

IZF 1991 B-5

J.E. Korteling

**VISUELE INFORMATIE IN RIJSIMULA-
TOREN; LITERATUURSTUDIE EN
ONDERZOEKSVORSTEL**

Aantal bladzijden: 33

INHOUD

	Blz.
SAMENVATTING	5
SUMMARY	6
1 INLEIDING	7
2 VISUELE INFORMATIE EN TRAINING VAN DE RIJTAAK	7
2.1 Visuele cues	7
2.2 Training van de rijtaak	10
3 KENNISINVENTARISATIE	11
3.1 Minimumeisen	11
3.2 Beeldinhoud	13
3.3 Beeldhoek	16
3.4 Beeldkwaliteit	18
4 THEORETISCHE PRINCIPES	21
4.1 De focale en de ambiënte waarnemingsmodaliteit	22
4.2 De computationele en de ecologische benadering	24
5 CONCLUSIES	25
6 ONDERZOEKSVOORSTEL	26
6.1 Effecten van beeldkenmerken	26
6.2 Cue dominantie hiërarchie	27
6.3 Onderzoeksmethoden	28
6.4 Tijdsplan	28
REFERENTIES	30

Visuele informatie in rijssimulators; literatuurstudie en onderzoeksvoorstel

J.E. Korteling

SAMENVATTING

Bij de KL bestaat er een toenemende behoefte aan advies met betrekking tot de inzet en effectiviteit van rijssimulators voor de opleiding van chauffeurs. Bij dit advieswerk blijft altijd een aantal vragen open omdat relevante kennis eenvoudigweg ontbreekt. Daarom is innovatief-toegepast onderzoek nodig, gericht op beantwoording van deze vragen. In verband hiermee wordt in dit rapport de kennis geïnteriseerd inzake de visuele informatiepresentatie bij trainingssimulators voor wiel- en rupsvoertuigen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt met betrekking tot beeldinhoud, beeldhoek en beeldkwaliteit (elementaire fysische kenmerken). Op grond van deze inventarisatie worden de volgende leemten aangegeven:

- Met betrekking tot beeldinhoud ontbreekt kennis omtrent de effecten op de taakuitvoering van detaillering, verdeling en positionering van visuele elementen en van textuur.
- Het effect van beeldhoek-grootte op een aantal onderdelen van de rijtaak is nog niet goed bekend.
- Met betrekking tot beeldkwaliteit lijkt het zinvol meer te weten te komen over de effecten van misleidende diepte-informatie (door collimatie), beeldvertraging (bijwerk-, transporttijd e.d.), en resolutie.
- Mogelijk is het belang van focale waarneming, en daarmee beeldkwaliteit, voor basale onderdelen van de rijtaak beperkt. Dit zou nader onderzocht moeten worden.

Globaal komt het erop neer dat meer inzicht nodig is in de bijdrage van specifieke visuele cues voor de verschillende taakonderdelen en hoe visuele informatie zodanig moet worden gepresenteerd dat belangrijke cues optimaal naar voren komen. Voor beantwoording van dergelijke vragen wordt een aantal richtingen voor nader onderzoek aangegeven. Op basis van de resultaten hiervan kunnen duidelijke minimum-eisen voor simulators worden geformuleerd, waardoor geld bespaard kan worden op de aankoop van overtollige (en vaak dure) opties.

Visual information in driving simulators; literature survey and research proposal

J.E. Korteling

SUMMARY

The Netherlands Royal Army has an increasing need for advice concerning the utilization and effectiveness of driving simulators for the training of drivers. However, during this work always a number of questions remain open because the relevant knowledge simply is lacking. Therefore innovative and applied research is necessary, directed at answering these unanswered questions. The present report reviews the knowledge concerning visual information presentation for training simulators for normal and tracked vehicles. On this subject, image content, field of view, and image quality (basic physical characteristics) are discriminated. Based on this review the following gaps are identified.

- With reference to image content, knowledge is lacking about the effects on task performance of detail, information distribution, positioning and texture.
- The minimally required field of view for the training of basic elements of the driving task is unknown.
- With regard to image quality, it seems meaningful to acquire more knowledge concerning the effects of deceiving depth information (caused by collimation), delay and resolution on task performance.
- The focal visual modality, together with image quality, may be of limited importance for performance on elementary parts of the driving task. This idea should be further explored.

In general, the value of different visual cues for different subtasks should be known and more understanding is needed about the way in which visual information has to be presented, such that important cues clearly emerge. In order to answer these kind of questions, directions for further research are indicated. Based on the experimental results, minimum requirements for driving simulators may be formulated, which may save expenses for the purchase of redundant (and often expensive) options.

1 INLEIDING

Het werk dat in opdracht van de KL door het IZF op het gebied van rijssimulatoren voor training wordt uitgevoerd heeft onlangs in omvang een forse groei doorgemaakt. Thans bestaat het betreffende opdrachtenpakket van de afdeling Verkeersgedrag volledig uit praktische bijstand en resultaatgericht advies. Om dit advieswerk op voldoende niveau te kunnen blijven uitvoeren moet de aanwezige kennis worden gehandhaafd, c.q. uitgebreid. Daarvoor is onderzoek nodig gericht op het beantwoorden van vragen die bij het advieswerk naar boven komen en door leemten in de wetenschappelijke kennis niet goed kunnen worden beantwoord. Actuele en openliggende vragen betreffen vooral de eisen die gesteld moeten worden aan de aard en vormgeving van visuele informatie die wordt verschaft door computer gegenereerde beelden (CGI) bij de laatste generaties van trainingssimulatoren voor wiel- en rupsvoertuigen. Duidelijkheid hieromtrent zal kostenbesparend werken omdat niet noodzakelijke opties vermeden kunnen worden en beter rekening gehouden kan worden met de mogelijkheden en beperkingen van bestaande trainingssimulatoren. Daarom is kennisontwikkeling nodig door middel van toepassingsgericht experimenteel onderzoek. Het is niet de bedoeling dat het lopend advieswerk hierdoor wordt vertraagd. Om een goede spin-off te bewerkstelligen lopen advisering en experimenteel onderzoek parallel. Het onderhavige rapport vormt een voorstel voor innovatief-toegepast onderzoek, gericht op beantwoording van vragen die bij het advieswerk open zijn gebleven.

2 VISUELE INFORMATIE EN TRAINING VAN DE RIJTAAK

2.1 Visuele cues

Beperkingen in de visuele informatiepresentatie via het beeldsysteem vormt waarschijnlijk een van de belangrijkste struikelblokken voor een hoge validiteit en trainingseffectiviteit van rijssimulatoren. Validiteit kan operationeel gedefinieerd worden als de mate waarin een simulator hetzelfde gedrag uitlokt als in werkelijkheid onder gelijksoortige condities (Korteling & Van Randwijk, 1991). Trainingseffectiviteit heeft betrekking op besparing in benodigde training op het operationele systeem ten gevolge van training op een simulator, waarbij ook de hoeveelheid voorafgaande simulatortraining wordt ingecalculeerd (Roscoe, 1971; Povenmire & Roscoe, 1973). De validiteit en trainingseffectiviteit zijn beide afhankelijk van de mate waarin de simulator en het operationele systeem een beroep doen op dezelfde onderliggende perceptief-motorische en cognitieve vaardigheden. De trainingseffectiviteit wordt daarnaast ook sterk bepaald door de kwaliteit van gehanteerde trainingsprocedures (b.v. Korteling & Van Randwijk, 1991).

Het visuele systeem haalt de informatie uit de structuur (in ruimte, tijd en spectrale samenstelling) van het gereflecteerde omgevingslicht. Voor de menselijke waarnemer wordt de informatie in het omgevingslicht meestal beschreven in termen van een aantal algemene "hogere orde" kenmerken die relatief onveranderlijk zijn bij de voortdurende veranderingen in de elementaire structuur van het opgepikte omgevingslicht (Gibson, 1966, 1979). Deze algemeen voorkomende invarianten, worden meestal *cues* genoemd. Ze hangen op consistente wijze samen met de statische en dynamische kenmerken van de waarnemer en zijn omgeving. In het volgende worden de cues voor het waarnemen van ruimtelijke dimensies en zelfbeweging kort beschreven. Deze cues zijn het belangrijkste voor het kunnen besturen van een auto in een eenvoudige omgeving (zie ook Milders & Padmos, 1991).

Statische monoculaire cues

- | | |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Reflectiewaarde en spectrale samenstelling (kleur) | - Veel objecten worden mede o.b.v. hun reflectiewaarde en kleur herkend. Indirect wordt daarmee ook hun ruimtelijke vorm gespecificeerd. |
| Luminantiegradiënt (<i>shading</i>) | - De hoeveelheid gereflecteerd licht van een oppervlak hangt samen met de helling/oriëntatie ervan t.o.v. het totale lichtveld. Dit geeft informatie over objectvorm, -oriëntatie en relatieve afstand. |
| Interpositie | - Een object dat een ander object gedeeltelijk bedekt is dichterbij. |
| Relatieve grootte/lineair perspectief | - De grootte van de projectie van een perspectief object op het netvlies neemt af met de afstand. Hierdoor convergeren parallelle contouren met toenemende afstand en neemt de zichtbaarheid van details af. |
| Positie t.o.v. de horizon | - Objecten dichterbij de horizon zijn meestal verder weg dan objecten ver van de horizon. De horizon zelf bevindt zich op ooghoogte. |
| Atmosferisch perspectief | - Objecten op grote afstand hebben, door absorptie en verstrooiing van licht door de atmosfeer, een "verdunde" kleur en luminantie. |
| Structuurdichtheidsgradiënt | - Bij uniforme structurering van een vlak varieert de structuurdichtheid met de afstand en de helling ervan. |
|
 | |
| (Statische) binoculaire cues | |
| Binoculaire dispariteit | - Op basis van het positieverschil tussen beide ogen, worden objecten op verschillende afstand |

op een verschillende plaats op de netvliezen geprojecteerd. Hierdoor kan diepte worden gezien, waarbij het oplossend vermogen alleen op kortere afstanden groot is.

Convergentie

- Bij fixatie op kleine afstanden kan de mate van convergentie van de blikrichtingen van beide ogen de afstand van het object specificeren.

Dynamische (monoculaire) cues voor zelfbeweging en objectbeweging

Bij zelfbeweging ontstaat "optic flow" (Gibson, 1950, 1966), samenhangende transformaties van het *gehele* patroon van potentieel beschikbare optische informatie ("optic array", Gibson, 1950, 1966). Ook bij objectbeweging ontstaan, grotendeels analoog aan zelfbeweging, samenhangende transformaties van *delen* van de optic array. Deze transformaties zijn specifiek voor kenmerken van zelf- of objectbeweging, zoals snelheid en richting.

Vergentiepatroon

- Het patroon waarin visuele elementen (ook textuur) convergeren of divergeren specificeert de richting van zelf- of objectbeweging.

Vergentiesnelheid

- De snelheid van vergentie van optische elementen is afhankelijk van zowel de afstand tot een object als de snelheid van de verplaatsing. Daarmee specificeert het direct de *time to contact* met een ander object (Lee, 1976).

Occlusie en disocclusie

- Veranderingen in de snelheid en het patroon waarmee een object op de voorgrond, structuur op de achtergrond bedekt en/of juist weer zichtbaar maakt, zijn specifiek voor snelheid en richting van zelf- of objectbeweging.

