

RIJSIMULATORONDERZOEK NAAR HET GEDRAG VAN MENSEN IN HET VERKEER

Dr.ir. A.R.A. van der Horst

TNO Defensie en Veiligheid, BU Human Factors

Postbus 23, 3769 ZG Soesterberg

Tel. 0346 356 451

Fax 0346 353 977

Email: richard.vanderhorst@tno.nl

SAMENVATTING

Met het al maar drukker worden op de weg en met verwoede pogingen om het maximale uit het bestaande wegverkeerssysteem te halen, wordt de rijtaak voor de automobilist steeds complexer en wordt het des te belangrijker om in het weg- en verkeersontwerp de mens de maat der dingen te beschouwen. Succesvolle introductie van nieuwe bestuurdersondersteunende systemen, dynamische verkeersmanagementsystemen of complexe wegontwerpen hangt sterk af van hoe mensen met deze nieuwe ontwikkelingen willen en kunnen omgaan. Dit vereist kennis over wat mensen kunnen en doen in complexe en dynamische taakomgevingen. In deze bijdrage komt onderzoek naar gedrag van mensen in het verkeer aan bod dat gebruik maakt van geavanceerde human-in-the-loop rijsimulatoren. Aan de hand van een aantal voorbeeldstudies bespreken we de mogelijkheden van de inzet van rijsimulatoren voor onderzoek naar nog niet bestaande situaties, onderzoekssituaties waarbij de verkeersveiligheid in het geding kan zijn, of situaties waarin de onderzoeksomstandigheden nauwkeurig gecontroleerd moeten kunnen worden.

1 INLEIDING

Bij het ontwerpen van complexe weginfrastructuur kan het nodig zijn om in een vroeg stadium het ontwerp in 3D te beoordelen vanuit het oogpunt van de toekomstige weggebruiker. Enerzijds helpt dit de ontwerper fouten of tegenstrijdigheden in het ontwerp op te sporen, anderzijds maakt dit het mogelijk om na te gaan hoe het ontwerp vanuit een bepaald perspectief overkomt op de gebruiker. Het is natuurlijk mogelijk om op basis van het ontwerp uit te rekenen wat er vanuit een bepaalde positie te zien is gegeven een bepaalde kijkrichting wat betreft bijvoorbeeld wegbeeld en zichtlengte. Met behulp van eenvoudige tekenprogrammatuur is het op deze wijze mogelijk het ontwerp op deze aspecten te beoordelen, zie Fig. 1 (Van der Horst & Theeuwes, 1993).

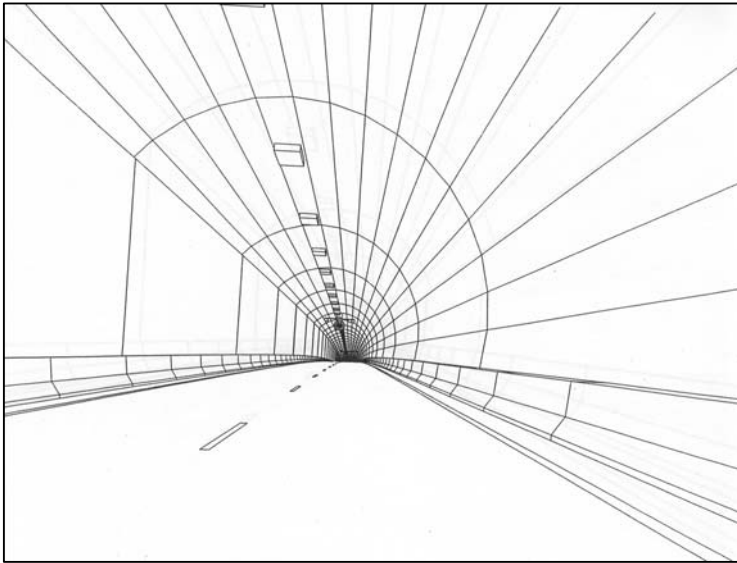


Fig. 1: Voorbeeld beoordeling perspectieftekening van een variant voor de Westerscheldetunnel (van der Horst & Theeuwes, 1993).

Deze aanpak heeft echter zijn beperkingen en in sommige gevallen is het juist van belang om een ontwerp dynamisch (al rijdend) te beoordelen (Van der Horst, Hoekstra & Theeuwes, 1995) en/of om na te gaan hoe weggebruikers zich, gegeven het ontwerp bijvoorbeeld in combinatie met verkeermanagementmaatregelen en in interactie met ander verkeer, zullen gaan gedragen. Een andere vraag die wel gesteld wordt, is of een bepaalde innovatief idee wel veilig genoeg is om op de weg in het echte verkeer uit te proberen. Een rijnsimulatorstudie kan dan uitkomst bieden.

Een prototypische rijnsimulator bestaat uit een voertuig mock-up en een beeldgeneratie- en projectiesysteem. De mock-up is uitgerust met dezelfde bedieningsmiddelen als in een echt voertuig (stuur, rem, gaspedaal, e.d.) en wordt in principe op dezelfde manier bediend. Het beeldgeneratiesysteem berekent – aan de hand van een voertuigmodel – de momentane positie en oriëntatie van het virtuele voertuig en projecteert de bijbehorende visuele informatie op een scherm dat voor de mock-up is geplaatst. Naast visuele informatie (buitenbeeld, dashboardinformatie) vindt terugkoppeling aan de bestuurder plaats van geluiden en van krachten op bedieningsmiddelen. Meestal wordt geluid gegenereerd dat onder andere afhankelijk is van het motortoerental en snelheid van het virtuele voertuig en van de positie en snelheid van ander verkeer. Sommige simulatoren beschikken over een moving-base, waardoor, in tegenstelling tot fixed-base simulatoren, de mock-up kan bewegen afhankelijk van de bewegingen van het gesimuleerde voertuig. Een dergelijk systeem biedt de mogelijkheid om als het ware door het ontwerp of in de te onderzoeken situatie te rijden. Enerzijds kunnen ontwerpers hun ontwerp nog eens zorgvuldig vanuit elk gewenst punt visueel

beoordelen, anderzijds kan met een rijnsimulator onderzoek worden gedaan naar de consequenties van een ontwerp of systeem voor het rijgedrag van weggebruikers.

TNO heeft een hele reeks van simulatorfaciliteiten van eenvoudig tot zeer complex tot haar beschikking waaruit afhankelijk van de specifieke vraagstelling een effectieve en efficiënte keuze kan worden gemaakt.

Voor het beantwoorden van onderzoeksvragen waarbij het vooral gaat om de begrijpelijkheid van bepaalde oplossingen of keuzes die weggebruikers maken is het soms voldoende om scenario's dynamisch aan te bieden op een computerscherm terwijl de proefpersoon de beschikking heeft over een stuurwiel, een gaspedaal en een rem, zodat men zelf over een wegvak kan rijden en bij draaien aan het stuur het beeld verandert zoals dat normaal ook in de rijnsimulator zou gebeuren en met het gaspedaal en rem de snelheid waarmee men over de weg rijdt, varieert. Fig. 2 geeft een voorbeeld van een dergelijke mini-simulator. Een studie naar de begrijpelijkheid van een aantal varianten van spitsstroken langs aansluitingen op autosnelwegen is een goed voorbeeld waarbij deze mini-simulator opstelling werd ingezet. Proefpersonen reden over een autosnelweg met een (al dan niet opengestelde) spitsstrook. Op basis van de aangeboden bebording en pijlen en kruisen boven de stroken moest men zelf beslissen of de strook beschikbaar was of niet, terwijl men soms de weg moest vervolgen, soms moest invoegen en soms juist moest uitvoegen (Martens & Ridder, 2002).



