

Een simulator voor onderzoek van scheepvaart en wegverkeer

Voor onderzoek naar het menselijk gedrag bij het besturen van schepen en wegvoertuigen is bij het IZF-TNO een opstelling ten behoeve van dynamische simulatie in ontwikkeling. Dit instrument kan worden beschouwd als een belangrijke uitbreiding van het reeds aanwezige potentieel dat vnl. gericht was op veldstudies en experimenten in statische simulatie.

Een belangrijk voordeel van het uitvoeren van experimenten met een simulator is dat een systematische variatie van invloedsgrootheden mogelijk is, waarbij de experimentele condities volledig kunnen worden gecontroleerd.

De omschreven simulator is zodanig uitgevoerd dat naar keuze het buitenbeeld van een vaarwater (scheepvaart) of dat van een te berijden weggedeelte (wegverkeer) aan de proefpersoon kan worden gepresenteerd. Dit buitenbeeld wordt met televisietechnieken opgenomen in een maquette. De bewegingen van de TV-kamera, i.c. het schip, de auto, worden volledig als in de werkelijke situatie gestuurd door de akties van de mens.

In dit artikel wordt na een vrij uitgebreide inleiding, een algemene beschrijving van de simulator gegeven. Vervolgens wordt een aantal systeemcomponenten in detail besproken. Tenslotte wordt enig inzicht gegeven in de met het apparaat uit te voeren experimenten.

De opbouw van de simulator is uitgevoerd door de werkgroep Simulatie welke uit ongeveer 10 instituutmedewerkers bestaat. De auteurs van dit artikel dienen te worden beschouwd als rapporteurs van deze werkgroep.

1. Inleiding

In het dagelijks leven komt de mens vaak in aanraking met systemen die moeilijk op een korrekte wijze kunnen worden beheerst. Soms is dit pas mogelijk na een vrij lange leerperiode. Voorbeelden van dergelijke systemen zijn eenvoudig aan te wijzen. Bij de besturing van vliegtuigen, schepen en ook auto's geldt als een uiterst belangrijke eis dat een goede wisselwerking aanwezig is tussen de mens (piloot, roerganger, bestuurder) en z'n taakomgeving. Deze taakomgeving wordt door een aantal factoren bepaald. Het te sturen systeem, de optredende verstoringen en de intensiteit van het overige verkeer zijn hiervan slechts een aantal voorbeelden.

In vroeger tijden werd van de mens verwacht dat hij zich zou aanpassen aan de specifieke eigenschappen van de taakomgeving. On-

danks het adapterend vermogen van de mens is dit tengevolge van de toegenomen complexiteit in een aantal gevallen een onmogelijke opgave gebleken. Deze grote moeilijkheidsgraad wordt bij de genoemde systemen o.a. veroorzaakt door de groter wordende verkeersintensiteit en de hogere snelheden. Het is dan ook van groot belang dat in dergelijke gevallen de eigenschappen van de taakomgeving zoveel mogelijk worden aangepast aan de mogelijkheden en (vooral) onmogelijkheden van de mens. Alleen dan zal het mogelijk blijken om ook in gekompliceerde situaties een systeem op korrekte wijze te beheersen.

Een zodanige aanpak vereist echter een algemene kennis over de mogelijkheden van de mens. Het is noodzakelijk om het gedrag van de mens in tal van situaties te beoordelen om zodoende kennis over de beperkingen in het gedrag te verzamelen. Door het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO wordt onder andere dergelijk onderzoek naar de mogelijkheden en grenzen van de menselijke capaciteiten uitgevoerd. Hierbij staat een tweetal gebieden centraal. Enerzijds vindt research

IZF met mock-up naar Annapolis

De drie amateurs van dit artikel, eigenlijk rapporteurs van een werkgroep, werken bij het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO (IZF) in Soesterberg. Dit instituut is onderdeel van een van de vier 'bijzondere organisaties': de Rijks Verdedigings Organisatie TNO. Overigens is veel onderzoek van het IZF civiel gericht of zou ook 'burgerlijk' kunnen worden toegepast.

Zuiver militair was in juni van dit jaar de deelname van het instituut aan 'Sea Link 1975' in Annapolis, Maryland, Verenigde Staten van Noord-Amerika. Aan dit tweesterkjaarlijkse symposium van de Noord-Atlantische Verdrags Organisatie (NAVO) voor maritiem georiënteerde militairen en wetenschapsmensen is steeds een tentoonstelling verbonden van nieuwe technische ontwikkelingen.

Het IZF was er met een complete mock-up van de kommandocentrale van de toekomstige standaardfregatten van de Nederlandse marine, waarover ook in dit artikel wordt gesproken.

plaats naar het gedrag van mensen bij het beheersen van schepen, terwijl anderzijds onderzoek wordt gedaan naar het rijgedrag van bestuurders van wegvoertuigen. Zowel de scheepvaart als het wegverkeer zijn bij uitstek voorbeelden van een situatie waarbij de mens een ingewikkeld systeem (schip, auto) veilig door een complexe omgeving moet kunnen geleiden.

Reeds jarenlang vindt onderzoek naar het gedrag van de mens bij het besturen van schepen en auto's plaats. Dit onderzoek kan in de werkelijke situatie plaatsvinden, zoals in het geval van wegverkeer bij de analyse van het rijgedrag met behulp van een geïnstrumenteerde auto. Het is evenwel niet altijd wenselijk om de mens in de werkelijke situatie te onderzoeken. Om een goed inzicht te krijgen in de mogelijkheden van de mens moet men een taak veelal zo moeilijk maken dat er fouten worden gemaakt, hetgeen in de werkelijkheid gevaarlijk is. Daarnaast is het vaak van belang een systeem in de ontwerp-fase te onderzoeken (bv. een weggedeelte of een invaarroute voor schepen). Juist bij het ontwerpen dan wel aanpassen van het te sturen systeem en/of de omgeving is het van groot belang te weten welke konsekventies bepaalde veranderingen op het gedrag van de mens hebben. In deze gevallen is het mogelijk

om een in werkelijkheid nog niet bestaande situatie na te bootsen.

Ter bepaling van de juiste vormgeving van nieuwe bedieningsmiddelen en controlepanelen werden door het IZF-TNO reeds vele modellen (schaal 1:1) in hout gemaakt (mock-ups). Hiermee kan in gezamenlijk overleg met de opdrachtgever op een duidelijke en overtuigende wijze optimalisering van een systeemonderdeel worden bereikt. Deze zgn. statische simulatie is reeds bij vele ontwerpindelingen van scheepsbruggen, machinekamers, e.d. van groot nut gebleken.

Als logisch vervolg op deze statische simulatie (scheepvaart) en de veldexperimenten met een geïnstrumenteerde auto (wegverkeer) is bij het IZF-TNO een opstelling in ontwikkeling t.b.v. *dynamische simulatie van scheepvaart en wegverkeer*. Deze simulator wordt gebouwd in samenwerking met een aantal TNO-instituten. De bijdragen van het Instituut voor Werktuigkundige Constructies TNO, het Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO en de Technisch Fysische Dienst TNO-TH komen bij de beschrijving van de systeemcomponenten nader aan de orde.

In de simulatie wordt het geheel van taakom-

Tabel I: Een aantal voor- en nadelen van simulatie t.o.v. veldstudie.

Voordelen	Nadelen
Goedkoper (vooral scheepvaart)	'echtheid' beperkt vanwege technische dan wel financiële mogelijkheden
systematische variatie van invloeds-grootheden mogelijk	
omstandigheden exakt in de hand te houden	
omstandigheden exakt te herhalen	
uitgebreider instrumentarium mogelijk voor data verwerking	
minder gevaarlijk	

gevingsaspecten op een zo realistisch mogelijke wijze aan de roerganger/bestuurder aangeboden, waarbij deze in staat is zelf de te volgen koers van het schip/de auto te regelen. Een aantal voor- en nadelen van experimenten in een simulator ten opzichte van een veldexperiment staan weergegeven in tabel I. De meeste van de in tabel I genoemde punten spreken voor zichzelf. De simulator zal meer als 'echt' worden ervaren naarmate de werkelijkheid op een meer geperfectioneerde wijze wordt nagebootst. Indien geëist zou worden dat alle mogelijk denkbare experimenten met de simulator moeten kunnen worden uitgevoerd, leidt dit tot de eis dat alle in werkelijkheid aanwezige informatie ook in de simulator aan de proefpersoon moet worden aangeboden.

