. Ook hierdoor kan de discrepantie toenemen tussen wat mensen verwachten van hun werksituatie en wat er in de praktijk doorgaans van hen wordt gevraagd. De situatie van de wachtlopende ingenieur kan als een extreem voorbeeld hiervan gelden.

De eerder gesignaleerde punten m.b.t. afnemende arbeidstevredenheid en verschijnselen van verminderde gezondheid, blijven o.i. dan ook punten van toekomstige zorg [16].

Wat betreft mogelijkheden om de geschetste problemen op te lossen kan een onderscheid worden gemaakt tussen een curatieve en een preventieve aanpak [17, 18].

In het eerste geval gaat het om veranderingen bij bestaande systemen. Organisatorische aanpassingen zijn hier mogelijk; bijvoorbeeld een verandering van de taakverdeling tussen operators. Waar nodig kunnen ook fysieke arbeidsomstandigheden en ergonomische condities worden verbeterd (zie ook bijlage II). Wat betreft de taakinhoud van operators zijn weinig wijzigingen mogelijk. Deze immers bestaat voor een belang-

rijk deel uit activiteiten die direct voortvloeien uit de opzet van het technisch systeem. Een wijziging daarvan zou zeer hoge kosten met zich meebrengen. Ter voorkoming van de geconstateerde problemen verdient een preventieve aanpak dan ook de voorkeur [19]. Hierbij wordt bij het ontwerp van een nieuw systeem vanaf het begin, systematisch rekening gehouden met - tevens - de eisen die vanuit het menselijk oogpunt aan de arbeidssituaties kunnen worden gesteld. Een multidisciplinair ontwerp-team zorgt ervoor dat technisch systeem, taak en organisatie als een samenhangend geheel worden ontworpen. Dit ontwerp laat ruimte voor een zinvolle taakinhoud van operators, een flexibele taakverdeling en een voldoende mate van autonomie. Uitgangspunt is dat de moderne technologie in feite een grote mate van flexibiliteit biedt: er zijn meer alternatieve ontwerpmogelijkheden dan doorgaans in de ontwerp-overwegingen zijn betrokken (zie ook figuur 1). Langs deze weg kan de moderne technologie worden ingezet voor verbetering van arbeid en arbeidsomstandigheden.

4. TOEKOMSTVERWACHTINGEN M.B.T. ASPECTEN VAN ORGANISATIE

In de literatuur wordt een samenhang onderkend tussen technologie en aspecten van organisatiestructuur, over de vorm van die samenhang wordt verschillend gedacht [8, 20]. Enerzijds wordt gesteld dat de technologie in sterke mate de vorm van de organisatie bepaald. Anderzijds wordt ook betoogd dat er slechts sprake is van beïnvloeding van bepaalde kenmerken van de organisatie. Op bijv. het niveau van de ploeg van operators blijft er, gegeven een bepaald technisch ontwerp, een relatief grote vrijheid om taken en bevoegdheden binnen de ploeg te verdelen.

Wat betreft de grootte van een ploeg kunnen we stellen dat in een aantal gevallen een reductie mogelijk zal zijn en in andere daarentegen weer niet. Wanneer bepaalde taken automatisch kunnen worden uitgevoerd, bijv. automatische analyse van productmonsters, kan dat consequenties hebben voor de personele sterkte. In een recent sociaal jaarverslag van een chemisch bedrijf zien we dat de daarbij nog behorende activiteiten aan de operator zijn opgedragen. In situaties echter waarvoor een goed functioneren van een systeem een bepaald aantal veldoperators nodig zijn, zal er wat betreft de ploeggrootte betrekkelijk weinig veranderen. Een ander punt is dat bepaalde nieuwe, gespecialiseerde functies op de werkvloer nodig kunnen zijn. Het kan hierbij bijv. gaan om het onderhoud en beheer van hardware-componenten en/of software pakketten van de procescomputer.

Meer dan in het verleden zal er sprake zijn van normstellingen m.b.t. de productie vanuit andere geledingen, veelal hogere niveaus in de organisatie. Een zo adequaat mogelijke afstemming van bijv. product-kwaliteit en product-voorraad op een zich wijzigende marktsituatie speelt hierin een belangrijke rol. Wat betreft de formele opbouw van gezagsniveaus binnen de ploeg zijn weinig wijzigingen te verwachten: een situatie met enkele (2 à 3) hiërarchische niveaus. Wel lijkt reëel te veronderstellen dat de (informele) tendens om als team te opereren eerder versterkt dan afgezwakt zal worden. Het is echter de vraag of operators daarbij kunnen rouleren over de verschillende taken; gespecialiseerde, nieuwe taken vergroten de mogelijkheden hiervoor doorgaans niet.

Wat betreft tenslotte het werken in vol-continudienst, is te verwachten dat in de toekomst aangepaste vormen van vol-continudienst een aantal van de met continudienst verbonden bezwaren kunnen doen verminderen.

LITERATUUR

1. Ekkers, C.L., A.A.F. Brouwers, C.K. Pasmooij & P.M. de Vlaming. Menselijke Stuur- en Regeltaken. Leiden, NIPG/TNO, 1980.
2. Daniel, J., F. Puffler & M. Strizenec. Analysis of operators work at various levels of automated production. In: E. Edwards & F.P. Lees (eds.). The human operator in process control. London, Taylor & Francis, 1974.
3. Abelson, P.H. & A.L. Hammond (eds.). Electronics: "The continuing revolution". Washington, Amers. Ass. Advanc. Sci., publ. 77-4, 1977.
4. Ekkers, C.L., A.A.F. Brouwers, C.K. Pasmooij & P.M. de Vlaming. Mens en arbeid; effecten van automatisering. 's-Gravenhage, COB-SER, 1980.
5. Pasmooij, C.K., A.A.F. Brouwers en C.L. Ekkers. Onderzoek naar de effecten van automatisering. De Ingenieur 93 (1981) no. 15, pp. 12-7.
6. Kragt, H. Process-alarm systems. Proceedings of the Human Factors Society, 6th annual meeting, Seattle, 1982.
7. Mann, F.C. & L.R. Hoffman. Individual and organizational correlates of automation. J. Soc. Issues 12 (1956) 7-17.
8. Blauner, R. Alienation and freedom; the factory worker and his industry. Chicago, Univ. Chicago Press, 1964.
9. Pasmooij, C.K. Veranderende werksituaties bij automatisering. Tijdschrift voor Ergonomie (special ARBO 82), 1982, pp. 20-4.
10. Pasmooij, C.K. Nieuwe automatiseringstechnologie dient zich aan. In: Verwijmeren, M.A.P. (red.). Kwaliteit van de arbeid bij industriële automatisering; symposium georganiseerd door het KIVI i.s.m. de NVvE, 26 november 1982. Den Haag, KIVI, 1982, pp. 8.
11. Rijnsdorp, J.E. & B. Roffel. On-line computers in de procesindustrie (1) gebruik van on-line computers. Polytechnisch tijdschrift/Proces-techniek, 35 (1980) nr. 4, 189-94.

12. Rijnsdorp, J.E. Computer neemt steeds grotere plaats in bij de beheersing van produktieprocessen. N.C.I. 24 (1982) 10, 18-21.
13. Highleyman, W.H. Survivable Systems II. Somber Associates Inc., Mt. Lakes, N.J., 1982.
14. Stevens, M.P.J. Can't fail computers = fault tolerant computers. In: Doorbraak van de can't fail computer. Teksten van de toespraken gehouden op een seminar onder auspiciën van Holec Control Systems in samenwerking met medewerkers van de TH Eindhoven. Hattem, 1982.
15. Titulaer, C. De computer als procesbewaker. Uitval is duurder dan redundantie. Intermediair, 18 (1982) 26; 2 juli.
16. Ekkers, C.L. Effecten van automatisering op de kwaliteit van de arbeid. In: Verwijmeren, M.A.P. (red.). Kwaliteit van de arbeid bij industriële automatisering; symposium georganiseerd door het KIVI, i.s.m. de NVvE op 26 november 1982, Den Haag. Den Haag, KIVI, 1982, 6 ..
17. Brouwers, A.A.F., C.L. Ekkers en C.K. Pasmooij. Automatisering, gevolgen voor werken en gezondheid. Management Totaal, (1981), no. 6, pp. 38-42.
18. Brouwers, A.A.F. Automatisering, werk en gezondheid; automatisering van systemen voor industriële produktie en administratie; konsekventies voor het werk en de gezondheid van de mens. In: Verslag van de NOVI-konferentie: "Gebruikersparticipatie bij de Automatisering" d.d. 20-10-1982, pp. 23-31.
19. Ekkers, C.L. en C.K. Pasmooij. Menselijke arbeid bij automatisering van produktie; een preventieve aanpak. TNO-project 11 (1983) nr. 3, pp. 95-7.
20. Pugh, D.S., D.J. Hickson, C.R. Hinings & C. Turner. The context of organization structure. Admin. Sci. Quart. 14 (1969) 91-44.

J. Vermeulen

BIJLAGE II

WERKPLEKONTWERP

Inhoudsopgave

Blz.

1. INLEIDING	1
2. INDELING VAN DE REGELKAMER EN DE REGELPANELEN . .	2
3. PRESENTATIE- EN BEDIENINGSMIDDELEN	4
4. OMGEVINGSASPECTEN	8
5. TOEKOMSTVERWACHTINGEN	9
LITERATUUR	12

1. INLEIDING

Onder werkplekontwerp wordt verstaan het ontwerpen van de plaats waar een mens zijn werkzaamheden kan verrichten. Het ontwerp omvat de interface tussen mens en machine en de omgeving/ruimte waarin deze interface is geplaatst. Aspecten van de mens-machine interface zijn bijv. de bedieningsmiddelen, signaleringen en de indeling van de panelen. Omgevingsaspecten zijn bijv. verlichting, geluid en klimaat. Aan het werkplekontwerp dient een fase vooraf te gaan waarin de taakhoud van de individuele operators en de onderlinge relaties tussen de operators worden vastgesteld. Hoewel deze fase om uiteenlopende redenen vaak wordt overgeslagen of in een te laat stadium van het project wordt uitgevoerd, is dit deel meestal onontbeerlijk om tot een goed uitgebalanceerd ontwerp te komen. In bijlage I is de taakhoud reeds uitvoerig beschreven.

In dit rapport beperken we ons tot operators in een centrale regelkamer van grote procesindustrieën. Van werkplekken t.b.v. dit type operators zullen in dit hoofdstuk enkele aspecten worden besproken. Hierbij zal de ontwikkeling vanuit het verleden tot de huidige situatie worden weergegeven; tevens wordt een verwachting t.a.v. toekomstige ontwikkelingen geschetst.

2. INDELING VAN DE REGELKAMER EN DE REGELPANELEN

Als gevolg van de schaalvergroting in de procesindustrie en de toegenomen complexiteit van de productieprocessen is het aantal signaleringen en bedieningen enorm toegenomen, waardoor de mens een veel grotere informatiestroom kreeg te verwerken dan voorheen. Hierdoor is een ontwikkeling op gang gekomen waarbij lokale regelpanelen, van waaruit het proces veelal met de hand werd geregeld, steeds meer in één ruimte, de centrale regelkamer, werden geconcentreerd. De voortschrijdende technische ontwikkelingen maakten daarbij het regelen en bewaken op afstand steeds beter mogelijk.

Samengevat heeft de regelkamer zich in ca. 25 jaar ontwikkeld van een centrale post voor de coördinatie van de werkzaamheden aan de lokale regelpanelen tot een centrale regelkamer van waaruit vrijwel een gehele fabriek (of meerdere fabrieken) worden geregeld en bewaakt.

Voor de indeling en inrichting van de regelkamer heeft dit tot gevolg gehad dat steeds meer bedieningen en signaleringen in deze ruimte moesten worden ondergebracht. De omvang van de panelen nam enorm toe en kon uitsluitend door een aantal samenwerkende operators worden overzien. Aanvankelijk werd voor de signalering van meetwaarden veelvuldig gebruik gemaakt van vrij grote analoge aanwijsinstrumenten; deze instrumenten zijn later vervangen door kleinere- of door digitale instrumenten. Als gevolg van het streven om steeds grotere processen vanuit één regelkamer te bewaken zijn de regelpanelen ondanks de verkleining van de componenten toch steeds groter geworden. Deze grote omvang maakt bediening en bewaking door één operator onmogelijk. Vandaar dat de activiteiten zich steeds meer richten op een verdergaande integratie van de regelpanelen, zodat regeling en bewaking vanuit één of een klein aantal posities mogelijk wordt. Door de voortschrijdende technologische ontwikkelingen is deze integratie ook steeds beter te realiseren. Hierbij moet met name worden gedacht aan presentatie van procesgegevens via één of meerdere beeldschermen.

Zoals reeds in paragraaf 1 werd opgemerkt zou de indeling van de regelkamer in grote lijnen moeten worden bepaald door de taakverdeling tussen de operators en de taakinhoud van ieder individu. Hoewel dit bij de

huidige regelkamers eigenlijk ook al noodzakelijk is, wordt deze eis dwingender naarmate de regelpanelen meer worden geïntegreerd: er moet immers met minder mensen een groter aantal processen worden geregeld en bewaakt. Het is daarom noodzakelijk de taken van de operators te inventariseren m.b.v. bijvoorbeeld een functie-analyse, op grond waarvan de globale indeling van de werkruimte en van de regelpanelen kan worden gemaakt. In het verleden en nu vaak ook nog, resulteerde dit in een regelkamer met een groot overzichtspaneel waarop de alarmmeldingen worden gepresenteerd. In sommige gevallen vindt de bediening eveneens vanaf dit paneel plaats. Vaak worden de processen echter geregeld vanaf een aparte bedieningsconsole. Op dit moment is de trend om het grote overzichtspaneel te vervangen door een geïntegreerd bedienings- en bewakingsconsole waarin beeldschermen een centrale plaats innemen. De verwachting is dat deze trend zich in de toekomst zal voortzetten, hoewel het tempo mogelijk wordt vertraagd door de matige vooruitzichten t.a.v. de economische groei.

