

Een methode voor het testen van de verkeersveiligheid van informatiesystemen in de auto

W. van Winsum

1 Inleiding

Traditioneel wordt binnen het verkeersgedragsonderzoek aangenomen dat In-Vehicle Informatie Systemen (IVIS) een verhoging van de werkbelasting van de bestuurder kunnen veroorzaken waardoor ze mogelijk een negatief effect hebben op de verkeersveiligheid. De gedachte is dan dat deze applicaties een extra taak vormen die tegelijkertijd met de primaire taak van het autorijden moet worden uitgevoerd. Er wordt dan verondersteld dat de werkbelasting van het autorijden optelt bij de werkbelasting van de additionele in-vehicle taak, waardoor er een grotere kans op overbelasting of overload ontstaat. Wanneer dat optreedt is volgens deze redenering de verkeersveiligheid in het geding. Dit is de basisgedachte waarop veel veiligheidsonderzoek van in-vehicle systemen is gebaseerd. Een veel gebruikte theorie daarbij is de multiple-resource theorie van Wickens (1992). Volgens deze theorie zijn er meerdere resources die gekoppeld zijn aan sensorische input, nl. auditieve en visuele input. Daarnaast zijn er resources gekoppeld aan stadia van informatie verwerking, nl. inputcodering, centrale verwerking en responsgeneratie. De responses kunnen dan manueel of vocaal zijn. De vraag naar resources ten gevolge van het tegelijkertijd uitvoeren van twee taken kan zo groot zijn dat de capaciteit overschreden wordt. Er wordt echter wel enige flexibiliteit verondersteld bij de menselijke bestuurder. Verslechtingen in de taakprestatie als gevolg van de overbelasting kan tot op zekere hoogte gecompenseerd worden door een grotere mentale inspanning.

Het beste is echter wanneer informatie vanuit de secundaire taak op een zodanige wijze wordt aangeboden dat de beide taken niet van dezelfde resources gebruik maken. Aangezien autorijden voornamelijk een visuele taak is zou er dus beter auditieve informatie kunnen worden aangeboden, aangezien auditieve informatie niet interfereert met visuele informatie. In dat geval is de kans op overbelasting kleiner dan wanneer de informatie van de secundaire taak visueel wordt aangeboden. Op grond van deze gedachte zijn er in het verleden veel studies uitgevoerd naar het effect van routebegeleidingssystemen op verkeersveiligheid en rijgedrag. Uit een vergelijking van een aantal in-car navigatie systemen (Schraagen, 1993) bleek dat hoewel de meest commercieel verkrijgbare systemen gebruik maken van een elektronische kaart, deze niet tot minder navigatiefouten leiden in vergelijking met de gewone papieren kaart. Het aanbieden van auditieve informatie zou minder belastend zijn dan visuele informatie (bijv. Parkes, Ashby & Fairclough, 1991). Visuele navigatie displays zouden leiden tot een grote visuele belasting dat ten koste gaat van aandacht voor het verkeer en leidt tot verslechtering van het rijgedrag (Pohlmann & Traenkle, 1994). Uit andere studies blijkt echter dat visuele kaart displays in navigatie systemen in de auto niet leidt tot gevaarlijker rijgedrag (Dingus, Antin, Hulse & Wierwille, 1989). De effecten op het rijgedrag zijn dus niet eenduidig.

Wanneer er auditieve informatie wordt aangeboden kan er echter nog steeds interferentie met de rijtaak optreden aangezien auditieve informatie tot een hogere mentale belasting kan leiden. Wanneer deze te hoog is kan dat een negatief effect hebben op de verkeersveiligheid, met name wanneer de rijtaak een groot beroep doet op centrale resources. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer de verkeersomgeving complex is en er veel moeilijke beslissingen genomen moeten worden door de bestuurder. Dit aspect van werkbelasting is onderzocht in, bijvoorbeeld, onderzoek naar de verkeersveiligheid van de autotelefoon. Onderzoek heeft geleerd dat vooral het voeren van complexe gesprekken tijdens de autotelefoon een negatief effect kunnen hebben op de verkeersveiligheid

(McKnight & McKnight, 1993; Alm & Nilsson, 1994; Briem & Hedman, 1995). De resultaten zijn echter niet altijd eenduidig. Effecten op de verkeersveiligheid lijken vooral op te treden wanneer de conversatie moeilijk is en moeilijk te negeren.