Fig. 2 Mini-simulator die ingezet wordt bij begrijpelijkheidsstudies.

Fig. 3 geeft de mede door TNO ontwikkelde low-cost fixed-base rijnsimulator weer, een systeem dat oorspronkelijk voor trainings- en opleidingsdoeleinden was ontwikkeld, maar nu ook inzetbaar is als onderzoeksrijnsimulator. Deze low-cost rijnsimulator is bijvoorbeeld recent ingezet bij een studie waarbij verschillende vormen van snelheidsinformatie aan de bestuurder (wegkant en in-car) bij het toepassen van een groene golf van verkeerslichten met elkaar werden vergeleken (Duivenvoorden, e.a., 2008). Een ander voorbeeld is de ontwikkeling en het testen van een Intelligent Cooperative Intersection Safety System (IRIS), een systeem dat door middel van voertuig-infrastructuur communicatie bewegingen van individuele voertuigen volgt en analyseert en op kruispunten potentieel gevaarlijke situaties detecteert en bestuurders waarschuwt. Een eerste waardering en acceptatie door gebruikers ervan werd onderzocht met behulp van een rijnsimulatorstudie (Vreeswijk, e.a., 2008).



Fig. 3 Low-cost fixed-base rijnsimulator bij TNO.

Fig. 4 geeft een overzicht van de TNO high-fidelity moving-base rijnsimulator opstelling met 180° voorwaarts beeld, en achtruitkijkschermen voor beide buitenspiegels.

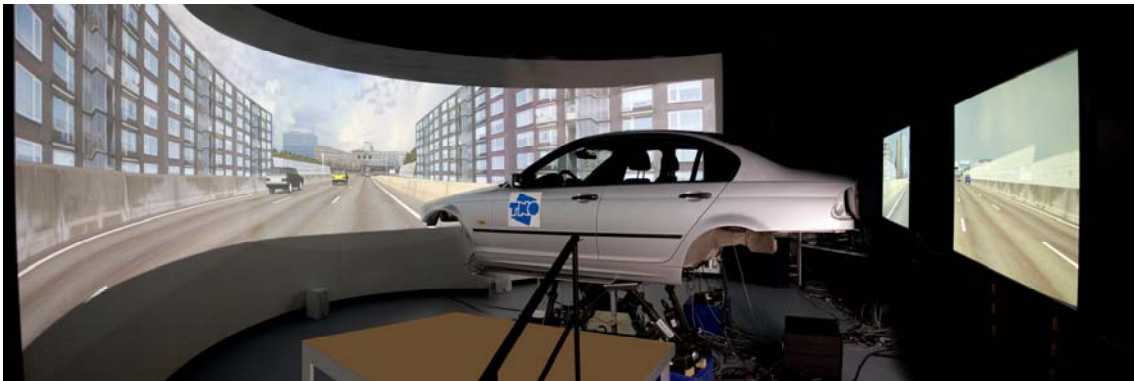


Fig. 4 High-fidelity moving-base rijnsimulator opstelling van TNO.

Recent heeft TNO een geavanceerd bewegingsplatform in gebruik genomen, genaamd DESDEMONA, zie Fig. 5. Dit systeem was oorspronkelijk ontwikkeld voor desoriëntatietrainingen voor vliegers, maar wordt nu ook ingezet als rijnsimulator voor die scenario's waar voertuigbewegingen een essentiële rol spelen zoals bij het rijden van scherpe bochten, het van de weg af raken, terrein rijden, e.d. DESDEMONA combineert beperkte lineaire beweging in een willekeurige richting met centrifugale acceleratie en ongelimiteerde rotaties. Een eerste studie naar het rijden in scherpe bochten met verschillende vormen van bewegingssimulatie (DESDEMONA motion cueing algoritme, klassiek wash-out filter, geen beweging) is inmiddels uitgevoerd en daarbij bleek het DESDEMONA algoritme goed te scoren en overeen te komen met het gevoel tijdens het rijden

van bochten in werkelijkheid (Wentink, e.a., 2008).



Fig. 5 Geavanceerd bewegingsplatform DESDEMONA dat zowel voor het simuleren van complexe vliegmanoeuvres als voor rijden in meer extreme situaties (scherpe bochten rijden, slalommen, van de weg raken, e.d.) kan worden ingezet.

In het navolgende richten we ons vooral op de TNO high-fidelity moving-base rijnsimulator (Fig. 4) en onderzoeken die daarmee zijn uitgevoerd.

2 VISUALISATIE

Visualisatie kan in principe ook zonder rijnsimulator. De kracht van een rijnsimulator voor het visualiseren ligt in de mogelijkheid het ontwerp flexibel, dynamisch, on-line en interactief te bekijken. Aangezien het simulatorsysteem in staat is continu en on-line het bij een bepaalde voertuigpositie passende beeld te presenteren, hoeft niet van te voren exact gespecificeerd te worden vanuit welk punt en in welke richting de waarnemer naar het wegbeeld kijkt. Het is mogelijk dynamisch door het ontwerp heen te rijden en wordt het ook mogelijk te kijken naar de invloed van andere elementen zoals bijvoorbeeld verkeerslichten of de aanwezigheid van ander verkeer (is er tijdig en voldoende zicht op ander verkeer op een kruispunt of op de staart van een file, etc.). Het biedt ook de mogelijkheid om als het ware met één druk op de knop verschillende ontwerpvarianten en -keuzes te beoordelen. Een mooi voorbeeld betrof de visualisatie van het ontwerp van de Ekeberg tunnel in Oslo in opdracht van Human Factors Solutions Consultants uit Noorwegen (Van der Horst, Hoekstra & Theeuwes, 1995). Human factors vragen betroffen onder andere de gewenste kleurstelling van wanden, wegdek en plafond, de vormgeving van een splitsing in de tunnel en de vraag of een visuele aanduiding van een constante neerwaartse helling van 2% weggebruikers zou kunnen helpen bij het kiezen van een juiste snelheid. In tegenstelling tot wat gebruikelijk is in tunnels om het plafond zo weinig mogelijk zichtbaar te laten zijn (donker vlak), beschouwden de ontwerpers het plafond als onderdeel van de architectonische context van een tunnel en daarom zou het plafond zichtbaar moeten zijn. Als voorbeeld contrasteert Fig. 6 een donkere (conventionele) met een lichte kleurstelling van het plafond.