3. PRESENTATIE- EN BEDIENINGSMIDDELEN

In het totale Mens-Machine Systeem (MMS) vormen de presentatie- en bedieningsmiddelen het contactvlak tussen de mens en het proces dat hij regelt en bewaakt. Het is met name op dit vlak waar in het verleden de grootste veranderingen hebben plaatsgevonden; ook voor de toekomst zijn hier nog veel ontwikkelingen te verwachten.

Als presentatiemiddelen werden in het verleden voornamelijk analoge meters, lampjes en trendrecorders gebruikt. Ze werden, gegroepeerd per regelkring, samengebouwd in een omvangrijk regelpaneel. Met name analoge meters met een verticale schaal kwamen en komen relatief veel voor. Op een horizontale rij naast elkaar geplaatst en eventueel voorzien van een gekleurde veilig/onveilig indicatie geven dergelijke meters een goed overzicht van de meetpunten die in alarm zijn. Daarnaast worden ook analoge trendrecorders veelvuldig in regelkamers gebruikt. Beide presentatiemiddelen hebben echter als nadeel dat ze nogal veel paneelruimte vergen. De laatste jaren hebben daarom een ontwikkeling te zien gegeven waarbij een vrij groot aantal analoge presentatiemiddelen is vervangen door signaleringslampen waarmee overschrijdingen van een grenswaarde wordt aangegeven. Deze lampen werden veelal gecombineerd met een dataloginstallatie waarmee gedetailleerde informatie over de meetpunten kan worden opgeroepen; indien gewenst kan deze informatie op een printer worden uitgevoerd. De voor deze dataloginstallatie benodigde computers worden de laatste jaren ook steeds vaker ingeschakeld bij het uitvoeren van regelings- en bewakingstaken. Ten gevolge van deze ontwikkeling, geïnitieerd door zowel de steeds verder gaande schaalvergroting als door het beschikbaar komen van nieuwe technieken, heeft de taak van de operator zich ontwikkeld van een actieve regeltaak tot een wat meer passieve supervisietaak.

Bij het ontwerp van regelpanelen streeft men er steeds naar om de plaatsing van de presentatiemiddelen t.o.v. elkaar zo goed mogelijk overeen te laten komen met de functionele opbouw van de processen. Grote analoge aanwijsinstrumenten laten een dergelijke indeling echter maar in beperkte mate toe. Door verkleining van componenten en door vervanging van analoge aanwijsinstrumenten door signaleringslampen (al dan niet in combinatie met een informatie verwerkend systeem) kan tegenwoordig een vrij uitgebreid processchema op de regelpanelen worden

afgebeeld. Er zijn ook een vrij groot aantal modulaire systemen op de markt waarmee een willekeurig processchema op een paneel kan worden opgebouwd. In dit schema worden dan een groot aantal signaleringen geïntegreerd. De afmetingen van met name de analoge aanwijsinstrumenten zijn dan zo klein dat ze voor de zittende operator slechts aangeven of een meetwaarde al dan niet binnen de gestelde grenzen blijft. Voor nauwkeurig aflezen zal hij moeten opstaan en naar het paneel lopen.

Een recente ontwikkeling betreft het gebruik van beeldschermen voor de presentatie van procesgegevens. Hiermee is aan de presentatiekant een principiële wijziging opgetreden: kreeg de operator op de klassieke regelpanelen alle informatie gelijktijdig gepresenteerd, op een beeldscherm kan slechts een klein gedeelte van de informatie gelijktijdig worden weergegeven. De presentatie is gewijzigd van parallel in serieel. De werkplek van de operator kan daardoor ook veel compacter worden uitgevoerd, met als centraal deel één of meerdere beeldschermen. Het grote regelpaneel werd uiteraard niet in z'n oorspronkelijke uitvoering gehandhaafd. Grote delen zijn vervangen door de presentatiemogelijkheden op het beeldscherm. Wat overblijft is in de meeste gevallen een veel kleiner overzichtspaneel dat vaak goed in de werkplek van de operator kan worden geïntegreerd. Dit paneel bevat in hoofdzaak groepsalarmen en -signaleringen van deelprocessen en dient ter aanvulling van de seriële presentatie op de beeldschermen. Soms is ook het overzichtspaneel nog vervangen door een beeldscherm [5]. Enkele grote fabrikanten van procesbewakingsapparatuur hebben inmiddels al complete systemen op de markt gebracht, waarin beeldschermen een centrale plaats innemen.

Voor de toekomst wordt verwacht dat het gebruik van beeldschermen bij procesbewaking nog zal toenemen, hoewel deze toename mogelijk wat wordt vertraagd door de huidige economische recessie. Een ander gevolg van deze recessie is dat bedrijven steeds meer besluiten om niet een geheel regel- en bewakingssysteem te vervangen door een systeem met beeldschermen, doch slechts uitbreidingen van bestaande fabrieken te voorzien van een modern regel- en bewakingssysteem. Het gevolg is dat er "hybride" regelkamers ontstaan waarin zowel klassieke als moderne presentatie- en bedieningsmiddelen aanwezig zijn. Een andere ontwikkeling die in de nabije toekomst is te verwachten, is het interactief gebruik van beeldschermen bij de regeling en bewaking van processen. Het zal dan mogelijk zijn om via het beeldscherm bedieningscommando's aan de

procesregelaars te geven. Een voorbeeld waarin processen via een op het beeldscherm afgebeeld processchema kunnen worden bestuurd is te vinden in de atoomreactor in het Noorse Halden [9].

Als bedieningsmiddel om het proces op te starten, bij te regelen of stil te leggen werd ten tijde van de lokale regelpanelen veelvuldig gebruik gemaakt van handwielen, draaiknoppen en schakelaars. Naarmate meer handelingen op afstand vanuit de regelkamer moesten geschieden veranderde ook de aard van de bedieningsmiddelen. Steeds meer bedieningen werden m.b.v. druktoetsen uitgevoerd waardoor het bedieningsgedeelte aanzienlijk in omvang afnam. In sommige regelkamers zijn een groot aantal bedieningen vanuit het grote overzichtspaneel overgebracht naar een bedieningsconsole, waardoor de operator zittend op z'n werkplek zijn bedieningstaak kan uitvoeren.

De introductie van computers heeft tot gevolg gehad dat voor het uitvoeren van bedieningsacties ook toetsenborden in zwang zijn gekomen. Men onderscheidt hierbij de gewone schrijfmachine toetsenborden waarop m.b.v. gecodeerde opdrachten commando's in de computer kunnen worden ingevoerd en de zogenaamde functionele toetsenborden, waarbij aan elke toets een bepaalde functie wordt toegekend. Door combinatie van functietoetsen kunnen commandoregels in de computer worden ingevoerd. De meeste moderne alarmeringssystemen van de grote fabrikanten van procesbewakingsinstallaties zijn met een dergelijk functioneel toetsenbord uitgerust. In de toekomst mag echter worden verwacht dat de communicatie tussen procescomputer en operator meer interactief via een beeldscherm zal gaan verlopen. Naast toetsenborden zullen hierbij wellicht ook andere bedieningsmiddelen zoals trackballs, lichtpennen, touch input devices en mogelijk zelfs gesproken tekst worden gebruikt. Bij de atoomreactor in het Noorse Halden wordt voor het aanwijzen van proceselementen in een processchema bijv. gebruik gemaakt van een trackball [9]. Op het gebied van communicatieprotocollen tussen mens en computer moet nog veel onderzoek worden verricht. In het verleden is de mens op dit punt te veel ondergeschikt gemaakt aan de computer. Moderne computers en moderne hogere programmeertalen maken een meer aan de mogelijkheden en beperkingen van de mens aangepaste communicatie zeker mogelijk. Men streeft ernaar om middels commando's die zo goed mogelijk aansluiten bij het normale spraakgebruik met het proces te communiceren. Een ontwikkeling die hierbij vooral opvalt zijn de zgn. soft-keys.

Hierbij worden op het beeldscherm "toetsen" gedefinieerd door de software; door aanwijzen van de toets met een lichtpen of met de vinger kan de betreffende functie aan de computer worden doorgegeven [11, 12].

Bij het ontwerpen van de mens-machine interface dient ook rekening te worden gehouden met een aantal visuele aspecten. Zo zijn er t.a.v. de vorm en afmetingen van meters, teksten op panelen en op beeldschermen een aantal regels uit de literatuur bekend [4, 8]. Ook is bekend dat bij gebruik van gekleurde signaleringslampen en kleurenbeeldschermen rekening moet worden gehouden met het feit dat ca. 8 % van de mannen aan een vorm van afwijkend kleurenzien lijdt. Niet onvermeld mogen blijven de gevoelens van visuele vermoeidheid die soms ontstaan bij langdurig werken met beeldschermen. Hierover is slechts weinig met zekerheid te zeggen. Wel is bekend dat naarmate de taak meer wordt uitgevoerd visuele vermoeidheid vaker voorkomt. Ook wordt vermoed dat de ogen continu proberen de altijd iets onscherpe afbeelding van karakters op een beeldscherm d.m.v. accommoderen scherp te stellen; op den duur zou dit visuele vermoeidheid kunnen veroorzaken [3]. Op dit gebied zal echter nog veel onderzoek moeten worden uitgevoerd.

4. OMGEVINGSASPECTEN

Bij het werkplekontwerp dient men rekening te houden met de omgevingscondities waarin de werkplek zich bevindt. Te denken is hierbij aan geluid, klimaat en verlichting. In het verleden toen processen vaak nog via lokale regelpanelen werden bestuurd is het geluidniveau en het klimaat op de werkplek waarschijnlijk wel eens minder acceptabel geweest. In de huidige centrale regelkamers kunnen zowel het klimaat als het geluidniveau binnen de daarvoor geldende normen worden gebracht [10].

De verlichting geeft meestal echter meer problemen. In de meeste regelkamers kan geen of slechts weinig daglicht binnendringen. De verlichting geschiedt derhalve geheel d.m.v. kunstlicht en heeft in de eerste plaats tot doel in de gehele ruimte een aanvaardbaar basis verlichtingsniveau te realiseren. Daarnaast wordt op die plaatsen waar extra licht nodig is (bijv. voor schrijfwerkzaamheden) wat meer verlichting aangebracht. Er dient op te worden gelet dat in de ruimte geen al te grote helderheidscontrasten optreden; ook moet spiegeling van verlichtingsarmaturen in glimmende oppervlakken worden voorkomen. Tenslotte moet het verlichtingsniveau op het signaleringspaneel zodanig zijn dat de attentiewaarde van de signaleringslampen nog voldoende hoog is. Bij gebruik van beeldschermen dient vooral op spiegelingshinder te worden gelet. Ook moet de lichtopbrengst van het beeldscherm voldoende hoog zijn om gebruik in een normaal verlichte werkruimte mogelijk te maken [8].

5. TOEKOMSTVERWACHTINGEN

In het voorgaande gedeelte is weergegeven welke aspecten tot nu toe de aandacht kregen bij het ontwerpen van de werkplek voor een procesoperator. Ook is al globaal aangegeven welke ontwikkelingen in de toekomst mogen worden verwacht. In deze paragraaf zal worden aangegeven bij welke aspecten de grootste veranderingen worden voorzien en welke gevolgen dat voor het werkplekontwerp zal hebben. Ook hier geldt weer dat er een sterke binding is tussen werkplekontwerp en taakinhoud. Op de toekomstige ontwikkelingen t.a.v. de taakinhoud is al in bijlage 1 ingegaan.

Als de invoering doorzet van volledig digitale regel- en bewakingssystemen die hun informatie voornamelijk via beeldschermen aan de operators presenteren, dan zal de indeling van de regelkamer ingrijpende veranderingen ondergaan. Verwacht wordt dat onder druk van de tendens om steeds meer processen vanuit een regelkamer te regelen en te bewaken de "digitalisering" van de regelkamer verder zal voortschrijden. De regelkamer zal dan gaan bestaan uit een sterk geïntegreerde werkplek van waaruit de zittende operator een groot aantal sterk geautomatiseerde processen kan bewaken. Voor het ontwerp van dergelijke werkplekken kan in de toekomst mogelijk met vrucht gebruik worden gemaakt van Computer Aided Design (CAD) en Computer Generated Design technieken. Met behulp van deze technieken kan men resp. een werkplekontwerp door de computer laten beoordelen of een eerste ontwerp voor een werkplek door de computer laten genereren [1, 2]. In de computer moet dan uiteraard wel de taakinhoud van de operator worden ingevoerd. Een taakanalyse is daarvoor noodzakelijk.

Eerder is al aangegeven dat in de toekomst interactieve bediening via het beeldscherm waarschijnlijk een grotere rol gaat spelen. Met name de ontwikkelingen op het gebied van spraakherkenning en spraaksynthese gaan erg snel. Op dit moment zijn er al chips verkrijgbaar die van één spreker een set van 1000 woorden kunnen herkennen. Desalnietemin lijkt de weg nog lang naar spraakcommunicatie tussen mens en computer met in gewone taal opgebouwde zinnen. Dichterbij is de toepassing van in software te programmeren functietoetsen. Dit kunnen programmeerbare hardware toetsen zijn, doch veel interessanter is de ontwikkeling van de soft-keys, dat zijn op het beeldscherm afgebeelde toetsen die door een lichtpen of door aanraken met de vinger kunnen worden geactiveerd.

Op het gebied van de presentatie van procestoestanden is ook een ontwikkeling gaande die zich in de toekomst waarschijnlijk zal voortzetten. Het betreft hier de ontwikkeling van sterk geïntegreerde statusdisplays die qua vorm in niets op de bijbehorende processen lijken. Ze geven echter wel onmiddellijk aan als ergens in het proces een variabele van de gewenste waarde afwijkt. Een voorbeeld hiervan is een wiel met spaken, waarbij het proces in de juiste toestand verkeert als het wiel rond is; afwijkingen in een variabele hebben tot gevolg dat één of meerdere spaken korter of langer worden [5]. Een ander voorbeeld betreft het weergeven van de procestoestand d.m.v. een gezicht: een vrolijk gezicht geeft een goede toestand weer en een boos gezicht een slechte toestand [7].