Daarnaast is een belangrijke bron van werkbelasting de zgn. manuele belasting. Wanneer een manuele taak, zoals het handmatig kiezen van een kanaal op een autoradio, of het handmatig intoetsen van een nummer op de autotelefoon, uitgevoerd dient te worden tijdens het autorijden kan dit sterk interfereren met de rijtaak wanneer de taak visuele terugkoppeling vereist tijdens de taakuitvoering. In dat kader heeft Wierwille (1993b) onderscheid gemaakt tussen verschillende typen taken die uitsluitend manueel zijn (zoals het bedienen van de richtingaanwijzer) ofwel uitsluitend visueel (zoals het kijken naar de snelheidsmeter) met een aantal varianten daar ergens tussen in. Van deze taken is de zgn. 'visual primarily' taak het meest belastend. Bij die taken moet telkens gekeken worden wat het resultaat is van een manuele actie.

2 Flexibiliteit van de taakuitvoering

In het tot dusver geschetste kader wordt min of meer verondersteld dat de taakuitvoering door de bestuurder vast ligt. Deze kan weliswaar een grotere mentale inspanning plegen om de taakbelasting aan te kunnen, maar zowel de primaire taak van het autorijden als de secundaire in-vehicle taak genereren een bepaalde hoeveelheid taakbelasting die bepaald wordt door de taak, of de omgeving in geval van het autorijden. Deze opvatting van de menselijke taakverrichting wordt ook teruggevonden in de wijze waarom het onderzoek dikwijls is opgezet. Bij studies naar de effecten van in-vehicle informatiesystemen op het rijgedrag wordt vaak de wijze van uitvoering van de rijtaak door de onderzoeker vastgelegd, bijvoorbeeld door te eisen dat er met een vaste snelheid wordt gereden. Daarnaast wordt dikwijls de wijze waarop met het in-vehicle informatie systeem wordt omgegaan vastgelegd. Dat betekent dat de bestuurder in veel onderzoeken gedwongen wordt om beide taken uit te voeren op één bepaalde wijze. In de praktijk blijkt echter dat dat niet de manier is waarop mensen taken uitvoeren. De werkbelasting wordt namelijk niet alleen bepaald door de taak en de omgeving, maar ook door de wijze waarop de bestuurder de taken uitvoert. Bovendien blijkt dat tijdens het autorijden het er vaak om gaat dat de opname van informatie van een secundaire taak niet interfereert met de opname van informatie t.b.v. de primaire rijtaak. Het lezen van een in-car display van een simpele tekst kan bijvoorbeeld 3 seconden in beslag nemen. Op zich geeft dat een zeer lage belasting. Tegelijkertijd kan de bestuurder met een normale snelheid door een bocht rijden. Op zich ook een weinig belastende taak. Toch kan de bestuurder het zich op dat moment niet veroorloven om gedurende 3 seconden naar een display te kijken om de eenvoudige tekst te lezen. De verkeersveiligheid is daarbij niet in het geding omdat de werkbelasting te hoog zou zijn, maar omdat het visuele beeld van de weg tijdens het rijden in de bocht een noodzakelijke inputvereiste is voor de primaire taakuitvoering, in dit geval het sturen. Dat wil niet zeggen dat de bestuurder constant naar de weg moet kijken, maar het kijken naar iets anders dan de weg mag toch niet langer duren dan 1.5 tot 2 seconden in dit geval. De boodschap op het in-car display interfereert dus met een inputvereiste voor de rijtaak, en dat is potentieel gevaarlijk.

De primaire rijtaak kan worden opgesplitst in laterale controle en longitudinale controle. De laterale controle heeft betrekking op het koershouden en het sturen. De longitudinale controle heeft betrekking op het regelen van snelheid en afstand tot voorliggers en andere objecten op het pad voor de auto. Een inputvereiste voor beide taakelementen is visuele informatie. Uit onderzoek blijkt dat bestuurders tijdens de uitvoering van de laterale en de longitudinale controle regelen op tijds marges. Voor de laterale controle blijkt de Time-to-Line Crossing of TLC door de bestuurder gebruikt te