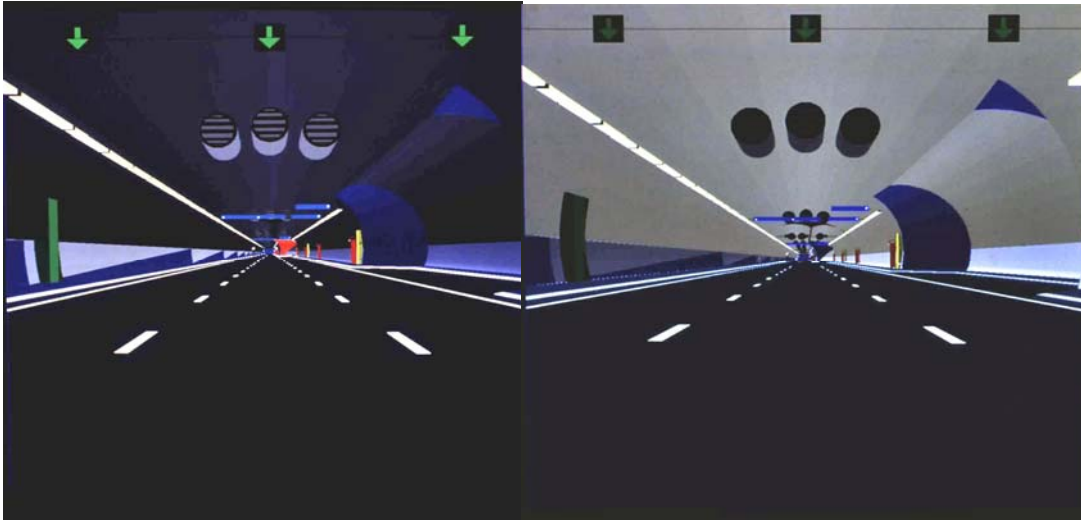


Fig. 6 Voorbeeld van een donkere versus een lichte kleurstelling voor het ontwerp van de Ekeberg tunnel in Oslo.

3 RIJSIMULATORONDERZOEK

Een rijnsimulator is één van de middelen die kunnen worden ingezet bij onderzoek naar verkeersgedrag. TNO Human Factors doet gedragsonderzoek met behulp van een hele range van methoden en technieken, van ongevalsanalyses, video-observaties in het werkelijke verkeer, geïnstrumenteerde voertuigen, rijnsimulators, laboratorium experimenten tot mathematisch modelleren van gedrag ten behoeve van microscopische verkeerssimulaties. Redenen waarom een rijnsimulator bij empirisch en systematisch gedragsonderzoek in een dynamische taakomgeving de voorkeur krijgt boven rijden in een echt voertuig op de weg, kunnen onder andere zijn:

- In de simulator is het mogelijk (nog) niet bestaande situaties te onderzoeken (speciaal bij nieuwe telematicatoepassingen ontbreekt simpelweg de infrastructuur nog),
- In de simulator is er sprake van systematische controle over omstandigheden en kun je specifieke situaties creëren en conditioneren (bijvoorbeeld afremmende voorligger, invogend verkeer, werklast, afleiding, file, duisternis, mist) en is het gemakkelijk om verschillende ontwerpvarianten met elkaar te vergelijken,
- In de simulator is het mogelijk situaties en omstandigheden te onderzoeken die (te) gevaarlijk zijn om ze bij voorbaat al op de weg uit te voeren omdat de (verkeers)veiligheid in het geding kan zijn.

Een kernbegrip met betrekking tot het toepassen van simulatoren bij gedragsonderzoek is het begrip *validiteit*. Onder validiteit van een rijnsimulator voor het beantwoorden van een bepaalde onderzoeksvraag wordt verstaan de mate waarin de simulator hetzelfde gedrag uitlokt als onder gelijksoortige condities in werkelijkheid zou worden vertoond (Korteling & Padmos, 1990). Het is echter betekenisloos om te spreken over de validiteit van een meetinstrument, zoals een simulator, als zodanig. Validiteit kan alleen worden gedefinieerd in relatie tot het beantwoorden van een specifieke onderzoeksvraag. Bij elk gebruik van een rijnsimulator dient de vraag te worden gesteld of de simulator voldoende valide is met betrekking tot de taak of vaardigheid die wordt onderzocht. Omdat mensen zelden alle beschikbare informatie bij een taak nodig hebben, of kunnen verwerken, is het niet per definitie noodzakelijk dat de aangeboden informatie in de simulator en in werkelijkheid op de weg volledig identiek zijn. Een onderscheid dient gemaakt te worden tussen *absolute* en *relatieve* validiteit (o.a. Kaptein, Theeuwes & van der Horst, 1995). Het verschil tussen absolute en relatieve validiteit

kan het best geïllustreerd worden aan de hand van een voorbeeld. Als men geïnteresseerd is in de vraag of een bepaalde snelheidsbeperkende maatregel zinvol is, is het snelheidsgedrag met en zonder maatregel van belang. Een simulator bezit ten aanzien van deze vraag *relatieve* validiteit als het effect van de maatregel op het snelheidsgedrag in de simulator qua richting en relatieve grootte overeenkomt met die in de werkelijkheid. Bij onderzoek om van een aantal voorgestelde maatregelen te bepalen welke de grootste snelheidsreductie geeft, dient de simulator relatief valide te zijn: de rangorde van effecten van de verschillende maatregelen in de praktijk moet hetzelfde zijn als de volgorde van de effecten in de rijnsimulator, zodat een juiste keuze kan worden gemaakt. De simulator bezit *absolute* validiteit als ook de absolute grootte van het effect in de rijnsimulator vergelijkbaar is met dat in werkelijkheid. Indien de vraag in dit voorbeeld is hoeveel snelheidsreductie te verwachten is, dan is absolute validiteit nodig. De afgelopen jaren zijn diverse onderzoeken uitgevoerd over de validiteit van de TNO rijnsimulator. Kaptein, Theeuwes en Van der Horst (1995) geven daarvan een goed overzicht. Meer recent had in het kader van het onderzoek naar BKA fase 2 (Basiskwaliteit Autosnelwegen) één van de rijnsimulatorexperimenten tot doel om het rijgedrag in de rijnsimulator te vergelijken met het rijgedrag op de plusstrook van de A27 om inzicht te verkrijgen in de validiteit van de simulator als het gaat om het rijden op versmalde rijstroken (Hoedemaeker, Janssen & Brouwer, 2002). Het patroon van verschillen tussen rijstroken met verschillende rijstrookbreedten dat op de weg werd gevonden, werd zo goed als altijd in hoge mate in de rijnsimulator gereproduceerd. De rijnsimulator bezat ten aanzien van het koershouden tenminste een goede relatieve validiteit en in veel situaties ook absolute validiteit.

Het begrip *face validity* is bij simulatoren ook van belang en is de mate waarin een proefopstelling (zoals een rijnsimulator, maar ook een geïnstrumenteerd voertuig) op de bestuurder realistisch overkomt. Dit hoeft in directe zin niet belangrijk te zijn voor de validiteit van het onderzoek maar kan bijvoorbeeld wel van belang zijn voor de motivatie van de bestuurder en daarmee indirect invloed hebben op de onderzoeksresultaten.

4 DE TNO RIJSIMULATOR

De high-fidelity moving-base TNO rijnsimulator (zie Fig. 4) bestaat uit de volgende deelsystemen:

Een mock-up

Proefpersonen zitten in een mock-up van een BMW 318i en hebben de normale bedieningsmiddelen tot hun beschikking (stuur, gaspedaal, rem, enz.). Krachten op het stuur, gaspedaal en rempedaal worden naar de bestuurder teruggekoppeld met behulp van elektrische actuatoren.

Een voertuigmodelcomputer

Deze berekent continu de positie en koershoek, gebaseerd op de geleverde input. Als het voertuig wordt gesimuleerd als een automaat, hoeven de proefpersonen niet te schakelen.

Een supervisor computer

Deze regelt de communicatie tussen de verschillende subsystemen, evenals de dataopslag en het gedrag van het overige gesimuleerde verkeer.