Parallax

- De richtingsverandering t.o.v. een bewegende waarnemer van de visuele elementen. Deze schijnbare beweging is groter naarmate elementen zich dichterbij, of meer perifeer t.o.v. de bewegingsrichting bevinden. Parallax specificeert hiermee de afstand van objecten en de richting van zelfbeweging.

Ongeveer alle visuele cues zijn van belang voor verschillende waarnemingsfuncties. Zo kan het waarnemen van objectvorm gebaseerd zijn op de waarneming van objectbeweging (Wallach & O'Connell, 1953; Johansson, 1973). De dominantie van cues blijkt per taak verschillend te zijn (voor meer informatie: Wickens, Todd & Seidler, 1989).

2.2 Training van de rijtaak

Gesteld kan worden dat autorijden de meest complexe kunstmatige taak is die door een zeer groot deel van de menselijke bevolking in de westerse wereld wordt uitgeoefend. Het besturen van een auto vereist een groot aantal perceptief-motorische en cognitieve vaardigheden die gecoördineerd moeten kunnen worden uitgevoerd. Dit vergt een hoge mate aan integratie en automatisme, wat uiteindelijk alleen door langdurige oefening kan worden verkregen.

Globaal valt er bij het leren autorijden een lijn te onderscheiden van vastliggende procedure-deeltaken, zoals starten en weggrijden, naar steeds meer geïntegreerde perceptief-motorische deeltaken, zoals rijden in het verkeer en terreinrijden. Analog aan deze lijn, is de training aanvankelijk primair gericht op verbaal-cognitieve instructie (drill). De nadruk ligt dan op het geven van vastomlijnde mondelinge of schriftelijke informatie over doel, inhoud en prioriteiten van de taak. De te leren taakonderdelen bestaan vooral uit het ontwikkelen van kennis met betrekking tot uit te voeren procedures (b.v. veiligheidsmaatregelen).

Later wordt de training steeds meer gericht op het aanleren of verder ontwikkelen en integreren van perceptief-motorische vaardigheden, waarbij nieuwe taakonderdelen steeds gecombineerd moeten worden met eerder geleerde vaardigheden. Informatie vanuit verschillende perceptuele systemen moet hierbij in toenemende mate simultaan en automatisch verwerkt worden. Niet zozeer verbaal-cognitieve instructie, maar het feitelijk (onder toezicht) uitvoeren van de perceptief-motorische taak staat dan meer op de voorgrond. Ook wordt de training steeds meer gericht op de taak als geheel in plaats van op afzonderlijke taakonderdelen.

Verondersteld mag worden dat bij toename van vaardigheden de beschikbare informatie steeds beter wordt gecombineerd en subtieler wordt gebruikt. Dit impliceert dus, dat het toenemen van vaardigheden van leerlingen steeds hogere eisen stelt aan de (functionele en fysieke) validiteit van een leerhulpmiddel. Hieruit volgt dat voor het eerste deel van het leerproces, waarbij het vooral gaat om de basisonderdelen van rijtaak, met behulp van een "eenvoudige" simulator, waarschijnlijk al snel een bevredigende leeroverdracht kan worden bereikt. Voor vervolgopleidingen daarentegen geldt, dat een bevredigende leeroverdracht vele malen moeilijker kan worden bereikt. De eisen die voor dergelijke opleidingen aan de simulator moeten worden gesteld, kunnen de financiële, technologische of zelfs fysieke mogelijkheden wel eens te boven gaan (Korteling & Van Randwijk, 1991). In dit licht worden de eisen die aan een simulator worden gesteld dus in eerste instantie bepaald door de taakonderdelen die men ermee beoogt te trainen (de leerdoelen). Om pragmatische redenen zullen deze leerdoelen meestal moeten worden beperkt. Hoewel duidelijkheid omtrent te behalen leerdoelen een eerste noodzakelijkheid is, is dit nog niet voldoende om de minimumeisen te kunnen specificeren. Op dit probleem wordt in het volgende hoofdstuk ingegaan.

3 KENNISINVENTARISATIE

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de vraag welke minimum-eisen te stellen zijn aan rijsimulatoren en wat hierover in de literatuur bekend is. Een aantal onderdelen van dit hoofdstuk, waaronder met name de fysische beeldeigenschappen, worden meer uitgebreid behandeld door Milders & Padmos (1991).

3.1 Minimumeisen

Omdat in een simulator de essentie van een dynamische stimulus-respons situatie uit de praktijk wordt nagebootst, is één van de belangrijkste vragen m.b.t. trainingssimulatoren welke cues minimaal noodzakelijk zijn om een gegeven taak effectief te kunnen trainen. Noodzaak blijkt in de praktijk echter een rekbaar begrip. Roscoe & Eisele (1980) merken op dat, hoewel het nog steeds voorkomt dat noodzaak de moeder van de uitvinding is, de uitvinding steeds meer de moeder van de noodzaak wordt. Vooral fabrikanten doen grote moeite ons ervan te overtuigen dat het zonder hun nieuwste producten eigenlijk niet meer kan, en in de medische wereld leidt de invloed van nieuwe mogelijkheden op het denken omtrent noodzakelijkheid tot grote ethische problemen. Met betrekking tot simulatoren zal er in dit verband voor gewaakt moeten worden dat de bepaling van wat noodzakelijk is, te veel gedictieerd wordt door de technologische mogelijkheden. Als we derhalve de voortdurend groeiende mogelijkheden binnen de simulatietechniek even laten voor wat deze is, dan moet worden geconstateerd dat ten aanzien van de minimum-eisen die er gesteld moeten worden op dit moment weinig concreets bekend is. Ten eerste is de mate waarin onderrepresentatie van een cue bijdraagt tot een suboptimale visuele waarneming, per situatie verschillend (Rolfe & Staples, 1986) en is daarbij afhankelijk van de aanwezigheid van andere cues (b.v. Brown, 1976; Rogers & Collett, 1989). Voorts is het evident dat de taak zelf (wat moet ik in deze situatie weten om mijn doel te kunnen bereiken?) mede bepaalt welke cues van belang zijn. In de werkelijkheid is de aanwezigheid van informatie in het licht dusdanig overvloedig dat de eventuele afwezigheid van een cue geen wezenlijk probleem hoeft te vormen. Uit onderzoek, waarbij in kunstmatige situaties gekeken wordt naar de effecten van beperkingen in de beschikbare informatie, blijkt dat het visuele systeem een oplossing zoekt die maximaal consistent is met de wél aanwezige, maar karige, informatie (b.v. Rogers & Collett, 1989). Dit kan leiden tot misinterpretaties, c.q. optische illusies (b.v. Gibson, 1966). Op een simulator met dergelijke tekortkomingen leert de bestuurder in dat geval niet goed verband te leggen tussen stimulussituaties en vereiste acties. In het ergste geval worden verkeerde verbanden gelegd, hetgeen zelfs een negatieve leeroverdracht tot gevolg kan hebben. Ook mag verwacht worden dat ervaren proefpersonen een taakonderdeel niet optimaal zullen kunnen uitvoeren.

Warren & Riccio (1985) stellen dat cues hiërarchisch worden verwerkt. Dat wil zeggen dat in principe alleen de duidelijkste cues van een "rijke" scene worden geselecteerd; zwakkere cues zijn redundant en worden alleen gebruikt wanneer

de dominante cues voor de betreffende taak afwezig zijn. Deze gedachte wordt ondersteund door experimentele resultaten. Warren, Mestre, Blackwell & Morris (1991) tonen bijvoorbeeld aan dat een complexe zelfbeweging zoals circulaire voortbeweging over de grond (bochten) al accuraat wordt waargenomen op basis van beweging van slechts enkele elementen in het flowfield. Dit zou betekenen dat slechts de aanwezigheid van de meest belangrijke cues, voor een bepaalde situatie in de simulator, in principe voldoende kan zijn om een hoge leeroverdracht te bewerkstelligen. Dit impliceert dus dat het erom gaat, dat de informatie die aanwezig is in de simulator, ook de informatie is die in de werkelijkheid als dominante cue wordt geselecteerd. Zo lijkt het erop dat interpositie, bewegingsparallax en binoculaire dispariteit sterke cues zijn voor oriëntatie en relatieve afstand en dat relatieve grootte, lineair perspectief en textuurgradiënt wat dit betreft minder belangrijk zijn (b.v. Wickens, Todd & Seidler, 1989). Omdat, zoals eerder werd opgemerkt, het belang van cues per situatie en per taak(onderdeel) verschillend kan zijn en, zoals hierna zal blijken, voldoende kennis hieromtrent ontbreekt, is hiermee het probleem voorlopig nog niet opgelost. Zolang niet duidelijk is welke cues bij verschillende deeltaken van de rijtaak minimaal noodzakelijk zijn, dient in principe toch gestreefd te worden naar een zo volledig mogelijke, en natuurgetrouwe, presentatie van visuele informatie. Hier hangt een flink prijskaartje aan.

Kortom, de vraag naar de minimum cue-eisen voor een trainingssimulator is complex; het aantal mogelijke combinaties van cues is erg groot en cue-eisen verschillen per situatie en per taak(onderdeel) en zijn daarom veelal niet goed bekend. Op basis van onderzoek kan echter inzicht verkregen worden in de bijdrage van cues voor de verschillende taakonderdelen en kunnen op basis hiervan minimum-eisen aan simulatoren worden opgesteld. Omdat hiermee ook duidelijkheid verkregen wordt omtrent *niet noodzakelijke* opties kan dergelijke kennis uiteindelijk een belangrijke kostenbesparende factor worden. In het licht van hetgeen in de opening van deze paragraaf werd opgemerkt, kan de kern van het probleem van minimum cue-eisen uiteindelijk als volgt worden geformuleerd: het, gebruikmakend van beschikbare kennis, op een kosten-efficiënte manier optimaliseren van bestaande mogelijkheden. Een voorbeeld van deze aanpak is een recent IZF rapport (Korteling & Van Randwijk, 1991), waarin op grond van bestaande kennis advies wordt gegeven inzake de haalbaarheid van de inzet van rijsimulatoren voor de training van lichte vrachtauto chauffeurs. In deze benadering wordt de mate waarin bestaande mogelijkheden optimaal kunnen worden benut in belangrijke mate bepaald door de mate waarin kennis terzake beschikbaar is en wordt gebruikt. Daarom wordt de bestaande kennis hierna kort geïnterpreteerd. Hierbij wordt uitgegaan van de driedeling: beeldinhoud, beeldhoek en fysische beeldkwaliteit (Korteling & Van Randwijk, 1991). Wat de technologie van beeldsystemen betreft hangen beeldinhoud, beeldhoek en beeldkwaliteit sterk samen. Zo bestaan er bijvoorbeeld veel trade-off relaties tussen beeldvertraging, resolutie, beeldcomplexiteit, beeldhoek, shading, luminantie en kleurcapaciteit. Vanwege de omvang ervan wordt in het volgende niet uitgebreid op deze problematiek ingegaan (zie o.a. Bess, 1989; Milders & Padmos, 1991). Globaal is op grond van de huidige kennis een aantal dingen

bekend omtrent de factoren die bepalend zijn voor de validiteit van simulatoren. In het volgende zal dit voor beeldinhoud, beeldhoek en beeldkwaliteit afzonderlijk worden besproken. Tevens zal worden aangegeven waar de kennis aangaande de presentatie van visuele informatie voor de rijtaak leemten vertoont.