worden als een veiligheidsmarge die men niet wil overschrijden (Godthelp, 1984; Van Winsum & Godthelp, 1996). Dat betekent dat stuurcorrecties plaatsvinden wanneer een bepaalde tijdsmarge tot de kantlijn overschreden wordt. Om dit goed te kunnen moet de tijd tot de wegkant of kantlijn goed worden ingeschat. Daartoe is het noodzakelijk om regelmatig en gedurende een bepaalde minimale periode naar de weg te kijken. Wanneer deze tijdswaarneming verslechtert, bijvoorbeeld omdat een in-vehicle systeem vereist dat er langdurig op een display gekeken wordt, kan de bestuurder daarvoor compenseren door langzamer te gaan rijden. Dit effect van factoren die leiden tot een slechtere laterale controle op snelheid wordt regelmatig gevonden in de literatuur. Het wordt vaak gezien als een indicator voor te hoge werkbelasting, maar zou evengoed geïnterpreteerd kunnen worden als een regelstrategie van de bestuurder om de output van de laterale controle niet te laten verslechteren door de additionele taak. Met andere woorden, de output past zich aan aan de veranderde input. Hetzelfde verhaal geldt voor de longitudinale controle. Het regelen van het remmen voor een afremmende voorligger, bijvoorbeeld tijdens het naderen van een staart van een file op een snelweg, gebeurt aan de hand van de Time-to-Collision (TTC) ten opzichte van de voorligger (Van Winsum & Brouwer, 1997; Van Winsum & Heino, 1996; Van Winsum, 1998). Wanneer de TTC groter is, bijvoorbeeld omdat de voorligger harder remt, zal de bestuurder ook sneller het rempedaal intrappen. Er zijn aanwijzingen dat wanneer de bestuurder bezig is met een secundaire taak compenseert voor mogelijke effecten op de inschatting van het gedrag van de voorligger door een grotere volgafstand te kiezen (Brookhuis, De Vries & De Waard, 1991). Zowel verslechtingen in het koershouden als in het remmen als gevolg van het uitvoeren van een secundaire taak doordat deze interfereert met de input vereisten worden dus mogelijk (deels) gecompenseerd doordat de bestuurder de wijze van uitvoering van de rijtaak aanpast. In veel experimenten wordt de bestuurder deze mogelijkheid ontzegd waardoor de effecten van een in-vehicle systeem soms erger kunnen lijken dan ze in werkelijkheid zullen zijn. Daar staat echter tegenover dat de bestuurder niet altijd de mogelijkheid heeft om de wijze van uitvoering van de rijtaak aan te passen. Wanneer het erg druk is op de weg zullen grotere volgafstanden snel worden opgevuld door inhalend verkeer. Bovendien dwingt de verkeersstroom vaak tot het rijden met een bepaalde snelheid. Daarnaast is het de vraag of bestuurders zich wel altijd bewust zijn van het effect van het in-vehicle systeem op de kwaliteit van de laterale of longitudinale controle. Dit betekent dat in experimenteel onderzoek altijd gekeken dient te worden

- 1) of de in-vehicle applicatie leidt tot een verslechting in de laterale en/of longitudinale controle in 'forced-paced' primaire taakcondities, d.w.z. bij rijden met een vaste snelheid of volgafstand
- 2) of, indien er verslechtingen zijn onder forced-paced primaire taak condities, de bestuurder daarvoor compenseert onder 'self-paced' primaire taak condities, d.w.z. of de bestuurder een dusdanige grotere volgafstand of lagere snelheid kiest dat de veiligheidsmarges niet worden aangetast.

De primaire rijtaak uitvoering kan dus variëren op de dimensie 'pacing'. Hetzelfde geldt voor de secundaire in-vehicle taak. De visuele belasting van een in-vehicle taak wordt vaak uitgedrukt door middel van de MNG (Mean Number of Glances oftewel het aantal keren dat er naar de display gekeken wordt om er de vereiste informatie uit te halen) en de AGD (Average Glance Duration, oftewel de gemiddelde kijkduur per keer dat er naar gekeken wordt). Wanneer de informatie complexer is neemt de MNG toe, maar de AGD blijft vrij constant. Dat betekent dat bij toenemende taakcomplexiteit de bestuurder vaker naar het display kijkt. Echter, per keer is de tijdsduur redelijk constant (Rockwell, 1988). Wierwille (1993a, 1993b) heeft op grond van dergelijke resultaten een model opgesteld. Wanneer bestuurders daartoe de mogelijkheid hebben voeren ze de secundaire in-vehicle taak op een bepaalde manier uit. De bestuurder kijkt gedurende 1 tot 1.5 seconde op het display, kijkt naar buiten, en weer naar het display gedurende 1 tot 1.5 seconde, net zolang tot alle informatie verkregen is. Dit suggereert dat de bestuurder ervoor zorgt dat de secundaire taak op een