Beeld-genererende computersystemen

Zes DELL Dual Xeon werkstations met NVIDIA Quadro 3400 grafische kaarten zorgen voor real-time beelden gegenereerd op basis van data vanuit het voertuigmodel.

Projectie schermen

De beelden worden geprojecteerd op een cilindrisch scherm voor de mock-up en twee vlakke schermen achter de mock-up. Het beeld wordt geprojecteerd door 5 hoge-resolutie projectoren, drie voor het beeld vóór (HDTV 1080p, ProjectionDesignActio/Model3) en twee (type DLP) voor het beeld achter ten behoeve van de zijspiegels. Op een 34" LCD beeldscherm achter in de mock-up wordt het beeld voor de binnenspiegel weergegeven. De beelden op het scherm vóór de mock-up

hebben een totale visuele hoek van 180° horizontaal en 30° verticaal.

Een geluidsgenerator

Het geluid van het eigen voertuig (motorgeluid, wind, banden, etc.) en het geluid van de overige voertuigen wordt gegenereerd met behulp van een sampler en vervolgens via negen luidsprekers in en rond de mock-up vanuit de juiste richting voor de proefpersoon hoorbaar gemaakt.

Een bewegingsplatform

De mock-up is geplaatst op een MOOG bewegingsplatform met zes vrijheidsgraden om het contact met de weg, de versnellingen, vertragingen enzovoort te simuleren.

Deze opstelling kan ook worden gebruikt voor onderzoek naar het rijgedrag van vrachtwagenbestuurders. Daarvoor wordt de BMW mock-up vervangen door een cabine van een DAF CF 65.180 truck (zie Fig. 7) met uiteraard een aangepast voertuigmodel.



Fig. 7 De TNO rij simulator met truck cabine als mock-up.

De TNO rij simulator heeft de beschikking over een drietal verschillende methodes om ander verkeer te genereren. Afhankelijk van het type experiment, de te beantwoorden vraag en de verkeersomgeving kan er gekozen worden uit de volgende methoden:

- Verkeer volgens een longitudinaal verkeersmodel: Dit model is specifiek ontwikkeld voor snelwegsituaties. Het beschouwt de verschillende rijstroken als individuele stromen waarin de voertuigen zich bewegen. Elk voertuig heeft een aantal kenmerken zoals volgtijd, maximale versnelling, en agressiviteit. Deze stromen kunnen bestaan uit zowel personenauto's, vrachtwagens, en bussen. In principe kijkt elke auto alleen naar zijn voorligger en bepaalt zijn snelheid op basis van eerder genoemde parameters. Rijstrookwisselingen kunnen plaats vinden op basis van diverse parameters (verschilsnelheid, benodigde tussenruimte). Deze verkeersstromen laten zich gemakkelijk modelleren voor speciale verkeerssituaties als files, in- en uitvoegsituaties, en inhaalmanoeuvres.
- Verkeer volgens een autonoom systeem: Het verkeer wordt gegenereerd met behulp van een expert systeem waarin elke verkeersdeelnemer autonoom in een verkeersomgeving rondrijdt. Het gedrag van deze verkeersdeelnemer wordt globaal bepaald via een scenario. Hij bepaalt zijn gedrag door de wegsituatie te beoordelen, bijvoorbeeld het naderen van een kruispunt. Er wordt eerst gekeken of het een voorrangskruispunt, een door verkeerslichten geregelde kruising of een gelijkwaardige kruising is, daarna wordt er gekeken of er eventueel kruisend verkeer is, etc. Afhankelijk van al deze voorwaarden, de verkeersregels en het scenario bepaalt deze

- verkeersdeelnemer zijn gedrag. Dit model is buitengewoon geschikt voor niet-snelwegsituaties, waarbij er veel interactie is met de verkeersomgeving (bebording, kruisingen, etc.). Recent zijn enkele rijnsimulator experimenten in de TNO rijnsimulator uitgevoerd waarbij gebruik werd gemaakt van scenario's die in een commercieel softwarepakket (ST Software) waren ontwikkeld.
- Verkeer volgens een microscopisch verkeerssimulatiemodel zoals MIXIC of meer recent PARAMICS. MIXIC is een door TNO ontwikkeld model dat onder andere is gebruikt om de effecten van Intelligente Bestuurders Ondersteunde Systemen, zoals bijvoorbeeld Intelligent Cruise Control, te bestuderen. PARAMICS is een commercieel verkrijgbaar pakket. De koppeling tussen deze modellen en de TNO rijnsimulator geschiedt via HLA (High Level Architecture), de standaard van het Amerikaanse ministerie van Defensie, voor het koppelen van simulatoromgevingen. Daarmee is het mogelijk de proefpersoon in de simulator een deelnemer te laten zijn in de microscopische verkeerssimulatie. Met HLA kunnen ook de verschillende rijnsimulator faciliteiten van TNO onderling worden gekoppeld en is ook onderzoek naar complexe interacties tussen verkeersdeelnemers mogelijk geworden.

5 ENKELE VOORBEELDEN VAN RIJSIMULATORONDERZOEKEN IN DE PRAKTIJK

5.1 Contraflow systemen: effecten op rijgedrag

In een studie voor de Dienst Verkeer en Scheepvaart van Rijkswaterstaat werd een rijnsimulatorstudie uitgevoerd naar de effecten op de rijprestatie van weggebruikers van lange contraflow systemen (tot 12 km) bij werk-in-uitvoeringssituaties op autosnelwegen (Martens & Brookhuis, 1998). Bij een contraflow systeem wordt het verkeer van een rijbaan deels (3-1 systeem) of geheel (4-0 systeem) naar de andere rijbaan met versmalde rijstroken geleid, zie Fig. 8. Tot dan toe mocht een contraflow systeem volgens de toenmalige richtlijnen voor maatregelen bij werken in uitvoering op autosnelwegen (CROW, 1995) maximaal 4 km lang zijn, aangezien een dergelijk systeem over grotere weglengten automobilisten wellicht te veel zou kunnen belasten. Het onderzoek draaide om de vraag of het in termen van rijgedrag, rijcomfort en belasting verantwoord is om een 3-1 dan wel een 4-0 contraflow systeem over een lengte tot 10 kilometer aan te leggen. Twee rijstrookbreedten werden in het onderzoek meegenomen. In het geval van een smal contraflow systeem was de breedte van de linker rijstrook 2.50m en van de rechterrijstrook 3.00m. Bij de bredere variant werden rijstrookbreedtes van respectievelijk 2.75m en 3.25m gehanteerd. Een betonnen barri er scheidde het verkeer in tegengestelde richtingen. In het onderzoek was ander verkeer ook gesimuleerd, waarbij bij het 4-0 systeem ook vrachtverkeer op de smalle rechterrijstrook reed. De linkerrijstrook was altijd vrij voor de proefpersonen, zodat men in zijn of haar snelheidskeuze niet gehinderd werd door ander verkeer. Naast snelheid is ook de stuurinspanning gemeten, waarbij een hogere stuurinspanning inhoudt dat men meer moeite doet om een goede positie binnen de rijstrook in te nemen. Ook is gekeken naar de standaardafwijking van de laterale positie, hetgeen een maat is voor slingeren, en het percentage lijnoverschrijdingen.