Deze informatie moet dan gegevens bevatten over:

- 1) de omgeving van het voer-/vaartuig; b.v. de vormgeving van de weg, positie en snelheid van overige verkeersdeelnemers, gedragsbeperkende regels
- 2) de bewegingen van het eigen voer-/vaartuig; b.v. de positie en snelheid
- 3) de acties van de roerganger/bestuurder: bijvoorbeeld roerhoek, gegenereerde krachten en verplaatsingen van de bedieningsmiddelen.

Op grond van al deze gegevens van het momentane gedrag van het systeem: mens-voer/vaartuig-omgeving en gekombineerd met reeds aanwezige geheugeninformatie kan de mens besluiten tot korrigerende handelingen.

In de meeste gevallen is voor het verkrijgen van de noodzakelijke informatie de visuele waarneming van primair belang. De overige zintuigen zorgen dan slechts voor additionele informatie. Niettemin treden soms situaties op waarbij deze additionele informatie van primair belang wordt.

Gegeven het belang van de visuele informatie dient een simulator in ieder geval te beschikken over een buitenbeeld. Voor snelle syste-

men (vliegtuigen, auto's) is het veelal gewenst om eveneens bewegingen na te bootsen. Het realisme van de simulator kan verder worden vergroot door het aanbieder van auditieve informatie.

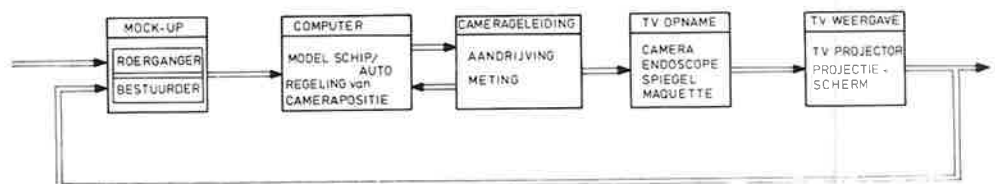
De navolgende beschrijving geeft een overzicht van de technische opbouw van een dynamische simulator, waarbij het mogelijk is om autobestuurders resp. roergangers van een schip o.a. via een buitenbeeld informatie aan te bieden over de omgeving. Daartoe wordt in hoofdstuk 2 een overzicht gegeven van de totale opbouw en de onderlinge samenhang tussen de diverse componenten. In hoofdstuk 3 komt een aantal van deze componenten nader aan de orde. Tenslotte bevat hoofdstuk 4 o.a. een beschouwing over de eerstkomende experimenten met deze simulator.

2. Beschrijving van de simulator

Bij het begin van de ontwikkeling van een opstelling t.b.v. dynamische simulatie is als een belangrijke eis naar voren gekomen dat het instrument zo diende te worden uitgevoerd dat zowel scheepvaart als wegverkeer nagebootst zou kunnen worden. Hoe deze eis in het geheel verwerkt is zal later worden besproken.

Het principe van de simulator, met name de wijze waarop het buitenbeeld wordt aangeboden, is schematisch weergegeven in figuur 1. Kort samengevat kan het geheel als volgt worden beschreven: een televisieopname-element wordt door de proefpersoon (roerganger/bestuurder) door een maquette gestuurd, waarbij het opgenomen beeld direct wordt geprojecteerd op een scherm dat geplaatst is voor de nagebouwde scheepsbrug of auto (mock-up). De proefpersoon bevindt zich in deze mock-up. De inrichting hiervan is zodanig dat alle in werkelijkheid van de roerganger/bestuurder vereiste koers- en

Fig. 1. Vereenvoudigde, schematische weergave van de simulatieopzet. Dit schema geeft aan hoe de proefpersoon in de mock-up via de computer, kamerageleiding en TV-opname en -weergave een zgn. ongeprogrammeerd buitenbeeld kan verkrijgen.



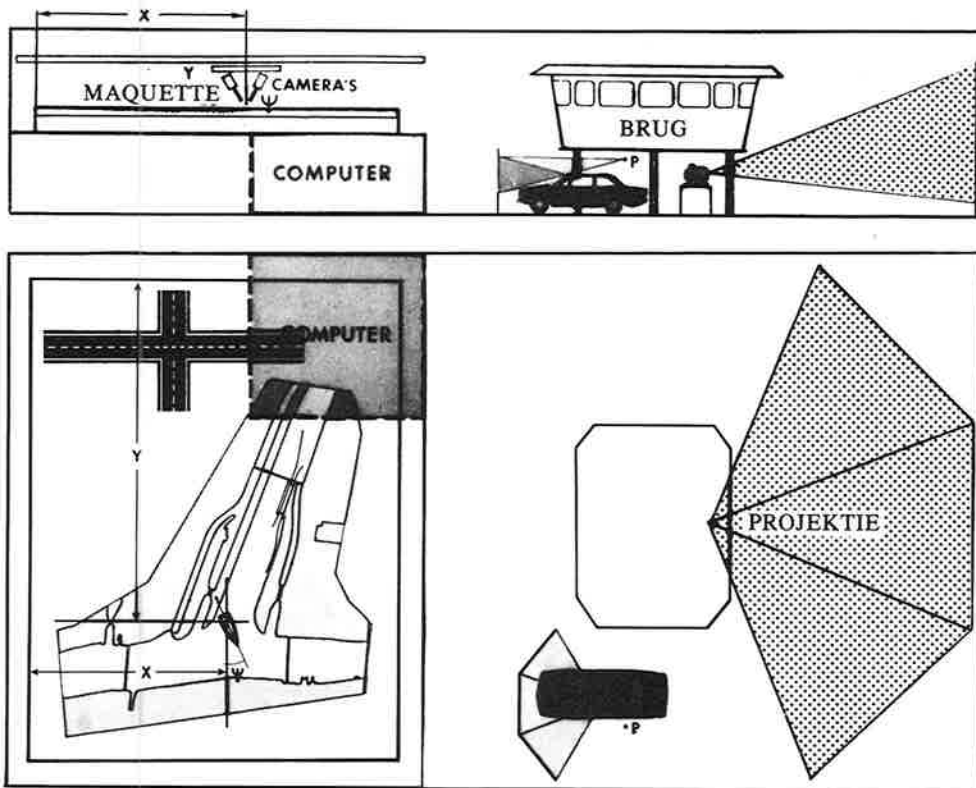


Fig. 2. Indeling van de simulatiehal. Rechts staan de beide mock-ups (brug/auto) waarin de proefpersoon het geprojecteerde TV beeld wordt aangeboden. Dit TV-beeld wordt links op de bovenverdieping opgenomen in een maquette van een waterweg, resp. autoweg. Links in de hal zijn op de begane grond de ruimten met de computers die o.a. de regeling verzorgen.

snelheidsregelende handelingen kunnen worden uitgevoerd. Deze regelende acties van de roerganger/bestuurder worden doorgegeven aan een hybride rekeninstallatie die het koersverloop van het schip/de auto berekent. Deze komputer is hiertoe voorzien van een mathematische beschrijving van de input/output relatie van het vaar-/voertuig. Via een complex van interfaces en aandrijfsystemen wordt de aldus berekende koers omgezet in een beweging van het TV-opname-element. Dit element beweegt zich door een maquette van een op schaal nabgebouwd vaarwater respectievelijk te berijden weggedeelte. Deze beweging komt tot stand via een vrij uitgebreid kamergeleidingsmechanisme, dat bewegingen toelaat volgens een viertal vrijheidsgraden: drie translaties en één rotatie (om de verticale as). Eventuele versturende aspecten die het koersverloop van het schip/de auto mede beïnvloeden, zoals stromingen, zijwind, etc., kunnen door de daartoe vereiste programme-

ring van de komputer aan het geheel worden toegevoegd.