In het voorgaande is een overzicht gegeven van de ontwikkelingen in het verleden, de huidige toestand en de toekomstverwachtingen t.a.v. het ontwerpen van de werkplek voor een procesoperator in de procesindustrie. Soms is hierbij al een voorbehoud gemaakt t.a.v. de realiseerbaarheid. Het lijkt zinvol om de op dit moment nog niet of niet volledig te beantwoorden vragen eens te inventariseren.

1. Is de operator bij het gebruik van hoog geautomatiseerde regelen en bewakingssystemen nog wel in staat om het proces goed met de hand te regelen als de computers uitvallen? Kan de wijze waarop de informatie wordt gepresenteerd hierbij behulpzaam zijn?
2. Is de operator in staat om binnen redelijke tijd een fout te diagnosticeren of is hierbij hulp van de computer onontbeerlijk?
3. Moet een complex en uitgebreid systeem sterk vereenvoudigd in een processchema worden weergegeven of is het beter dit systeem over een aantal schema's te verdelen? Hoe zou in dat geval de hiërarchie moeten zijn en hoeveel niveaus moeten worden onderscheiden?
4. Hoe abstract mag een processchema worden weergegeven: moet hierbij uitsluitend naar de functie van het proces worden gekeken of moet in het schema altijd nog enigszins de topografie van het werkelijke proces herkenbaar zijn?

5. Kleurenbeeldschermen worden bij procesbewaking steeds vaker toegepast. Nog weinig is echter bekend over de variabelen die men het beste door een kleur kan weergeven en welke beter op een andere wijze (bijv. vorm of tekst).
6. Op het gebied van communicatieprotocollen voor de mens-computer dialoog is nog niet goed bekend of commando's moeten worden gegeven door eenvoudige codes, door functietoetsen of door het doorlopen van een menu. Als de menu-methode het beste is, moet dan voor ervaren operators de mogelijkheid bestaan om een aantal stappen over te slaan?
7. Onderzocht moet worden op welke wijze de thans op steeds grotere schaal beschikbare methodes voor Computer Aided Design en Computer Generated Design bij het werkplekontwerp kunnen worden toegepast.

Het beantwoorden van bovenstaande vragen vergt een gedegen literatuuronderzoek. Hierbij zal veelvuldig gebruik moeten worden gemaakt van dynamische simulaties van sterk vereenvoudigde systemen. Daarnaast is van groot belang dat door deel te nemen aan industriële projecten op het gebied van werkplekontwerp het contact met de praktijk behouden blijft.

LITERATUUR

1. Bonney, M.C. and R.W. Williams
CAPABLE: A computer Program to Layout Controls and Panels.
Ergonomics, 1977, vol. 20, no. 3, 297-316
2. Bonney, M.C., K. Case and J.M. Porta
User Needs in Computerised Man Models.
In: Anthropometry and Biomechanics Theory and Application
(Easterby, Kroemer and Chaffin eds.).
Plenum Press, New York, 1982
3. Cakir, A., D.J. Hart and T.F.M. Stewart
Visual Display Terminals.
John Wiley, New York, 1980
4. Cott, H.P. van and R.G. Kinkade
Human Engineering Guide to Equipment Design.
McGraw-Hill, New York, 1972
5. Dallimonti, R.
Human Factors in Control Room Design.
Instrumentation Technology, 23, 1976, 39-44
6. Edwards, E. and F.P. Lees
The Human Operator in Process Control
Taylor and Francis, London, 1974
7. Kuroso, K.
A New Method of Display for Safety Operation of Marine Engines.
Proceedings of the IFIP/IFAC Symposium on Automation for Safety in
Shipping and Offshore Petroleum Operations, Trondheim, Norway, 1980,
181-188
8. Leebeek, H.J.
Met het Oog op Beeldschermen.
Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg, rapport nr. IZF,
1980-20

9. Netland, K. and J.O. Hol
Development of a Computer and Colour Display Based Control Room (OPCOM)
for Experimental Operation of the Halden Reactor.
OECD Halden Reactor Project, report nr. HPR 202, 1977
10. Schmidtke, H.
Handbuch der Ergonomie.
Luftfahrt-verlag, Walter Zuerl, Steinebach/Worthsee, BRD, 1975
11. Shackel, B.
Man-computer Interaction: Human Factor Aspects of Computers and People.
Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Man-computer Inter-
action, Mati, Greece, 1976
Sijthoff and Noordhoff, Alphen a/d Rijn, 1981
12. Schneiderman, B.
Software Psychology: Human Factors in Computer and Information Systems.
Winthrop Publishers Inc., Cambridge MA, 1980

J. Vermeulen

BIJLAGE III

ALARMSYSTEMEN

Inhoudsopgave

Blz.

1. INLEIDING	1
2. HISTORISCH OVERZICHT	2
3. SOORTEN ALARMSYSTEMEN	4
4. TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN	6
LITERATUUR	7

1. INLEIDING

Onder alarmsystemen worden systemen verstaan die (meestal op aanvraag) informatie aan de operator(s) verstrekken en waarschuwen voor een ongewenste en/of gevaarlijke situatie. Geheel binnen het kader van dit project beperken we ons tot alarmsystemen in de procesindustrie. Systemen die bijvoorbeeld aan boord van schepen en vliegtuigen voorkomen blijven derhalve buiten beschouwing.

Bij de bewaking van moderne procesinstallaties komen waarschuwingssignalen (zonder direct gevaar voor mensen en materieel) aanzienlijk vaker voor dan alarmen. Het zou daarom beter zijn om van "Meldingssystemen" te spreken i.p.v. alarmsystemen [6]. De laatste benaming is echter zo ingeburgerd dat deze in dit rapport wordt gehandhaafd.

2. HISTORISCH OVERZICHT

In de vijftiger jaren was van alarmsystemen nog nauwelijks sprake. Bediening van het proces geschiedde veelal plaatselijk en dus vond ook de bewaking lokaal plaats. Meetwaarden uit het proces werden meestal op analoge aanwijsinstrumenten weergegeven waarop dan in veel gevallen ook de grenswaarden van de betrokken variabele stonden aangegeven. Met het toenemen van de schaalgrootte en de complexiteit van de processen werd de bewaking steeds meer geconcentreerd in een centrale regelkamer. Ook hier werden evenwel de meeste meetpunten bewaakt via analoge aanwijsinstrumenten met een grenswaarde-indicatie. Een overschrijding van de grenswaarde ging vaak gepaard met een kleurverandering op het aanwijsinstrument.

Aan het eind van de zestiger jaren werden analoge aanwijsinstrumenten voor een deel vervangen door signaleringslampen die uitsluitend brandden als een ongewenste of gevaarlijke situatie was ingetreden. Dit type alarmsystemen bleef, evenals de systemen met vrijwel uitsluitend analoge aanwijsinstrumenten, van nature echter tamelijk beperkt. Immers voor elke signalering moest een aparte kabelverbinding tussen regelkamer en proces worden aangelegd, hetgeen naast praktische toch ook financiële bezwaren had.

In de zeventiger jaren neemt het aantal signaleringen in regelkamers vrij plotseling enorm toe. Een goed overzicht van de stand van zaken bij het ontwerpen en realiseren van procesbewakings- en alarmeringssystemen wordt gegeven in een bundel publicaties over "Mens en computer bij procesbewaking "[2]. Deze toename wordt enerzijds mogelijk gemaakt door het toepassen van digitale computers waardoor het datatransport digitaal in serie langs slechts enkele kabels plaatsvindt, terwijl ook datavoorbewerking dicht bij de bron mogelijk is. Anderzijds worden de processen steeds complexer doordat de eisen aan het eindproduct strenger worden, de milieu-eisen toenemen en er een duidelijke economische noodzaak is om de grondstoffen zo optimaal mogelijk te benutten. Met name de beide eerste oorzaken hebben aanzienlijk bijgedragen tot het ontstaan van de zogenaamde "Alarminflatie". Onder alarminflatie wordt verstaan de grote toename van het aantal signaleringen per tijdseenheid, waarbij een groot deel van deze signaleringen nauwelijks belangrijke informatie bevat. Een direct gevolg hiervan is dat de operators

een groot aantal, in hun ogen nutteloze, alarmen gaan negeren. Bovendien is er grote kans dat de operators uit de grote hoeveelheid signaleringen en alarmen de echt belangrijke niet meer herkennen. Hiermee wordt uiteraard het vertrouwen dat operators in een alarmsysteem moeten hebben niet bevorderd. Er gaan dan ook steeds meer stemmen op om de alarmmeldingen via een geschikt algoritme te filteren alvorens ze aan de operator te presenteren. Hiermee kan dan tevens worden bereikt dat de alarmen die worden gepresenteerd gemiddeld meer zinvolle informatie bevatten [4, 5]. Een methode om het aantal te presenteren alarmen te beperken is het on-line analyseren van de meetgegevens en slechts de resultaten hiervan aan de operator te presenteren. Deze methode is echter alleen te realiseren als een gedegen proceskennis voorhanden is [3]. Een andere presentatiemethode is het pictoraal presenteren van een aantal gerelateerde meetgegevens (bijv. in de vorm van een wiel met spaken). Als de vorm van het wiel niet meer rond is dan verkeert het proces niet meer in de gewenste toestand [1].

Bij de nieuwste alarmsystemen heeft nog een andere factor zijn intrede gedaan die grote invloed uitoefent op de taakhoud van de operators. In deze systemen wordt steeds meer gebruik gemaakt van beeldschermen voor de presentatie van de procesgegevens. Tengevolge van de beperkte capaciteit van beeldschermen worden de data echter voor een groot deel serieel i.p.v. parallel aan de operator gepresenteerd. Dit kan met name grote invloed uitoefenen op het totaal overzicht dat de operator van de procestoestand heeft. Daarnaast is de verleiding bij gebruik van beeldschermen groot om zeer veel signaleringen aan de operator te presenteren; er is immers geen extra paneelruimte mee gemoeid. Het zal duidelijk zijn dat ook hierdoor de alarminflatie wordt bevorderd.

3. SOORTEN ALARMSYSTEMEN

De alarmsystemen die thans in gebruik zijn kunnen worden onderverdeeld in speciaal voor een type proces ontwikkelde systemen en systemen die voor algemeen gebruik in een groter aantal typen processen zijn ontwikkeld. Beide typen alarmsystemen hebben een aantal voor- en nadelen, die in tabel 1 zijn opgesomd.

Tabel 1 Overzicht van de voor- en nadelen van de twee typen alarmsystemen

"Specifieke" alarmsystemen		"Konfektie" alarmsystemen	
voordelen	nadelen	voordelen	nadelen
• het systeem biedt de gebruikers niet meer of minder mogelijkheden dan noodzakelijk. • het systeem is toegesneden op één type proces. • het ontwerp kan volledig worden geoptimaliseerd.	• in het gunstigste geval worden slechts kleine series gebouwd waardoor de systemen erg duur worden. • bij wijzigingen aan het proces zijn vaak aanzienlijke wijzigingen aan het systeem nodig. • operators moeten voor dat speciale systeem worden opgeleid en getraind. • het systeem moet meestal deels in eigen beheer worden ontwikkeld en onderhouden, hetgeen veel mankracht kost.	• systemen worden in vrij grote series gemaakt en zijn daardoor relatief goedkoop. • proceswijzigingen kunnen vrij eenvoudig in het alarmsysteem worden ingebouwd. • operators die met een ander type proces moeten gaan werken hoeven niet meer voor een ander type alarmsysteem te worden opgeleid. • voor ontwikkeling en onderhoud van het systeem is slechts weinig eigen mankracht nodig.	• systemen worden ontworpen voor een vrij grote groep processen waardoor ze voor geen enkel proces optimaal zijn. • alle benodigde procesinformatie is in principe in het systeem beschikbaar; het is echter vaak moeilijk de juiste informatie op te roepen. • het is vaak onmogelijk of zeer duur om een speciale aanvulling of wijziging in het systeem aan te brengen.

Voornamelijk vanwege de prijs en de benodigde mankracht zien de grote procesindustrieën af van het in eigen beheer ontwikkelen van alarmsystemen. In overleg met de fabrikanten wordt gepoogd de "Konfektie" systemen aan te passen aan de specifieke wensen van de beoogde gebruikssituatie.

In grote lijnen zijn de commercieel verkrijgbare alarmsystemen met beeldschermen als volgt opgebouwd. Een aantal lokale eenheden (veelal ook voorzien van computers) zorgen voor het verzamelen van data uit het proces, het uitvoeren van lokale regelingen, het uitvoeren van besturingscommando's, het voorbereiden van data en het bewaken van grenswaarden. Een geconstateerde fout of afwijking wordt via een data transmissielijn doorgegeven aan de centrale computer(s). In deze centrale

computer(s) vindt de supervisie van de lokale eenheden plaats, wordt een database van de procestoestand opgebouwd en worden de gevraagde gegevens aan de operator(s) gepresenteerd. Voor de presentatie van gegevens wordt voornamelijk gebruik gemaakt van twee tot drie beeldschermen. Daarnaast zijn meestal nog een aantal vaste signaleringslampen en analoge presentatiemiddelen beschikbaar. Voor de invoer van gegevens en commando's hebben de operators de beschikking over een functioneel toetsenbord, een lichtpen en/of een trackball.

4. TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN

Verwacht mag worden dat in de toekomst alarmsystemen met als voornaamste presentatiemiddel een aantal beeldschermen steeds meer zullen worden toegepast. Door de nog steeds voortschrijdende ontwikkelingen op het gebied van computers en programmeertalen zullen de mogelijkheden voor procesbewaking nog verder toenemen. Naast de reeds bestaande historische overzichtdisplays (trends) en statusdisplays zullen de voorspellende displays waarschijnlijk hun intrede doen. Hiermee wordt het mogelijk om op een versnelde tijdschaal de gevolgen voor de nabije toekomst van een handeling (of reeks van handelingen) te overzien [7].

Verder is duidelijk dat een geschikte methode moet worden ontwikkeld om de informatiestroom naar de operators op een zinvolle wijze in te dammen. Alleen dan is het mogelijk om de nog steeds toenemende schaalvergroting en complexiteit van de processen te verwerken zodat een uitvoerbare en zinvolle taak voor de operator resteert. De wijze waarop de informatiestroom naar de operator wordt beperkt zal echter sterk afhankelijk zijn van de toestand waarin het proces verkeert. Ook moet aan de wijze waarop de operators met de procescomputer communiceren nog een groot aantal verbeteringen worden aangebracht. In de toekomst zal op deze gebieden nog veel onderzoek nodig zijn, waarvan de resultaten echter uitsluitend kans hebben om in de praktijk te worden toegepast als fabrikanten, gebruikers en onderzoekcentra nauw zullen gaan samenwerken [6].

LITERATUUR

1. Dallimonti, R. (1976)
Human Factors in Control Room Design.
Instrumentation Technology, 23, pp. 39-44
2. Edwards, E. and F.P. Lees, eds. (1974)
The Human Operator in Process Control.
Taylor & Francis, London
3. Hanes, L.F., J.F. O'Brien and R. Di Salco (1982)
Control Room Design: Lessons from TMI.
IEEE Spectrum, June, pp. 46-52
4. Kortlandt, D. and H. Kragt (1978)
Ergonomics in the Struggle against "Alarm Inflation" in Process
Control Systems.
Journal A, vol. 19 no. 3, pp. 135-142
5. Kortlandt, D. and H. Kragt (1980)
Ergonomische Aspecten van Procesalarmsystemen in Centrale Meet- en
Regelkamers.
Paper gepresenteerd op de conferentie "Ergonomie in de EGKS-indus-
trieën 1975-1980, 15-17 december 1980, Luxemburg
6. Kragt, H. (1982)
Process-alarm Systems.
Paper presented at the 26th Annual Meeting of the Human Factors
Society, October 25-29, 1982, Seattle, Washington, USA
7. Schneider, H.W. et al. (1982)
The Role of Overview Displays in Human Supervisory Control.
Paper presented at the 2nd European Annual Conference on Human
Decision Making and Manual Control, June 2-4, 1982, Bonn, FRG

P. Bockholts

BIJLAGE IV

CRISISMANAGEMENT

"In een systeem kan de aanwezigheid van fouten worden aangetoond,
de afwezigheid echter niet"

Inhoudsopgave

Blz.

1.	INLEIDING	1
2.	PROCESINDUSTRIE BRENGT GEVAREN MET ZICH MEE . . .	2
3.	DE STAND VAN ZAKEN	4
4.	TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN	8
5.	WAT DOET TNO	10
	RELEVANTE LITERATUUR	11

1. INLEIDING

In de procesindustrie doen zich, evenals elders, situaties voor waarbij het systeem als geheel voor korte of langere tijd ongecontroleerd is. Het hangt dan van een aantal factoren af of de ongecontroleerde situatie escaleert tot een calamiteit of niet ("near-mis"). Wat kan of doet een operator in zulke situaties en wat kan of doet hij niet. In veel gevallen zal hulp moeten worden ingeschakeld om de situatie zo snel mogelijk weer meester te worden en de gevolgen zoveel mogelijk te beperken. Het nemen van maatregelen en de uitvoering van procedures wordt "crisis-management" genoemd. Dit kan zo omvangrijk zijn, dat grenzen tussen binnen en buiten de poort vervagen omdat de omgeving in het gebeuren betrokken raakt.

In dit hoofdstuk wordt aandacht geschonken aan de ontwikkeling van de ongevalspreventie, de specifieke aspecten voor de operator in "nood-situaties" en de veranderingen in zijn taak tengevolge van de toepassing van nieuwe technieken. Tenslotte wordt aangegeven welke rol TNO in het onderzoek speelt op het gebied van "risico-analyse" en "loss prevention".

2. PROCESINDUSTRIE BRENGT GEVAREN MET ZICH MEE

De ontwikkeling in de procesindustrie in de laatste 25 jaar, zoals schaalvergroting, procesoptimalisering, nieuwe produkten en processen, grote(re) complexiteit, etc. heeft ook grote gevaren geïntroduceerd. Brand, explosies en ontsnappingen van toxische stoffen zijn hiervan de belangrijkste aspecten.

Hoewel met name de laatste jaren veel aandacht is besteed aan de beveiliging van processen en installaties in verband met deze gevaren, gaat er toch regelmatig het een en ander mis.

Installaties worden uitgevoerd met een groot aantal veiligheidsvoorzieningen, zoals snelafsluiters, sprinklerinstallaties, alarmen, inertgassystemen, isolerende coatings, etc. Ook in de lay-out van een moderne installatie is rekening gehouden met de mogelijkheden van brand en explosie, en wel dusdanig dat de schade zo beperkt mogelijk blijft: controlekamers en andere diensten ver verwijderd van de gevaarlijke zones, explosie veilige constructies, zo min mogelijk mensen op het terrein, en veilige afstanden voor de omgeving. De operator krijgt ook in toenemende mate met deze ontwikkelingen te maken. In de controlekamer krijgt hij een groeiend aantal gegevens, die voornamelijk bewaking ten behoeve van de veiligheid betreffen. Er wordt meer aandacht besteed aan het ontwikkelen van noodprocedures, meldmogelijkheden aan anderen, etc. Al deze ontwikkelingen hebben tot doel de operator te helpen om noodsituaties te voorkomen.

Daar noodsituaties tot de uitzonderingen behoren en stress-situaties opleveren, wordt ook naar dit aspect onderzoek verricht, m.n. ten aanzien van het gedrag van operators en de automatisering van de besturing van het proces in deze situaties.

Zoals in het voorgaande reeds is aangegeven, wordt ondanks alle kennis en voorzieningen in een moderne procesinstallatie rekening gehouden met de mogelijkheid van incidenten. Deze benadering is wezenlijk anders dan de benadering van een fabrikant die adverteerde met de tekst dat zijn pompen waren ontworpen om nooit te falen.

De feiten loochenen niet. Af en toe gaat er iets mis. Achteraf blijkt

dan vaak dat de oorzaak in wezen onbenullig was en/of de schade onevenredig groot (deuren op slot die dat niet mogen zijn ...; noodstroomvoorziening niet aangesloten ...; triptank en tevens voorraadvat te vol daar de bevoorrading een dag te vroeg kwam ...; aanbrengen van een tijdelijke pakking van een materiaal dat oplost in het medium ...; etc.).

De operator heeft in noodsituaties een centrale positie. De eerste signalering van een niet normale (niet voorziene) situatie of gebeurtenis zal veelal in de controlekamer plaatsvinden en in sommige gevallen elders in de installatie door bijv. onderhoudspersoneel.

Vanuit de controlekamer bekeken kunnen verschillende typen incidenten worden onderscheiden:

- incidenten waarvoor maatregelen en procedures beschikbaar zijn om het proces als geheel onder controle te houden;
- incidenten waarvoor geen geëigende maatregelen en procedures beschikbaar zijn of worden genomen.

In de tweede categorie incidenten is het proces een zekere tijd ongecontroleerd. In deze situaties hangt het van vele factoren af of de escalatie zó snel verloopt dat er wel of geen calamiteit ontstaat (near-mis). Repressieve maatregelen, eigenschappen van de betrokken chemische stoffen, plaatselijke en momentane omstandigheden, domino-effecten, zijn enkele van deze factoren die elkaar kunnen versterken of juist niet. Een incident kan worden omschreven als: "Het vrijkomen van energie (schadepotentie) op de verkeerde plaats op het verkeerde moment".

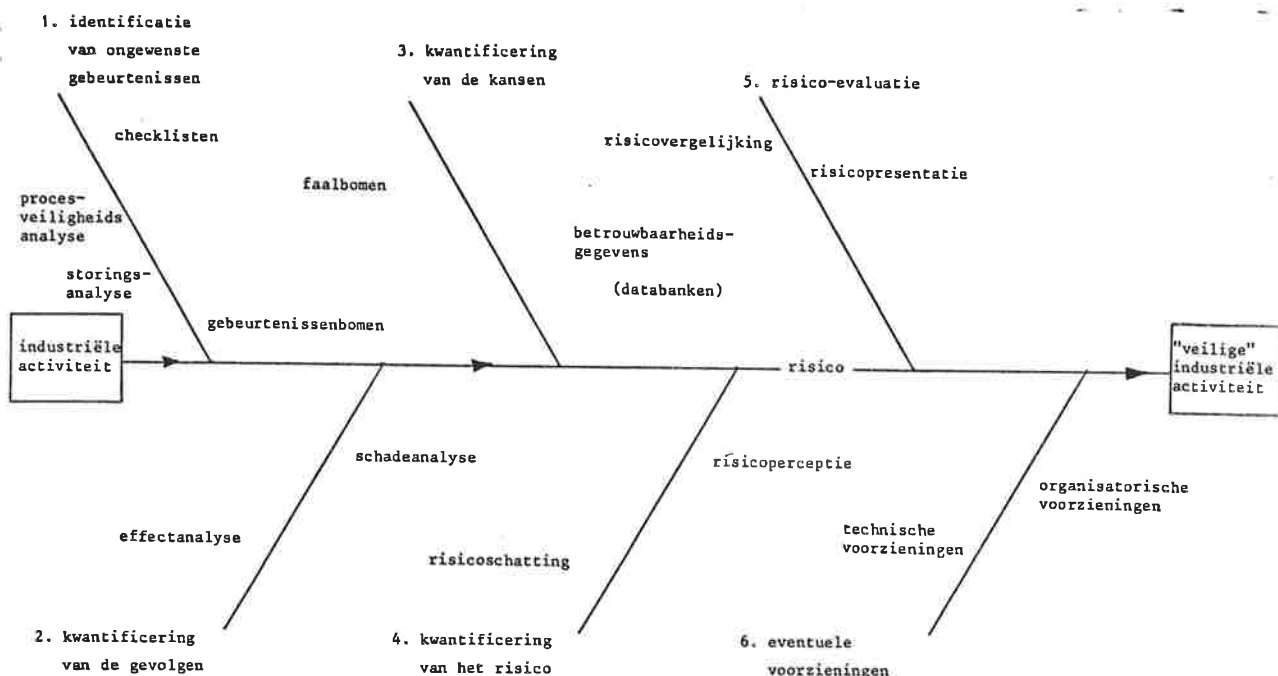
Het is niet de bedoeling in dit verhaal ongevallen naar aard te analyseren. Om echter aan te geven hoe de operator betrokken kan zijn, enkele opmerkingen:

Men kan onderscheid maken tussen operatorfouten, apparaatfouten, foutieve signalen en aan het licht komen van latent aanwezige fouten. Bovendien bestaan er ook nog een aantal combinaties, waarvan misschien wel de meest gemene vorm het "domino-effect" is. Dit wil zeggen dat een incident de inleiding vormt tot een volgend, meestal groter incident (en scherf die een nabije installatie beschadigt ...; een tankput die volloopt met bluswater waardoor de brandende benzine zich over het gehele terrein uitspreidt ...). De toepassing van procescomputers kan enkele van de genoemde fouten voorkomen dan wel detecteren, maar vele ook niet.

3. DE STAND VAN ZAKEN

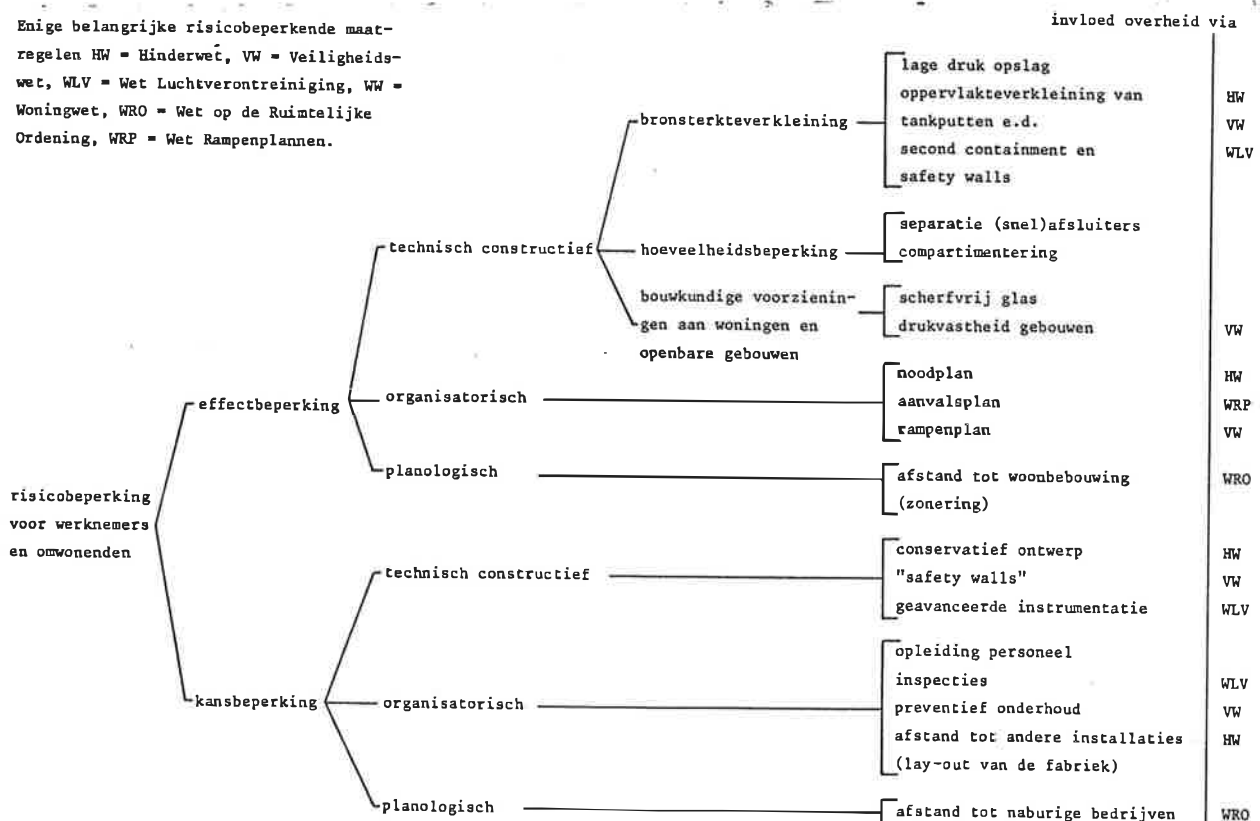
Tot voor enkele jaren geleden bestond het veiligheidsonderzoek uit het nemen van maatregelen na een incident, waardoor herhaling moest worden voorkomen (curatieve methode of pleisterpreventie). In de laatste 10 jaar zijn echter een aantal technieken ontwikkeld die deze gang van zaken danig hebben veranderd. De nadruk is op preventie van ongevallen komen te liggen, d.w.z. rekening houden met potentiële gevaren en risico's die bepaalde activiteiten met zich brengen ("risk assessment"). De analysemethode hiervoor ("risk analysis") houdt zich bezig met vragen als: wat kan er mis gaan, wat zijn de gevolgen, hoe groot is de kans daarop en welke voorzieningen kunnen worden getroffen om kansen en gevolgen te elimineren of te verkleinen.