Een resultaat dat direct bleek was dat proefpersonen ook in de simulator soms problemen hebben met het inhalen van vrachtverkeer. Men durft het in die gevallen als het ware niet aan om op een smalle rijstrook een brede vrachtwagen in te halen. Dit is een fenomeen dat in werkelijkheid ook waar te nemen is en dat aangeeft dat we er in het onderzoek in geslaagd zijn om weggebruikers ook in de rijnsimulator het gevoel van engte op smalle rijstroken over te brengen, enerzijds door de visueel smalle rijstroken maar ook door de gesimuleerde betonnen barri er. Het rijnsimulatoronderzoek liet verder zien dat het rijgedrag op de enkele strook van het 3-1 systeem doorgaans veiliger was dan op de dubbele strook van het 4-0 systeem. Ook bleek een bredere rijstrook te leiden tot veiliger rijgedrag. In een aantal gevallen was de meest duidelijke indicatie voor onveilig gedrag dat er een hoog percentage lijnoverschrijdingen was, dat men steeds meer stuurinspanning vertoonde naarmate men

langer in het werkvak reed terwijl dit toch gepaard ging met meer slingeren. In de meeste gevallen zette deze verslechtering zich al na 4 km in. Op basis van deze studie is aanbevolen dat alleen bij een 3-1 systeem met een linkerrijstrook van minimaal 2.75m een werkvak tot 8 kilometer lengte acceptabel is in termen van verkeersveiligheid.

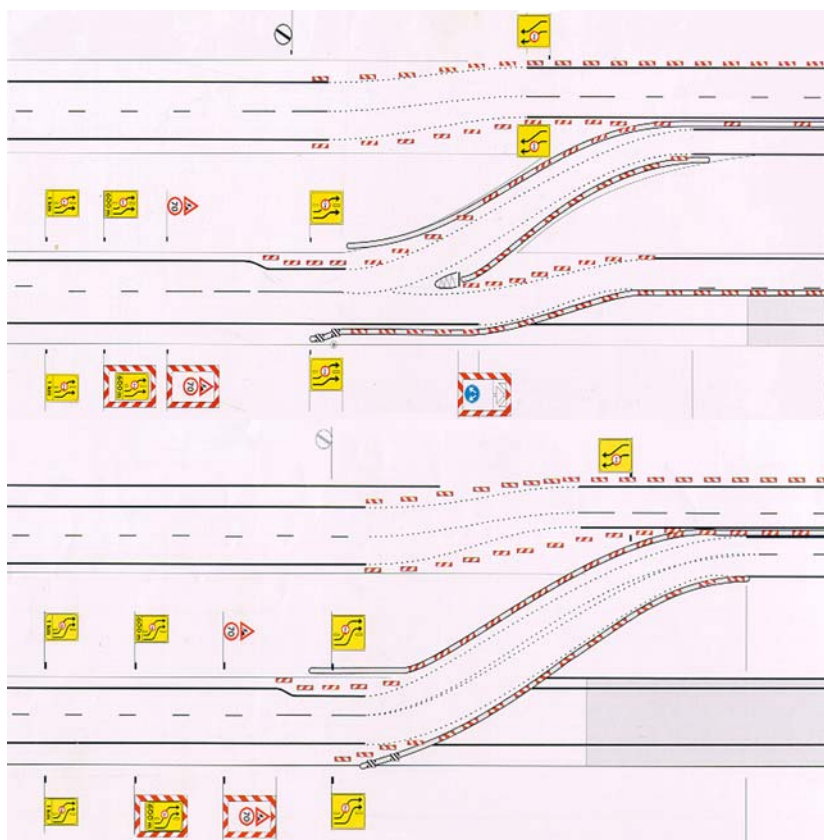


Fig.8 Voorbeelden van contraflow systemen. Boven: 3-1 systeem waarbij verkeer van de linkerrijstrook van de rechterbaan geleid wordt naar een aparte éénstrooks rijbaan van de linkerbaan. Verkeer van de rechterrijstrook wordt naar een aparte éénstrooks rijbaan op de rechterbaan geleid. Beneden: 4-0 contraflow systeem waarbij verkeer van beide rijstroken van de rechterbaan geleid wordt naar een aparte tweestrooks rijbaan op de linkerbaan.

5.2 Westerscheldetunnel

De Westerscheldetunnel (zie Fig. 9) is uitgevoerd met twee afzonderlijke tunnelbuizen van 6.6 km lang, met elk twee rijstroken. Uit financiële overwegingen is er geen aparte voetgangersbuis voor eventuele evacuaties aangelegd. Om nu in het geval van een benodigde evacuatie vluchtende automobilisten naar de andere (lees 'veilige') tunnelbuis te laten gaan zijn elke 250 m dwarsverbindingen tussen de buizen aangelegd. Deze dwarsverbindingen komen echter direct uit op de rijbaan van de veilige tunnelbuis, waar dan nog verkeer aanwezig is. De confrontatie van het rijdende verkeer met vluchtende automobilisten kan opnieuw aanleiding geven tot een onveilige situatie. TNO Human Factors heeft toendertijd in opdracht van de Dienst Verkeer en Scheepvaart van Rijkswaterstaat een rij simulatorstudie uitgevoerd, waarin een aantal signaleringsvarianten om voor de vluchtende automobilisten een veilige situatie te creëren zijn onderzocht (Martens, Koster & Lourens, 1998). Deze maatregelen zouden binnen één minuut effectief moeten zijn, aangezien na één minuut al de eerste vluchtende automobilisten in de 'veilige' tunnelbuis te verwachten zijn.

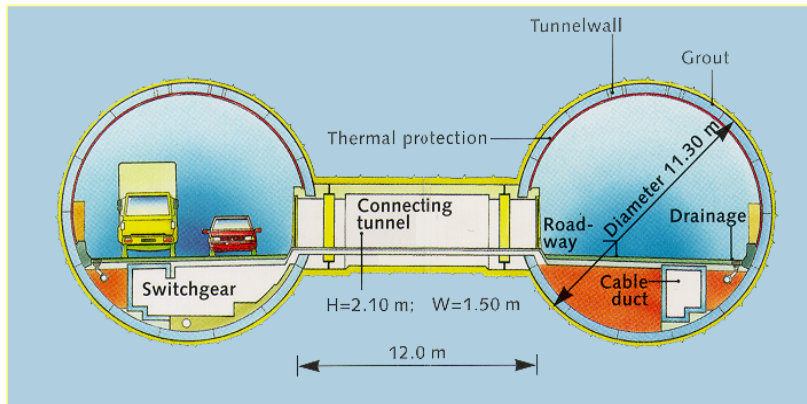


Fig.9 Dwarsdoorsnede van de Westerscheldetunnel.

In de "verdrrijf-variant" werd het verkeer in de veilige buis zo snel mogelijk van de linker rijstrook naar de rechter rijstrook verdreven. Dit zorgt ervoor dat wanneer vluchtenden op de linkerrijstrook uitkomen hier geen verkeer meer rijdt. Op de rechterrijstrook werd de snelheid er voor een groot deel uitgehaald door verkeerssignalering. Ook werd een argumentatiebord getoond om de automobilisten te waarschuwen voor voetgangers in de tunnelbuis. Fig. 10 geeft de hierbij horende signalering. Hierbij werd de linkerrijstrook eerst verdreven met een gele pijl en 10s later pas werd deze afgekruid. Voor de rechterrijstrook gold een snelheidsbeperking die van 70 km/u naar 50 km/u naar 30 km/u werd afgebouwd. Bij dit alles werd een argumentatiebord getoond.