zodanige wijze wordt uitgevoerd dat er geen overbelasting of verslechtering van de rijtaak optreedt. Wanneer de primaire rijtaak complex is, bijvoorbeeld a.g.v. verkeersdrukke of slecht weer, wordt de AGD (kijkduur) van de secundaire in-vehicle taak kleiner. De bestuurder past dus de wijze van taakuitvoering van de in-vehicle taak aan aan de taakvereisten van de rijtaak. Deze strategie werkt echter alleen wanneer

- 1) de informatie van de in-vehicle taak verwerkt kan worden op het moment dat de bestuurder daar aan toe is
- 2) de informatie van de in-vehicle taak in delen verwerkt kan worden, d.w.z. het moet mogelijk zijn om de taak uit te voeren middels het meerdere keren achtereenvolgende korte tijd kijken naar het display.

De secundaire in-vehicle taak kan dus ook variëren op de dimensie 'pacing'.

De effecten van in-vehicle systemen op de verkeersveiligheid zijn daarmee vooral afhankelijk van de 'pacing' van zowel de rijtaak als de in-vehicle taak, en de mate waarin de bestuurder de wijze van taakuitvoering aanpast. In onderstaande tabel staat met een rangorde nummer de veronderstelde mate van onveiligheid aangegeven.

- 1) Wanneer zowel de rijtaak als de in-vehicle taak self-paced zijn zullen de effecten op de verkeersveiligheid het kleinst zijn. Immers, de bestuurder beschikt over de gedragsmogelijkheid om beide taken op een zodanige wijze uit te voeren dat de effecten op de veiligheid minimaal zijn. Of de bestuurder in staat is om mogelijke effecten op het rijgedrag waar te nemen en daar naar handelt zal echter altijd geëvalueerd dienen te worden.
- 2) Wanneer de rijtaak forced-paced is en de in-vehicle taak self-paced kan de bestuurder de verwerking van de informatie van de in-vehicle taak uitstellen wanneer dat noodzakelijk is. Wanneer er veel aandacht vereist is voor de weg en het verkeer kan het echter zijn dat ook weinig aandacht voor de in-vehicle taak leidt tot kleinere veiligheidsmarges en daarmee tot een lagere verkeersveiligheid.
- 3) Een forced-paced in-vehicle taak in combinatie met een self-paced rijtaak kan wanneer de informatie door het in-vehicle systeem gepresenteerd wordt terwijl de bestuurder nog niet de gelegenheid heeft gehad om het rijgedrag aan te passen leiden tot een plotselinge toename in werkbelasting en daarmee tot een snelle en plotselinge toename van de verkeersveiligheid. In het ideale geval zal de bestuurder snel het rijgedrag aanpassen, maar dat kan leiden tot onregelmatigheden in de verkeersstroom en plotselinge schrikreacties. Vandaar dat deze optie als onveilig moet worden beschouwd dan de vorige.
- 4) Een forced-paced in-vehicle taak in combinatie met een forced-paced rijtaak kan desastreuze gevolgen hebben voor de verkeersveiligheid aangezien de bestuurder geen mogelijkheden heeft om de taakbelasting of de input voor de taakuitvoering te regelen.

Tabel 1. Veronderstelde effecten van pacing van de rijtaak en de in-vehicle taak op verkeersveiligheid.

<i>secondaire in-vehicle taak</i>	<i>primaire rijtaak</i>	
	<i>self-paced</i>	<i>forced-paced</i>
<i>self-paced</i>	1	2
<i>forced-paced</i>	3	4

3 Computertest voor het evalueren van effecten op verkeersveiligheid

In het kader van het project "automatisering van de rijtaak" dat in opdracht van het AVV is uitgevoerd in samenwerking met de SWOV en COV, is bij TNO-TM een test ontwikkeld op een PC waarmee een eerste screening kan worden uitgevoerd van effecten van informatiesystemen in de auto op verkeersveiligheid en rijgedrag. De test vertoont een aantal belangrijke overeenkomsten met autorijden. Proefpersonen rijden over een slingerende weg met behulp van een stuur, een gas- en een rempedaal. Tijdens het rijden interacteert de proefpersoon met een informatiesysteem. De snelheid en de beschikbare tijd tot het overschrijden van de rijstrookmarkering wordt gemeten. In een experiment is een kaartlees versie van een RDS-TMC systeem getest. Deze test illustreert een aantal aspecten van wat in de vorige paragraaf besproken is. Het experiment dat hier wordt besproken is uitgebreider gerapporteerd in Van Winsum (1997).