Visgraatschema ter illustratie van een veiligheidsstudie



Deze technieken leiden dus tot maatregelen die potentiële gevaren elimineren dan wel reduceren tot acceptabele niveaus' s ("loss prevention"). Deze maatregelen kunnen zowel van technische als organisatorische aard zijn. De ontwikkeling van deze technieken zijn gestimuleerd door gemeenschappelijke belangen van bedrijfsleven, overheid en maatschappij. In toenemende mate schenkt de industrie aandacht aan veiligheid en investeert ten aanzien van veiligheid aangezien het ook economisch aantrekkelijk is. De gevolgen van grote calamiteiten: productieverlies, concurrentie, schadeclaims, etc. werken in dit opzicht stimulerend. Bovendien dragen verzekeringsmaatschappijen hun steentje bij. De premiereducties worden sterk beïnvloed door genomen preventieve maatregelen.

De overheid speelt voornamelijk een normstellende rol. De laatste jaren is er in Nederland en de omliggende landen een vernieuwende wetgeving tot stand gebracht ten aanzien van veiligheid en milieubescherming. In het onderstaande schema is de actuele situatie voor Nederland weergegeven.



Tenslotte spelen ook maatschappelijke krachten een niet onbelangrijke rol. De acceptatie en perceptie van gevaren en risico's, zowel van werknemers als omwonenden, hebben een wezenlijke invloed op het beleid dat bij de industrie en de overheid wordt gevoerd. Steeds duidelijker blijkt dat economie en veiligheid niet met elkaar in tegenspraak hoeven te zijn.

Het belang van het waarborgen van de veiligheid binnen bedrijven met grote potentiële gevaren manifesteert zich in het gevoerde beleid ("risk management"). Om de ontwikkeling op dit gebied te kunnen bekijken is het belangrijk te onderkennen dat het uiteindelijke beleid en daarmee dus de taak van de operator in noodsituaties, sterk varieert en ook evolueert.

Ten aanzien van de positie van de operator zijn nog enkele bijzonderheden te vermelden:

- de toenemende automatisering en afstandsbediening doet de operator vervreemden van de installatie als zodanig. Dit maakt zijn taak in noodsituaties moeilijker. De informatiepresentatie is niet voldoende om een totaaloverzicht te krijgen van de situatie;
- technologische ontwikkelingen betekenen regelmatige modificaties aan de installatie zelf, aan de bediening, aan de karakteristieken en aan de besturingssoftware. Dit houdt regelmatige introductie van nieuwe elementen in, inclusief fouten waarmee een operator voornamelijk wordt geconfronteerd als het niet loopt zoals het moet;
- economische ontwikkelingen betekenen wijzigingen in de procesbesturing. Optimaliseren ten aanzien van energieverbruik, kleinere voorraden, maatregelen tengevolge van weersomstandigheden, etc.

De genoemde factoren hebben tot gevolg dat de totale periode dat van een stabiele situatie kan worden gesproken om fouten in de installatie en de besturing te verhelpen afneemt, en dus de behoefte aan een doeltreffend crisismanagement toeneemt.

Tenslotte zijn er nog een aantal factoren die de taak van de operator ook in hoge mate medebepalen. De belangrijkste hiervan zijn:

- de visie ten aanzien van de operatortaak in termen van een actieve of passieve rol;

- de ervaring met eerdere incidenten binnen het bedrijf;
- de aard van het proces en de gebruikte apparatuur;
- de ervaringen met proces en apparatuur binnen het bedrijf en elders;
- het imago dat een bedrijf wenselijk acht;
- de omgeving van het bedrijf.

4. TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN

De laatste jaren zijn zeker in Nederland niet veel nieuwe installaties gebouwd. Wel zijn aan bestaande installaties omvangrijke wijzigingen aangebracht zoals ombouw voor andere producten, beter energetisch rendement en verhogen van de veiligheid.

Deze ontwikkelingen zullen nog wel een tijd doorgaan.

Op het gebied van veiligheid mogen eveneens ontwikkelingen worden verwacht.

- * Een verdere verbetering van de technieken om potentiële gevaren op te sporen, ook in de zin van kosten. Enkele van de huidige technieken (bijv. storingsanalyse) zijn zeer kostbaar. Gebreken aan huidige methoden verdienen aanvulling.
- * Ten aanzien van kansberekeningen bestaan nog grote verschillen in opvattingen over rekenmethoden en gebruik van cijfermateriaal. Met name de behandeling van voorvallen met zeer lage frequentie en grote potentiële schade is nog onbevredigend.
- * Het onderzoek naar het gedrag van mensen in stress situaties toont de wenselijkheid om ook indien een noodsituatie ontstaat een automatische procesbesturing te realiseren (tenminste 10 minuten) om operators de gelegenheid te bieden inzicht te krijgen over wat er eigenlijk aan de hand is en daarna beslissingen te nemen. Voor de operator betekent dit:
 - is deze situatie al eerder voorgekomen, is ervaring aanwezig;
 - kan worden vastgesteld wat er eigenlijk aan de hand is;
 - bestaan mogelijkheden om te improviseren;
 - is de op dat moment vereiste communicatie mogelijk (alarmering, hulpverlening);
 - hoe snel of traag verloopt de escalatie;
 - kan tijdig voldoende deskundigheid worden gemobiliseerd;
 - zijn er voor deze situaties procedures / is er een bruikbare procedure;
 - wat te doen als er tegenslagen zijn bij de genomen maatregelen (lawaaï, rook, etc. bemoeilijken communicatie)?
- * Het verder ontwikkelen van procedures voor noodsituaties op basis van inzicht, verkregen uit ongevalsanalyses. Gezien de grootte van

de gevaren moet steeds minder aan improvisatie worden overgelaten. Systematische analyse van ongevallen (casuïstiek) zal een belangrijke rol gaan spelen bij de verdere ontwikkeling van ongevalsscenario's, de bijbehorende procedures en zorg dat de operator de juiste informatie heeft.

- * De procescomputer onder normale bedrijfsomstandigheden, regelmatig na laten gaan of ergens belemmeringen bestaan om een noodstop ("emergency shut down") uit te voeren. De meeste procescomputers hebben voor een dergelijke taak voldoende tijd ("idle time").

De grote chemische- en petrochemische industrie heeft zelf veel know how in huis op het gebied van industriële veiligheid en draagt daarmee belangrijk bij tot de geleverde prestaties.

Toch blijkt, dat veel aanwezige kennis wel in dikke rapporten in de kasten ligt, maar slechts ten dele wordt toegepast.

5. WAT DOET TNO

TNO voert zowel theoretisch als experimenteel werk uit op het gebied van "Industriële Veiligheid". Het werkgebied is omvangrijk en verspreidt over diverse instituten die echter in veel projecten samenwerken. Een volledig overzicht van het werkgebied is moeilijk te geven, maar enkele karakteristieke onderwerpen zijn:

- onderzoek aan fenomenen brand, verschillende typen explosies, verspreiding van vloeistoffen en gassen;
- onderzoek naar de weerstand van materialen en constructies tegen brand en explosies;
- onderzoek naar fysische- en chemische eigenschappen van stoffen;
- ontwikkelen van modellen voor hittestraling, drukgolven, uitstrotingen, verspreiding, verdamping e.d.;
- testen van modellen in de windtunnel;
- ontwikkelen van modellen voor het berekenen van kansen en effecten op bepaalde scenario's;
- ontwikkelen van beslissingsmodellen voor procedures in o.a. nood-situaties, rampenplannen en beleidsmatige aspecten;
- analyseren van systemen op betrouwbaarheid en veiligheid;
- schade analyses;
- uitbrengen van adviezen;
- systematisch verzamelen van incidenteninformatie om bovenstaande technieken te onderbouwen, onderzoekresultaten te toetsen en zelfstandig een bijdrage te leveren aan "het veiliger werken".

RELEVANTE LITERATUUR

1. J.P. Visser
"Quantification of risks".
De Ingenieur no. 48, 29 november 1979
2. P.J. Baldock
"Accidental release of ammonia: an analysis of reported incidents".
AIChE Loss Prevention Meeting, April 1979
3. C. Harris
"Analysis of chlorine accident reports".
ICI Chlorine Institute's 21e Plantmanager Seminar, Houston,
February, 1978
4. V.C. Masshall
"How lethal are explosions and toxic escapes"
The chemical engineer, August 1977
5. B.J. Wiekema
"Analysis of vapour cloud explosions".
Maatschappelijke Technologie TNO, afd. Industriële Veiligheid,
1982
6. "Methodologies for hazard analysis and risk assessment in petro-
leum refining and storage industry".
Concawe, Den Haag, Report nr. 10/82
7. F.P. Lees
"Loss Prevention in the process industry".
Butherworths, London, 1980
8. "Methoden voor het berekenen van de fysische effecten van het in-
cidenteel vrijkomen van gevaarlijke stoffen"
Uitgave van Directoraat Generaal van de Arbeid met belangrijke
bijdrage van TNO, Voorburg, 1979

9. "Methoden voor het bepalen en verwerken van de kans op het optreden van ongewenste gebeurtenissen en ongewenste gevolgen (kansenboek).
Uitgave van Directoraat Generaal van de Arbeid met belangrijke bijdrage van TNO, Voorburg, wordt gepubliceerd in 1983
10. B.J. Wiekema
"Vapour cloud explosions and some remarks on control rooms"
Maatschappelijke Technologie TNO, afd. Industriële Veiligheid, 1983
11. G. Snelling, G.W. Hoftijzer
"Safety studies, their use and limitations".
International conference Process Reliability in Chemical Plants, Maatschappelijke Technologie TNO, afd. Industriële Veiligheid, October 1981
12. "An investigation of potential hazards from operations in the Canvey Island Health and Safety Executive 1978, Oyez, London
13. "Risk Analysis of six potentially hazardous industrial objects in the Rijnmond Area". A pilot study.
Reidel publishing Company Dordrecht, 1981
14. FACTS databank for Industrial Safety TNO
Maatschappelijke Technologie TNO, afd. Industriële Veiligheid

B.W. Jaspers

BIJLAGE V

OPLEIDING EN TRAINING

Instituut voor Werktuigkundige Constructies TNO

Delft

1983

Inhoudsopgave	Blz.
1. INLEIDING	1
1.1 Waarom training	1
1.2 Algemene aspecten van simulatortraining	2
2. HUIDIGE SITUATIE	5
3. TOEKOMSTVERWACHTING	7
4. DE SITUATIE BIJ IWECO	9
LITERATUUR	11

1. INLEIDING

1.1 Waarom training

Technische systemen worden groter en complexer. Dit brengt consequenties t.a.v. de veiligheid voor mens en omgeving met zich mee. Ook de afhankelijkheid van het proces van de mens die deze processen moet beheersen op een veilige en betrouwbare wijze is groter geworden.

Met het groter en vooral gecompliceerder worden van installaties worden hogere eisen gesteld aan apparatuur, aan bedienings- en bewakingssystemen, maar vooral ook aan de bekwaamheden van het bedienend personeel om deze installaties te beheersen, zowel tijdens stationair bedrijf als in situaties waar dynamische veranderingen in de procestoestand optreden.

Naast een lichamelijke en mentale geschiktheid moet de toezichthoudende bedieningsman voor de uitoefening van zijn functie beschikken over de juiste gereedschappen om het hem toevertrouwde proces veilig en efficiënt te bedienen.

Deze gereedschappen omvatten:

1. de juiste informatie over de procestoestand;
2. een geschikte wijze van presentatie van deze informatie;
3. geschikte middelen om in te grijpen in de proces-voortgang, om het proces te (be)sturen;
4. kennis over en inzicht in het proces;
5. ervaring.

Nu reeds, en nog meer in de toekomst, is de zintuigelijke waarneming van het procesgedrag door de toezichthoudende bedieningsman (operator) beperkt tot het waarnemen van informatie hem aangeboden door instrumenten, min of meer logisch gerangschikt in panelen in centrale meld- en regelkamers. In deze centrale meld- en regelkamers (hierna kortweg regelkamers genoemd) bevinden zich tevens de bedienings- en regelorganen waarmee de operator op afstand in het proces kan ingrijpen.