Fig. 10: De verdrrijfvariant, waarin het eerste bord 10s werd getoond, het tweede bord gedurende 10s en het laatste bord de resterende tijd.

In de "stop-variant" werd het verkeer zo snel mogelijk stopgezet. Gekeken werd of weggebruikers begrepen wat er van hen verwacht werd bij het tonen van een dergelijke signalering, of men dit gedrag ook daadwerkelijk vertoonde, of de manoeuvres veilig werden uitgevoerd en of dit binnen één minuut plaatsvond. In de stop-variant kreeg men eerst een snelheidsbeperking "70" te zien met een argumentatiebord "Ongeval" gedurende 10s. Hierna een snelheidsbeperking "50" met op de verkeerlichten een knipperend oranje (zoals bij het afsluiten van tunnelbuizen gebruikt wordt), daarna "30" met vast oranje en daarna geen snelheden meer maar een rood verkeerslicht, waarbij het argumentatiebord "Ongeval" alterneerde met het woord: STOP! Fig. 11 toont de borden horende bij de stopvariant.



Fig. 11: De stopvariant, waarbij elke combinatie borden gedurende 10s werd getoond. De laatste twee borden ("Stop" en "Ongeval") alterneerden.

Omdat weggebruikers dergelijke signalering maar heel weinig tegen zullen komen (alleen in het geval van een evacuatie vanuit de andere tunnelbuis) en er dus onder die omstandigheden niet op bedacht zijn, lieten we proefpersonen eerst 3 ritten door de Westerschelde-tunnel maken waarin er niets gebeurde. Ook werd van tevoren niet verteld dat er eventueel een calamiteit op zou treden waarop men moest reageren. In de vierde rit werd men met één van de maatregelen (verdrrijven of stoppen) geconfronteerd. Het idee was nu ook te kijken of men het gewenste rijgedrag zou vertonen op basis van de getoonde signalering. Maar hoe men reageert, hangt vaak ook af van het overige verkeer: Als je het overige verkeer zo programmeert dat het stopt in de stopconditie kan de proefpersoon niets anders doen dan zelf ook stoppen, terwijl we juist wilden onderzoeken wat een proefpersoon uit zichzelf zou doen. In het experiment was ander verkeer aanwezig, dat zo geprogrammeerd was dat het pas actie ondernam wanneer de proefpersoon zelf actie ondernam. Hiermee werd de situatie gecreëerd dat een proefpersoon uit zichzelf zijn rijgedrag aanpast en niet simpelweg reageert op stoppende of invoegende voorliggers. Pas wanneer een proefpersoon bijvoorbeeld was ingevoegd volgde het overige verkeer door ook langzaam in te voegen. Als de proefpersoon afremde, remde het overige verkeer pas als reactie hierop ook af. Op deze wijze wordt het rijgedrag van een proefpersoon ingegeven door eigen initiatief en weerspiegelt het overige verkeer de keuzes die de proefpersoon zelf maakt, zonder dat opvalt dat het verkeer de proefpersoon nadoet. Dit resulteerde in een zeer natuurlijk verkeersbeeld.

Dit onderzoek liet zien dat bij de verdrijfstrategie binnen 30 seconden de linker rijstrook volledig werd ontruimd, zodat het betreden van de tunnelbuis door een vluchtende na 1 minuut niet voor problemen zou zorgen. Hierbij werd geen onveilig rijgedrag vertoond. Ook in vragenlijsten gaf men aan goed te weten wat er van hen verwacht werd. Ondanks het feit dat de rij snelheden ongeveer 15 tot 20 km hoger lagen dan de aangegeven 30 km/u is de snelheid duidelijk teruggebracht. Wanneer men in de simulatie ook daadwerkelijk met een voetganger in de tunnelbuis werd geconfronteerd vertoonde men geen schrikreacties. In de vragenlijsten gaf men aan ook niet te schrikken aangezien men op basis van het argumentatiebord al voetgangers had verwacht. Bij het stilzetten van het verkeer werd de doelstelling (het stoppen van het verkeer binnen 1 minuut) niet gerealiseerd. De grootste groep proefpersonen stopte pas wanneer de vluchtende voetganger in de tunnelbuis verscheen, waarbij een redelijk deel zelfs een ongeval veroorzaakte door, ondanks hard remmen, de voetganger aan te rijden. Uit de vragenlijsten kwam ook naar voren dat proefpersonen niet begrepen wat er van ze werd verwacht. De meeste proefpersonen gaven aan dat ze dachten op een file-staart af te rijden, en dat ze maar bleven rijden omdat het overige verkeer ook maar bleef rijden.

Het rijnsimulatoronderzoek heeft geleid tot de conclusie dat de verdrijfsmethode zonder problemen, binnen de tijd en zonder onveilig rijgedrag verloopt, en dat het stilzetten van het verkeer voor problemen zorgt, omdat men niet geneigd is te stoppen, men de maatregel niet begrijpt en daarnaast ook onveilig rijgedrag vertoont. De keus is dan ook gevallen op de verdrijfsmethode voor toepassing in de Westerscheldetunnel in het geval van calamiteiten met evacuatie. In een vergelijking met in de praktijk genomen video-observaties waarin de linkerrijstrook op een tweestrooks autosnelweg werd voorzien van pijlen en kruisen, zonder dat hier direct iets op de linkerrijstrook gebeurde (dus vergelijkbaar met de omstandigheden in de Westerscheldetunnel) werd gevonden dat de tijden waarbinnen een rijstrook werd vrijgemaakt door de automobilisten nauwkeurig overeenkwam met de resultaten van de rijnsimulator.

5.3 Lane Departure Warning Assistant (LDWA) systemen, smalle rijstroken en afleiding

In een grootschalig onderzoeksprogramma naar de effecten van LDWA systemen heeft Rijkswaterstaat als onderdeel van het Wegen naar de Toekomst innovatieprogramma een Field Operational Test uitgevoerd. Een LDWA systeem ondersteunt de bestuurder bij de uitvoering van de laterale rijtaak door een waarschuwing te geven als de bestuurder onbedoeld zijn rijstrook dreigt te

verlaten, opdat de bestuurder zijn koers tijdig kan corrigeren. Een uitgebreide praktijkproef met vrachtwagens en bussen werd uitgevoerd waarin verschillende LDWA systemen werden geëvalueerd in termen van rijgedrag en acceptatie door gebruikers. Tevens werden effecten van LDWA op doorstroming ingeschat en werd een inventarisatie gemaakt van infrastructurele gevolgen van LDWA systemen. Voor een overall rapportage wordt verwezen naar Hoedemaeker en De Ridder (2003).

Eén van de onderdelen van deze studie betrof een rij simulatoronderzoek naar de effecten van een LDWA systeem in condities die zich niet lenen voor onderzoek op de weg (Brouwer & De Ridder, 2003). Deze condities betroffen de vraag of met een LDWA systeem wellicht rijstrookbreedten smaller zouden kunnen zijn en of in situaties waarin een bestuurder wordt afgeleid negatieve verkeersveiligheidseffecten achterwege blijven. Het onderzoek is uitgevoerd in de TNO rij simulator met de DAF cabine als mock-up (zie Fig. 7). Als proefpersoon deden professionele vrachtwagenchauffeurs mee. De condities werden gecreëerd door het combineren van vier dwarsprofielen met twee niveaus van het LDWA systeem (aan of uit) en de aan- of afwezigheid van een tweede taak. Het dwarsprofiel was een driestrooks rijbaan (autosnelweg) waarbij de rijstrookbreedtes varieerden. De rechter rijstrook waarin de proefpersonen reden was 3.50 m, 3.10 m of 2.90 m met een vluchtstrook ernaast of 3.10 m zonder een vluchtstrook ernaast. Proefpersonen waren geïnstrueerd om in de rechter rijstrook te blijven. Wanneer het LDWA systeem aan stond was er een luide toon te horen wanneer links of rechts de rijstrookmarkering werd overschreden. De tweede taak bestond uit het intikken van vier cijfers op een numeriek toetsenbordje. Er werd een positief effect gevonden van het LDWA systeem op rijgedrag met betrekking tot rijstrookbreedtes. Wanneer het systeem in werking was, nam de duur van lijnoverschrijdingen af, werd er minder geslingerd binnen de rijstrook, en nam het gemiddelde van de minimum TLC (Time-to-Line Crossing) toe. De ‘verbetering’ van het rijgedrag werd niet gevonden voor alle rijstrookbreedtes. De proefpersonen hadden meer profijt van het systeem op de versmalde rijstroken (< 3.50 m). In het algemeen verslechterde de rijprestatie onder invloed van de tweede taak. Dit effect werd verminderd door het LDWA systeem. Als proefpersonen de tweede taak moesten uitvoeren was het rijgedrag beter met het LDWA systeem dan zonder. Opvallend was dat het rijgedrag zelfs beter was als proefpersonen de tweede taak moesten uitvoeren en het systeem aanstond dan wanneer ze onder normale omstandigheden moesten rijden (zonder LDWA systeem en tweede taak). Tegenover de positieve effecten van LDWA stond dat het proefpersonen meer inspanning kostte wanneer ze reden met het LDWA systeem.

5.4 Wijzer op Weg rij simulatorstudie

In de pilot ‘Wijzer op Weg’ (WoW) werd in het innovatieprogramma Wegen naar de Toekomst (WnT) van Rijkswaterstaat onderzocht welke informatie geschikt is om direct in de auto aan te bieden, welke mogelijkheden dit biedt voor verkeersbeheersing en wat dit kan betekenen voor de verkeersveiligheid. Voorafgaand aan een veld demonstratie waarin het WoW-concept op de openbare weg is gedemonstreerd door een vloot uit te rusten met het WoW in-car systeem, heeft TNO Human Factors in opdracht van de Dienst Verkeer en Scheepvaart van Rijkswaterstaat een onderzoek uitgevoerd in de rij simulator om na te gaan of het concept systeem in de veld demo de verkeersveiligheid niet nadelig beïnvloedt (Hogema, 2005). De diensten die in-car werden aangeboden in de rij simulator betroffen onder andere de waarschuwing voor een komende scherpe bocht, een continue weergave van de geldende snelheidslimiet, route-informatie en –geleiding, file- en verkeersinformatie, waarschuwing voor snelheidsovertredingen en nieuwsflitsen.

Proefpersonen reden verschillende ritten, deels met en deels zonder WoW-systeem. Hierbij waren er verschillende scenario’s: normaal rijden op de snelweg, werk in uitvoering en file. Fig. 12 geeft een voorbeeld van het WoW systeem in de TNO rij simulator en het werk-in-uitvoeringsscenario. Ook

werden de proefpersonen af en toe geconfronteerd met onverwacht remmende voorliggers of invoegers voor hen. Werkbelasting werd gemeten met behulp van een vragenlijst en met behulp van de Perifere Detectie Taak (PDT). De selectiecriteria voor de proefpersonen waren gebaseerd op de beoogde groep deelnemers aan de velddemo (ervaren bestuurders, leeftijd tussen 28 en 55, ervaren PCgebruikers, gemotiveerd om aan dit onderzoek deel te nemen).



Fig. 12 Voorbeeld van het Wijzer op Weg in-car systeem in de TNO rijnsimulator en het scenario Werk-in-uitvoering.

De gemiddelde snelheid nam af bij rijden met WoW. Met WoW bevonden de proefpersonen zich minder frequent in een volgsituatie, en als ze volgden was dat met een langere volgtijd. Verder werd er minder frequent van rijstrook gewisseld. Deze effecten konden worden toegeschreven aan de WoW-diensten die de bestuurder visueel de (statische) snelheidslimiet toonde respectievelijk middels een geluidssignaal waarschuwde als de limiet werd overschreden. Bij snelheidslimieten op matrixborden (die niet via deze WoW-diensten aan de bestuurder worden gemeld) was er geen effect van WoW op het rijgedrag. WoW was niet van invloed op het gedrag bij kritischer gebeurtenissen als plotseling remmende voorliggers. Wel bleek uit de PDT dat onder normale omstandigheden het rijden met WoW een hogere werkbelasting gaf dan zonder. Kritischer verkeerssituaties bleken belastender dan rijden onder normale omstandigheden, maar een verdere toename van de werkbelasting ten gevolge van WoW deed zich hier niet voor. Dat gold voor de scherpe bocht na de afrit van de snelweg, bij het naderen van een file, bij een invoegmanoeuvre vlak voor de bestuurder, en bij een plotseling remmende voorligger. WoW bleek niet te resulteren in ongewenste gedragsaanpassingen, en gaf in kritischer situaties geen verhoging van de werkbelasting. Al met al werd op grond van de rijnsimulatorstudie daarom geconcludeerd dat er vanuit veiligheidsoogpunt voor de beoogde groep deelnemers geen bezwaren waren tegen het toepassen van het WoW-systeem in de velddemo.

5.5 Rijnsimulatorstudie naar het effect van omgevingscomplexiteit op taakbelasting

In opdracht van de Dienst Verkeer en Scheepvaart van Rijkswaterstaat voerde TNO een project uit in het kader van de ontwikkeling van een standaardmethode voor het meten van diverse soorten werkbelasting die automobilisten op autosnelwegen kunnen ondervinden. De vraagstelling in deze

studie was om na te gaan welke methode het meest geschikt is om effecten van de omgevingskenmerken van de snelweg meetbaar te maken (Hoedemaeker, Hogema & Pauwelussen, 2006). In de TNO rijnsimulator werden twee situaties met elkaar vergeleken die a-priori de extremen representeren die een bestuurder qua omgevingscomplexiteit op een autosnelweg kan hebben: een 'minimum' (zo kaal mogelijke) en een 'maximum' (zo complex mogelijk aangeklede) variant van hetzelfde autosnelwegtraject. Het gemodelleerde autosnelwegtraject was een simulatie van een deel van de A10 ringweg rond Amsterdam. Fig. 13 geeft een impressie van beide varianten.



Fig. 13 Impressies van de minimum (boven) en maximum (onder) variant van de A10 in de TNO rijnsimulator.

In de maximum-variant is tevens op een deel van het traject een Werk In Uitvoering (WIU) situatie gesimuleerd, waar men op één strook moest gaan rijden. Als meetmiddel voor de werkbelasting is gebruik gemaakt van neventaken: de prestatie op de neventaak dient als indicator voor de werkbelasting. De proefpersonen kregen hierbij de instructie om altijd vlot met het andere verkeer mee te rijden. Twee neventaken werden beproefd, allebei visuele detectietaken: de Perifere Detectie

Taak (PDT) en de cijfertaak. Verder zijn het rijgedrag en de subjectieve mentale inspanning geregistreerd.