3.2 Beeldinhoud

Het geheel van visuele elementen, hun aard (incl. vorm, textuur, kleur, shading) en hun plaatsing (in termen van de polygonen en lichtpunten waarmee relevante informatie wordt gerepresenteerd) wordt gevat onder de term: beeldinhoud (Korteling & Van Randwijk, 1991). Helaas is bij CGI simulatie het aantal polygonen dat per kanaal kan worden weergegeven altijd aan forse beperkingen onderhevig. In goedkope of verouderde beeldsystemen moet volstaan worden met maximaal 250 polygonen per 48° horizontaal en 36° verticaal, wat vooral voor autorijden mager is. Clapp (1985) berekent dat model board displays, door beperkingen in de resolutie, maximaal 11% van het aantal elementen presenteren dat in de werkelijkheid in principe zou kunnen worden gezien (ca. 6 miljoen elementen bij een beeldhoek van 48° horizontaal bij 36° verticaal en een visus van 1). Door beperkingen in de beeldinhoud ligt dit percentage bij CGI beeldsystemen, met textuur, momenteel in de orde van niet meer dan 0.5%. Het spreekt voor zich dat dit forse beperkingen oplegt aan de beeldinhoud en daarmee aan de presentatie van visuele informatie.

Beperkingen in de gepresenteerde visuele informatie betreffen doorgaans niet alle cues in dezelfde mate. Lineair perspectief, bijvoorbeeld, wordt normaliter goed gepresenteerd. Andere cues, zoals optic flow, superpositie, relatieve grootte en horizonpositie, lijken bij een slecht gevulde visuele database (CGI simulatoren) vaak in geringe mate te worden gepresenteerd. Behalve bij helmet mounted displays, en andere displays waarbij informatie apart aan beide ogen wordt aangeboden, is binoculaire dispariteit (en oogconvergentie) als informatiebron, altijd afwezig. Ook parallax, opgewekt door bewegingen van het hoofd en het lichaam, is meestal niet op het display aanwezig, tenzij bewegingen van beeld en hoofd gekoppeld zijn, zoals o.a. bij helmet mounted displays (Proffitt & Kaiser, 1986). Het tekort aan visuele informatie, als gevolg van de beperkte capaciteit van CGI systemen, leidt tot gebrekkige (hiërarchisch georganiseerde) structuurgradiënten, zoals die in de natuur vrijwel altijd aanwezig zijn.

Beeldinhoud wordt een belangrijke factor genoemd bij de bepaling van de kwaliteit van een simulator waarin visueel-motorische taken worden getraind (b.v. AGARD, 1980; McCormick, 1985). Lintern e.a. (1984) vonden in een quasi transfer-of-training experiment, waarbij een precisie-bombardement moest worden uitgevoerd, dat ten opzichte van vier andere variabelen (presentatie van mechanische bewegingsinformatie en de mate van vertraging in de beeldopbouw) de beeldinhoud als enige een substantieel effect had op een aantal prestatiecriteria. Beeldvulling varieerde hier van een abstract raamwerk tot een relatief complex landschap met bergen en een riviervallei. Ook vonden zij een positief effect van toepassing van CGI beelden boven eenvoudige lichtpunt-representatie

bij het landen op van een vliegdekschip. Meehan en Triggs (1988) toonden aan dat de onderschatting van waargenomen grootte van objecten op beeldschermen (Roscoe, 1979, 1984) kleiner is wanneer de scene veel diepte-informatie bevat. Kleiss, Curry en Hubbard (1988) lieten zien dat de nauwkeurigheid van hoogteschattingen over een fors bereik bleef toenemen met de object-dichtheid. Omdat de visuele informatie, gezien vanuit een wielvoertuig, aanzienlijk complexer is dan vanuit een cockpit, mag verwacht worden dat het belang van voldoende beeldinhoud in nog sterkere mate geldt voor de rijtaak.

Om het tekort om informatie op te beperken, wordt in de literatuur het aanbrengen van textuur aanbevolen. Dit zou vooral de waarneming van afstanden bevorderen. Het tekort aan hiërarchisch geordende structuurgradiënten wordt door het aanbrengen van, vaak van tevoren opgeslagen, (micro-) textuurpatronen op platte vlakken (horizontaal, verticaal, hellend) slechts in beperkte zin opgelost. De waarneming van gebogen vlakken (hobbels, kuilen) wordt hiermee echter niet geholpen. Tevens lijken experimentele resultaten, waarin met *statische* scènes gewerkt wordt, aan te geven dat de extra bijdrage van textuur boven de andere cues beperkt is (Chappelow & Smart, 1982; Warren & Riccio, 1985; Johnson, Tsang, Bennett & Phatak, 1989). Een belangrijke reden hiervoor is waarschijnlijk dat textuur *op zich* geen afstand schaling geeft, en dus slechts relatieve afstand-informatie geeft. Foto-textuur lijkt in principe te prefereren boven meer kunstmatige textuur, omdat het beter de specifieke details van normale landschapselementen imiteert. Hierdoor komt ecologisch relevante informatie voor het schatten van afstand en het waarnemen van de aard en vorm van de ondergrond meer beschikbaar. Grovere vormen van structuur, of textuur op verschillende niveaus van detail met variërende pixel-doorzichtigheid (textuurelementen worden bij toenemende afstand grover) lijken ook beter dan basis-textuurpatronen. Echter, zowel grovere structuur als hiërarchisch geordende textuur specificeren in werkelijkheid bestaande onderdelen van objecten of landschappen; het geeft daarmee, in tegenstelling tot de simulator, ecologisch betekenisvolle informatie. De uitgeholde betekenis van textuur in simulatoren (patroontje op plat vlak) levert evenmin een concrete afstandschaling, waardoor deze informatiebronnen de absolute ruimtelijke oriëntatie ook niet wezenlijk zullen bevorderen. Kortom: intuïtief lijkt textuur belangrijke cues op te leveren. Het is echter de vraag in hoeverre deze cues bij de huidige simulatoren effectief informatie geven over afstand. Verwacht mag worden dat textuur voorts een bijdrage kan leveren aan de waarneming van objectvorm (oriëntatie van rechte hellingen), bewegingsrichting en snelheid. Ofschoon hierover in de literatuur weinig wordt vermeld, zijn wellicht vooral de laatste twee (dynamische bewegingscues, zie § 2.1) van belang voor de waarneming van zelf- en objectbeweging in rijssimulatoren. De effectieve informatie wordt in dat geval onder andere geleverd door het patroon en de snelheid van (dis)occlusie van achtergrondtextuur door objecten op de voorgrond. Hierbij kan gedacht worden aan (dis)occlusie van textuur op de weg door de neus van het eigen voertuig, of van achtergrondpatronen door een ander voertuig. Tot slot levert textuur een belangrijke bijdrage aan beeld-detaillering, zonder dat dit polygonen kost (Milders &

Padmos, 1991). Hierdoor heeft textuur tevens waarde voor de face validity (geloofwaardigheid) van een systeem.

De literatuur biedt voorts nog een aantal andere mogelijkheden ten aanzien van de manier waarop de beeldinhoud optimaal op de betreffende taak kan worden afgestemd. Hoewel hierover al een checklist voor database programmeurs is opgesteld (Korteling, 1990), vormen deze mogelijkheden niet meer dan voorlopige aanknopingspunten; in veel gevallen is nader onderzoek gewenst.

Alle visuele waarnemingsfuncties zouden zijn gebaat bij presentatie van objecten met een bekende grootte (b.v. Lintern, 1986; Rolfe & Staples, 1986). Op basis van theoretische kennis vermoedt Lintern (1986) dat deze objecten zoveel mogelijk stochastisch (met enige fluctuatie) regelmatig over het veld verdeeld dienen te worden. Het zou niet zozeer gaan om de detaillering, dan wel de verdeling, de dichtheid en grootte-getrouwheid van beeldelementen. Zowel fundamenteel onderzoek (bijv. Gibson, 1954, 1955; Lintern, 1986) als toegepast experimenteel onderzoek (Kleiss, Curry & Hubbard, 1988) en subjectief validatieonderzoek (Booth, Bryden, Cowan, Morgan & Plante, 1987) lijkt uit te wijzen dat een gedetailleerde weergave van objecten niet altijd noodzakelijk is. Bovendien leert de ervaring dat schematisering (b.v. stripfiguren) geen groot struikelblok vormt voor herkenning en categorisering van objecten, mits het aantal categorieën beperkt is. Omdat de meeste objecten aan de hand van een paar saillante kenmerken (zoals kleur, grootte en ruwe vorm) al gauw herkend en globaal gecategoriseerd kunnen worden, lijkt het belang van de volledigheid van representatie en detaillering hierbij ondergeschikt (Lintern, 1986). Voor trainingssimulators, waarbij cognitieve elementen en basisonderdelen van de rijtaak worden getraind, zal dit wellicht ook opgaan. Vooral met betrekking tot de face validity van het systeem, neemt het belang van detaillering van objecten waarschijnlijk toe naarmate objecten meer van dichtbij worden gezien.

Waldram (1985) vermoedt dat er regelmatige en discrete objecten, zoals bermpalen, op korte afstand van het traject van het voertuig geplaatst moeten worden. Alleen dan zouden ze voldoende snel in het perspectief bewegen om een goede snelheidssensatie te geven. Experimenteel lijkt deze veronderstelling nog niet bevestigd.

Vanzelfsprekend dienen bekende objecten zoveel mogelijk stereotiepe vormen en afmetingen te hebben en dient bij bekende objecten of materialen het textuurpatroon zoveel mogelijk specifiek te zijn voor de echte oppervlakte-structuur. Op basis van de bestaande kennis van bestuurders omtrent deze dimensies kan dit helpen bij het schatten van afstand en snelheid (Chappelow & Smart, 1982; Padmos, 1989; Korteling, 1990).

Het feit dat CGI simulators niet in staat zijn alle tinten in hun volledige luminantie- of contrastbereik te genereren lijkt geen principieel probleem (AGARD, 1980). Brown (1976) meldt dat waarnemers tolerant zijn in het accepteren van vrij grote afwijkingen van correcte kleur. Het belang van kleur en vooral contrast lijkt deels gelegen in een verhoging van de face validity door een schijnbare verbetering van de resolutie (AGARD, 1981; Brown, 1976) en vooral in de bijdrage die het levert in het onderscheid tussen objecten die in superpositie verschijnen. Door kleurgebruik kunnen superpositie en bewegingsparallax

duidelijker naar voren komen. Voorts bevordert kleur de objectdetectie en herkenning (Farrell & Booth, 1975) en kan het gebruikt worden om textuur te genereren.

De horizon vormt een belangrijke ooghoogte- en objecthoogte-cue. Derhalve dient de positie hiervan in principe altijd impliciet of expliciet duidelijk te zijn (Korteling, 1990). Alle kleuren/helderheden gaan naarmate ze verder weg staan meer lijken op de kleur/helderheid van de lucht (vertewaas). Daarom hebben veel moderne beeldsystemen een instelbaar vertewaas. Het belang hiervan voor rijssimulatoren lijkt overigens beperkt.