Door een juiste opleiding en training, zowel theoretisch (school) als in de praktijk ("on-the-job"), wordt de operator op zijn taak voorbereid.

Hiermede worden hem de gereedschappen, vermeld onder 4. kennis en inzicht, en 5. ervaring, verschaft. Herscholing (refreshing training) en regelmatig onderzoek naar de bekwaamheid van de operator wordt in bepaalde takken van industrie toegepast om zeker te stellen dat de operator goed in staat is zijn taak naar behoren te vervullen. Een sprekend voorbeeld hiervan is de opleiding van verkeersvliegers [1].

1.2 Algemene aspecten van simulatortraining

Analyseert men de prestaties van operators, dan vindt men dat een aantal factoren de prestaties (het gedrag) beïnvloeden. Twee bepalende factoren zijn: bekwaamheid en gemotiveerdheid. Op hun beurt worden deze weer beïnvloed door andere factoren. Bekwaamheid met name door opleiding en training [2].

Hoewel motivatie uiterst belangrijk is, beperken wij ons hier tot bekwaamheid: opleiding en training.

Kortheidshalve wordt het woord training gebruikt om beide begrippen aan te geven op het gevaar af verwarring te stichten (opleiding is breder dan training, algemener, meer educatief en het verschaft een brede achtergrond-kennis). Training streeft een beperkter doel na, het leidt op tot het verrichten van een bepaalde (vaak beperkte) taak.

Training van personeel - of het gericht is op het aanleren van eenvoudige handelingen (bijv. lopende band werk) of het opleiden van operators van gecompliceerde processen - eist een zorgvuldige voorbereiding en uitvoering. Training wordt hier gedefinieerd als: "een systematisch en opzettelijk proces om het gedrag van mensen te veranderen in een richting die bijdraagt tot verbeterde prestaties" [3].

In zijn breedste zin omvat "gedrag" ieder aspect van menselijke activiteit met inbegrip van vaardigheden, kennis en "attitudes".

Een trainingsprogramma moet derhalve zijn gericht op het beïnvloeden van deze drie aspecten. Hierbij moet aan de behoefte van de trainee's organisatie worden voldaan, maar tegelijkertijd moet ook rekening worden gehouden met de individuele behoefte van de trainee.

In het verleden hebben de traditionele trainingsprogramma's zich vooral geconcentreerd op het overdragen van kennis: het overdragen van theorie,

begrippen en technieken. Praktische toepassing echter van het geleerde is cruciaal om een werkelijke verandering in het gedrag van de trainee te realiseren. Te weten dat wanneer bepaalde informatie op een controlepaneel verschijnt men op een bepaalde wijze moet reageren, is heel wat anders dan die kennis snel te verwerken tot een punt waar deze informatie een corrigerende actie uitlokt die leidt tot het openen of sluiten van een bepaalde klep. Praktijk-ervaring verankert het geleerde in het gedrag en is essentieel voor een waarachtige verwerving van vaardigheden.

Belangrijk in ieder trainingsprogramma is:

1. de training moet effectief zijn;
2. er moet overdracht van training naar de praktijk zijn.

Het doel van het aanleren van (motorische, cognitieve, intermenselijke) vaardigheden in de training-situatie is dat er een maximale overdracht van vaardigheden naar de werkelijke "on-the-job" situatie optreedt. Deze twee situaties - training en "on-the-job" - zijn nooit identiek. Uit onderzoeken op het gebied van training zijn enige principes ontwikkeld die zijn ontworpen om te verzekeren dat de trainingsvaardigheden inderdaad zo optimaal mogelijk overgaan naar "on-the-job" gedrag. Deze zijn (Goldstein, in [3]):

1. maak de overeenkomst tussen de training en de uiteindelijke werksituatie zo groot mogelijk;
2. verschaft voldoende praktijkoefeningen;
3. verschaft een afwisseling in de training-situaties opdat de trainee zijn verworven kennis kan generaliseren;
4. identificeer belangrijke aspecten van de taak om de trainee te helpen belangrijke, karakteristieke delen van zijn taak/werk te onderscheiden;
5. maak zeker dat algemene principes begrepen zijn aler ze in de praktijk toe te passen.

Dankzij de ontwikkelingen in computers is men nu in staat betrekkelijk goedkope simulatoren te bouwen die delen van een proces nabootsen (part task simulator) of een exacte nabootsing van een proces zijn (replica

simulator).

De simulatoren bestaan in het algemeen uit [4]:

1. een wiskundige beschrijving van het na te bootsen proces;
2. een digitale, analoge of hybride computer die het wiskundig model oplost in ware tijd;
3. een nabootsing van de werkplek van de operator tot in detail (replica's) of van een onderdeel ervan (part task simulator). De mate waarin de nagebootste werkplek overeenstemt met de werkelijkheid beïnvloedt het trainingsgebruik van de simulator: type training versus procedure training. De computer voedt de instrumenten met de juiste signalen in ware tijd als responsie op acties van de trainee.

Deze simulatoren worden hoe langer hoe meer in personeelstraining toegepast. De replica simulator voldoet hierbij aan het principe dat ten einde een overdracht van training te verzekeren de training-situatie op de werksituatie moet lijken.

De simulator stelt ons in staat om:

1. vele routinematige en niet-routinematige situaties herhaaldelijk te beoefenen onder exact dezelfde condities. Dit biedt de mogelijkheid een goede trainingsopbouw te verzekeren;
2. crisis-situaties te simuleren waarbij uitgeprobeerd kan worden welke de beste acties in bepaalde gevallen zijn;
3. een proces sneller te laten verlopen dan in de werkelijkheid. Dit tot tijdwinst t.o.v. echte procestraining ("on-the-job" training);
4. in vele gevallen goedkoper te trainen dan met het werkelijke proces.

Thans worden simulatoren veelvuldig gebruikt in de opleiding, herscholing/omscholing en het testen op bekwaamheid van operators.

Vooraf in de luchtvaart - zowel civiel als militair - heeft de simulator - de flight simulator - ingang gevonden. Vliegeniers-training zonder gebruikmaking van een simulator is haast ondenkbaar geworden.

De ruimtevaart is onmogelijk zonder simulatortraining van astronauten en kosmonauten. Bijna alle kernenergiecentrales laten hun operators simulatortrainingen volgen [5]. Ook in de scheepvaartwereld is de simulator in opkomst [6, 7].

2. HUIDIGE SITUATIE

De introductie van simulatoren in de training van operators is in volle gang.

In de training wordt als regel onderscheid gemaakt tussen [4]:

1. algemene training in de basis-principes van processen;
2. specifieke training gericht op bedrijfsvoering in alle mogelijke operationele situaties van één specifiek proces.

Voor 1. kan met een algemene simulator worden volstaan waarmee basis-principes kunnen worden aangeleerd. Part task, low fidelity simulators zijn hier wellicht beter te gebruiken dan full-mission simulator [11, 12].

Voor 2. moet een replica simulator worden gebruikt. Dit is een algemeen geaccepteerde opinie, zeker waar het training in crisis-beheersing betreft. Het is echter de vraag in hoeverre deze opinie wordt ingegeven door onzekerheid [4].

In de training bedoelt onder 2. richten de programma's zich op de opleiding van operators in de bediening en bewaking van het proces

1. in rust. Het proces is hierbij in een stabiele conditie - stationair bedrijf. De taak van de operator beperkt zich tot optimalisatie van de bedrijfsvoering;
2. in een dynamische bedrijfstoestand als gevolg van
 - a. het bewust overgaan naar een andere evenwichtstoestand;
 - b. een storing.

Tijdens de onder a. aangegeven toestand brengt de operator met behulp van de automaat het proces tot de gewenste stabiele eindtoestand al of niet volgens voorgeschreven procedures.

Tijdens de situatie onder b. moet de operator de storing detecteren, corrigeren en de diagnose stellen [9]. Vooral deze fase kan aanleiding geven tot crisis-situaties. Hier spreekt men van crisis-beheersing. Deze situatie wordt gekenmerkt door hoge stress.

Training voor dit soort situaties stelt bijzondere eisen aan het trainingsprogramma [10].

Voor training in crisis-beheersing wordt vooral gebruik gemaakt van replica simulatoren.

Voorlopig wordt aangenomen dat in crisis-beheersing-training de replica simulator moet zijn geënt op het proces waarmee de operator in zijn werk te maken heeft.

Indien meer kennis beschikbaar komt over de mechanismen die bij crisis-beheersing een rol spelen, dan kan wellicht met een wat algemenere simulator worden volstaan.

Voor een algemene opleiding in bediening en bewaking van zijn eigen proces is het mogelijk gebruik te maken van een replica simulator van een andere installatie doch soortgelijk proces [4].

3. TOEKOMSTVERWACHTING

Vanwege de nog steeds toenemende complexiteit en omvang van processen is meer dan in het (recente) verleden het in de toekomst noodzakelijk de operator goed uit te rusten voor zijn taak.

Proces en operator moeten beter op elkaar worden afgestemd.

Eén van de middelen om de operator beter op zijn taak voor te bereiden is training.

Effectieve trainingsprogramma's moeten worden ontwikkeld. De overdracht van de training naar de praktijk moet worden geoptimaliseerd.

In de training kan van simulatoren gebruik worden gemaakt zoals in het recente verleden al overtuigend is gedemonstreerd (flight simulators).

De invoering van trainingssimulatoren eist een zorgvuldig opgezet trainingsprogramma. Het doel waartoe het trainingsprogramma wordt ontworpen bepaalt de operationele mogelijkheden van de simulator. Het is heel wat anders of een trainingsprogramma tot doel heeft een operator basisprincipes over het proces bij te brengen of dat het doel is de operator te leren om gaan met noodsituaties.

Dit betekent dat de operationele mogelijkheden van te ontwikkelen simulatoren moeten voldoen aan de eisen die de training stelt.

Ten behoeve van de optimalisatie moeten trainingsprogramma's en trainingsmiddelen worden onderzocht op hun geschiktheid [3] om het beoogde doel te bereiken.

De belangrijkste criteria zijn dat training effectief is en dat er overdracht van training plaatsvindt naar de praktijk.

De invloed van de simulator hierop is cruciaal.

De volgende overwegingen moeten in de beschouwing worden betrokken:

1. is een replica simulator (= full-mission, high fidelity simulator) te gebruiken in alle fasen van de operator opleiding;
2. voor welke fase in de operator opleiding is een generic simulator (= part task, low fidelity simulator) geschikt;
3. kan een replica simulator succesvol worden gebruikt voor de opleiding van operators van een soortgelijk, doch niet identiek proces?

Onderzoekingen zijn gaande om deze vragen te beantwoorden [4]. Bij deze

beantwoording moet men zich realiseren dat het nut van het gebruik van simulatoren als training-gereedschap wordt bepaald door het trainingsprogramma en de kwaliteit van de instructeur(s) [4, 8].

Op het ogenblik worden replica simulatoren gebruikt in training van operators in fault management en crisis-beheersing. In de luchtvaart ligt dat voor de hand omdat dankzij de hoge graad van standaardisatie een beperkte verscheidenheid in vliegtuigtypes bestaat, waarbij ieder type in grote aantallen wordt gebouwd. Dit maakt het economisch aantrekkelijk replica simulatoren te gebruiken.

In de andere takken van industrie is de seriegrootte van een bepaald type procesinstallatie klein. Overeenkomstige processen komen in verschillende uitvoeringsvormen voor. Een replica simulator is daarom relatief duur. Vandaar de wens een algemene replica simulator te gebruiken in de training van operators van soortgelijke processen. Er zijn aanwijzingen dat dit goed mogelijk is. Vermoedelijk gebruikt men tot op heden replica simulatoren juist als gevolg van de onzekerheid die er bestaat t.a.v. het effect van simulatortraining [4].

De vraag rijst nu of simulatortraining wel zo effectief is als wordt verondersteld. Wanneer flight simulator training van vliegeniers buiten beschouwing wordt gelaten (er is hier een duidelijk economisch criterium), is het moeilijk om een criterium te vinden waarmee het effect van simulatortraining is te meten. Zo'n criterium is noodzakelijk omdat met het instrument om dit effect te meten het ook mogelijk is om zowel de simulator als het trainingsprogramma en trainingsmethodiek te optimaliseren. Naast dit aspect van trainingseffectiviteit is het verder nodig dat een criterium wordt ontwikkeld om de overdracht van de in de trainingssituatie verworven inzichten naar de reële werksituatie van de operator te meten. Al is de training nog zo effectief, wanneer geen overdracht naar de praktijk plaatsvindt, wanneer de resultaten van de training niet in de praktijk worden gebruikt, dan is de training zinloos.

Verondersteld wordt dat het niet altijd nodig is om simulatoren die exacte copieën van de werkelijkheid zijn (high fidelity simulators) te gebruiken in de training van operators, en dat met minder exacte nabootsing kan worden volstaan [4].

4. DE SITUATIE BIJ IWECO

IWECO heeft 2 simulatoren in bedrijf. Een scheepsbrugsimulator (SBS) en een scheepsmachinekamer simulator (MKS).

De SBS is een algemene simulator waarmee het karakteristieke manoeuvreergedrag van verschillende klassen schepen kan worden nagebootst.

De MKS is een replica simulator van een stoomturbine voortstuwingsinstallatie.

Beide simulatoren worden gebruikt in de training van scheepsofficieren.

De trainingen beogen:

- SBS [7]
het vergroten van het inzicht in het karakteristieke gedrag van een aantal scheepsklassen;
- MKS [5]
het vergroten van het inzicht in de bedrijfsvoering met stoomturbine voortstuwingsinstallaties.

Vooraf van belang zijn hier:

- trouble shooting (fault management);
- crisis-beheersing;
- optimalisatie van het proces.

De trainingsprogramma's voor zowel SBS als MKS zijn opgesteld door deskundigen van IWECO en rederijen (nautici t.b.v. SBS; werktuigkundige t.b.v. MKS).

De uitvoering van de trainingen berust bij instructeurs met deskundigheid op het betreffende gebied (gezagvoerders bij de SBS; werktuigkundige bij de MKS).

De programma's en de uitvoering van de training zijn vooral gericht op het verbeteren van het "Knowledge based" gedrag van de trainee.

Hiermee wordt bereikt dat door een beter inzicht in het door hem te bewaken en te besturen proces de operator beter dan voorheen in staat is het proces veilig en efficiënt te beheersen.

In een samenwerkingsverband onderzoeken de TH-Delft en IWECO het Fault Management gedrag van operators. Bij dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van de scheepsmachinekamer simulator van IWECO [9].

Naast inzicht in het fault management gedrag van operators moet deze situatie ook criteria opleveren die het beter mogelijk maken trainingsprogramma's waarin simulatoren worden gebruikt, te optimaliseren. Dit kan alleen als er objectieve criteria worden gevonden om het effect van simulator-training te meten. De studie richt zich hiernaast tevens op het meten van de transfer van training.

De resultaten van het onderzoek worden gebruikt om zowel simulator als trainingsprogramma ten behoeve van de operator opleiding te optimaliseren.

LITERATUUR

1. Wendt, G.: "Simulator Training of Aircraft Cockpit Crews"*
2. Otway, H.J.: "Determinants of Human Performance in Emergencies"*
3. Henricks, J.R.: "Review of Training Methods"*
4. Misenta, R.: "Simulator Training in High Technology Industries"*
5. Distler, K.: "Training of Operating Personnel of Nuclear Power Stations"*
6. Jaspers, B.W.: "Simulator Training of Ship Engine Room Officers"*
7. Jaspers, B.W.: "Simulator Training of Ship Officers"*
8. Hammel, Th.J.: "The Training Device is more than a Simulator"
Proceedings Marsim '81; Kingspoint, USA, 1981.
9. Thijs, W.L.Th.: "Fault Management - a Study into Operator Behaviour using a Ship Engine Room Simulator"
Proceedings of the Fourth International Symposium on ship operation automation, Genua, Italië, 1982
10. Sargent, T.O.: "Design and Training Criteria for Stress and Boredom Conditions"
Transactions ANS 1980 Winter Meeting
11. Nortitzki, J.E.: "Realistic Trainers Help --- to a Point"
U.S. Navy Proceedings, 1980
12. Rouse, W.B.: "A Mixed-Fidelity Approach to Technical Training"
Center for Man. Machine Systems Research, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia 30332, To be published.

*) In: Training of Operating Personnel for Technologies with Hazard Potential. Theory and Practice. ISPRA. 17-21 November, 1980.

W.L.Th. Thijs

BIJLAGE VI

FAULT MANAGEMENT

Instituut voor Werktuigkundige Constructies TNO

Delft

1983

Inhoudsopgave

Blz.

1. WAT IS FAULT MANAGEMENT	1
2. WAT IS DE HUIDIGE STAND VAN ZAKEN	4
3. TOEKOMSTVERWACHTING	9
LITERATUUR	10

1. WAT IS FAULT MANAGEMENT ?

De taken van een operator kunnen veelal worden ingedeeld in twee groepen: continue en supervisietafen. De eerste groep bevat hand-regel-taken, zoals bijvoorbeeld het "op de hand vliegen" van een vliegtuig. Veel van deze taken worden tegenwoordig meer en meer geautomatiseerd. De laatste groep betreft taken waarbij het door de operator te superviseren systeem in beginsel zelfregelend is, en waarbij de operator dus slechts een oogje in het zeil houdt. Een voorbeeld hiervan is het superviseren van de automatische piloot door de piloot van een vliegtuig.

De supervisietafen op hun beurt zijn onder te verdelen in stationaire supervisietafen en fault management taken. De eerste categorie betreft het optimaliseren van een systeem dat zich in normale bedrijfstoestand bevindt. Fault management daarentegen betreft het omgaan met en het opvangen van storingen in het systeem door de operator. In een dergelijke situatie gedraagt het systeem zich vaak anders dan de operator verwacht, want door een storing wijzigen zich de karakteristieken en soms ook de structuur van het systeem.

Binnen fault management zijn vier gebieden te onderscheiden:

- detectie;
- compensatie;
- diagnose;
- correctie.

De operator kan zich bewust worden van een storing doordat hij opmerkt dat het systeem zich anders dan verwacht gedraagt, of op een ongewenste situatie in het systeem wordt gewezen door een alarm. In beide gevallen detecteert de operator gewoonlijk gevolgen van de storing, niet de storing zelf dat wil zeggen de oorzaak van de (ongewenste) gevolgen. Na de detectie van de ongewenste gevolgen van een storing volgt de compensatie. Er wordt zó ingegrepen op het systeem dat de ongewenste gevolgen worden tegengegaan; er is vaak sprake van symptoom-bestrijding. Vervolgens zal de operator trachten een diagnose te stellen. Hij vraagt zich af wat de oorzaak kan zijn geweest van de ongewenste situatie, van het zich niet normaal gedragen van het systeem?

Is eenmaal de oorzaak vastgesteld, dan kan deze worden weggenomen: de correctie. Deze correctie is vaak een taak van onderhouds-ploegen, en valt eigenlijk buiten de "fault management" taak van de operator.

De genoemde gebieden van fault management zijn in werkelijkheid veelal niet zo streng gescheiden als werd geschetst. Vaak begint de operator al te diagnostiseren terwijl hij nog druk doende is de installatie te stabiliseren via compensatoire acties. Soms gaat ook de diagnose aan de compensatie vooraf. De gewoonlijke opeenvolging van activiteiten is echter zoals boven omschreven. Dit lijkt niet logisch, omdat in eerste instantie verwacht zou kunnen worden dat de diagnose aan de compensatie vooraf gaat.

Voor een goed begrip van het hierna volgende, is het zinvol de aspecten detectie, compensatie en diagnose nader toe te lichten.

Sommige operators kunnen vaak fouten al in een zeer vroeg stadium detecteren. Hoe ze dit precies doen, kunnen ze gewoonlijk niet vertellen: het gebeurt intuïtief, men 'voelt' het. De detectiefase speelt zich dan veelal beneden de bewustzijnsgrens af. Uit onderzoek blijkt dat operators een mentale voorstelling hebben van het systeem. Deze mentale voorstelling, de zgn. interne representatie, is in hoge mate onbewust. Bij fouten in het systeem reageert het systeem anders dan de interne representatie, welke de operator van het systeem heeft voorspelt.

Het onbewust gedetecteerde verschil wordt als het ware "automatisch" het bewustzijn van de operator binnengeschoven. Omtrent dit mechanisme, dat berust op patroonherkenning, is nog nauwelijks iets bekend.

Gewoonlijk echter worden operators zich pas van fouten in het systeem bewust als er een alarm gaat! Een hierbij veel gebruikte kunstgreep van operators om vat te krijgen op complexe installaties is het "aggregeren" van het systeem tot enkele grootheden. De uitlezingen van deze grootheden, die in wezen signalen zijn die verwijzen naar de achterliggende fysische werkelijkheid, worden dan tekens die losgemaakt worden van die werkelijkheid en direct naar eventuele acties verwijzen. De uitlezingen (gevolgen) worden hierdoor steeds onafhankelijker van hun oorzaken gezien en meer gerelateerd aan de compensatoire acties die erop volgen. Het is niet ondenkbaar dat een dergelijke methode risico's met zich mee kan brengen zodra het "teken" een soort van eigen leven gaat leiden, terwijl de achterliggende karakteristieken van het systeem door fouten zijn gewijzigd!

De compensatie-fase is vaak relatief eenvoudig. De ongewenste gevolgen van fouten moeten bestreden worden. Ook al kent de operator de oorzaak nog niet, het op de hand nemen van de regelaars die invloed hebben op de ongewenste toestandsgrootheden is een nagenoeg vanzelfsprekende handeling. Toch kan dit ook risico's inhouden. De ècht ongewenste gevolgen zijn soms pas te achterhalen door een gecompliceerde extrapolatie van de zichtbare trends. Soms kan een werkelijk gevaarlijke situatie heel ergens anders ontstaan in het systeem dan daar waar het eerste symptoom of alarm wordt gegeven. Soms wordt de operator misleid door alarmen, bijv. indien meerdere alarmen het gevolg zijn van één storing en het eerst optredende alarm een ver van de storing plaatsvindend gevolg betreft. In zo'n geval wordt, vooral bij kringprocessen, de operator haast gedwongen mentaal oorzaak en gevolg te verwisselen [4]. Ook conflicterende doelen kunnen de correctieve acties tot een moeilijke zaak maken.

Een diagnose is het identificeren van de fout(en) in het systeem uit de geobserveerde symptomen, dus in wezen het bepalen van de oorzaak uit de gevolgen.

De diagnose kan op twee principieel verschillende wijzen tot stand komen. De operator kan een patroon van symptomen herkennen en dit op grond van zijn ervaring (kennis) met een fout associëren. Indien dit niet mogelijk is, zal de operator aan de hand van de symptomen en met behulp van zijn kennis van de structuur van het systeem, het systeem stelselmatig afzoeken tot een eenduidig punt van contradictie gevonden is: de fout. Deze twee zoek-methoden heten respectievelijk: symptomatisch en topologisch zoeken [12]. Beide zoek-methoden worden door operators in de praktijk gehanteerd.

2. WAT IS DE HUIDIGE STAND VAN ZAKEN

Het bijzondere van fault management is, dat de operator per definitie steeds wordt geconfronteerd met een systeem dat zich anders gedraagt dan hij verwacht. Zijn zogenaamde interne representatie, zijn mentale voorstelling van het systeem, klopt niet meer. Om een storing te kunnen voorzien moet de operator een interne representatie van het systeem hebben die èn veel flexibeler èn veel rationeler is dan die welke bij de conventionele (continue) handregeltaken nodig was. De operator moet zich kunnen voorstellen hoe het systeem zich zou gedragen als een bepaald element van het systeem zijn functie niet naar behoren vervult. Meestal worden operators echter vooral voor het tegendeel opgeleid. Er wordt geleerd hoe machines en regelaars werken, niet wat er gebeurt als ze niet werken! Ook praktijkervaring geeft de operator relatief meer inzicht in werkende systemen dan in defecte! Dit tekort kan door training enigszins worden aangevuld.

Het is onnodig te benadrukken dat een foutief opvangen van storingen in hoge mate catastrofaal kan zijn voor systeem, operator en omgeving. Een goede beheersing van processen in geval van systeemstoringen is daarom gewenst.

Om dit doel te kunnen bereiken is echter meer inzicht nodig in het gedrag van de operator bij fault management. Hiervoor is onderzoek nodig, dat zich concentreert op twee verschillende vragen:

1. hoe dient het systeem ontworpen te worden, opdat een operator bij fault management optimaal met het systeem kan omgaan;
2. hoe kan de operator door training en opleiding zo goed mogelijk worden uitgerust voor het uitvoeren van zijn taak?

De eerste vraag betreft ondermeer de informatie-presentatie aan de operator en de problematiek van een verantwoorde taakverdeling tussen operator en automatische systemen. Bij de tweede vraag spelen inhoud van de training en de noodzakelijke trainingshulpmiddelen een rol.

Voor beantwoording van beide vragen is echter, zoals gezegd, meer inzicht vereist in het gedrag van operators bij fault management. Bij het onderzoek is dit gedrag op twee manieren te benaderen, nl. enerzijds hoe fault management in de praktijk plaatsvindt (beschrijvend onderzoek) en anderzijds hoe het zou moeten plaatsvinden (voorschrijvend onderzoek). Voor een goede beheersing van processen bij systeemstoringen zijn beide benaderingen van belang.

Het gebied van de fundamentele vragen rondom fault management kent slechts weinig onderzoekers. Wel wordt, met name in de vliegtuigindustrie en rondom nucleaire centrales, veel gedaan aan het procedureel voorschrijven van actie-series (compensatie en diagnose) behorende bij bepaalde symptomen. Voor sommige nucleaire centrales werd ook een Disturbances Analysis System (DAS) ontwikkeld, dat de operator bijstaat in met name de detectie en diagnose van systeem-fouten. Al deze inspanningen betreffen echter vooral technische benaderingswijzen van het systeem. Een meer psychologische benadering, welke zich bezighoudt met de operator en de wijze waarop hij zich van de fault management taak kwijt en zou moeten kwijten, telt echter maar weinig onderzoekers. Voor een beter begrip zullen hier naast het onderzoek van TNO-IWECO/TH Delft genoemd worden de groepen van Rasmussen en van Rouse.

Als eerste zal het onderzoek van de groep van Jens Rasmussen aan het Risø National Laboratory, Roskilde, Denemarken aan de orde komen. Deze groep bezint zich vooral op fundamentele vragen. Het onderzoek van deze groep heeft onder meer geresulteerd in de beschrijving van een hiërarchische set van mentale voorstellingen die de operator voor verschillende abstractieniveaus van een technisch systeem kan hebben [11], een beschrijving van verschillende methoden welke operators hanteren om aan complexiteit van het systeem het hoofd te bieden [13] en in een filosofie voor een volledig andere informatie-presentatie (op hoog abstractie-niveau) aan de operator [9, 10]. In wezen komt het Risø-werk vaak neer op een zinvol vertalen van psychologische concepten enerzijds en technische gegevens anderzijds naar het contactvlak mens-machine. Risø houdt zich niet óf nauwelijks bezig met de traditionele antropometrische en informationeel-ergonomische kant van dit contact-vlak, maar met de cybernetisch-ergonomische kant: hoe verwerkt de operator zijn informatie, welke taken moeten en kunnen hem gegeven worden, welke informatie heeft hij daarbij nodig en in welke vorm?

De tweede groep is die van William Rouse, Georgy Institute of Technology, Atlanta, USA. Deze Amerikaanse onderzoekers zijn in de opzet van hun onderzoek meer pragmatisch dan hun Europese collega's. De groep beperkt zich voornamelijk tot fault management en wel in het bijzonder tot het gebied van de diagnose. Zij kwam tot verschillende

modellen waarmee aspecten van het fault management-gedrag bij specifieke taken redelijk goed beschreven en voorspeld kon worden [14, 16, 19]. Verder staat de groep bekend om de door hen ontwikkelde "low and moderate fidelity" trainingsmethode voor fault management- (diagnose-) taken. Low-fidelity (LoFi) training betreft het vinden van een defect element in een netwerkstructuur. Alle elementen zijn hierbij equivalent en de uitgangen van het netwerk zijn goed of fout. De MoFi-training is iets soortgelijks, maar de elementen stellen nu bepaalde eenheden uit een technische installatie voor (bijvoorbeeld de startmotor bij het systeem: automotor) en de uitgangen zijn meer gedifferentieerd: symptomen worden omschreven (bijvoorbeeld motor draait rond maar slaat niet aan) [17]. De Rouse-groep tracht op deze wijze de diagnostische taak tot haar essentie terug te brengen, en de operator daarin te trainen [18]. Verschillende deelstudies waarin de transfer van LoFi naar MoFi naar HiFi (High-Fidelity, bijvoorbeeld replica simulatoren of de werkelijkheid zelf) werd onderzocht [8], en andere waarin bijvoorbeeld het operatorgedrag bij de MoFi-taak werd gemodelleerd, zagen het licht [7, 15, 19]. Vaak komt het werk van de Rouse-groep neer op het praktisch uitwerken van een Rasmussen-concept. Vaak ook betekent het werk van Rouse een zekere validatie van de Rasmussen-concepten welke eraan ten grondslag liggen [20, 21].

De derde hier te noemen groep is het samenwerkingsverband TNO-IWECO en de sectie Mens-Machine Systemen van de vakgroep voor Meet- en Regeltechniek der afdeling Werktuigbouwkunde TH Delft. De optiek van waaruit deze groep naar fault management kijkt, is vooral geënt op de problemen zoals ze zich voordoen bij de bediening en bewaking van complexe systemen. Hoewel het onderzoek zich richt op turbo-voortstuwingsinstallatie van een supertanker, zijn de zich hier voordoende problemen vergelijkbaar met die van complexe installaties zoals nucleaire en conventionele electriciteitscentrales, raffinaderijen, etc.

Met het onderzoek wordt beoogd meer inzicht te verkrijgen in het gedrag van operators bij fault management situaties. Dit inzicht moet resulteren in beter gefundeerde trainingsmethoden. Met name de evaluatie van deze methoden in termen van effectiviteit en "transfer" van de training zijn hier van belang. Daarnaast zal het onderzoek ook kunnen bijdragen tot een beter ontwerp van bedienings- en bewakingssystemen enerzijds en trainingshulptechnieken zoals simulatoren anderzijds.

Een eerste fase van het onderzoek betrof een observationeel onderzoek naar fault management-gedrag van operators bij een simulator-training [4, 5]. Van belang werd geacht inzicht te krijgen in (a) de interne representatie welke de operator heeft van het systeem, en (b) de wijze waarop hij hiermee omgaat (informatie-verwerking) [20, 21]. Hiermee kan de vraag beantwoordt worden welke mentale "plaatjes", welke onderlinge relaties en wat voor dynamiek deel uitmaken van de geestelijke voorstelling die de operator van het systeem heeft. Bij het opbouwen van enig inzicht in die interne representatie wordt de zgn. verbale protocol-techniek door velen als onontbeerlijk gezien [1, 2, 6, 24]. Het verbale protocol is een door de operator gegeven mondeling verslag van zijn denkstappen. Deze techniek is bij het onderzoek gebruikt. Tijdens het onderzoek is echter gebleken dat er aan deze techniek echter nog vele onduidelijkheden kleven [20], zoals: welk gedeelte van de mentale plaatjes en de informatie-verwerking is überhaupt in woorden te vangen; hoe wordt de verbalisering door drukte (stress) beïnvloed; hoe verhouden zich de verbale taal-handelingen tot de werkelijke handelingen van de operator? Deze onduidelijkheden kwamen in het onderzoek van IWECO en THD in een drietal problemen tot uiting.

Ten eerste is uit de literatuur, met name door het werk van Rasmussen, gebleken dat het wel mogelijk is om de interne representatie die de operator zelf heeft van het systeem en de wijze waarop hij hiermee omgaat, in conceptuele termen te beschrijven. In een praktische situatie blijkt het echter zeer moeilijk om dit soort concepten te valideren.

Ten tweede blijkt dat dergelijke concepten weinig ondersteuning bieden bij het voorspellen van het operatorgedrag in bepaalde praktijk-situaties. In dit opzicht schieten de modellen van Rouse ook te kort, daar zij een te grote vereenvoudiging van de werkelijkheid zijn.

Tenslotte bleek tijdens het onderzoek dat zowel de modellen van Rasmussen als die van Rouse geen voldoende houvast bieden bij het beoordelen van het operatorgedrag.

Deze problemen bleken van een zodanige aard dat in een tweede fase van het onderzoek een andere aanpak noodzakelijk was [22]. Deze aanpak gaat uit van de volgende gedachte. Als essentie van de operatortaak in fault management wordt gezien het beslissen op grond van onvolledige informatie [23]. Hierbij speelt niet zozeer het vermogen van de operator om logisch te kunnen redeneren en concluderen een belangrijke rol (trai-

ningsmethoden van Rouse) [3], maar veel meer zijn perceptie van beschikbare informatie. Deze perceptie is in hoge mate subjectief, en wordt beïnvloed door de ervaring van de operator met voorkomende systeemfouten en zijn functionele kennis van het systeem (systeemstructuur, komponent-eigenschappen etc.). Bij het trainen van operators is het dus noodzakelijk dat juist deze aspecten aan de orde komen. Bij het evalueren van een training is het echter wel gewenst om na te gaan in hoeverre de systeemkennis van de operator tekort schiet, danwel de aan hem verstrekte systeeminformatie of zijn gebruik daarvan. Om dit te kunnen beoordelen is er een meer gedetailleerde analyse noodzakelijk van de combinatie operator en systeem. Op grond van deze analyse kan worden nagegaan hoe een operator optimaal gebruik kan maken van de beschikbare systeeminformatie. De analyse heeft dus een voorschrijvend karakter. Bij de analyse dient er rekening te worden gehouden met de subjectieve eigenschappen van de operator.

De genoemde analyse van de combinatie operator en systeem vormt het huidige werk van de IWECO-THD groep in een tweede fase van het onderzoek. Over een begin van deze analyse is inmiddels verslag uitgebracht [23]. Het blijkt dat drie cognitieve aspecten van de operator een belangrijke rol spelen, te weten:

- (a) een (subjectieve) inschatting van de kans van voorkomen van mogelijke fouten door de operator;
- (b) het gebruik van functionele systeemkennis (zoals bijv. welke symptomen zijn het gevolg van bepaalde fouten, wat zijn de gevolgen van mogelijk uit te voeren acties);
- (c) een risico afschatting van de verwachte gevolgen.

Getracht zal worden om een verband te leggen tussen deze drie aspecten enerzijds en de invloed van training anderzijds. Hierbij zal zoveel mogelijk gebruik worden gemaakt van de bevindingen uit de eerste fase.

3. TOEKOMSTVERWACHTING

Van het werk van de IWECO-THD groep wordt het volgende verwacht. De huidige analyse van het operatorgedrag zal verder worden uitgewerkt in een meer geformaliseerde beschrijving, zo mogelijk in mathematische termen. Dit zou de basis kunnen vormen van een voorschrijvend model van het operatorgedrag bij fault management. De toepasbaarheid van het resultaat van de analyse zal in een experimentele situatie worden getoetst, voor zover de duur van het onderzoek dit toelaat. Het onderzoek zal zo mogelijk eind 1984 worden afgesloten met een proefschrift.

LITERATUUR

1. Bainbridge, L. (1979)
Verbal reports as evidence of the process operators knowledge.
Int. J. Man-Machine Studies (1979) 11, 411-436.
2. Cannell, W.P. (1981)
Verbal protocol as a methodology for marine simulator experiments.
In: Proceedings Marsim '81, Second International Conference on Marine Simulation, U.S. Dept. of Commerce, Maritime Administration, 1981.
3. Dorrestijn, P.M.J. (1983)
Unpublished Master-thesis, Lab. for Measurement and Control, Dept. of Mech. Eng. Delft University of Technology, Report A.294, To appear August 1983.
4. Eekhout, J.M.J.M. van (1980)
Fault Detection Diagnosis and Correction by Human Operators in the Engineroom of a Supertanker.
Unpublished Master-thesis, Lab. for Measurement and Control, Dept. of Mech. Eng., Delft University of Technology Report A.254, July 1980.
5. Eekhout, J.M.J.M. van, and Rouse, W.B. (1981)
Human errors in detection, diagnosis and compensation for failures in the engine control room of a supertanker.
IEEE Trans. Syst. Man & Cybern. SMC-11, No. 12, December 1981, 813-816.
6. Ericsson, K.A. and Simon, H.A. (1980)
Verbal Reports as Data.
Psychological Review, vol. 87, no. 3, May 1980, pp. 215-251.
7. Hunt, R.M. (1981)
Human pattern recognition and information seeking in fault diagnosis tasks.
Unpublished Ph.D. Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA, Sept. 1981.

8. Johnson, W.B. (1980)
Computer Simulations in Fault Diagnosis, Training: An Empirical Study of Learning Transfer from Simulation to live System Performance.
Unpublished Ph.D. Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, U.S.A., October 1980.
9. Lind, M. (1981)
The use of Flow Models for Automated Plant Diagnosis.
In: Human Detection and Diagnosis of System Failures, J. Rasmussen and W.B. Rouse (Eds.), New York: Plenum Press, 1981, pp. 199-216.
10. Lind, M. (1982)
Generic Control Tasks in Process Plant Operation.
In: Proceedings of the Second European Annual Conference on Human Decisionmaking and Manual Control, G. Johannsen and H.E. Boller, (Eds.), Bonn, 2-4 June, 1982. FAT., Wachtberg-Werthhoven.
11. Rasmussen, J. (1979)
On the Structure of Knowledge - A Morphology of Mental Models in a Man-Machine System Context.
Risø National Laboratory, Report no. Risø-M-2192, Roskilde, Denmark, November 1979.
12. Rasmussen, J. (1981)
Models of mental Strategies in Process Plant Diagnosis.
In: Human Detection and Diagnosis of System Failures, J. Rasmussen and W.B. Rouse (Eds.), Plenum Press, New York. pp. 241-258.
13. Rasmussen, J. and Lind, M. (1981)
Coping with Complexity. In: Proceedings of the first european annual conference on human decisionmaking and manual control, H.G. Stassen and W.L.Th. Thijs (Eds.), Delft University of Technology, May 1981, pp. 69-91.

14. Rouse, W.B. (1978a)
A Model of Human Decisionmaking in a Fault Diagnosis Task.
IEEE Trans. on Syst. Man. and Cyb., Vol. SMC-8 no. 5, May 1978,
pp. 357-361.
15. Rouse, W.B. (1978b)
Human Problem solving Performance in a Fault Diagnosis Task.
IEEE Trans. on Syst. Man and Cyb., Vol. SMC-8 No. 4, April 1978,
pp. 258-271.
16. Rouse, W.B. (1979)
A Model of Human Decisionmaking in Fault Diagnosis Tasks that include
Feedback and Redundancy.
IEEE Trans. on Syst. Man and Cyb., Vol. SMC-9 No. 4, April 1979,
pp. 237-241.
17. Rouse, W.B. (1981)
Experimental studies and mathematical models of human problem solving
performance in fault diagnosis tasks.
In: Human Detection and Diagnosis of System Failures, J. Rasmussen and
W.B. Rouse (Eds.), New York, Plenum Press, 199-216.
18. Rouse, W.B. and Morris, N.M. (1981)
Human problem solving in a process control task.
In: Proceedings of the first european annual conference on human
decisionmaking and manual control, H.G. Stassen, and W.L.Th. Thijs
(Eds.), Delft University of Technology, May 1981, pp. 218-226.
19. Rouse, W.B. and Hunt, R.M. (1981)
A fuzzy rule-based model of human problem solving in fault diagnosis
tasks, Proceedings of the Eight Triennial World Congress of the Inter-
national Federation of Automatic Control, Kyoto, Japan, August 1981.

20. Thijs, W.L.Th. (1982)
On and beyond Consciousness; notes on cognition in a fault management context.
In: Proceedings of the Second European Annual Conference on Human Decisionmaking and Manual Control, G. Johannsen and H.E. Boller (Eds.) Bonn, 2-4 June 1982. FAT., Wachtberg-Werthhoven.
21. Thijs, W.L.Th. (1983a)
Fault Management, a study into operator behaviour using a ship engine room simulator.
In: Ship Operation Automation IV, Proceedings of the 4th IFIP/IFAC Symposium, E. Volta (ed.), Genova, Italy, 20-22 September 1982.
22. Thijs, W.L.Th. and Mendel, M.B. (1983b)
Training today: Filling Emptiness with Nothingness? Another view on problem solving.
To be published in: Training for Tomorrow, Proceedings of the IFAC/IFIP Conference, J.E. Rijnsdorp (ed.) Leiden, The Netherlands, 7-10 June 1983, Pergamon Press, Oxford, England.
23. Thijs, W.L.Th. and Mendel (1983c)
Subjective Probability and Fault Management.
To be published in: Proceedings of the 3rd European Annual Conference on Human Decisionmaking and Manual Control, Roskilde, Denmark, 30 May-1 June 1983, J. Rasmussen and L.P. Goodstein (eds.) Risø. Nat. Lab. Roskilde.
24. Umbers, I.G. (1981)
A study of controls skills in an industrial task, and in a simulation, using the verbal protocol technique.
Ergonomics, 1981, Vol. 24 no. 4, pp. 275-293.