Van een verandering in taakprestatie op de neventaak onder invloed van een complexe omgeving van de snelweg is niets gebleken. De gedragsdata lieten zien dat de proefpersonen bij WIU wel hun gedrag aanpasten: de gemiddelde snelheid nam hier af, en de gemiddelde volgtijd nam (dus) toe. Onder invloed van WIU verschoof de gemiddelde laterale positie circa 0.25m naar rechts, weg van de *barrier* in de richting van de vluchtstrook. Bij WIU was de neventaakprestatie tijdens de overgang van drie rijstroken naar de ene resterende rijstrook slechter dan tijdens het rijden in die enkele rijstrook. Uit de subjectieve resultaten kwam naar voren dat de proefpersoon het rijden met de maximum variant als meer inspannend ervaart dan de minimum variant. Het rijden met neventaak werd als meer inspannend ervaren dan rijden zonder neventaak. Dit gold voor de cijfertaak sterker dan voor de PDT.

De minimum en de maximum variant uit het huidige project kenden grote verschillen in omgevingscomplexiteit. Desondanks hebben we met de neventaak-methoden geen werkbelastingseffecten gevonden. De subjectieve werkbelasting was wel groter in de maximum variant, maar de oorzaak (hoge omgevingscomplexiteit of WIU) is niet bekend. In de setting van het huidige experiment waren de proefpersonen blijkbaar goed in staat om afleiding door de visueel complexe omgeving te negeren en heeft omgevingscomplexiteit geen direct effect op werkbelasting. De huidige studie geeft echter wel een aantal aanknopingspunten waar de werkbelasting van bestuurders dan wél door wordt verhoogd. Het lijkt erop dat vooral verkeersgerelateerde of rijtaakgerelateerde veranderingen in de weg, zoals bochten, weefvakken, invoegvakken en Werk In Uitvoering de momentane werkbelasting van de bestuurder verhogen.

6 TOT SLOT

Rijsimulatorstudies zijn een waardevolle aanvulling op het scala aan onderzoeksmethoden voor het doen van onderzoek naar het gedrag van weggebruikers in complexe en dynamische taaksituaties. Moderne computertechnieken maken het mogelijk op zeer realistische wijze de weg- en verkeersomgeving voor bestuurders van motorvoertuigen in real-time na te bootsen. Gebruik als visualisatietool kan nuttig zijn voor ontwerpers om hun ontwerp in een vroeg stadium van het ontwerpproces te beoordelen vanuit het oogpunt van de beoogde gebruiker. De gegeven voorbeelden van het gedragsonderzoek met behulp van de rij simulator laten zien dat het goed mogelijk is om een beoordeling te geven van rijgedrag, werkbelasting, comfort en veiligheid in complexe taaksituaties. Dit is van toenemend belang met het opkomen van allerlei nieuwe telematica-toepassingen in het wegverkeer zowel aan de wegwijk als in het voertuig. Een rij simulator biedt dan speciaal mogelijkheden voor onderzoek naar het gedrag in (nog) niet bestaande situaties of in situaties waarbij het mogelijk als te gevaarlijk geacht wordt om het in het werkelijke verkeer op de weg te testen. Een systematische controle over de experimentele condities met betrekking tot wegontwerpelementen, verkeersmanagement, ander verkeer, weersomstandigheden maakt onderzoek in een rij simulator aantrekkelijk. Echter, empirisch gericht onderzoek in echte voertuigen en in het echte verkeer blijft nodig, al is het maar voor validatie en verificatie van resultaten uit rij simulatoronderzoek.

REFERENTIES

- Brouwer, R.F.T & S.N. de Ridder (2003). *Narrow lanes and distraction: Will LDWA come to rescue?* (TNO report TM-03-C020). Soesterberg: TNO Human Factors.
- CROW (1995). *Richtlijnen voor maatregelen bij werken in uitvoering op autosnelwegen*. (CROW

- Publicatie 96a). Ede: Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek.
- Duivenvoorden, K., Schaap, N., Horst, R. van der, Feenstra, Ph. & B. van Arem (2008). *Roadside versus in-car speed support for a green wave: a driving simulator study*. Paper 08-1185, TRB 87th Annual Meeting, Washington, D.C. January 13-17, 2008
- Hoedemaeker, M., Hogema, J.H. & J. Pauwelussen (2006). *Rijsimulatorstudie naar het effect van omgevingscomplexiteit op de werkbelasting*. (TNO rapport TNO-DV3 2006-C244). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Hoedemaeker, M., Janssen, W.H. & R.F.T. Brouwer (2002). *Evaluatie van versmalde dwarsprofielen op het hoofdwegennet. Deelrapport 2: Validatiestudie A27, rijden op een spitsstrook op de weg en in de simulator*. (TNO rapport TM-02-C020). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Hoedemaeker, M. & S.N. de Ridder (2003). *The Dutch Experience with LDWA Systems*. (TNO report TM-03-C020). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Hogema, J.H. (2005). *Wijzer op Weg rijnsimulatorstudie*. (TNO rapport TNO-DV3 2005-C 008). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Horst, A.R.A. van der, Hoekstra, W. & J. Theeuwes (1995). Visualization of the Ekebergtunnel for assessing human factors aspects in the design phase. In: Arthur Roberts (Ed.) *Pioneers in 3D Visualization and Simulation for Transportation. Transportation Research Board 1993 and 1994 Annual Meetings*. Washington, D.C.: Transportation Research Board.
- Horst, A.R.A. van der & J. Theeuwes (1993). *Advies over wegbeeld- en belevingsaspecten van een drietal varianten van een geboorde tunnel onder de Westerschelde*. (Memo IZF 1993-M9). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Kaptein, N.A., Theeuwes, J. & A.R.A. van der Horst (1995). *De validiteit van de TNO-TM rijnsimulator voor gedragsonderzoek naar het ontwerp van de tweede Beneluxtunnel*. (TNO rapport TNO-TM 1995 C-11). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Korteling, J.E. & P. Padmos, (1990). *De Leopard II rijnsimulator als leerhulpmiddel*. (TNO rapport IZF 1993 A-3). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Martens, M.H. & K.A. Brookhuis (1998). *4-0 en 3-1 contraflow-systemen; effecten op rijgedrag*. (TNO rapport TM-98-C049). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Martens, M.H., Koster, E.R. & P. Lourens (1998). *Westerscheldetunnel: Verkeersveiligheid tijdens calamiteiten met evacuatie*. (TNO rapport TM-98-C033). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Martens, M.H. & S.N. de Ridder (2002). *Spitsstroken langs aansluitingen op autosnelwegen: een begrijpelijkheidsstudie*. (TNO rapport TM-02-C047). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Vreeswijk, J., Schendzielorz, T., Mathias, P., Feenstra, Ph. & J. Pauwelussen. Driving simulator study for Intelligent Cooperative Intersection Safety system (IRIS). In: *Proceedings 7th European ITS Congress, Geneva, June 4-6, 2008*.
- Wentink, M., Valente Pais, R., Mayrhofer, M., Feenstra, Ph. & W. Bles (2008). First curve driving experiments in the Desdemona simulator. In: *Proceedings DSC Europe 2008 conference, January 2008, Monaco*.