Aan het experiment deden 24 proefpersonen mee. Alle waren tenminste 5 jaar in bezit van het rijbewijs en reden meer dan 5000 km per jaar. De leeftijd varieerde tussen de 22 en 40 jaar. De ene helft van de proefpersonen was man en de andere helft vrouw. De rijtaak was de primaire taak en is geïmplementeerd op een normale pentium PC. De rijtaak bestaat uit het rijden met ofwel een vaste constante snelheid ofwel een door de proefpersoon zelf te regelen snelheid over een weg met flauwe afwisselend naar links en naar rechts draaiende bochten. De weg bestaat uit een rijbaan met een breedte van 3.6 m. De maximum snelheid is 120 km/u en het motormodel heeft een automatische versnellingsbox. Het geluid van de motor is te horen via een externe luidspreker die is aangesloten op de PC. Op het beeldscherm is het wegbeeld te zien in perspectief vanuit het kijkpunt van een bestuurder in de linker voorstoel van een auto. Het buitenbeeld omvat de weg en bermpaaltjes aan beide kanten van de weg en een lucht met wolken. Het hele buitenbeeld draait mee als functie van de bewegingen van het voertuig zodat een realistische visuele sensatie van beweging ontstaat. Onderaan het beeldscherm is de snelheid analoog middels een schuifbalk af te lezen. De opzet van de taak is afgebeeld in figuur 1.

Figuur 1. Opzet van de primaire rijtaak.

De secundaire taak in het experiment bestond uit een kaartleesversie van een RDS-TMC systeem. Na een auditief waarschuwingssignaal werd met een computer-genereerde stem een vraag gesteld met een locatie aanduiding en de vraag of er een file was, zoals in "U rijdt van Utrecht naar Apeldoorn. Is er een file?". Daarna werd op een afzonderlijk beeldscherm een computergegenereerde kaart getoond met een aantal hoofdwegen, aangegeven met dikke lijnen, en wegen van lagere orde, aangegeven met dunne lijnen. Deze wegen verbinden een aantal steden, zoals Utrecht en Apeldoorn. Wanneer er op een hoofdweg tussen twee plaatsen een file was werd dit aangegeven met een rood gekleurde weg in plaats van het gebruikelijke groen. Een voorbeeld van een kaart wordt gegeven in figuur 2. Proefpersonen moesten dus op de kaart kijken, de plaatsen opzoeken en de verbindende wegen, en evalueren wat de kleur was. Een 'ja' of 'nee' respons werd gegeven door een van twee knoppen naast het stuur in te drukken. De kaart werd gedurende een beperkte tijd (10 seconden) afgebeeld op het display. Binnen die tijd moest een respons gegeven worden. Dit is dus een voorbeeld van een 'forced-paced' of 'system-paced' secundaire in-vehicle taak.

Figuur 2. Voorbeeld van een kaart die getoond werd in de RDS-TMC taak.

Aan het begin van het experiment werd eerst de rijtaak gedurende enige tijd geoefend en daarna de secundaire RDS-TMC taak. Na de oefentaken werden er vier experimentele taken uitgevoerd, waarin 2x2 condities gevarieerd werden, gebalanceerd over proefpersonen. De condities waren combinaties van twee manipulaties. In de ene manipulatie werd ofwel zonder secundaire taak gereden ofwel met secundaire taak. Dit is de factor *IVIS*. In de andere manipulatie werd de pacing van de primaire rijtaak gevarieerd. In de 'forced-paced' conditie werd gereden met een vaste snelheid van 80 km/u en in de 'self-paced' conditie reed men met een vrij te kiezen snelheid. Dit is de factor *pacing* van de rijtaak. Een belangrijke maat voor de kwaliteit van de laterale controle in deze taak is de minimum Time-to-Line Crossing (TLC) naar de linker- en de rechter rijstrook markering. Figuur 3 geeft weer hoe TLC zich gedraagt ten opzichte van de veranderingen in laterale positie. De laterale positie is gemeten als de afstand van het rechtervoorwiel tot de rechterkantlijn in meters. Wanneer de laterale positie dus groter wordt beweegt het voertuig naar links. De TLC naar de linkerkantlijn nadert dan een minimum. De bestuurder reageert hierop met een stuurcorrectie waarna het voertuig naar de rechterkantlijn beweegt. Dit is te zien als toename in TLC gevolgt door het omklappen naar de andere kant (van links naar rechts). De TLC nadert dan een minimum naar rechts, gevolgt door een stuurcorrectie naar links etc. De minima in de TLC's geven zo een indicatie over de veiligheidsmarges tot de kantlijn, uitgedrukt in tijd, die gehanteerd worden door de bestuurder. Een verkleining van deze veiligheidsmarges duidt op een grotere kans om van de weg te raken, en daarmee op een afname van de veiligheid. Voor de berekening van de TLC is een benadering gebruikt waarvan is aangetoond dat deze een betrouwbare indicator is voor de 'werkelijke' TLC (Van Winsum, Brookhuis & De Waard, 1998).