Grootte-getrouwheid, kleur, horizon en vertewaas vormen, ook voor rijssimulatoren, geen principiële technisch probleem. Onderzoek zou daarom vooral gericht moeten worden op de effecten van detaillering, verdeling en positionering van beeldelementen en van textuur.

3.3 *Beeldhoek*

De grootte van de beeldhoek is bepalend voor de mogelijkheid informatie perifeer in het gezichtsveld aan te bieden. Van belang zijn hierbij vooral de cues in het optische bewegingsveld, zoals bewegingsparallax en vergentie. Deze cues hebben, naast het specificeren van driedimensionele vorm, vooral betrekking op het bepalen van absolute en relatieve afstanden (diepte) ten opzichte van objecten en het waarnemen van zelfbewegingsrichting en snelheid (Salvatore, 1968; Ferris, 1972; Rogers & Graham, 1979). Salvatore (1968) vond dat automobilisten hun snelheid op basis van alleen de perifere waarneming beter inschatten dan op basis van een evengroot (25°) centraal zicht op de omgeving. Pas bij displays die het visuele veld behoorlijk vullen, en dus veel uniforme beweging in het perifere deel hiervan aanbieden, krijgen waarnemers het gevoel dat ze deel uitmaken van de scene (Foley, 1987) en zich daarin voortbewegen (Leibowitz & Post, 1982). Volgens AGARD (1980) wordt een visueel geïnduceerde bewegings-sensatie ("vectie") pas effectief opgewekt bij een beeldhoek groter dan 60°. In hoeverre het optreden van vectie echter noodzakelijk is voor een hoge validiteit en trainingseffectiviteit van een simulator is niet duidelijk. Wel wordt het langzamerhand duidelijk dat vergroting van de beeldhoek eerder tot bewegingsziekte¹ leidt (Casali & Frank, 1986; Davies, 1990), waarschijnlijk doordat discrepanties tussen visuele en mechanische bewegingen eerder worden waargenomen. Vergroting van de beeldhoek heeft dus niet alleen voordelen.

In het algemeen wordt sterk gepleit voor een voldoende grote hoek van het buitenbeeld in vlieg- en rijssimulatoren. Uit een onderzoek van Kraft, Anderson en Elworth (1982), blijkt dat vergroting van de beeldhoek van 40° naar 114° een gunstige uitwerking had op de landingsprestaties van militaire piloten in een Boeing 747 simulator. Bij een kleine beeldhoek maakten de proefpersonen te

¹ Bewegingsziekte in simulatoren wordt waarschijnlijk primair veroorzaakt door discrepanties tussen visuele en mechanische bewegingsinformatie (Bles, 1983; Bles, Korteling, Marcus & Riemersma, 1991; Hettinger, Berbaum, Kennedy, Dunlap & Nolan, 1990).

krappe bochten voor de landing. Deze neiging om acties bij manoeuvres te vroeg te starten, wordt ook bij automobilisten gevonden wanneer met een beperkt gezichtsveld gereden wordt (Walraven & Varkevisser, 1969; Ernst, Sanders & Ter Linden, 1967; Tenkink, 1989). Dit effect lijkt niet volledig te verklaren op basis van het te vroeg uit het zicht verdwijnen van visuele informatie. Roscoe (1979, 1984) heeft voorts aangetoond dat objecten gepresenteerd op een beeldscherm systematisch als te klein worden gezien. Dit geldt als de meest plausibele oorzaak voor de *overshoot* die piloten bij het landen in een simulator vertonen doordat ze de landingsbaan als te ver verwijderd waarnemen (Meehan & Triggs, 1988).

AGARD (1980) stelt dat goede resultaten - met trainingssimulatoren voor piloten - reeds zijn behaald met een beeldhoek van 60° tot 100° horizontaal en 30° tot 50° verticaal. Dit komt overeen met conclusies van Wightman, Westra en Lintern (1985). In een quasi transfer-of training studie met 72 leerling-piloten vonden zij onder andere dat het trainen van een landingstaak onder drie naderingscondities net zo effectief kon plaatsvinden met een beperkte beeldhoek (48° x 36°) als met een grote beeldhoek (160° x 80°). Afgezien van de methodologische vraagtekens die er bij dit experiment gezet kunnen worden, lijkt dit resultaat voor het benodigde gezichtsveld voor *rijnsimulatie* niet volledig generaliseerbaar. Bij validatie van het visuele systeem van de Leopard 2 en YPR 765 simulatoren (Padmos, 1989; Korteling, 1990; Korteling & Padmos, 1990) bleek een visueel veld van 125° horizontaal bij 27° verticaal in principe al te beperkt om de visuele informatie te presenteren die nodig is bij het afslaan op kruisingen. De bestuurder kon niet goed beoordelen hoever hij het kruisingsvlak was opgereden, zodat het moment van insturen moeilijk te bepalen was. Korteling en Van Randwijk (1991) noemen bronnen waarin nog grotere minimum afmetingen voor het optimale gezichtsveld voor hoogwaardige full-scale rijnsimulatoren worden gegeven (o.a. Drosdol & Panik, 1985; Haug e.a., 1990; FAAC, 1989). Het meeste is gebaseerd op speculaties; hard bewijs op basis van trainingsoverdracht studies is niet voorhanden.

Een voldoende grote beeldhoek lijkt voor een rijnsimulator dus van belang. Gegeven de huidige technologie leidt vergroting van het beeld bij gelijkblijvende kosten echter tot dramatische beperkingen in de resolutie, beeldinhoud (Bess, 1989), kleurkwaliteiten en bijwerk frequentie (Proffitt & Kaiser, 1986). Davies (1990) gaat ervan uit dat de kosten die verbonden zijn aan de aanschaf van een beeldsysteem proportioneel zijn met de beeldhoek, en Proffitt & Kaiser beweren dat het zeer onwaarschijnlijk is dat beeldschermen ooit kosten-effectief worden voor grote beeldhoeken. De grootte van de beeldhoek is dus een penibele aangelegenheid en verdient dan ook een uiterst zorgvuldige afweging.

Korteling en Van Randwijk (1991) veronderstellen dat, voor de eenvoudige perceptief-motorische onderdelen van de rijtaak van leerling-chauffeurs op lichte vrachtauto's, de motorkap met zijn referentiepunten in ieder geval volledig, over de volle breedte in het beeld te zien zou moeten zijn. In dat geval zou, voor deze beperkte doelstelling, een horizontale beeldhoek van ca 55° mogelijk al voldoende zijn. Omdat dit, zelfs bij gebruik van spiegels nog aanzienlijke dode hoeken overlaat, kunnen een aantal observatie-aspecten van verkeersdeelname

en het rijden in scherpe bochten en op kruisingen niet worden getraind. Haug e.a. (1990) en Milders & Padmos (1991) veronderstellen dat een verticale beeldhoek van 40° (15° boven de horizon en 25° eronder) minimaal noodzakelijk is om in rijssimulatoren enigszins realistische verkeerssituaties te kunnen presenteren. In dat geval is het wegoppervlak vanaf 4 meter voor de auto te zien², en zijn verkeersborden zichtbaar tot ongeveer 10 meter voor de auto. Verkleining van de verticale beeldhoek heeft normaliter vooral een negatief effect voor het lezen van borden. Bij afwezigheid van een vooruitstekende motorkap, zoals bij veel middelgrote en zware vrachtauto's of bij de YPR-765, komt ook het zicht op de weg vlak voor het voertuig en het gebruik van richtmiddelen in het geding (b.v. Korteling, 1990). Bovengenoemde minimum-waarden voor beeldhoeken zijn voornamelijk gebaseerd op "educated guessing". Aanvullend onderzoek is derhalve gewenst.

Achteruitkijkspiegels vormen een apart probleem bij simulatie van autorijden. Enerzijds kan de gewoonte om op bepaalde momenten in de spiegel te kijken al op een eenvoudige manier getraind worden, bijvoorbeeld door ervoor te zorgen dat in de spiegels een lampje te zien is dat aangeeft of de toestand veilig (groen), of onveilig (rood) is. De instructeur kan dit lampje naar willekeur bedienen. Anderzijds kunnen dan taakonderdelen, zoals bijzondere verrichtingen en koers(na)controle nog niet worden getraind. Dit kan alleen getraind worden met complete spiegelbeelden. De bestuurder kijkt in dat geval door de spiegels naar monitors of projectieschermen (zie Haug e.a., 1990; Milders & Padmos, 1991).

3.4 *Beeldkwaliteit*

De beeldkwaliteit heeft betrekking op alle aspecten die van invloed zijn op de mate waarin visuele informatie fysisch gezien correct wordt gepresenteerd. Het betreft de wijze van presentatie (b.v. collimatie, kijkafstand), de luminantie (helderheid), bijwerkfrequentie (update frequency), opfrisfrequentie (refresh rate), beeldvertraging (delay), contrastratio, kleur/helderheidsstappen, resolutie, (anti-)aliasing. Deze aspecten zijn vooral van belang voor de juistheid, duidelijkheid en volledigheid waarmee details worden gevisualiseerd.

Onduidelijkheid van informatie heeft een aantal nadelen. Ten eerste verlaagt het de face validity van de simulator. Daarnaast kan het tot vermoeidheid leiden omdat de bestuurder zich teveel moet inspannen om goed te kunnen zien. En vanzelfsprekend kunnen de subtielere details in de informatie niet volledig worden gebruikt. In het volgende wordt kort aangegeven wat er zoal bekend is omtrent de verschillende aspecten van beeldkwaliteit. Een meer uitgebreide verhandeling hierover wordt gegeven door Milders & Padmos (1991).

² Volgens de IZF Ergonomie Checklist voor vrachtautocabines is 4 m. de maximale afstand waarmee het wegdek door de motorkap aan het zicht mag worden onttrokken (Korteling & Osinga, 1989).

Beelden in simulatoren kunnen gepresenteerd worden met behulp van monitoren of projectoren. Direct zicht op monitoren heeft als belangrijk nadeel dat er vanwege de monitorkasten donkere scheidingsgebieden tussen de kanalen ontstaan en dat het bereiken van een voldoende grote beeldhoek een zeer korte kijkafstand vereist. Dit maakt het gebied waarin het beeld perspectivisch correct wordt aangeboden ("viewing area") zeer klein. Ook gaat hiermee de gesuggereerde diepte-informatie voor een belangrijk deel verloren. Om ruimte te besparen, scheidingsranden te vermijden en om de viewing area te vergroten gaat men veelal over tot *collimatie*. Vooral bij rijssimulatoren genereren collimatorlenzen echter misleidende diepte-informatie. Hierdoor kan de waarneming van afstanden en objectgrootte in de nabije omgeving van de bestuurder worden verstoord. Daarom lijkt beeldprojectie zonder collimatie, waarbij de kijkafstand minimaal 2-3 meter is (teneinde storende parallax te beperken) het meest wenselijk (Korteling & Van Randwijk, 1991; Milders & Padmos, 1991).