Het T.V.-opname-element is zodanig uitgevoerd dat een beeld van 360° kan worden opgenomen. Vooralsnog wordt echter slechts gebruik gemaakt van een beeldhoek van 120°. Het in de maquette opgenomen beeld wordt vervolgens d.m.v. een aantal televisieprojectoren weergegeven op een scherm dat voor de mock-up is geplaatst. Hiermee is dus voldaan aan een van de belangrijkste eisen die aan een opstelling ten behoeve van dynamische simulatie moeten worden gesteld, nl. het aanbieden van een buitenbeeld op grond waarvan de proefpersoon zelf zijn koers- en snelheidsregelende handelingen kan uitvoeren (ongeprogrammeerd buitenbeeld). De in het bovenstaande omschreven en in figuur 1 geïllustreerde opstelling vormt op zich een gesloten systeem en is aldus analoog aan de in de werkelijkheid geldende regelende taak van de roerganger/bestuurder.

De simulator is opgesteld in een speciaal daartoe gebouwde hal. De indeling van deze hal is weergegeven in figuur 2. In deze figuur is te zien dat de hal ongeveer voor de helft gereserveerd is voor de mock-up van de scheepsbrug en de auto met de daarbij behorende projectiesystemen. De andere helft van de hal is verdeeld in twee etages.

Hiervan wordt de bovenste volledig in beslag genomen door de maquette-vloer (23 × 17 m) met het daarboven hangende kamergeleidingsmechanisme. De begane grond van dit deel van de hal wordt gedeeltelijk bezet door de kamers ten behoeve van de rekeninstallatie. Het resterend stuk van dit gedeelte van de begane grond is gereserveerd voor de bouw van mock-ups die gebruikt worden voor statische simulatie.

In de inleiding is gewezen op het belang van visuele informatie voor taken waarbij koers en snelheid moeten worden geregeld. Het genereren van een buitenbeeld door middel van een T.V. projectiesysteem en een maquette heeft als groot voordeel dat op systematische en controleerbare wijze variaties kunnen worden aangebracht in dit deel van de taakomgeving van de roerganger/bestuurder. De systematische studie van het vaar/rijgedrag als functie van het ontwerp van de omgeving kan door het aanbrengen van veranderingen in de maquette op vrij eenvoudige wijze worden gerealiseerd.

Binnen de mock-up kunnen een aantal andere taakomgevingsaspecten worden gevarieerd. Hierbij kan men denken aan ergonomische studies, die betrekking hebben op bijvoorbeeld de inrichting van de scheepsbrug, de vorm en de aard van navigatie-instrumenten, communicatiesystemen en alle noodzakelijke bedieningsmiddelen. De mock-up van de scheepsbrug is hiertoe vrij uitgebreid voorzien van mogelijkheden.

De voertuig mock-up is zo ingericht, dat een hoge mate van overeenstemming bestaat met de geïnstrumenteerde auto 'Icarus', waarmee sinds een aantal jaren veldexperimenten worden uitgevoerd. Ook voor de mathematische beschrijving van de input-output relatie van het voertuig is deze analogie doorgevoerd zodat in een serie valideringsexperimenten een vergelijkende studie tussen veld- en gesimuleerde condities mogelijk is. Als extra voorziening voor de voertuig mock-up is apparatuur aangebracht waarmee de tijdens het autorijden optredende stuurkrachten kunnen worden gsimuleerd. Aangezien hieraan een mathematische beschrijving van de dynamica van het stuursysteem ten grondslag ligt bieden ook manipulaties met het karakter van het stuursysteem mogelijkheden tot experimenten.

Een volgende in de inleiding gestelde eis was, dat bij simulatie van snelle systemen ook bewegingen moeten worden aangeboden. Er

is dus een installatie nodig voor de nabootsing van optredende versnellingen (vestibulaire informatie). Aan deze eis is in beide vormen van simulatie nog niet voldaan. Zowel de mock-up van de scheepsbrug als van de auto zijn van het zgn. 'fixed base' type. In het geval van de simulatie van de vrij trage scheepsbeweging is een uitbreiding op dit punt nauwelijks noodzakelijk. De verkeerssimulatie is echter door het ontbreken van de zgn. 'moving base' in z'n mogelijkheden beperkt in die zin, dat experimenten waarbij grote versnellingen optreden nog niet uitgevoerd kunnen worden. Afhankelijk van het onderzoekspakket zal deze verdere uitbouw wellicht in de toekomst worden verwezenlijkt. Ervaringen van buitenlandse laboratoria met de 'fixed base' opzet blijken echter te wijzen op een zeer breed gebied van toepassingen voor dit type simulator.

Fig. 4. Overzichtsfoto waarin o.a. het kamera-geleidingssysteem, de verlichting, de maquette en het TV opname-element te zien zijn.

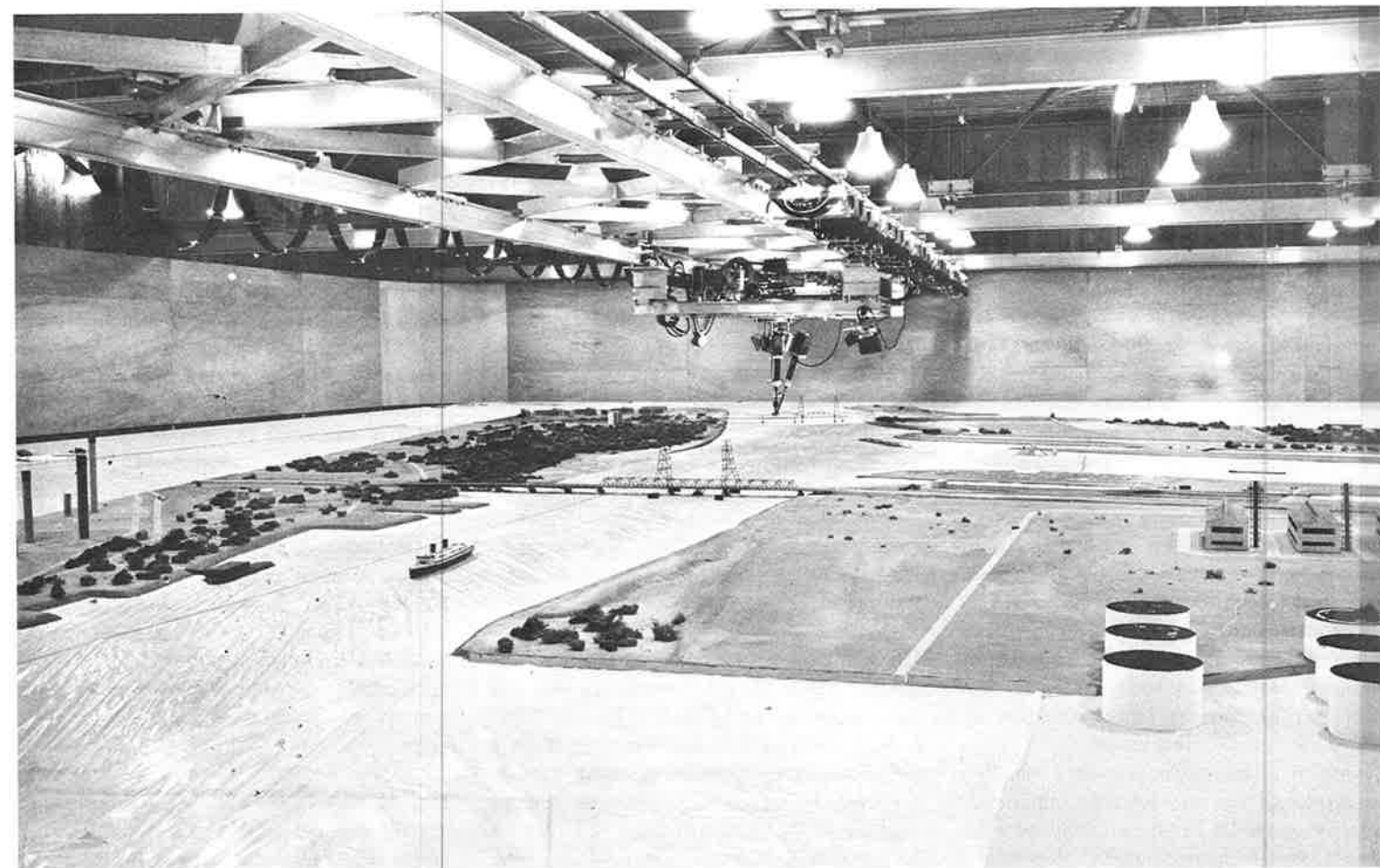
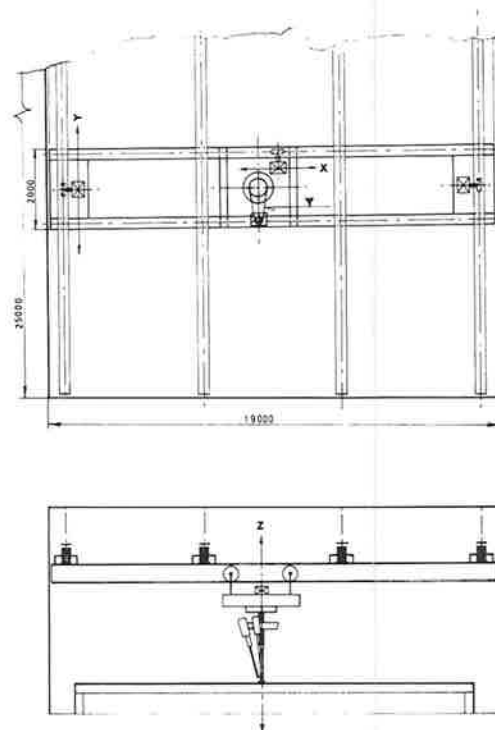