Figuur 3. De ontwikkeling van de Time-to-Line Crossing in de tijd.

In de 'self-paced' conditie, dus wanneer men zelf de snelheid kon regelen, werd er tijdens het rijden met een secundaire taak gekozen voor een lagere snelheid ($F(23,1)=15.70$, $p < .001$). De snelheid was gemiddeld 97 km/u tijdens het rijden met het RDS-TMC systeem terwijl deze 109 km/u was bij het rijden zonder secundaire taak. Het rijden met de kaartleesversie van de RDS-TMC taak leidde tot een verschuiving van de verdeling van TLC minima naar kleinere waarden, zie figuur 4 ($F(23,1)=26.41$, $p < .001$). Dit betekent dat de veiligheidsmarges naar de kantlijnen kleiner werden.

Figuur 4. Verdeling van TLC minima in de 'forced-paced' rijtaak conditie (linker paneel) en de 'self-paced' rijtaak conditie (rechter paneel) als functie van RDS-TMC taak.

Wanneer men zelf de snelheid kon regelen (self-paced rijtaak) was de verschuiving van TLC minima naar kleinere waarden echter wel minder sterk dan bij een constante, niet door de proefpersoon regelbare, snelheid (interactie van *pacing* x *IVIS*: $F(23,1)=5.55$, $p < .05$).

De test blijkt dus gevoelig te zijn voor negatieve effecten van visuele belasting van een 'system-paced' in-vehicle systeem op de laterale controle. Wanneer de bestuurder daartoe de mogelijkheid heeft past deze zich op deze verslechtering van de laterale controle aan door een lagere snelheid te kiezen. De aanpassing is echter onvoldoende om de negatieve effecten volledig teniet te doen.