Het *luminantieniveau* (helderheid) is van invloed op de gezichtsscherpte van de waarnemer. Het maximale luminantieniveau voor grotere vlakken³ hoeft in principe niet erg hoog te zijn. Gedacht kan bijvoorbeeld worden aan een maximale luminantie van niet meer dan 10 cd/m², zodat het oog in het fotopische bereik zit (Geltmacher, 1988; Korteling & Van Randwijk, 1991). Het luminantieniveau van de meeste moderne simulatorbeelden, waarin daglichtcondities worden gecreëerd, is doorgaans 5-15 cd/m². Het niveau van omgevingsverlichting dient bij dergelijke lage luminantieniveaus laag te zijn. Wanneer met niet al te hoge snelheden gereden wordt, maakt dit een betrekkelijk lage *bijwerk frequentie* (de snelheid in Hz waarmee nieuwe informatie kan worden gegenereerd) mogelijk, 30 Hz bijvoorbeeld. De bijwerk frequentie zou echter bij voorkeur 50-60 Hz moeten zijn wanneer hoeksnelheden van elementen in het buitenbeeld hoog zijn (hard rijden, laag vliegen). Bij een gegeven reken capaciteit van een systeem, zal dit ten koste gaan van de beeldinhoud (hoeveelheid detail, of scene complexiteit). Om het waarneembaar flikkeren van bewegende beelden te vermijden is, bij de gebruikelijke lage luminantieniveaus, een *opfrisfrequentie* (de snelheid, in Hz, waarmee de punten op het beeldscherm worden opgelicht) van 50-60 Hz voldoende (o.a. K ppler, 1986). Een laag luminantieniveau stelt echter wel beperkingen aan de contrast-mogelijkheden (zie voor meer informatie Milders & Padmos, 1991).

Zowel CGI als model-board systemen vertonen een *vertraging* in de beeldpresentatie ten gevolge van de benodigde rekentijd respectievelijk mechanische vertraging van het camerasysteem en de tijd die nodig is voor bijwerking en opfrissing van het beeld. Deze vertragingen liggen in de orde van 50-100 ms (Ashkenas, 1986). Lintern e.a. (1984) beschrijven studies naar het effect van visuele delay bij het uitvoeren van gecompliceerde vliegertaken door middel van (quasi) transfer-of-training experimenten. Een vertraging van het beeldsysteem van 217 ms ten opzichte van een 117 ms vertraging, verhoogde de "roll variabiliteit" bij het naderen en landen op een vliegdekschip. De taakprestatie werd echter

³ De piekluminantie (voor af te beelden lichtpunten) ligt meestal een factor twee hoger dan de maximale luminantie voor grotere vlakken, maar is voor rijssimulatoren van ondergeschikt belang.

niet significant beïnvloed bij het uitvoeren van een precisie bombardement op landdoelen. Zowel Cardullo en Brown (1985) als Riccio, Cress en Johnson (1987) vonden geen significant negatieve effecten bij de uitvoering van gesimuleerde vliegtaken die bij een 100 ms delay werden uitgevoerd. In verband met de hogere spatio-temporele frequenties in de visuele informatie en het sneller reageren van het voertuig op bestuurdershandelingen bij het autorijden, mogen dergelijke bevindingen niet klakkeloos naar rijnsimulatie worden gegeneraliseerd. In het algemeen vereisen perceptief-motorische taakonderdelen onmiddellijke feedback. Derhalve zou ten aanzien van deze taakonderdelen de vertraging kort moeten zijn. Voor rijnsimulatoren adviseren Allen & Jex (1981) in dit verband een maximale vertraging van 40-60 ms; bij de Daimler-Benz simulator lijkt een vertraging van 80 ms acceptabel (Drosdol & Panik, 1985). Behalve door de grootte van de beeldhoek, wordt simulatorziekte ook beïnvloedt door vertragingen in de presentatie van visuele informatie. Dit is waarschijnlijk een belangrijke reden waarom simulatorziekte relatief veel voorkomt bij CGI systemen (o.a. Unga, 1988). Frank, Casali en Wierwille (1988) onderzochten bij een rijnsimulator effecten van vertraging in beeld- en bewegingssystemen op het welbevinden. Ziekteverschijnselen traden het meest op als de visuele bewegingsinformatie na de mechanische bewegingsinformatie werd gepresenteerd.

De *contrastratio* (enigszins gesimplificeerd: verhouding max. vs min. helderheid), is vooral van belang voor het waarnemen van details en (kleine) objecten op grote afstand. Net als luminantie beïnvloedt het dus de gezichtsscherpte. Daarnaast specificeert het ook afstanden van objecten ten opzichte van de waarnemer (vertewaas). Voor de elementaire onderdelen van de rijtaak, waarbij de waarneming van de nabije omgeving voornamelijk van belang is, is een hoge *contrastratio* (> 25:1) dus niet nodig, en overigens ook moeilijk haalbaar.

Verschillen in kleur-helderheid zijn vooral van belang voor de face validity en voor de onderscheiding en herkenning van objecten. Het aantal kleuren vormt, gezien de huidige technische mogelijkheden, geen probleem meer. Terwijl de meeste moderne CGI systemen over ongeveer 16 miljoen kleuren beschikken (in termen van tint, verzadiging en helderheid), zullen voor de rijtaak 50-100 kleuren waarschijnlijk al voldoende zijn. Teneinde de veranderingen in helderheid van kromme vlakken voldoende vloeiend te laten verlopen zijn, bij een *contrastratio* van 25:1, minimaal 150 helderheidsstappen nodig. De opeenvolgende helderheidsstappen verschillen dan met een factor 1,02 (Milders & Padmos, 1991).

Volgens een aantal auteurs trekt ruimtelijke *aliasing*, vanwege het discontinuë karakter ervan, nogal de aandacht (Szabo, 1978) en werkt daarom vooral bij dynamische beelden storend. Dit is vooral zo bij lagere resoluties, waar de effecten van aliasing het duidelijkst zijn (Booth e.a., 1987). Op grond van persoonlijke ervaringen lijken, bij redelijke resoluties, de storende effecten van aliasing echter wel mee te vallen. Natuurlijk verdient toepassing van een anti-aliasing systeem, wat extra reken capaciteit kost, de voorkeur. Het lezen van borden en het waarnemen van configuraties op grotere afstand wordt bij anti-aliasing beter.

Een hoge beeldkwaliteit, met name in termen van afgebeelde *resolutie*, is van belang voor de maximale mate van detail waarmee objecten worden afgebeeld.

Eerder werd opgemerkt dat het belang van een gedetailleerde weergave van de omgeving voor veel trainingssimulators, niet altijd even groot is. Bovendien neemt de gezichtsscherpte bij de gebruikelijke lage luminantieniveaus tóch al af. Een hoge resolutie (> 30 pixels/graad) lijkt in dit verband vooral van belang voor het lezen van verkeersborden en voor de waarneming van de omgeving op grotere afstanden (tegenliggers, wegverloop), waarbij elementen in de omgeving nog maar met een zeer kleine visuele hoek worden afgebeeld. Om de waarneming van tegenliggers en het wegverloop op grotere afstand te verbeteren, kan de resolutie centraal verhoogd worden, waarbij het aantal pixels per graad naar de periferie toe gelijdelijk afneemt (Geltmacher, 1988). Dit is een vereenvoudigde versie van de "area of interest", waarbij het gebied met de hoogste resolutie automatisch met het hoofd of de ogen meebeweegt. Voor niet kritische rijtaken wordt, mede gezien de vrij lage luminantieniveaus van simulatorbeelden en de dynamiek van het beeld (waardoor de effectieve gezichtsscherpte verslechterd), een minimum afgebeelde resolutie van 15-20 pixels/graad als voldoende ingeschat (zie ook Korteling & Van Randwijk; Milders & Padmos, 1991). Verwacht wordt dat dit geen grote effecten zal hebben op de uitvoering van elementaire perceptief-motorische en cognitieve onderdelen van het autorijden. In dit verband kan een onderzoek van Blaauw (1982) worden genoemd. Het rijgedrag van proefpersonen in een geïnstrumenteerde auto op de rechte weg werd vergeleken met het rijgedrag in een fixed-base model-board simulator. Deze simulator bleek absoluut en relatief valide met betrekking tot snelheidscontrole en alleen relatief valide met betrekking tot koerscontrole. Verondersteld werd dat dit laatste het gevolg was van afwezigheid van mechanische bewegingsinformatie, maar het zou ook goed verklaard kunnen worden door de lage resolutie van het beeldsysteem. Verder is hieromtrent nog niet veel onderzoek verricht. Samenvattend: de effecten van variabelen die de technische beeldkwaliteit bepalen zijn, vooral ten aanzien van rijtaken, niet voldoende onderzocht. Beperkingen met mogelijk belangrijke consequenties voor rijsimulators betreffen vooral de misleidende diepte-informatie door collimatie, beeldvertraging (bijwerk-, opfrisfrequentie, transporttijd e.d.), en resolutie. Daarom zijn deze factoren het meest interessant voor verder onderzoek.

4 THEORETISCHE PRINCIPES

In dit hoofdstuk wordt kort ingegaan op de psychologische theorievorming voorzover relevant voor beeldsystemen van simulators. Op basis hiervan kunnen onderzoeksoptzet en onderzoeksresultaten in een breder kader worden geplaatst, zodat de relevantie en de mate van generaliseerbaarheid duidelijker worden.

4.1 De focale en de ambiënte waarnemingsmodaliteit

Ten aanzien van de visuele waarneming worden vaak twee psychologische modaliteiten onderscheiden: de focale en de ambiënte modaliteit⁴ (Leibowitz, Post, Brandt & Dichgans, 1982; Leibowitz & Owens, 1977; Leibowitz & Post, 1982).

Focale modaliteit

De focale modaliteit heeft betrekking op de onderscheiding en identificatie van stimuli (de "wat?" vraag). Focale waarneming is het meest gevoelig voor hoge spatiële frequenties (details, > 15 cycli/graad) en is optimaal in het centrale blikveld. Dit betekent tevens dat het systeem minder functioneert bij lage luminantie (helderheid) en bij refractiefouten. Focale waarneming vindt hoofdzakelijk bewust, via corticale processen plaats.

Ambiënte modaliteit

De ambiënte modaliteit heeft betrekking op stimulussignalering (detectie), ruimtelijke oriëntatie en bewegingszien via de periferie van het netvlies (de "waar?" vraag). Ambiënte waarneming verschaft het referentiekader van de waarnemer in zijn omgeving. Het stuurt daarbij de focale waarneming met betrekking tot een nadere inspectie van details. Het oplossend vermogen van ambiënte waarneming is laag (de effectieve stimuli zijn grof, < 15 cycli/graad) maar het systeem is minder beïnvloedbaar door lage niveaus van luminantie en resolutie. Het belang van stimulussignalering bij autorijden ligt vooral in het perifeer opmerken van dreigend conflict, zoals het plotseling oversteken van een kind of het opmerken van kruisend verkeer. Ruimtelijke oriëntatie heeft betrekking op het bepalen van de positie (afstand, richting) van elementen, zowel ten opzichte van elkaar als ten opzichte van de waarnemer en bewegingszien, waarbij zelfbeweging en objectbeweging worden onderscheiden. Waarneming van zelfbeweging via de ambiënte modaliteit van het visuele systeem is vooral belangrijk ten aanzien van *steady state* bewegingen en laagfrequente (< 0.5 Hz) veranderingen daarin (AGARD, 1980; Rolfe & Staples, 1986). Hoogfrequenter zelfbeweging is primair een functie van het vestibulaire en het haptische systeem.