Fig. 3. Principe-tekening van het kamera-geleidingssysteem. Het TV opname-element kan met deze geleiding bewegen volgens een drietal translaties en een rotatie om de verticale as.



De totaal te simuleren informatieketen kan verder worden vervolmaakt door het aanbieden van auditieve informatie. De mock-up van de scheepsbrug zal hiertoe worden uitgevoerd met een installatie voor simulatie van VHF-radio en achtergrondgeluid van motoren, ventilatie e.d.

De opbouw en inrichting van de voertuig mock-up zal binnenkort worden afgesloten met de installatie van apparatuur t.b.v. simulatie van het geluid van de motor, wind etc. Tenslotte geldt dat apparatuur noodzakelijk is waarmee het uiteindelijke vaar- resp. rijgedrag kan worden geregistreerd en geanalyseerd. In het kader van dit artikel wordt volstaan met dienaangaande te vermelden dat bij het IZF-TNO voldoende potentieel aan recorders, verwerkende computerprogramma's etc. aanwezig is.

3. Een aantal systeemcomponenten nader beschouwd

In dit hoofdstuk worden de verschillende elementen van de simulatieketen welke in het vorige hoofdstuk in hun samenhang zijn besproken stuk voor stuk nader toegelicht.

I. De mock-up

De inrichting van de mock-up van de navigatiebrug is op een flexibele wijze uitgevoerd. De indeling kan op eenvoudige wijze van b.v. een koopvaardijship in een binnenvaart-ship worden omgebouwd. De proefpersonen beschikken over een volledige set van koers- en snelheidsregelende bedieningsmiddelen, waarbij directe bediening van machines mogelijk is. Vanzelfsprekend kunnen roer- en/of telegraaforders worden gegeven. Daarnaast zijn echter mogelijkheden om een automatische piloot en verschillende typen van voorspellende displays toe te passen. De radarsimulator voor de navigatie is van het type 'flying spot scanner', waarbij een negatief wordt 'gescanned' met een x en y sturing.

Het is tevens mogelijk om het ruwe radarbeeld te combineren met een digitaal beeld, zodat ook navigeren met een 'collision avoidance' radarsysteem mogelijk is.

De mock-up van de auto is zoals eerder vermeld zoveel mogelijk analoog gemaakt aan de geïnstumenteerde auto waarmee veldexperimenten worden gedaan. Deze analogie geldt voor de volledige inrichting van de mock-up inclusief het stuurwiel en de snelheidsregelende bedieningsmiddelen. De meeste handelingen van de bestuurder worden gemeten met potentiometers (o.a. stuur, gaspedaal). Aan de stuuras is via een tandriemoverbrenging een elektro(torsie) motor gekoppeld. Deze motor kan, m.b.v. sturing vanuit de computer, de tijdens het rijden op het stuur werkende krachten generen. Bovendien zal op korte termijn de stuuras worden voorzien van een set rekstrookjes waarmee de door de proefpersonen uitgeoefende stuurkracht kan worden gemeten.

De voorziening voor de simulatie van stuurkrachten in de voertuig mock-up werd mede mogelijk gemaakt door een bijdrage van de Nijverheidsorganisatie TNO en werd uitgevoerd in het kader van een samenwerkingsverband met het Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO.

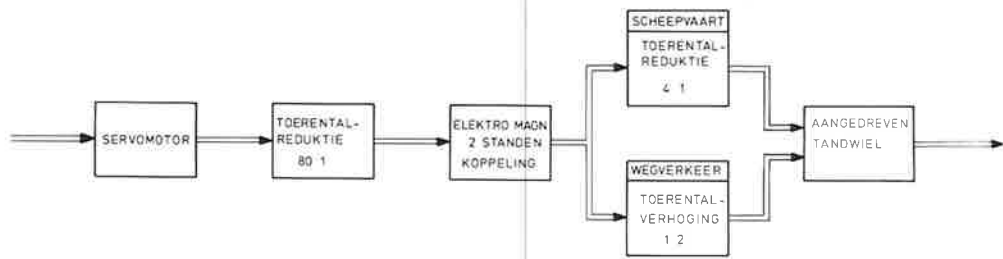


Fig. 5. Blokschema van de aandrijfunits van de x- en y-beweging. Via een koppeling kan geschakeld worden tussen een grote vertraging (voor de scheepssimulatie) en een kleine vertraging (voertuigssimulatie).

II. Geleiding en aandrijving van het TV opname-element

Het TV opname-element wordt langs een geleidingssysteem boven de maquettevloer verplaatst (zie figuur 3 en 4). De afmetingen van het te bestrijken oppervlak bedragen ongeveer 23×17 m. In de lengterichting (y) van de maquettevloer zijn aan de dakspanten vier aluminium I-profielen opgehangen met een lengte van 25 m en een onderlinge afstand van ruim zes meter. Lans deze 'rails' rijdt een wagen met de afmetingen 2×19 m. Ook deze wagen is opgebouwd uit de genoemde profielen die fungeren als geleiding voor een kleinere wagen (2×2 m) die zich op zijn beurt kan bewegen langs de grote wagen (x). Met beide wagens kan dus het volledige vloeroppervlak worden bereikt.

Aan de kleine wagen is het TV opname-element opgehangen. Deze ophanging is zodanig uitgevoerd dat het element binnen de kleine wagen rotaties om de verticale as (ψ) en verticale bewegingen (z) kan uitvoeren. Het ontwerp van deze z, ψ ophanging is van het IWECO-TNO.

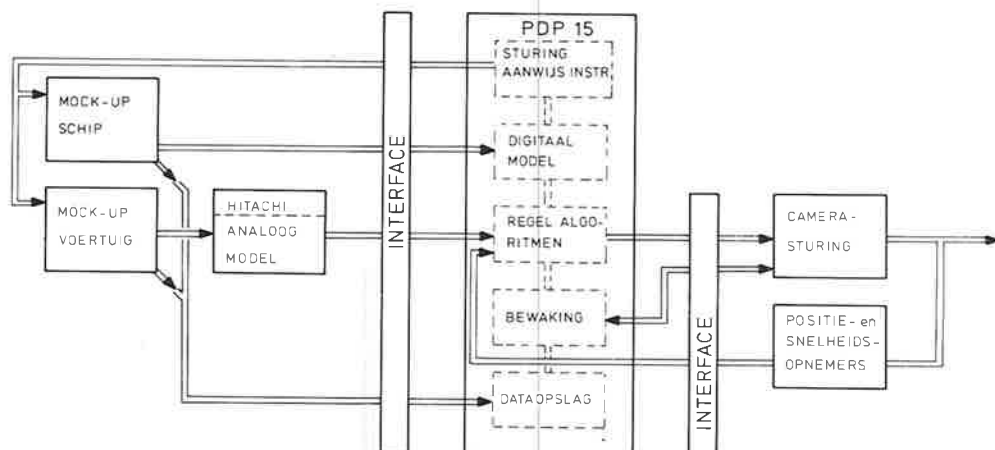
De bewegingen in x, y en ψ richting vinden plaats met behulp van een aantal speciaal voor dit doel ontwikkelde aandrijfeenheden. Deze bestaan uit een servomotor met een vertragingkast. Vanwege het snelheidsverschil tussen de scheeps- en voertuigssimulatie is deze vertraging voorzien van een elektro-

magnetische twee-standen-koppeling die het mogelijk maakt te schakelen tussen een grote vertraging (scheepssimulatie) en een kleine vertraging (voertuigssimulatie). De aandrijvingsunit welke gebruikt wordt voor de x en y beweging is schematisch weergegeven in figuur 5.

De grote wagen welke in y-richting kan bewegen wordt aangedreven door twee van de omschreven units (zie ook figuur 3). Deze zijn aan de uiteinden van de wagen geplaatst dat wil zeggen op een onderlinge afstand van 19 m. De kleine wagen (x) en de rotatie (ψ) worden ieder aangedreven door één aandrijfsysteem. De x- en y-translaties worden uitgevoerd volgens het principe tandwiel-tandheugel.

De verticale beweging (z) vindt plaats met een wormoverbrenging (20:1). Deze aandrijving wordt voorlopig slechts gebruikt om de afstand tussen het TV opname-element en de

Fig. 6. Schematische weergave van de computerconfiguratie. Centraal hierin staan een digitale computer PDP 15/40 en een analoge computer Hitachi 240. De diverse functies zijn in het blokschema aangegeven.



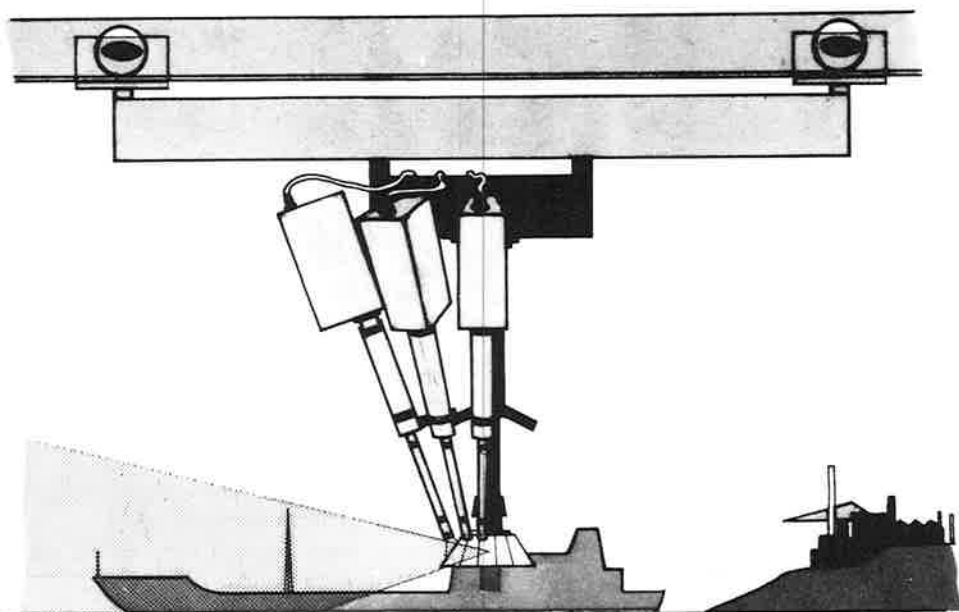


Fig. 7. Het TV opname-element in gebruik bij de scheepssimulatie.

maquette konstant te houden. Een over de maquettevloer glijdende meetstift bedient hiertoe een inductieve verplaatsingsopnemer, welke een signaal naar de rekeninstallatie zendt. Bij afwijkingen van de ideale 'ooghoogte' boven de maquettevloer wordt de servomotor van de verticale beweging bijgestuurd.

III. De rol van de hybride rekeninstallatie

De hybride rekeninstallatie bestaat uit een digitale computer, een PDP-15/40 van DEC met 32 K kerngeheugen met een woordlengte van 18 bit in combinatie met een analoge machine, een Hitachi-240. Tevens is uitgebreide randapparatuur aanwezig.

De taak van de rekeninstallatie is in een vijftal onderdelen te splitsen (zie ook figuur 6):

a) Het doorrekenen van een mathematisch model van het schip of de auto. De akties van de proefpersoon in de mock-up worden toegevoerd aan een stelsel bewegingsvergelijkingen die het gedrag van het schip/voertuig beschrijven in termen van translaties en rotaties. De analoge computer bevat de bewegingsvergelijkingen van het voertuig (analoog model), terwijl de bewegingsvergelijkingen van het veel langzamere schip door de digitale computer kunnen worden berekend (digitaal model). Met deze opzet kunnen ook ge-

makkelijk een aantal verstorende condities worden ingebracht, zoals bijv. stroming, zijwind, etc.

b) Het doorrekenen van een aantal regelalgoritmes voor de sturing van de servomotoren voor de x, y, z en ψ -beweging. Hiervoor worden de gewenste posities en snelheden van het schip/voertuig in de digitale computer vertaald in posities en snelheden van het TV opname-element in de maquette. De regelingen van de servomotoren zijn in software uitgevoerd teneinde een flexibele opbouw van het systeem mogelijk te maken. De cyclustijd

(herhalingstijd van de berekeningen in de digitale computer) bedraagt momenteel minimaal 40 msec.

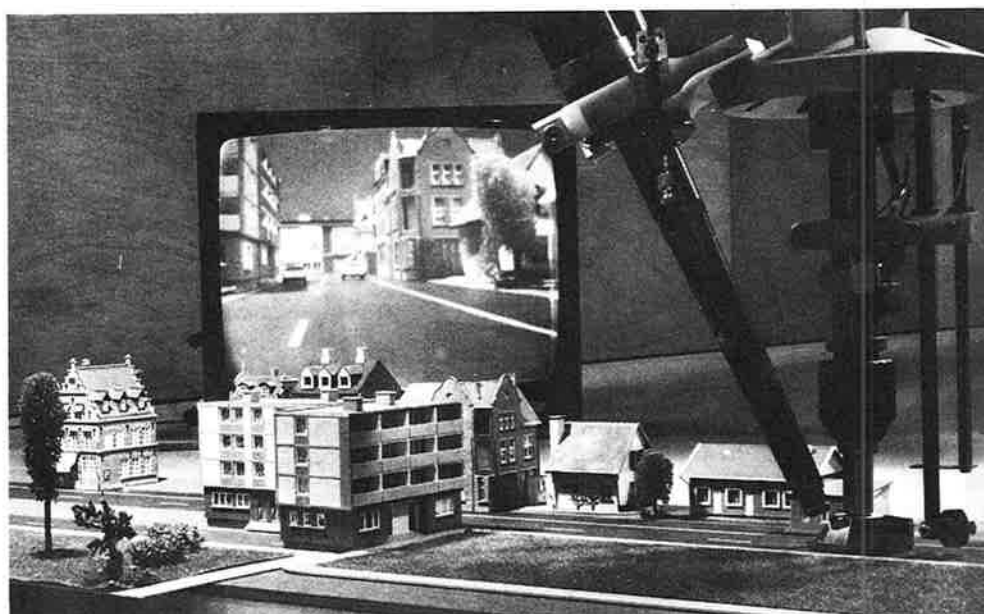
De posities en snelheden in de maquette worden digitaal gemeten met behulp van incrementele kodeschijven (pulsgevers). Deze zijn gemonteerd op aparte meetwielen. De signalen worden via een interface-kast teruggekoppeld naar de computer en daar vergeleken met de gewenste signalen.

Voor de z-richting wordt gebruik gemaakt van een over de maquettevloer glijdende meetstift met een inductieve verplaatsingsopnemer. Het gemeten signaal wordt ook hierbij teruggekoppeld naar de computer welke bij afwijkingen van een ingestelde 'ooghoogte' bijstuurt.

De meetnauwkeurigheid voor de x en y beweging hangt af van de diameter van het meetwiel en bedraagt nu 0,2 mm. De meting van de z-beweging vindt plaats met een resolutie van 0,05 mm. Voor de rotatiebeweging (ψ) geldt een meetnauwkeurigheid van 6 bgmin. De uiteindelijke *regelnaauwkeurigheid* zal voor de verschillende vrijheidsgraden van dezelfde orde van grootte dienen te zijn.

c) Het bewaken van het gehele systeem.

Fig. 8. Het TV opname-element in de verkeerssimulatie. De TV monitor toont het opgenomen beeld.



Hiervoor zijn een aantal schakelaars gemonteerd die, indien het TV opname element buiten het ingestelde werkgebied komt, via een eigen ingang van de computer een interrupt veroorzaken in het besturingsprogramma en daarmee het systeem stopzetten. Daarnaast zorgt een stootkontakt op de plaats van het opname-element voor stilstand indien een voorwerp in de maquette wordt geraakt.

- d) Het berekenen en doorgeven van informatie aan de proefpersoon in de mock-up via aanwijsinstrumenten en mogelijke andere mock-up componenten. Hiervan is onder I reeds een beschrijving gegeven.
- e) Het verzamelen en opslaan van data van het experiment op disk of magneetband voor een latere off-line verwerking.

IV. Het TV opname- en weergavesysteem

Het TV opname-element dat reeds in eerdere paragrafen aan de orde is gekomen is in figuur 7 weergegeven. Het is in deze vorm ontworpen door het IWECO-TNO. Het geheel bestaat uit een centrale houder waaraan een negental opnamesystemen bevestigd kan worden. Elk opnamesysteem bestaat uit een TV camera (zwart-wit) welke gekoppeld is aan een endoscope. De endoscope is een door de Technisch Fysische Dienst TNO-TH

Fig. 10. Buitenbeeld, zoals gezien vanuit de mock-up van de auto (test fase).

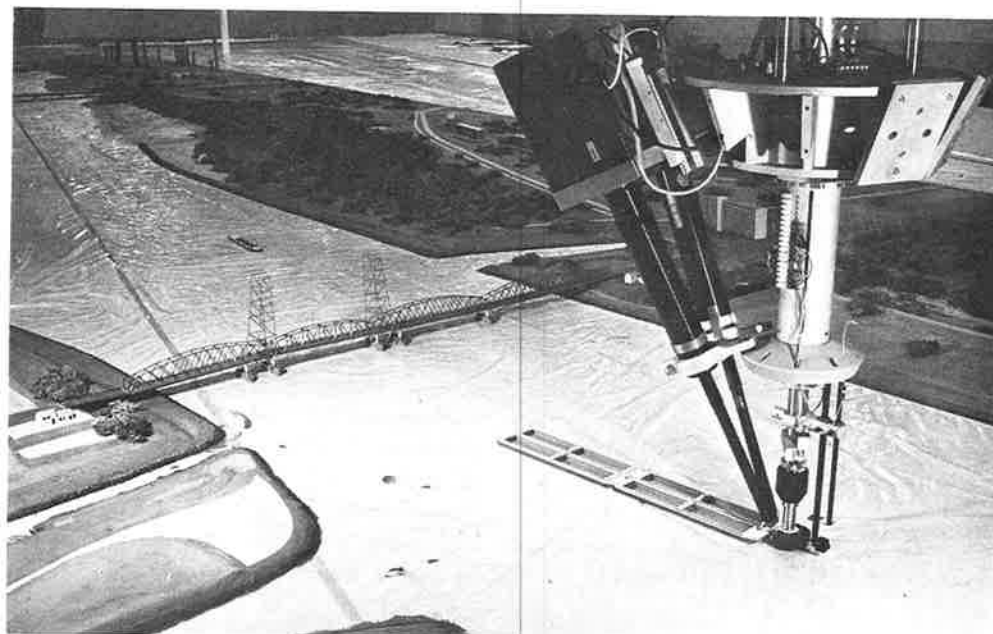
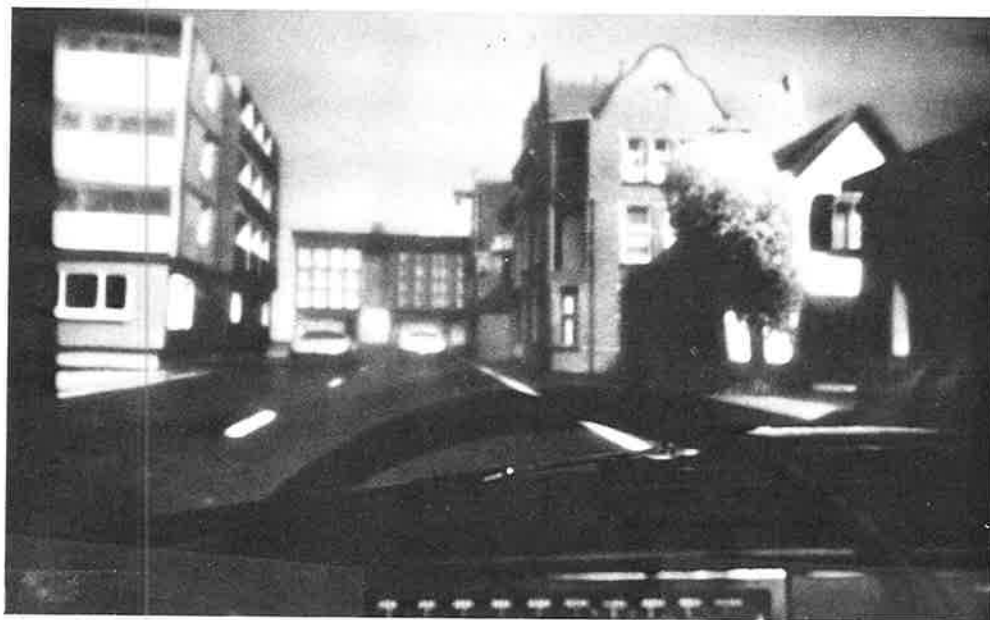


Fig. 9. Een deel van de maquette t.b.v. de scheepssimulatie. De foto werd genomen in de testfase toen de vloer van de maquette gedeeltelijk nog beschermd was door een laag plastic.

ontwikkeld optisch afbeeldingssysteem, waarmee het mogelijk is om op ooghoogte in een maquette te kijken. De combinatie camera-endoscope kijkt via een facet van een spiegelblok in de maquette. Het spiegelblok is voorzien van negen van deze facetten. Het geheel van camera, endoscope en spiegelfacet zorgt voor een opgenomen beeld met een horizontale beeldhoek van 40° . Tot heden worden drie facetten, drie camera's en drie endoscopen gebruikt welke samen een horizontale beeldhoek van 120° verzorgen. De spiegel vormt in de simulatie in feite het oog van de roerganger/bestuurder en dient daartoe op de korrekte 'ooghoogte' boven de

maquettevloer te hangen. In figuur 8 is te zien dat deze afstand bij de verkeerssimulatie slechts een paar mm bedraagt. Tevens toont figuur 8 dat het niet gebruikte deel van het spiegelblok voorlopig beschermd is met een kooi.

Het spiegelblok is uitwisselbaar. Van deze mogelijkheid wordt gebruik gemaakt bij verandering van het type simulatie. De scheepvaartssimulatie maakt gebruik van een spiegelblok dat een verticale beeldhoekverdeling geeft van 10° boven de horizon en 20° daaronder, terwijl in de verkeerssimulatie een spiegelblok toegepast wordt waarmee een verdeling wordt bereikt van 18° boven de horizon en 12° eronder. De in deze opstelling toegepaste camera is de Philips LDH51, 625 lijnen, opnamebuis met halfgeleidertrefplaat. Deze camera is erg roodgevoelig; de verlichting van de maquette is ten behoeve van een hoog rendement hierop afgestemd. Gewerkt wordt met eenvoudige gloeilampen die een verlichtingssterkte van 1000 lux op de maquette geven. Tevens is het hiermee vrij eenvoudig om lichtenlijnen met miniaturgloeilampen na te bootsen.

De toegepaste endoscopen vormen een optisch afbeeldingssysteem met een zeer grote dieptescherpte vanaf 2 cm tot oneindig. De beeldhoek van dit systeem is 40° en de

resolutie is op de slechtste plaats in het beeld beter dan 7 bgmin. Gewerkt wordt met een diafragmaopening $f = 25$.

Het door de kamera's opgenomen buitenbeeld wordt geprojecteerd met een drietal projektoren. De toegepaste projektoren zijn van Kalart, type Telebeam. Dit apparaat bestaat uit een hoge-intensiteit projectiebuis, waarvan het beeld door middel van een Schmidt-optiek geprojecteerd wordt. Het oplossend vermogen van het gehele opname- en weergavesysteem is beter dan 10 bgmin.

V. De maquette

De maquettevloer is geplaatst op vizels wat enerzijds nastelmogelijkheden biedt en an-

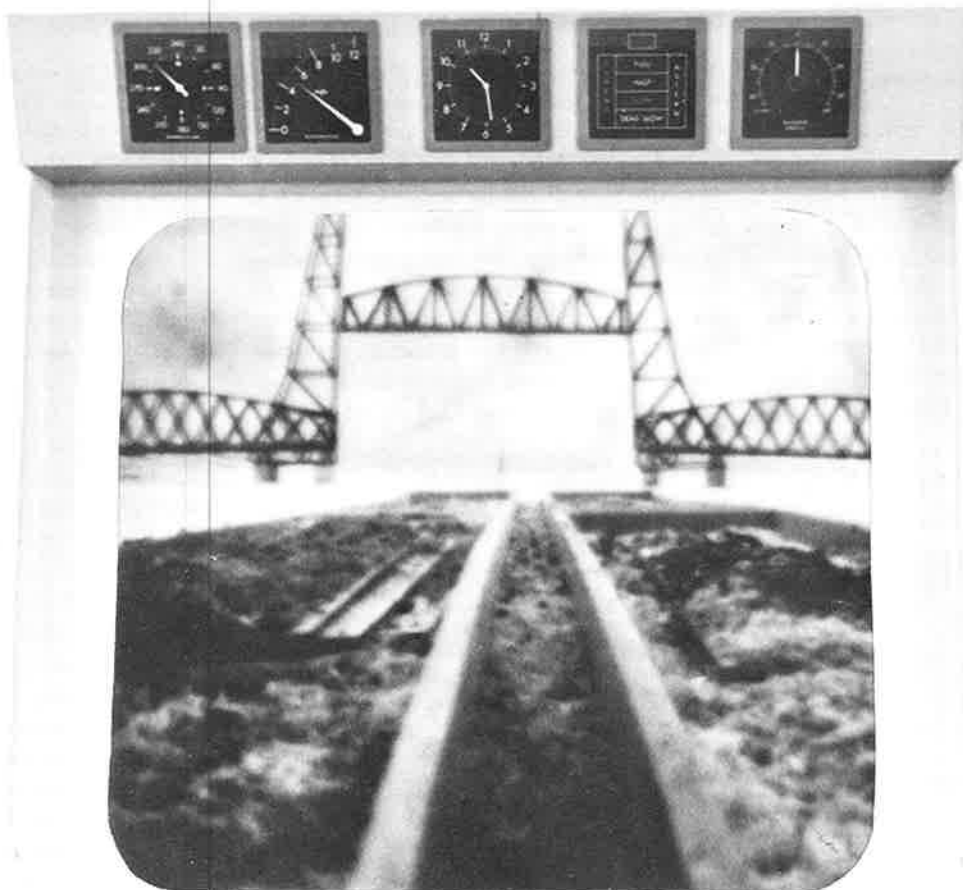
Fig. 11. Buitenbeeld, zoals gezien vanuit de mock-up van de scheepsbrug (test fase).

derzijds toestaat dat werkzaamheden onder de maquette uitgevoerd worden. Hierbij kan bijv. gedacht worden aan de bekabeling van specifieke maquetteonderdelen, zoals verlichting. Het maken van de maquette is vrijwel volledig handwerk. Kaarten en foto's van de na te bootsen situatie leveren daarvoor de gegevens.

De maquette voor de scheepvaartsimulatie wordt qua vormgeving getoond in figuren 2, 4 en 9. Op schaal 1:250 is de scheepvaartverbinding Oude Maas-Hartelkanaal nabgebouwd. Deze maquette is vervaardigd op verzoek van Rijkswaterstaat, Directie Beneden-rivieren en houdt verband met een onderzoek dat uitgevoerd zal worden naar de capaciteitsvergroting van deze scheepvaartverbinding. Hierbij wordt een duwvaarteenheden als scheepsmodel gebruikt.

De kleuren van de maquette worden gekozen in afhankelijkheid van de eigenschappen van het TV opname-systeem. De maquettevloer is belegd met schuimvinyl bekleding welke door zijn structuur in het TV systeem een goede gelijkenis vertoont met een vaarwateroppervlak. De glooiingen en dijkprofielen zijn gemaakt van houtbeton (een mengsel van zaagsel, magnesiumpoeder en magnesiumchloride). Dit materiaal heeft als voordeel dat het langzaam hardt waardoor het enige dagen goed bewerkbaar blijft. De vlakke stukken van de maquette zijn van hout en kunststof.

De maquette voor de verkeerssimulatie is thans in het einde van een testfasé. Hierbij werd gebruik gemaakt van een stuk rechte weg van vier meter lengte met schaal 1:87,5. I.v.m. een aantal onderzoeken wordt er naar



gestreefd in het najaar van 1975 de beschikking te hebben over een kruispunt, een stuk rechte weg van 20 m en een aantal gebogen weggedeelten.

Vanwege een gemakkelijk gebruik van op de markt zijnde maquette-elementen zoals huizen, verkeersborden etc. zal ook deze maquette waarschijnlijk uitgevoerd moeten worden op schaal 1:87,5.

Zowel voor de scheepvaart – als de verkeerssimulatie is de ontwikkeling van apparatuur voor het besturen van zgn. 'ander verkeer' door de maquette nog in een beginfase.

4. Slotbeschouwing

De ontwikkeling van de omschreven simulatie-opstelling bevindt zich thans in het laatste stadium. Enige resultaten uit de testfase staan weergegeven in figuren 10 en 11. Deze figuren geven een indruk van het aan de proefpersoon aangeboden buitenbeeld vanuit de maquette en sluiten ongeveer aan bij figuren 8 en 9. In de testfase was de beeldhoek nog slechts 40°.

Het ligt in de bedoeling dat de simulator in het najaar van 1975 operationeel wordt. Het vervolgens met de opstelling uit te voeren onderzoek zal zich ten aanzien van de *scheepssimulatie* op de volgende punten gaan richten:

- voor de Koninklijke Marine zijn, in vervolg op een ergonomische studie met statische simulatie in mock-ups van de navigatiebrug van de standaardfregatten, experimenten in voorbereiding waarin de resultaten van deze studie getest kunnen worden onder dynamische omstandigheden.
- op gelijke wijze zal eveneens het statisch simulatie-onderzoek betreffende de navigatiebrug van Nederlandse koopvaardij-schepen getest worden in dynamische omstandigheden.
- vervolgens zal een belijningsonderzoek worden uitgevoerd in de eerder genoemde maquette Oude Maas-Hartelkanaal. Het doel hiervan is na te gaan of de belijning van de Hartelmond (figuur 4), zoals die is gevolgd uit het hydraulisch modelonderzoek wellicht aanleiding geeft tot onduidelijkheden of verwarrende situaties voor het scheepvaartverkeer. De vaarprocessen zullen uitgevoerd worden met duwvaarteenheden.

Tabel II. Overzicht van de verschillen en overeenkomsten tussen de voor simulatie van scheepvaart en wegverkeer vereiste apparatuur.

Verskil	Overeenkomst
Mock-up Maquette Omschakelbare aandrijving Spiegel bij TV opname Projektiescherm	Kamera's Endoscopen TV projektoren Kamera geleidingssysteem Komputer en regeling Gebouw

Verder zullen studies worden uitgevoerd betreffende:

- fysiologische en psychologische variabelen die een rol spelen bij het manoeuvreren.
- apparatuur die het manoeuvreren kan vergemakkelijken: 'quicken displays', koerspredictoren etc., en de wijze waarop

de informatie van deze apparatuur het beste kan worden aangeboden.

- standaard-manoeuvres voor het vermijden van aanvaringen, ankeren, meren en ontmeren, dokken etc.
- 'collision avoidance' radarsystemen e.d.

In het kader van het *verkeersonderzoek* staan o.a. de volgende studies op het programma:

- in de eerste plaats zal een serie valideringsexperimenten worden uitgevoerd op rechte en gebogen weggedeelten. Hierin zal het rijgedrag in de simulator vergeleken worden met resultaten van ten dele reeds uitgevoerde veldstudies met de geïnstrumenteerde auto Icarus. De experimenten op gebogen weggedeelten zullen o.a. inzicht moeten geven in de aard en grootte van de reeds eerder genoemde beperking van de simulator door het ontbreken van een 'moving base' systeem.
- een experiment is in voorbereiding waarin beschouwd zal worden hoe de perceptie van dwarsverkeer in de nachtelijke situatie plaatsvindt bij nadering van een kruispunt.
- studies zullen worden uitgevoerd waarbij

geanalyseerd zal worden hoe en onder welke condities sekundaire (niet-visuele) informatiebronnen een rol spelen bij het besturen van een auto. Het eerste aspect dat in deze studie aan de orde zal komen is een optimalisering van het karakter van het stuursysteem in termen van positie- en krachtinformatie bij het rijden onder meer extreme omstandigheden (zijwind, slecht zicht).

- onderzoek zal worden uitgevoerd waarbij nader geanalyseerd zal worden welke criteria bij de beoordeling van rijgedrag dienen te worden gehanteerd.

De besproken simulator maakt gebruik van geavanceerde, ook elders toegepaste technieken. Het geheel is uniek in die zin dat het instrument zodanig uitgevoerd is dat er zowel scheepvaart als wegverkeer mee gesimuleerd kan worden. Tabel II geeft enerzijds een overzicht van de punten waarop de simulatie van deze twee systemen niet parallel loopt, terwijl anderzijds wordt aangegeven welke componenten in de beide vormen van simulatie identiek zijn en dus slechts enkelvoudig uitgevoerd dienden te worden.

□ Kopij ontvangen: augustus 1975

J. VAN DUYN

De mikroprocessor;

Vierde fase in een zich sinds 20 jaar gedurig veranderende elektronische componentenindustrie

Sinds twintig jaar wordt de elektronische componentenindustrie gekenmerkt door een voortdurende technologische vooruitgang. De belangrijkste aspecten hiervan zijn:

- grote levensduur van de componenten gekombineerd met lage kostprijs
- een steeds verdergaande volumeverkleining van bekende basiscircuits.

De in 1971 voor het eerst beschikbaar gekomen mikroprocessor kan in deze ontwikkeling als een vierde fase worden gezien. Iedere nieuwe fase betekende een snelle toename van de toepasbaarheid en een verdere vermindering van de omvang van elektronische installaties.

De computerindustrie heeft hiervan duidelijk geprofiteerd. De hierbij gehanteerde uitgangspunten voor het ontwerpen zijn echter ook op andere gebieden mogelijk geworden en toegepast. Naast grote en minicomputers is nu een zeer geringe en goedkope computerorganisatie met een mikroprocessor verkrijgbaar, die nieuwe toepassingen voor automatisering mogelijk maakt. Het toekennen van de naam mikrocomputer aan een installatie waarin een mikroprocessor is verwerkt is wel begrijpelijk. Toch is deze benaming alleen korrekt wanneer ook de capaciteit van deze installatie duidelijk kleiner is dan die van de bestaande reeks minicomputers. In de moderne mikroprocessors zijn namelijk vaak nu reeds eigenschappen beschikbaar die de eigenschappen van gevestigde computerinstallaties, zeker de minicomputers, overtreffen.

In dit artikel worden enkele aspecten van deze twintigjarige ontwikkeling nader toegelicht.

Inleiding

Pas ongeveer twintig jaar geleden ging men er op bescheiden schaal toe over in elektronische schakelingen andere halfgeleiderelementen toe te passen dan de toen reeds bekende gelijkrichtcellen. Zeker in dit eerste begin was het vervangen van de welbekende elektronenbuis door een actief element van andere konstruktie nog wel een punt van diskussie. Immers, het hoofrekwent gedrag van de eerste transistoren alsmede het per element te schakelen vermogen was zeker inferieur aan de eigenschappen van de ver geëvolueerde elektronenbuis.

Als positieve punten stonden hier tegenover de lage bedrijfsspanning en energiedissipatie, gekombineerd met de mogelijkheid kompakt te bouwen. Hierdoor werd het eigenlijk voor het eerst goed mogelijk een draagbaar, eventueel door batterijen gevoed apparaat van

enige omvang te bouwen.

Een veel belangrijker aspect was echter dat van transistoren geen aanzienlijk verval van eigenschappen was te verwachten. Deze onvoorspelbaar lange levensduur stelde de ontwerper voor het eerst in de gelegenheid gekompliceerde instrumenten en installaties te verwezenlijken. Bij toepassing van elektronenbuizen zouden deze namelijk zeer veel al of niet preventief en kostbaar onderhoud vergen, nog afgezien van de beperking van de nuttige arbeidstijd tengevolge van storingen. Naast de enorme omvang en kosten waren het vooral deze aspecten die bijvoorbeeld de toepasbaarheid van een eerste generatie computers uitgevoerd met elektronenbuizen hebben beperkt.

Transistoren: de eerste fase

De overgang van elektronenbuizen op



Ir J. van Duijn werd in 1932 te Delft geboren. Na de studie natuurkundig ingenieur (1956; Technische Hogeschool te Delft) was hij tot 1967 medewerker van de instrumentatie-afdeling van het centrale laboratorium van het Koninklijke Shell laboratorium te Amsterdam. Sindsdien is hij werkzaam op het Unilever Research Laboratorium te Vlaardingen. In de groep 'Engineering and Instrumentation' is hij belast met de leiding van de sectie Instrumentatie. In deze sectie wordt voornamelijk aandacht besteed aan de ontwikkeling van meetsystemen en procedures, die al dan niet gekoppeld zijn aan computers.

transistoren heeft slechts een beperkt aantal jaren in beslag genomen. Hiermede was het stadium van de zogenaamde 'solid-state elektronika' een feit. Op korte termijn bleek men in staat goedkope transistoren te produceren, die de specificaties van elektronenbuizen steeds meer benaderden of, bijvoorbeeld wat betreft het ruisgedrag, gingen overtreffen. Op deze wijze werd voor het merendeel van de industriële en instrumentele toepassingen de lacune hoge frekwenties/hoge vermogens snel opgevuld.

Daarnaast had men de eigenschappen van deze elementen beter weten te gebruiken, waarvoor een wat andere opzet van de schakelingen ten opzichte van de opzet met elektronenbuizen nodig was. Montagetechnieken zoals bijvoorbeeld gedrukte bedrading kwamen beschikbaar, waardoor ook de kompakte bouwwijze gemakkelijk kon wor-