Literatuur

- Alm, H. & Nilsson, L. (1994). Changes in driver behaviour as a function of handsfree mobile phones-A simulator study. *Accident Analysis and Prevention*, 26, 4, 441-451.
- Briem, V. & Hedman, L.R. (1995). Behavioural effects of mobile telephone use during simulated driving. *Ergonomics*, 38, 12, 2536-2562.
- Brookhuis, K.A., De Vries, G. & De Waard, D. 1991. The effects of mobile telephoning on driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, 23, 309-316.
- Dingus, T.A., Antin, J.F., Hulse, M.C. & Wierwille, W.W. 1989. Attentional demand requirements of an automobile moving-map navigation system. *Transportation Research-A*, 23A(4), 301-315.
- Godthelp, J. (1984). *Studies on human vehicular control*. Thesis. Soesterberg: TNO Institute for Perception.
- McKnight, A.J. & McKnight, A.S. (1993). The effect of cellular phone use upon driver attention. *Accident Analysis and Prevention*, 25, 3, 259-265.
- Parkes, A.M., Ashby, M.C. & Fairclough, S.H. 1991. The effects of different in-vehicle route information displays on driver behaviour. *Proceedings of Vehicle Navigation & Information Systems 1991*. Dearborn Michigan: SAE International.
- Pohlmann, S. & Traenkle, U. (1994). Orientation in road traffic. Age-related differences using an in-vehicle navigation system and a conventional map. *Accident Analysis and Prevention*, 26(6), 689-702.
- Rockwell, T.H. (1988). Spare visual capacity in driving - revisited: new empirical results for an old idea. In: A.G. Gale, M.H. Freeman, C.M. Haslegrave, P.Smith & S.P. Taylor (eds.), *Vision in Vehicles - II* (p.317-324). Amsterdam: Elsevier, North-Holland.
- Schraagen, J.M.C. 1993. Information presentation in in-car navigation systems. In: A.M. Parkes & S. Franzen (eds.). *Driving Future Vehicles*. London: Taylor & Francis, pp. 171-185.
- Van Winsum, W. & Godthelp, H. (1996). Speed choice and steering behaviour in curve driving. *Human Factors*, 38(3), 434-441.
- Van Winsum, W. & Heino, A. 1996. Choice of time-headway in car-following and the role of time-to-collision information in braking. *Ergonomics*, 39(4), 579-592.
- Van Winsum, W. & Brouwer, W. 1997. Time-headway in car-following and operational performance during unexpected braking. *Perceptual and Motor Skills*, 84, 1247-1257.
- Van Winsum, W. (1997). *A validation study of a PC-based test of safety aspects of in-vehicle information systems: a test of a map display version of a RDS-TMC task*. Soesterberg, the Netherlands: TNO Human Factors Research Institute.
- Van Winsum, W. 1998. Preferred time headway in car following and individual differences in perceptual-motor skills. Accepted by *Perceptual & Motor Skills*.
- Van Winsum, W., Brookhuis, K. & De Waard, D. 1998. Approximations of Time-to-Line Crossing (TLC) for real time measurement during car driving. TNO report, in press.
- Wickens, C.D. 1992. *Engineering Psychology and Human Performance*. New York: HarperCollins Publishers.
- Wierwille, W.W. (1993a). An initial model of visual sampling of in-car displays and controls. In: A.G. Gale, I.D. Brown, C.M. Haslegrave, H.W. Kryusse & S.P. Taylor (eds.), *Vision in Vehicles - IV* (p. 271-280). Amsterdam: Elsevier, North-Holland.
- Wierwille, W.W. (1993b). Visual and manual demands of in-car controls and displays. In: B. Peacock & W. Karwowski (eds.), *Automotive ergonomics* (p. 299-320). London: Taylor & Francis.



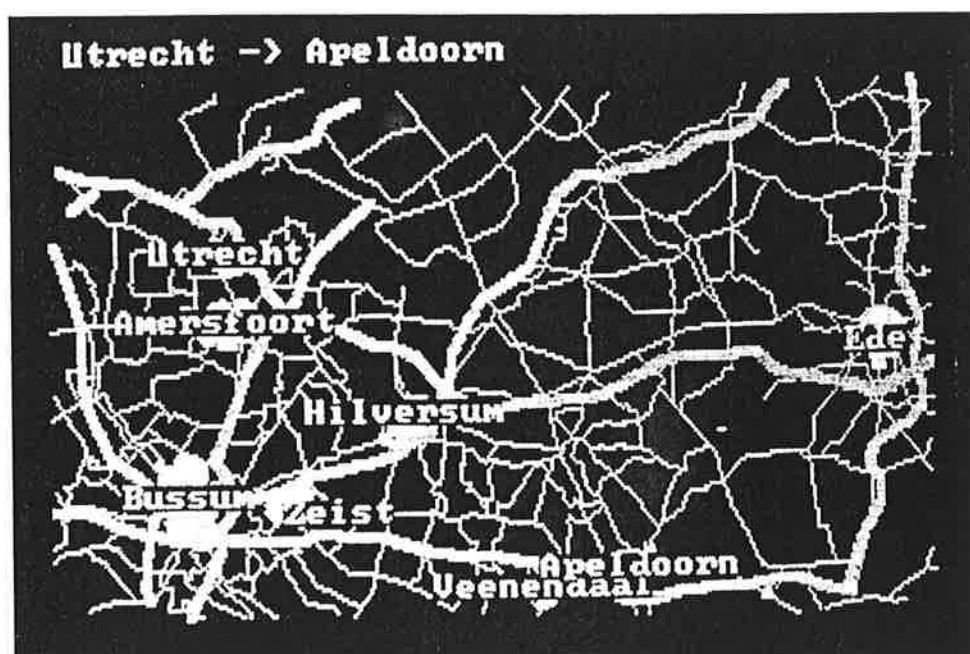


fig 2

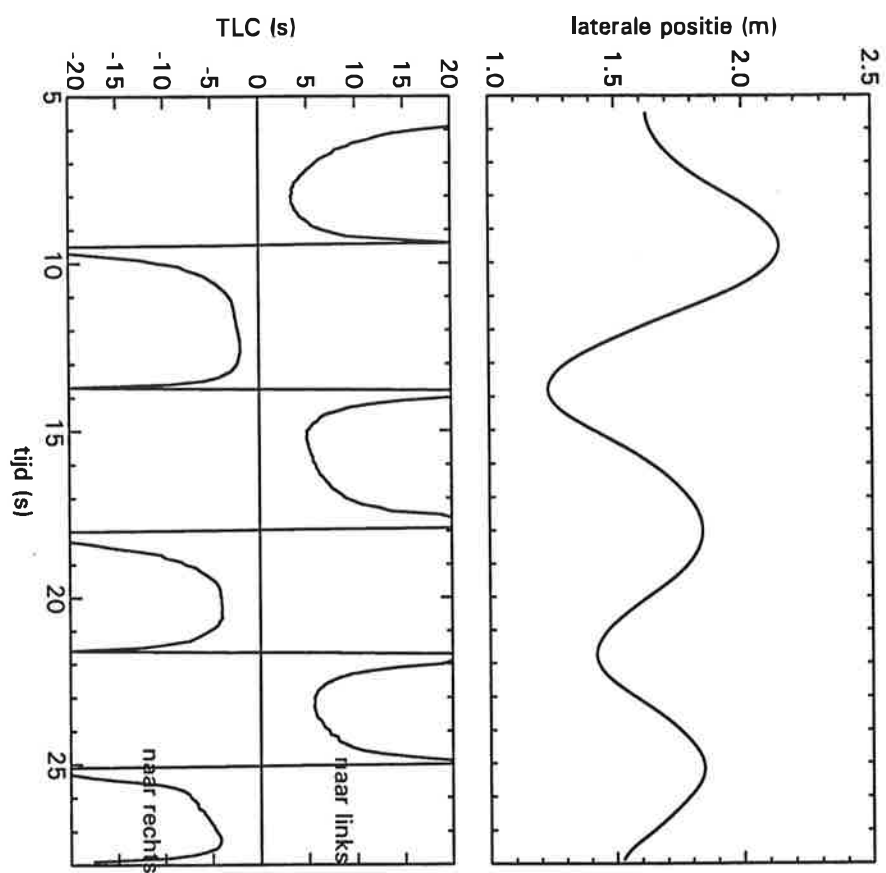


fig 3

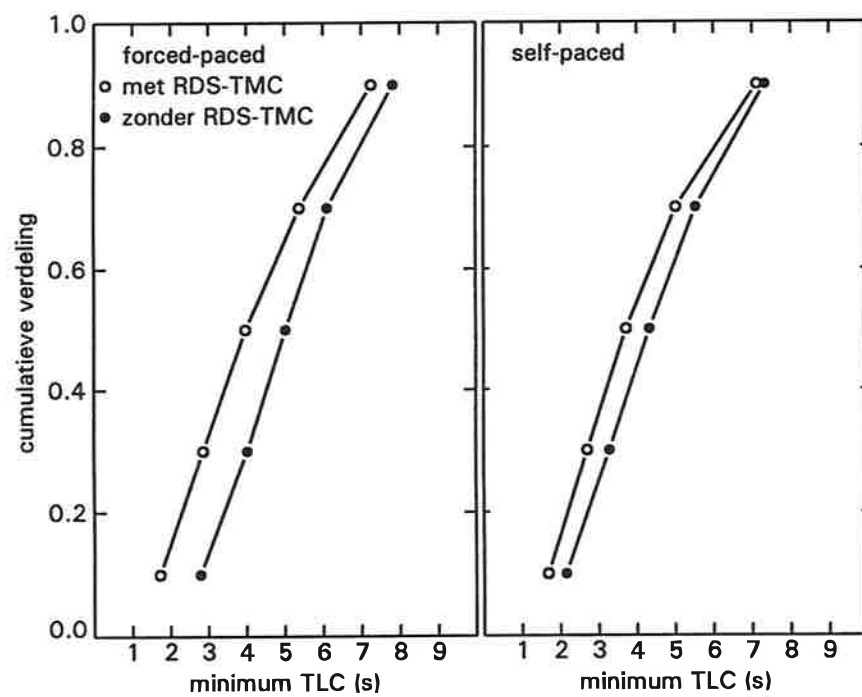


fig 9