Focaal en ambiënt zien en de rijtaak

Focale waarneming is waarschijnlijk van belang bij de hogere niveaus van rijkunst (formule 1 rijden), als bijvoorbeeld al op grote afstand op kleine veranderingen in het wegverloop moet worden geanticipeerd. Ook is de focale modaliteit belangrijk voor het lezen van borden. Het is echter duidelijk dat identificatie van andere objecten bij de rijtaak meestal slechts globaal hoeft te

⁴ Deze functies kunnen behalve op psychologisch niveau ook fysiologisch/anatomisch worden onderscheiden. Focale waarneming wordt verzorgd door het parvocellulaire deel van het geniculostriate systeem. Ambiënte waarneming wordt verzorgd door het magnocellulaire deel van het geniculostriate systeem en het tecto-pulvinaire systeem (b.v. Livingstone & Hubel, 1988).

gebeuren. Het is bijvoorbeeld voldoende om een voetganger of automobiel van andere weggebruikers te kunnen onderscheiden. Het is niet noodzakelijk om te kunnen zien om wat voor soort fiets of welk merk auto het gaat. Focale waarneming gaat pas een rol spelen bij de waarneming van de omgeving op grotere afstanden (tegenliggers, wegverloop), waarbij elementen in de omgeving nog maar zeer klein zijn. De veelal voor het autorijden meer essentiële onderdelen van de rijtaak, zoals het schatten van afstanden en (weg)configuraties, snelheden en bewegingsrichtingen (alle op beperkte afstand van het voertuig), nodig voor koers- en snelheidsregulatie lijken meer een functie van de ambiënte waarnemingsmodaliteit. Deze functies lijken geen hoge luminanties en scherpe projecties op het netvlies te vereisen (Leibowitz, Shupert-Rodemer & Dichgans, 1979; Ball & Sekuler, 1986).

Het bovenstaande betekent dat het op theoretische gronden te verdedigen is dat de ambiënte waarnemingsfuncties bij de vroegere stadia van het leren autorijden (ruimtelijke oriëntatie en bewegingszien) meer fundamenteel zijn dan de focale. Dit lijkt ook ondersteund te worden door bijvoorbeeld het betrekkelijk willekeurige fixatiegedrag (focaal) van automobilisten (Cole & Hughes, 1988) en door het bekende gegeven dat automobilisten hun rijsnelheid nauwelijks verlagen onder visueel gedegradeerde omstandigheden, zoals duisternis en mist. Bovendien lijkt het erop dat beginnende automobilisten teveel op focale stimuli letten en te weinig de "grote lijn" in de gaten houden. Dit valt althans af te leiden uit het patroon van oogfixaties van ervaren en onervaren automobilisten (Bhise & Rockwell, 1971; Mourant & Rockwell, 1972).

De rol van het focale systeem lijkt met het onderscheiden en identificeren van stimuli met hoge spatiële frequenties, bij het autorijden bescheiden. Ambiénte functies, daarentegen, zouden een belangrijke rol kunnen spelen bij de perceptief-motorische taakonderdelen, waar het niet zozeer gaat om de (kwalitatieve) categorisering van objecten in de buitenwereld, als wel om kwantitatieve, veelal absolute gegevens zoals afstand, richting en snelheid.

In tegenstelling tot focale waarneming lijkt ambiënte waarneming in theorie relatief onafhankelijk van beeldkwaliteit in termen van luminanties, contrast-ratio's, delay, anti-aliasing en/of resoluties (b.v. Leibowitz & Owens, 1977; Leibowitz, Shupert-Rodemer & Dichgans, 1979). Dit betekent dat de invloed van beeldkwaliteit op de validiteit van een rijsimulator voor de training van (beginnende) chauffeurs waarschijnlijk niet bijzonder groot is⁵. Beeldinhoud en beeldhoek lijken daarentegen wel van belang voor de ambiënte waarneming. Beeldinhoud lijkt noodzakelijk voor het waarnemen van de positie van het voertuig ten opzichte van de omgeving in termen van afstanden, richtingen en snelheden, waarbij zelfbeweging en objectbeweging worden onderscheiden. Een voldoende grote beeldhoek lijkt van belang voor het waarnemen van de eigen

⁵ Hierbij wordt even afgezien van het nut van beeldkwaliteit voor de geloofwaardigheid en het comfort.

rijsnelheid en het perifere stimulussignalering. In hoeverre het hierboven gestelde waar is, kan alleen door experimenteel onderzoek worden vastgesteld.

4.2 De computationele en de ecologische benadering

Twee belangrijke theoretische benaderingen van visuele waarneming zijn relevant voor het ontwerp van real-time CGI systemen: de computationele benadering (Ullman, 1979) en de ecologische benadering (Gibson, 1950, 1966, 1979; Neisser, 1976). De computationele benadering probeert het proces van visuele waarneming te begrijpen in termen van elementaire objecten of kenmerken ("features"). Wat zijn die elementen en hoe gebruikt het visuele systeem ze teneinde een interne representatie van de buitenwereld te construeren? Daarbij wordt getracht een groot deel van het gedrag te verklaren vanuit het informatie-coderings- en verwerkingsproces; de waarneming als subject-bepaald proces van (re)constructie. Dit gaat gepaard met een relatief geringe belangstelling voor de "constraints" die worden opgelegd door het domein waarin het gedrag plaatsvindt.

Volgens de ecologische benadering wordt er in de computationele benadering ten onrechte vanuit gegaan dat visuele waarneming onder natuurlijke omstandigheden een reconstructie proces is. Reconstructie in de waarneming komt alleen aan het licht als de beschikbare informatie gebrekkig is en het visuele systeem dus niet goed in staat is om de stimulussituatie te interpreteren. De ecologische benadering is meer gericht op analyse van stimulusconfiguraties voorzover relevant voor de taakuitvoerder (het taakdomein) en niet zozeer op obscure innerlijke processen en mechanismen. Deze benadering gaat ervan uit, dat de normale stimulussituaties samenhangende en goed gestructureerde informatie bevatten, die op grond van fysische te beschrijven constanties (wetten), op een consistente, consequente en redundante manier specificeert wat er gebeurt, zowel met de waarnemer, als met de omgeving. Een opsplitsing hiervan in elementaire entiteiten (analyse) om vervolgens weer over te gaan tot het vormen van een innerlijke samenhangende reconstructie (synthese) is, epistemologisch gezien, zinloos. De ecologische benadering benadrukt derhalve vooral het *selectieve* karakter van de waarneming. Door training leert het visuele systeem zich te richten op de invarianten (cues) die de omgeving en de gebeurtenissen specificeert. De eerder geïnterpreteerde veelvoorkomende cues (§ 2.1) worden daarbij van meet af aan al goed waargenomen. Deze vormen immers door hun alomtegenwoordigheid de basis van de visuele waarneming. Bij training van een nieuwe perceptief-motorische taak gaat het erom nieuwe invarianten te ontdekken en te gebruiken. Een voorbeeld hiervan is het leren gebruiken van richtpunten op de motorkap voor koerscontrole, of het waarnemen van covariaties tussen bijvoorbeeld haptisch waargenomen pedaaldruk, auditief waargenomen veranderingen in motorgeluid, en visueel, haptisch en vestibulair waargenomen snelheidsvariaties. Het gaat hier steeds om invarianten, d.w.z. de (hogere orde) aspecten die gelijkblijven bij voortdurende veranderingen op elementair niveau. De elementen van de waarneming liggen bij de ecologische benadering dus op

een wat hoger integratieniveau dan bij de computationele benadering. Hierdoor is de eerstgenoemde benadering vaak wat makkelijker op praktijksituaties toe te passen dan laatstgenoemde. Aan de andere kant houdt de ecologische benadering zich nauwelijks bezig met innerlijke mechanismen. De aandacht is vrijwel volledig gericht op de omgeving, de beschikbare informatie. Hoewel dit laatste een beperking betekent, is dit voor simulatoronderzoek met betrekking tot perceptief-motorische deeltaken geen fundamenteel probleem voorzover het hier gaat om de relatie tussen de werkelijke stimulus en de gesimuleerde. Dit betekent dat voor de presentatie van visuele informatie in rijssimulatoren relevante onderzoeksresultaten en theorievorming eerder te vinden zijn in de ecologische literatuur dan in de computationele literatuur.

5 CONCLUSIES

De visuele informatie bij rijssimulatoren is aanzienlijk minder overvloedig dan in de werkelijkheid. Er valt op dit moment geen adequate beschrijving te geven van de minimum cue-eisen voor een compleet beeldsysteem, gegeven een complexe taak zoals autorijden. Globaal is op grond van de huidige kennis natuurlijk wel een en ander bekend, of mag een aantal zaken worden verondersteld. Dit werd voor beeldinhoud, beeldhoek en beeldkwaliteit (elementaire fysische eigenschappen) afzonderlijk geïnventariseerd. Voorts werd verondersteld dat de invloed van beeldkwaliteit op de validiteit van een rijssimulator voor de training van (beginnende) chauffeurs waarschijnlijk niet bijzonder groot is, omdat beeldkwaliteit voornamelijk belangrijk zou zijn voor de, voor het leren autorijden minder belangrijke, focale waarnemingsfuncties. Beeldinhoud en beeldhoek lijken daarentegen wel van belang. Beeldinhoud lijkt noodzakelijk voor het waarnemen van de positie van het voertuig ten opzichte van de omgeving in termen van afstanden, richtingen en snelheden, waarbij zelfbeweging en objectbeweging worden onderscheiden. Een voldoende grote beeldhoek is vooral belangrijk voor het waarnemen van de eigen rijnsnelheid, perifere positiebepaling en stimulus-signalering. Ook is gesteld dat juist de meer essentiële perceptief-motorische taakonderdelen, die vooral een beroep doen op de ambiënte waarnemingsfuncties, moeilijk met een hoge validiteit te simuleren zijn. Dit zou betekenen dat de problemen bij de presentatie van beeldinformatie vooral te maken hebben met tekorten in beeldinhoud en beeldhoek.

Op grond van de kennisinventarisatie werd in het voorgaande een aantal leemten aangegeven die nader onderzoek vereisen:

- Met betrekking tot beeldinhoud is behoefte aan meer kennis omtrent de effecten op de taakuitvoering van detaillering, verdeling en positionering van beeldelementen en van textuur.
- Het effect van beeldhoek-grootte op een aantal onderdelen van de rijtaak is nog niet goed bekend.

- Met betrekking tot beeldkwaliteit lijkt het zinvol meer te weten te komen over de effecten van misleidende diepte-informatie door collimatie, beeldvertraging (bijwerk-, transporttijd e.d.), en resolutie.
- Op grond van een aantal theoretische overwegingen is het belang van focale waarneming, en daarmee beeldkwaliteit, voor basale onderdelen van de rijtaak niet bijzonder groot. Deze veronderstelling moet echter nog geverifieerd worden.

6 ONDERZOEK

Generaliserend komen bovenstaande conclusies erop neer dat meer inzicht nodig is in de bijdrage van cues voor de verschillende taakonderdelen, zodat specifieke minimum-eisen aan trainingssimulators worden opgesteld en geld bespaard kan worden op de aankoop van overtollige (en vaak dure) opties. Hiervoor is het volgende onderzoek nodig.

6.1 Effecten van beeldkenmerken

Voorgesteld wordt om in een serie experimenten de effecten van variaties in kenmerken van het beeldmateriaal ("beeldinhoud") voor het uitvoeren van perceptief-motorische onderdelen van de rijtaak te onderzoeken. CGI simulatoren zijn altijd beperkt in de maximaal mogelijke hoeveelheid beeldinhoud vanwege hun gelimiteerde rekencapaciteit. Eerder werd al opgemerkt dat een deel van de visueel-ruimtelijke informatie, nl. voorzover deze afhankelijk is van bewegingsparallax, interpositie en relatieve grootte, hierdoor in beperkte mate wordt gerepresenteerd. Op een tamelijk eenvoudige manier zou kunnen worden onderzocht hoe elementen optimaal in een visuele database geplaatst moeten worden om optimaal te kunnen sturen en/of de snelheid te kunnen inschatten. Onderzocht zou bijvoorbeeld kunnen worden in hoeverre elementen in de omgeving (bomen, huizen, bossages, belijning) bijdragen tot het koershouden op een recht traject en hoe deze elementen optimaal in de database ten opzichte van elkaar en van het te rijden traject zouden moeten worden geplaatst. Ook kan onderzoek gericht worden op de waarneming van snelheid. Gekeken kan bijvoorbeeld worden wanneer bestuurders het beste in staat zijn de rijnsnelheid van een ander waargenomen voertuig te reproduceren. Dit zegt iets over de waarneming van rijnsnelheid van andere voertuigen en van de eigen rijnsnelheid. Ook het waarnemen van afstand is van groot belang voor de rijtaak. Het gaat hier bijvoorbeeld om de afstand ten opzichte van voorliggers (waarbij mede op basis van rijnsnelheid indirect de volgtijd van belang is), kruisingen of obstakels. Tevens dient het effect van textuur op de waarneming van afstanden, snelheden, richtingen en objectvorm te worden onderzocht. Daarbij moet naar mogelijkheden worden gezocht om eventuele positieve effecten van textuur te optimaliseren.

De fundamentele vraag is hier steeds hoe met een minimum aan polygonen en rekencapaciteit een maximum aan beschikbare informatie gepresenteerd kan worden. Dergelijk onderzoek biedt o.a. de mogelijkheid algemene richtlijnen op te stellen voor simulator technici die zich bezig houden met het ontwerpen en programmeren van visuele databases.

Op een wat meer geïntegreerd niveau kunnen de effecten van variabelen die bepalend zijn voor beeldkwaliteit en beeldhoek onderzocht en tegen elkaar worden afgezet. Beeldkwaliteit lijkt vooral van belang voor de focale modaliteit, beeldhoek lijkt dat te zijn voor de ambiënte modaliteit, terwijl beeldinhoud waarschijnlijk voor beide modaliteiten belang is. Daarom zal dit aanknopingspunten bieden voor de bepaling van het belang van focale en ambiënte waarneming bij het autorijden. Tevens kunnen predicties vanuit de computationele en ecologische benadering tegen elkaar worden afgezet. Het vinden van antwoorden op dergelijke theoretische vragen is van belang om resultaten beter te kunnen generaliseren naar meer algemene principes, zodat het onderzoek aanknopingspunten biedt met betrekking tot nevensgeschikte praktijkvragen.

6.2 Cue dominantie hiërarchie

Om systematisch inzicht te krijgen in het relatieve belang van cues zal gewerkt worden aan een zgn. ecologische *cue dominantie hiërarchie* voor onderdelen van de rijtaak. Warren & Riccio (1985) toonden aan dat voor het handhaven van vlieghoogte de aanwezigheid van een schematische horizon met rechte weg effectiever was dan een primitieve vorm van textuur. Beide elementen leveren, op een verschillende manier, cues voor pitch en voor hoogte. Textuur zorgt bovendien nog voor een flowfield, hetgeen snelheidsinformatie levert. Op zich is een dergelijke vondst niet bijzonder verrassend. Wel verrassend was de bevinding dat het superieure horizon/weg element tot (iets) betere prestaties leidde dan de combinatie van dit element met textuur. Iets dergelijks werd al eens eerder gevonden door Wolpert, Owen en Warren (1983). Zij vonden dat observatoren het verschil tussen dalen en "level" vliegen beter konden zien bij presentatie van alleen longitudinale lijnen op de grond dan bij alleen dwarslijnen of de combinatie van beide⁶. Op grond van deze, en een aantal overeenkomstige gegevens suggereren Warren en Riccio (1985) dat zwakkere cues mogelijk genegeerd worden als ze tezamen met dominante cues voor dezelfde referent beschikbaar zijn. Hierdoor zouden leerlingen die met simulatoren zijn getraind die vrijwel het volledige scala aan cues presenteren, niet vaardig zijn in het hanteren van zwakke cues. Wanneer, bij gelijkblijvende kosten, prioriteiten moeten worden gesteld dan pleit het bovenstaande voor presentatie van zoveel mogelijk dominante en zo weinig mogelijk zwakke cues.

⁶ Deze resultaten worden overigens weer tegengesproken door die van Johnson e.a. (1989), waaruit bleek dat longitudinale informatie het slechter deed dan dwars-informatie, of de combinatie van beide.

6.3 Onderzoeksmethoden

Om op een efficiënte manier uit te zoeken in hoeverre visueel-ruimtelijke oriëntatieproblemen die door beeldbeperkingen kunnen ontstaan ten koste gaan van de training-overdracht, kan de quasi-transfer methode (of simulator-to-simulator methode, b.v. Lintern, Thomley & Nelson, 1983; Lintern, Wightman & Westra, 1984) worden toegepast. Volgens deze methode wordt een aantal groepen leerlingen op dezelfde wijze getraind, met dit verschil dat bij iedere groep een ander element afwezig is (b.v. textuur, kleur, mechanische beweging, geluid enz.). Een controlegroep wordt getraind op de volledig operationele simulator (criterium-conditie). Vervolgens worden de groepen in dezelfde, volledig operationele, simulator getest. De prestatieverschillen in deze criterium-conditie dient dan als maat voor de relatieve bijdrage van het betreffende onderdeel aan de trainingseffectiviteit van de simulator. Deze prestatie kan onmiddellijk na de overstap op het werkelijke systeem worden gemeten (*first shot performance*) of worden uitgedrukt in termen van de effort die nodig is om tot een bepaald prestatie criterium te komen. Voorbeelden van de laatste zijn: nog benodigde trainingstijd of trainingskilometers.

Uit efficiëntie-overwegingen kan onderzoek ook beperkt worden tot vergelijking van prestaties op de volledige simulator van twee of meer groepen die op verschillende simulator-configuraties zijn getraind. Tot slot kan ook de taakprestatie van chauffeurs op verschillende simulator-configuraties zèlf vergeleken worden. In dat geval wordt er geen transfer-meting gedaan. Gekeken wordt dan wat het effect is van aan- en afwezigheid van cues, of van de vormgeving ervan, op de kwaliteit van de taakuitvoering. De onderliggende gedachte is hierbij dat het op deze manier duidelijk wordt welke cues per taak(onderdeel) al of niet belangrijk zijn, zodat beter gespecificeerd kan worden aan welke eisen een beeldsysteem zal moeten voldoen.

6.4 Tijdsplan

Voor het beschreven onderzoeksplan wordt het volgende tijdschema voorgesteld:

1991

Experiment 1

Koershouden als functie van beeldinhoud-variabelen (evt. ook beeldhoek).

1992-1993

Experiment 2

Snelheidsreproductie als functie van beeldinhoud-variabelen (evt. ook beeldhoek).

Experiment 3

Afstandswaarneming als functie van beeldinhoud-variabelen.

Experiment 4

Beeldkwaliteit, het belang van focale en ambiënte informatie voor leerling-automobilisten.

1994-1995

Validatie-onderzoek en het formuleren van minimum-eisen op basis van eerder genoemde bevindingen.

REFERENTIES

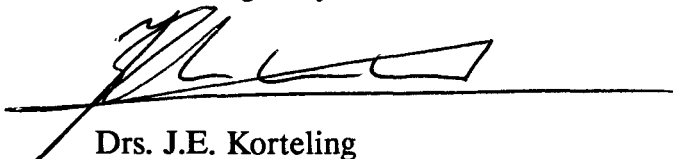
- AGARD (1980). Fidelity of simulation for pilot training. NATO, AGARD-AR-159.
- AGARD (1981). Characteristics of flight simulator visual systems. NATO, AGARD-AR-164.
- Allen, R.W. & Jex, H.R. (1981). Driving Simulation-requirements, Mechanization, and Application. SAE Trans. Vol. 89, 1769-1780, SAE Paper 800448.
- Allen, R.W., O'Hanlon, J.F. & McRuer, D.T. (1977). Driver's visibility requirements for roadway delineation. Vol.1: Effects of contrast and configuration on driver performance and behaviour. FHWA-report FHWA-RD-77-165. STI Hawthorne, CA.
- Ashkenas, I.L. (1986). Collected flight and simulation comparisons and considerations. AGARD, Flight Simulation.
- Ball, K. & Sekuler, R. (1986). Improving visual perception in older observers. *Journal of Gerontology* 41, 176-182.
- Bess, R.D. (1989). Tradeoffs in the configuration of computer image generation systems. I/ITSC Conference Proceedings, 478-485.
- Bhise, V.D. & Rockwell, T.H. (1971). The role of peripheral vision and time sharing in driving. In Proceedings of the 15th annual Meeting of the American Association for Automotive Medicine. Colorado Springs, CO.
- Blaauw, G.J. (1982). Driving experience and task demands in simulator and instrumented car: a validation study. *Human Factors* 24(4), 473-486.
- Bles, W. (1983). Bewegingsziekte. Rapport 1983-21, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Booth, K.S., Bryden, M.P., Cowan, W.B., Morgan, M.F. & Plante, B.L. (1987). On the parameters of human visual performance, an investigation of the benefits of antialiasing. *Human Factors in Computing Systems IV*.
- Brown, J.L. (1976). Visual elements in flight simulation. *Aviation, Space and Environmental Medicine*.
- Cardullo, F.M. & Brown, Y.J. (1985). Visual systems lags: the problems, the cause, the cure. In: Proceedings Image V Conference (Monroe, E.G., Ed.), 31-42.
- Casali, J.G. & Frank, L.H. (1986). Perceptual distortion and its consequences in vehicular simulation: basic theory and incidence of simulator sickness. *Transportation Research Record* 1059.
- Chappelow, J.W. & Smart, J.A. (1982). Putting texture in perspective. In: *Flight Simulation - Avionics and Aeromedical Aspects*. The Royal Aeronautical Society, London.
- Clapp, R.E. (1985). Problems of the visual display in flight simulation. SPIE Vol. 549, Image Quality: An Overview.
- Cole, B.L. & Huges, P.K. (1988). Drivers don't search: they just notice. Paper presented at the first international conference of visual search, Durham, UK.
- Davies, J.L. (1990). A graphical approach to managing cost/performance trade-offs in visual simulation. ITEC Proceedings.
- Drosdol, J. & Panik, F. (1985). The Daimler-Benz driving simulator: a tool for vehicle development. SAE paper 850334. International Congress & Exposition, Detroit, Michigan.
- Eernst, J.Th., Sanders, A.F. & Ter Linden, W. (1967). De invloed van de omvang van het gezichtsveld en de beeldvergroting van periscopen op de rijprestatie in legervoertuigen. Rapport 1967-12, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- FAAC (1989). White paper on truck driving simulator trade studies. FAAC report no. FR4158U/4823-022. FAAC Inc., Ann Arbor, Michigan.

- Farrell, R.E. & Booth, J.M. (1975). Design handbook for imagery interpretation simulator. *Human Factors* 30(2), 201-271.
- Geltmacher, H.E. (1988). Recent advances in computer image generation simulation. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*.
- Gibson, E.J. & Bergman, R. (1954). The effect of training on absolute estimation of distance over the ground. *Journal of Experimental Psychology* 48, 473-482.
- Gibson, E.J., Bergman, R. & Purdy, J. (1955). The effects of prior training with a scale of distance on absolute and relative judgements of distance over the ground. *Journal of Experimental Psychology* 50, 97-105.
- Gibson, J.J. (1950). *The perception of the visual world*. Boston: Houghton Mifflin Comp.
- Gibson, J.J. (1966) *The senses considered as perceptual systems*. Boston: Houghton Mifflin Comp.
- Gibson, J.J. (1979) *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin Comp.
- Haug, E.J. et al. (1990). Feasibility study and conceptual design of a national advanced driving simulator. Center for simulation and design optimization of mechanical systems, College of Engineering, The University of Iowa, Iowa City.
- Hettinger, L.J., Berbaum, K.S., Kennedy, R.S., Dunlap, W.P. & Nolan, M.D. (1990). Vection and simulator sickness. *Military Psychology* 2(3), 171-181.
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & Psychophysics* 14, 201-211.
- Johnson, W.W., Tsang, P.S., Bennett, C.T. & Phatak, A.V. (1989). The visually guided control of simulated altitude. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 152-156.
- Käppler, W.-D. (1986). Using a driving simulator to investigate vehicle handling properties. In: *Human Decision Making and Manual Control* (Willumeit, H.P., Ed.), Elsevier Science Publishers BV.
- Kleiss, J.A., Curry, D.G. & Hubbard, D.C. (1988). Effect of three-dimensional object type and density in simulated low-level flight. *Proceedings of the Human Factors Society*.
- Korteling, J.E. (1990). De YPR-765 simulator als leerhulpmiddel. Rapport 1990 A-29, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Korteling, J.E. (1990). Checklist visuele databases CGI simulatoren. Memo IZF 1990-M28. TNO Instituut voor Zintuigfysiologie, Soesterberg.
- Korteling, J.E. & Osinga, D.S.C. (1989). De IZF Ergonomie checklist voor vrachtautocabines. Rapport 1989-37, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Korteling, J.E. & Padmos, P. (1990). De Leopard 2 rijnsimulator als leerhulpmiddel. Rapport 1990 A-3, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Korteling, J.E. & Randwijk, M.J. van (1991). Simulatoren en verkeersoefenterrinen in de militaire rijopleiding; literatuurstudie en advies. Rapport 1991 A-11, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Kraft, C.L., Anderson, C.D. & Elworth, C.L. (1982). Peripheral cues and color in visual simulation. *Proceedings of the Human Factors Society, 26th Annual Meeting*, 906-910.

- Lee, D.N. (1976). A theory about visual control of braking based on information about time to collision. *Perception*, 15, 437-459.
- Leibowitz, H.W. & Owens, D.A. (1977). Nighttime accidents and selective visual degradation. *Science* 197, 4302, 422-423.
- Leibowitz, H.W. & Post, R.B. (1982). The two modes of processing concept and some implications. In: *Organization and representation in Visual Perception* (Beck, J., Ed.), Erlbaum.
- Leibowitz, H.W., Post, R.B., Brandt, Th. & Dichgans, J. (1982). Implications of recent developments in dynamic spatial orientation and visual resolution for vehicle guidance. In: *Tutorials on Motion Perception* (Wertheim, A.H., Wagenaar, W.A. & Leibowitz, H.W., Eds), New York, Plenum, 231-260.
- Leibowitz, H.W., Shupert-Rodemer, C. & Dichgans, J. (1979). The independence of dynamic spatial orientation from luminance and refractive error. *Perception & Psychophysics* 28(2), 173-176.
- Lintern, G., Wightman, D.C. & Westra, D.P. (1984). An overview of the research program at the visual technology research simulator. Naval Training Equipment Center, Orlando, Florida. In: *Proceedings IMAGE III Conference* (Monroe, E.G., Ed.), 206-221.
- Lintern, G. (1986). An approach to scene design for real-time computer generated imagery. *Simulators III*.
- Lintern, G.D.C., Thomley-Yates, K. & Nelson, B. (1983). Visual display manipulations for simulation training air to ground attack. *Proceedings of the international conference on simulators*, Brighton, University of Sussex.
- Lintern, G., Thomley-Yates, K.E., Nelson, B.E. & Roscoe, S.N. (1987). Content, variety, and augmentation of simulated visual scenes for teaching air-to-ground attack. *Human Factors* 29(1), 45-59.
- Livingstone, M. & Hubel, D. (1988). Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science*, May, 740-749.
- McCormick, D. (1985). Eye height illusion. Memorandum, Advanced Products Operations, Link-Miles.
- Meehan, J.W. & Triggs, T.J. (1988). Magnification effects with imaging displays depend on scene content and viewing condition. *Human Factors*, 30, 487-494.
- Milders, M.V. & Padmos, P. (1991). Eisen voor buitenbeelden van voertuig-simulatoren; een literatuurstudie. Rapport IZF 1991 B-6, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Mourant, R.R. & Rockwell, T.H. (1972). Strategies of visual search by novice and experienced drivers. *Human Factors* 14, 325-335.
- Neisser, U. (1976). *Cognition and reality*. San Francisco, Freeman Comp.
- Padmos, P. (1989). Visual modelling errors in the Leopard 2 driving simulator. Rapport 1989-6, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Povenmire, H.K. & Roscoe, S.N. (1973). Incremental transfer effectiveness of a ground-based general aviation trainer. *Human Factors* 15, 534-542.
- Proffitt, D.R. & Kaiser, M.K. (1986). The use of computer graphics animation in motion perception research. *Behavioral Research Methods, Instruments, and Computers* 18, 487-492.
- Riccio, G.E., Cress, J.D. & Johnson, W.V. (1987). The effects of simulator delays on the acquisition of flight control skills: control of heading and altitude. *Proceedings of the Human Factors Society*.
- Rogers, B.J. & Collet, T.S. (1989). The appearance of surfaces specified by motion parallax and binocular disparity. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* 41a, 697-717.
- Rogers, B. & Graham, M. (1979). Motion parallax as an independent for depth perception. *Perception* 8, 125-134.
- Rolfe, J.M. & Staples, K.J. (1986). *Flight simulation*. Cambridge University Press.

- Roscoe, S.N. (1979). When day is done and shadows fall, we miss the airport most of all. *Human Factors* 21, 721-731.
Visual simulation & Image Realism.
- Taylor, H.L. (1985). Training effectiveness of flight simulators as determined by transfer of training. Bijdrage aan: Symposium on the transfer of training to military operational systems, Brussels.
- Tenkink, E. (1989). Rijden met beperkt uitzicht: een literatuurstudie. Rapport IZF 1989-61, TNO Instituut voor Zintuigfysiologie, Soesterberg.
- Ullman, S. (1979). The interpretation of visual motion. Cambridge, MA: MIT Press.
- Ungs, T.J. (1988). Simulator induced syndrome in coast guard aviators. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, March.
- Waldram, J.M. (1985). The roving eye, dynamic perspective. *Lightning Research and Technology* 17(4).
- Wallach, H. & O'Connell, D.N. (1953). The kinetic depth effect. *Journal of Experimental Psychology* 45, 205-217.
- Walraven, J. & Varkevisser, J. (1969). Rijprestaties met infrarood rijperiscopen bij monoculaire, bi-colaire en binoculaire waarneming. Rapport 1969-18, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Warren, R. & Riccio, G.E. (1985). Visual cue dominance hierarchies: implications for simulator design. Paper 851946, Society of Automotive Engineers SAE. Aerospace Technology Conference & Exposition, Long Beach, CA.
- Warren, W.H., Mestre, D.R., Blackwell, A.W. & Morris, M.W. (1991). Perception of circular heading from optical flow. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol. 17, 28-43.
- Wickens, C.D., Todd, S. & Seidler, K. (1989). Three-dimensional displays: perception, implementation, applications. Crew System Ergonomics Information Analysis Center: report 89-01.
- Wightman, D.C., Westra, D.P. & Lintern, G.D.C. (1985). Transfer of training of simulator visual and training features for the carrier landing task with undergraduate pilots. Proceedings of the 1985 Naval Training Equipment Center and Industry Conference.
- Wolpert, L., Owen, D.E. & Warren, R. (1983). Eyeheight-scaled versus ground-texture-unit-scaled metrics for the detection of loss in altitude. In: Proceedings of the Second Symposium on Aviation Psychology (Jensen, R.S., Ed.), Columbus, OH, 513-521.

Soesterberg, 24 juni 1991



Drs. J.E. Korteling

REPORT DOCUMENTATION PAGE

1. DEFENCE REPORT NUMBER (MOD-NL) TD 91-2163	2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER IZF 1991 B-5
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO. 735.4	5. CONTRACT NUMBER B91-56	6. REPORT DATE June 24, 1991
7. NUMBER OF PAGES 33	8. NUMBER OF REFERENCES 82	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE Visual information in driving simulators; literature survey and research proposal		
11. AUTHOR(S) J.E. Korteling		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Institute for Perception Kampweg 5 3769 DE SOESTERBERG		
13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Defence Research Schoemakerstraat 97 2628 VK Delft		
14. SUPPLEMENTARY NOTES		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 BYTE) The Netherlands Royal Army has an increasing need for advice concerning the utilization and effectiveness of driving simulators for the training of drivers. However, during this work always a number of questions remain open because the relevant knowledge simply is lacking. Therefore innovative and applied research is necessary, directed at answering these unanswered questions. The present report reviews the knowledge concerning visual information presentation for training simulators for normal and tracked vehicles. On this subject, image content, field of view, and image quality (basic physical characteristics) are discriminated. Based on this review the following gaps are identified. <ul style="list-style-type: none"> - With reference to image content, knowledge is lacking about the effects on task performance of detail, information distribution, positioning and texture. - The minimally required field of view for the training of basic elements of the driving task is unknown. - With regard to image quality, it seems meaningful to acquire more knowledge concerning the effects of deceiving depth information (caused by collimation), delay and resolution on task performance. - The focal visual modality, together with image quality, may be of limited importance for performance on elementary parts of the driving task. This idea should be further explored. In general, the value of different visual cues for different subtasks should be known and more understanding is needed about the way in which visual information has to be presented, such that important cues clearly emerge. In order to answer these kind of questions, directions for further research are indicated. Based on the experimental results, minimum requirements for driving simulators may be formulated, which may save expenses for the purchase of redundant (and often expensive) options.		
16. DESCRIPTORS Training Simulators	IDENTIFIERS Validity Driving Visual Cues	
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT)	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE)	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT)
18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT Unlimited availability		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES)