

TNO-Defensieonderzoek

DI : 157206

TNO-Defensieonderzoek

TNO-rapport IZF 1993 C-20J. Godthelp
G.R.M. Jansenmet bijdragen van:
W.H. Janssen
A.R.A. van der Horst
D.P. Schmidt
A.P. de VosINRO-TNO
IW-TNO
IZF-TNO
TPD-TNOKADERNOTITIE VOERTUIGGELEIDING
DEEL I: WORKSHOP PAPER

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-
opdrachten aan TNO', dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

Opdrachtgever:
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Rapp. nr. CXT 93007.rap

Aantal bladzijden: 30



INHOUD

	Blz.
SAMENVATTING	5
SUMMARY	6
1 INLEIDING	7
2 WAT IS VOERTUIGGELEIDING	8
2.1 Verkeerstaak	8
2.2 Stadia in de automatisering	10
2.3 Internationale programma's	10
2.4 Samenvattend	12
3 WAAROM VOERTUIGGELEIDING	12
3.1 Capaciteit	13
3.2 Comfort en veiligheid	15
3.3 Milieu en energie	17
3.4 Samenvattend	17
4 NADERE OVERWEGINGEN	18
4.1 Acceptatie en gedrag	18
4.2 Mobiliteit en veiligheid	19
4.3 Technologische ontwikkelingen en randvoorwaarden	22
5 DISCUSSIE EN CONCLUSIES	27
REFERENTIES	30

Kadernotitie voertuiggeleiding. Deel I: workshop paper

J. Godthelp en G.R.M. Jansen

SAMENVATTING

Bij het veiliger, efficiënter en schoner maken van het wegverkeer wordt meer en meer gebruik gemaakt van moderne informatie- en communicatiesystemen. Als onderdeel van deze ontwikkeling rijst de vraag of het zinvol zou zijn op termijn automatische voertuiggeleiding (AVG) in te voeren. In opdracht van Rijkswaterstaat wordt deze vraag in deze notitie behandeld. In de eerste plaats wordt een overzicht gegeven van de vormen van AVG welke zich thans aandienen in internationale projecten. Het blijkt dat zowel in Japan en de Verenigde Staten als in Europa met vrij grote inzet zowel door het bedrijfsleven als door overheden wordt gewerkt aan de ontwikkeling van deelsystemen, zoals intelligent cruise control en automated lateral guidance. Op grond van deze technologische ontwikkeling en de maatschappelijke vraag naar een meer beheerst, d.w.z. veiliger, schoner en efficiënter verkeerssysteem wordt een gefaseerde ontwikkeling naar partiële AVG voorzien.

Als belangrijkste voordeel van AVG wordt algemeen aangegeven dat het bestaande wegennet, zij het met de nodige aanpassingen, beter kan worden benut. De schattingen over capaciteitswinst bevestigen dit weliswaar, maar lopen sterk uiteen en vereisen een meer gedegen onderbouwing met integrale modellen. Als 'bij'produkt levert AVG volgens de meeste schattingen een substantiële verhoging van de veiligheid op. Ook hier geldt echter dat een meer integraal verkeersmodel nodig is ter voorspelling van het totale effect en dat zo'n model realistische aannames moet bevatten over mogelijke gedragseffecten van de zijde van de gebruiker.

De effecten van AVG op energieverbruik en emissies worden i.h.a. als beperkt positief aangeduid. Milieu- en veiligheidseisen zouden nog veel sterker de ontwikkeling van AVG kunnen sturen. Zo is over de combinatie van AVG en schone motortechnologie en/of elektrische aandrijving nog nauwelijks nagedacht. In het kader van een duurzaam veilig verkeerssysteem past AVG goed in een evenwichtig opgebouwd wegstelsel met een beperkt aantal wegcategorieën.

Automated vehicle guidance. Part I: Workshop paper.

J. Godthelp and G.R.M. Jansen

SUMMARY

In order to make road traffic safe, efficient and clean, more and more use is made of modern information and communication systems. With respect to this tendency the question rises whether automated vehicle guidance (AVG) should form an element of a future traffic system. The present paper discusses this issue.

Firstly an overview is given of the present AVG developments in international projects. It appears that both in Japan, U.S. and Europe substantial research efforts are devoted to the development of AVG subsystems such as intelligent cruise control and automated lateral guidance. This work is done in a close cooperation among research labs, industry and governments. Based on these technological developments and the societal need for drastic improvements in road traffic it is predicted that AVG will gradually develop as an element of a partially automated traffic system.

Better use of the existing infrastructure is generally considered as main advantage of AVG. Estimates of gains in road capacity more or less confirm this, although the predictions differ considerably. Traffic models describing this effect should be improved. AVG is expected to improve road safety as well. Here also more integrated traffic models are needed to come to valid predictions which are based on realistic estimates about the possible behavioral effects from the user side. Furthermore, most studies expect AVG to have a moderate positive effect on energy use and emissions. Environmental and safety issues should influence AVG developments to a much larger extent, e.g. by integrating clean engine and/or electric power technology. In terms of an inherently safe traffic system AVG might serve as an integral part of a roadway system with a limited set of road categories.

1 INLEIDING

Door de Nederlandse overheid is de afgelopen jaren in een aantal nota's een beleid geformuleerd aangaande de toekomstige ontwikkeling van het wegverkeer. Hierin worden grenzen gesteld aan de groei van het aantal voertuigkilometers en aan de daaraan verbonden milieubelasting en aantallen verkeersslachtoffers. De kans op congestie op het hoofdwegenet dient daarbij beperkt te blijven. Op de achtergrond speelt enerzijds het economisch belang van het wegverkeer voor Nederland als distributeur van goederen naar het Europese achterland. Anderzijds is maar al te goed bekend dat de milieuschade en verkeersonveiligheid in de tweede helft van deze eeuw rampzalige vormen hebben aangenomen.

In de bedoelde nota's wordt een serie maatregelen aangekondigd die inmiddels in het begin van hun uitvoering zijn. Globaal geldt dat het pakket maatregelen gericht is op het reduceren van de vervoersvraag en het realiseren van een schone, vlotte en veilige verkeersafwikkeling. Als uitwerking en inkadering van een deel van het maatregelen- pakket is door Rijkswaterstaat een programma van maatregelen en research op het gebied van Dynamisch Verkeers Management (DVM) in ontwikkeling (DVK, 1992). Het DVM programma kent een aantal elementaire bouwstenen die samen met de geschatte effecten zijn weergegeven in Tabel I.

Tabel I Onderdelen van een DVM-systeem en de geschatte effecten op verkeersafwikkeling, veiligheid en milieubelasting.

DTM-systems	increase in traffic efficiency in %		effects on traffic safety	effects on the environment
	1995	2010		
Road-side based systems	5 (9)	6 (12)	high	positive
In-vehicle systems	> 3 (5) ¹	> 7 (10) ¹	positive	positive
Demand management	2 (5)	> 5 (10)	positive	positive
Incident management	2 (5)	4 (15)	high	little
Vehicle control systems	not available	> 15 (?) ²	very high	high
Estimate of the overall effects (without vehicle control syst.)	circa 10	15 to 25		

(): Figures for overloaded situations

¹: In combination with public transport information the effects will be higher

²: In today's situation it is not possible to give good estimates. The expectations are very high.

Note: In this overview only the generally applicable systems have been taken into account. Furthermore, at specific sites both general systems as well as dedicated systems may have a great impact. This overview should give an idea of what can be achieved generally (see appendix 1).

Het programma is verweven met een aantal internationale research-programma's, zowel in Europees verband (DRIVE, PROMETHEUS) als in de Verenigde Staten (IVHS), waarbinnen Nederland op verschillende deelterreinen een voortrekkersrol vervult.

Zoals uit de tabel blijkt worden op middellange termijn grote effecten verwacht van zgn. voertuiggeleidingssystemen. Het gaat hier om systemen waarbij op enigerlei wijze de rijtaak van de autobestuurder en vrachtwagenchauffeur geheel of gedeeltelijk wordt overgenomen door een automaat. Gezien de hooggespannen verwachtingen is door Rijkswaterstaat aan TNO gevraagd een overzicht te geven van de huidige ontwikkelingen op dit gebied en daarbij aan te duiden welke consequenties de introductie van dergelijke systemen zou hebben. In deze notitie wordt hiertoe in hoofdstuk 2 nader ingegaan op de vraag welke vormen van automatische voertuiggeleiding (AVG) zich aandienen. Hoofdstuk 3 behandelt vervolgens de vraag waarom voertuiggeleiding als een oplossing voor een aantal problemen wordt beschouwd. In aansluiting hierop geeft hoofdstuk 4 een beeld van de consequenties die voertuiggeleiding zou hebben voor, c.q. de eisen die het zou stellen aan, verkeersafwikkeling, verkeersgedrag, infrastructuur en voertuigen. Tenslotte wordt e.e.a. in hoofdstuk 5 bediscussieerd en vertaald in conclusies.

Deze notitie is opgesteld door een aantal TNO deskundigen die ieder vanuit hun specifieke expertise een visie op voertuiggeleiding geven. In het bijzonder is gebruik gemaakt van een door Janssen, Wierda en Van der Horst (1992) gegeven overzicht van te verwachten gedragseffecten van automatisering van de rijtaak.

2 WAT IS VOERTUIGGELEIDING?

In enge zin is voertuiggeleiding een systeem waarbij de rijtaak van een chauffeur geheel of gedeeltelijk wordt overgenomen door een automaat. Bij het beantwoorden van de vraag welke delen van de rijtaak zich lenen voor automatisering is het in de eerste plaats nodig inzicht te hebben in deze taak (2.1). Vervolgens is het van belang te weten welke stadia in automatisering verwacht mogen worden (2.2) en tenslotte kan in dit verband een schets worden gegeven van de internationale programma's die momenteel op dit terrein uitgevoerd worden (2.3).

2.1 Verkeerstaak

Om nader te kunnen preciseren welke automatiseringseffecten dit rapport behandelt, dient een analyse van componenten van de verkeerstaak, ofwel van niveaus waarop gedragskeuzen moeten worden gemaakt door iemand die zich

wil verplaatsen van een oorsprong naar een bestemming. De beschrijving is gebaseerd op de klassieke driedeling van het deelnemen aan het verkeer in engere zin (Janssen, 1979; Michon, 1985), waarboven een tweetal meer algemene beschrijvingsniveaus van verplaatsingsgedrag zijn geplaatst (Wierda & Wolf, 1989).

De volgende taakniveaus zijn dan te onderscheiden:

Niveau 1 Op het *structurele niveau* worden door de potentiële gebruikers van het verkeers- en vervoerssysteem keuzen gemaakt die een eerste en beslissende inperking betekenen van toekomstige verplaatsingen en de manier waarop die zullen gebeuren. Beslissingen over waar te wonen en te werken horen daartoe, met de daaruit voortvloeiende keuzen over de aanschaf van vervoermiddelen.

Niveau 2 Op het *niveau van de modaliteitskeuze* ("modal split") worden beslissingen genomen omtrent het gebruik van vervoermiddelen en het inrichten van reisschema's, gegeven dat er een zekere verplaatsing gemaakt gaat worden (en, uiteraard, gegeven de reeds op het structurele niveau gemaakte keuzen).

Niveau 3 Op het *strategische niveau*, het hoogste niveau van het deelnemen aan het verkeer in engere zin, ligt, gegeven vastliggende bestemming en gegeven de op niveau 2 gemaakte keuze, de navigatietask: het bepalen van een route naar de gewenste bestemming (routekeuze), en het volgen van die route (routegeleiding).

Niveau 4 Op het *manoeuvreniveau* worden interacties met andere verkeersdeelnemers afgehandeld, zowel in de longitudinale als in de laterale dimensie.

Niveau 5 Tenslotte vindt op het *regelniveau* de basale voertuigbeheersing plaats, dat is dus het op de weg blijven door middel van het fijnregelen van koers en snelheid.

De behandeling in dit rapport richt zich met name op de niveaus 3, 4 en 5, de verkeerstaak in engere zin, en beperkt zich bovendien tot de automobilist (incl. de vrachtautochauffeur). De hogere niveaus vallen vooralsnog buiten het gestelde kader van dit rapport. Beperking tot de automobilist is gerechtvaardigd omdat bij hem zich de problemen van het huidige wegverkeerssysteem concentreren, en omdat zijn voertuig en de infrastructuur waarin het zich beweegt wel een zeer voor de hand liggend doelwit zijn van "technology push".

Bij de beperking tot de niveaus 3, 4 en 5 moet nadrukkelijk gesteld worden dat automatisering van de rijtaak in engere zin effecten zal hebben op de op hogere niveaus gemaakte keuzen. In het algemeen geldt trouwens voor de hiërarchische structuur, zoals hierboven weergegeven, dat niet alleen beslissingen op hogere niveaus doorwerken op lagere, maar ook dat randvoorwaarden uit lagere niveaus beslissingen beïnvloeden die op de hogere niveaus worden genomen. Bijvoorbeeld: indien de toekomstige (geautomatiseerde) auto congestieproblemen op voorhand zal oplossen doordat er op intelligente cruise control systemen een beroep gedaan kan worden (taakniveau 4) dan zal de modaliteitskeuze (taakniveau 2) wel eens heel anders kunnen uitpakken dan voorheen. Zelfs is het niet ondenkbaar dat er dan een effect zal zijn op het structurele niveau (taakniveau

1), bijvoorbeeld wanneer het zal gaan om de beslissing om al dan niet een auto aan te schaffen.

2.2 Stadia in de automatisering

Wordt de huidige stand van zaken met betrekking tot de technologische ontwikkeling overzien, en wordt gekeken naar wat zij als probleemoplossend potentieel te bieden hebben, dan ligt het volgende scenario voor de ontwikkeling naar een maximaal geautomatiseerd wegverkeer voor de hand (zie Johnston e.a., 1988, 1990, en Shladover, 1989, voor een soortgelijke fasering):

Fase 1 Introductie van separate deelsystemen, eerst voor de navigatietaak, later ook voor de (longitudinale) volgtaak als component van het manoeuvreniveau.

Fase 2 De introductie van geïntegreerde ondersteuningssystemen voor de rijtaak, waarin het functioneren van de beschikbare separate deelsystemen op elkaar betrokken wordt en met elkaar wordt gecoördineerd.

Fase 3 Uitbreiding van geïntegreerde ondersteuningssystemen met componenten voor het afhandelen van laterale interacties met andere voertuigen (manoeuvreniveau) en van het regelniveau (het op de weg houden van het voertuig zelf).

Fase 4 Introductie van "dedicated lanes", dat zijn rijstroken waarop alleen voertuigen mogen en kunnen komen die zich onderwerpen aan een hoge mate van automatisering met betrekking tot alle componenten van de rijtaak.

Fase 5 De volledige automatisering van alle rijstroken van wegen boven een zekere categorie van belangrijkheid (in casu wegen met een doorgaande functie).

Het is moeilijk om aan te geven binnen welk tijdsbestek, gerekend vanaf het heden, iedere fase zich zou afspelen. Wordt in aanmerking genomen dat Fase 1 zich in feite nú al afspeelt, en dat fase 5 halverwege de volgende eeuw bereikt zou zijn, dan zou ongeveer 1 keer per 15 jaar een overgang plaatsvinden. In de loop van deze ontwikkeling wordt het steeds belangrijker te beschikken over een infrastructuur van waaruit voertuigen beïnvloed kunnen worden.

Een overgang naar een volgend stadium zal plaatsvinden als de technologie voldoende ontwikkeld is om een substantiële verdere verbetering in doorstroming (efficiëntie) en veiligheid te kunnen bewerkstelligen. Of de belofte ook daadwerkelijk bewaarheid wordt hangt af van het gebruikersgedrag, waaronder het gedrag op de weg sec alsook de acceptatiebereidheid, die op zijn beurt overigens ook weer het gedrag sec zal beïnvloeden, dient te worden verstaan.

2.3 Internationale programma's

Europa - De twee belangrijkste Europese programma's zijn PROMETHEUS en DRIVE. PROMETHEUS is een samenwerkingsverband van Europese automobielfabrikanten. Er wordt in dit programma veel werk gemaakt van het ontwik-

kelen van systemen die de interacties tussen voertuigen kunnen bewaken of min of meer zelfstandig afhandelen. "Collision avoidance systemen" (CAS) en "Intelligent cruise control" (ICC), beide gebruik makend van radar, zijn kernbegrippen (zie bijvoorbeeld Zhang, 1991).

DRIVE is een onderzoeksprogramma van de EG en de Europese industrie gezamenlijk, waarbinnen de projecten zijn geclusterd volgens: verkeersmanagement, verkeers- en reisinformatie, geïntegreerd management voor stedelijk en intercity verkeer, bestuurdersondersteuning, vrachtvervoer en openbaar vervoer. Uit deze opsomming blijkt een strikte segmentatie. Eén van de meer omvangrijke projecten binnen DRIVE is hierop echter een uitzondering geweest in de zin dat het een geïntegreerde aanpak heeft voorgestaan. Het gaat om het project GIDS (Generic Intelligent Driver Support), waarin is gepoogd te komen tot een zgn. "knowledge refinery", die de aanwezige informatie filtert en in georganiseerde vorm aan de bestuurder doorgeeft.

Behalve PROMETHEUS en DRIVE kent Europa nog een groot aantal separate industriële projecten, in sterke mate geconcentreerd op de ontwikkeling van navigatiesystemen.

USA - Algemeen heerst het gevoel dat Amerika nog wel een achterstand heeft op Europa en Japan als het gaat om de toepassing van intelligente elektronica in het verkeer, maar dat deze achterstand in snel tempo ingelopen wordt, onder meer door het opstarten van het samenwerkingsverband IVHS (Intelligent Vehicle Highway Systems) tussen overheid, industrie en onderzoeksinstituten. Een zeer ambitieus project dat daartoe zal bijdragen is "PATH" in de omgeving van Los Angeles. Dit project, een gezamenlijke onderneming van overheid en private sector, richt zich op verregaande automatisering van een proeftraject. Navigatie-informatie wordt verstrekt, er vindt regulering van aspecten van de manoeuvreertaak plaats, bijvoorbeeld met behulp van anti-bots systemen, en met name wordt er geëxperimenteerd met technologieën voor gedeeltelijke automatisering van de laterale regeltaak. Hierbij wordt d.m.v. sensoren in het wegdek de laterale voertuigpositie bewaakt (zie bijvoorbeeld Shladover e.a., 1991; Margolis e.a., 1991).

"Losse" navigatiesystemen (ETAK, praktisch identiek aan de in Europa door Bosch-Blaupunkt op de markt gebrachte Travelpilot) werden in de USA overigens als eerste verkocht, al halverwege de jaren '70.

Japan - In Japan worden een aantal grote programma's op dit gebied uitgevoerd, meestal in samenwerking tussen overheid, industrie en onderzoeksinstituten. Al in de jaren 80 werden twee grote, min of meer concurrerende projecten opgezet m.b.t. de ontwikkeling van dynamische verkeersgeleidings- en beheersingssystemen. Deze projecten RACS (Road Automobile Communication System) en AMTICS (Advanced Mobile Traffic Information and Communication System) zijn inmiddels gecombineerd in het zgn. VICS (Vehicle Information and Communication System) programma, waarin beoogd wordt de systeem architectuur van dergelijke systemen te integreren. In het meer recente NeGHTS project

(Next Generation Highway Traffic System) worden veiligheidsmodules o.a. op het gebied van weerswaarschuwingen aan RACS toegevoegd.

Actieve bestuurder ondersteuning in de auto en automatisering komen aan de orde in het SSVS project (Super Smart Vehicle System). Hierin worden verschillende technologische vernieuwingen ontwikkeld waarmee platoonrijden en deelautomatisering mogelijk wordt. Het betreft hier veelal functies die ook in PROMETHEUS beproefd worden.

2.4 Samenvattend

Voertuiggeleiding is het geheel of gedeeltelijk automatiseren van de rijtaak. Technologische programma's richten zich thans op de ontwikkeling van een aantal onderdelen:

- Intelligent cruise control.

In het kader van het PROMETHEUS programma wordt thans op de weg geëxperimenteerd met een aantal prototypes. Het gaat om autonome systemen, d.w.z. systemen die onafhankelijk van voorzieningen aan de infrastructuur opereren.

- Collision avoidance systeem.

In het kader van het DRIVE programma wordt een prototype ontwikkeld. Dit betreft eveneens een autonoom systeem.

- Speed control.

In combinatie met ICC wordt in Zweden een grote veldtest voorbereid waarbij walbakens gewenste maximum snelheden doorgeven aan ICC voertuigen.

- Lateral guidance.

In het kader van IVHS en PROMETHEUS worden prototypes ontwikkeld.

Uit e.e.a. blijkt dat Europese ontwikkelingen zich tot heden primair richten op het automatiseren van de volg- en snelheidstaak, en het samen 'pakken' van auto's in de rijrichting. In de VS streeft men daarnaast naar capaciteitsverhoging door via laterale geleiding de benodigde rijstrookbreedte te verkleinen. Verder lijkt men in de VS eerder bereid te denken over sensoren/communicatiesystemen in het wegdek. Ook voor ICC en CAS toepassing lijken dergelijke voorzieningen aan de infrastructuur op termijn onmisbaar (zie 4).

3 WAAROM VOERTUIGGELEIDING

Er zijn twee factoren aan te wijzen die teweegbrengen dat momenteel aan (het nadenken over) de automatisering van het systeem van verkeer en vervoer over de weg grote aandacht wordt besteed. In de eerste plaats is er de brede maatschappelijke wens om concrete oplossingen te zoeken voor de zich in het wegverkeer voordoende problemen. De overheid heeft zowel "bereikbaarheid"

als "leefbaarheid" tot kernthema's van haar beleid gekozen, zie het 2^e SVV. Automatisering van het vervoerssysteem zou daartoe een belangrijke bijdrage kunnen leveren. In de tweede plaats is sprake van een krachtige "technology push", de aandrang vanuit de hoek van technologische ontwikkelaars tot verdere verbreiding en commercialisering van reeds bestaande of zich aandienende vindingen of concepten. Vanuit de technologie kan gesignaleerd worden dat ontwikkelingen vanuit meer besloten infrastructures naar buiten komen als toepassingen voor de openbare infrastructures. De fabrieksautomatiseringen, gebaseerd op gesloten systeemconcepten, zijn doorgegroeid naar logistieke en voertuiggeleidingssystemen op de fabrieksterreinen en in de distributieknoop-punten. Bij deze doorgroei zijn de systeemconcepten volwassener geworden. Tevens zijn (ad-hoc) standaards ontstaan om "buitenstaanders", die deelnemen aan de verkeersstromen binnen deze besloten infrastructures, systeemtechnisch te kunnen inpassen. De trend is nu de standaardisatie verder door te zetten om toepassingen op de openbare infrastructuur mogelijk te maken. Aangezien deze standaards zich ontwikkelen vanuit een logistiek applicatie domein dient nu de aansluiting met het dynamisch verkeersmanagement belang van de overheid te worden verzorgd.

De gecombineerde effecten van deze beide impulsen op het verkeers- en vervoerssysteem op de weg zullen groot zijn. Een beleid dat erop gericht is om de potentie van een geautomatiseerd wegsysteem maximaal doeltreffend te maken, conform de in het SVV-II aangegeven doelstellingen, moet dan ook keuzen maken op grond van een visie op automatisering. Daartoe dient het gedrag van de gebruikers van het zich veranderende systeem voorspelbaar te zijn. Anders gezegd, de vraag dient beantwoord te worden hoe de gebruikers van het verkeers- en vervoerssysteem zullen reageren op doorgevoerde veranderingen in het systeem in de richting van meer automatisering.

Bij het overwegen van e.e.a. dient voorts bedacht te worden dat het wegverkeer zich tot heden i.t.t. het lucht- en scheepvaartverkeer heeft ontwikkeld met een minimale benutting van moderne communicatiesystemen. Nu de nadelige bijwerkingen van het wegverkeer nadrukkelijk zichtbaar worden lijkt daarom met de inzet van moderne technologie een inhaalslag mogelijk. Dit brengt ons bij de vraag naar de effecten van voertuiggeleiding. De hierover in Tabel I gegeven schattingen berusten veelal op expertoordelen en/of modelberekeningen en vereisen een nadere beschouwing.

3.1 Capaciteit

Als een van de belangrijkste oogmerken van AVG wordt gezien het vergroten van de capaciteit van het autosnelwegennet. Deze capaciteitsvergroting is uiteraard uitsluitend effectief op de overbelaste onderdelen en in de congestieperiodes. Men gaat er vaak vanuit dat bij volledige AVG de 'throughput' van wegvakken hoger kan worden door een adequate beheersing van de volgafstanden dusdanig dat gemiddeld op kortere hiaten wordt gevolgd dan bij zelfstandige

chauffeurs het geval is. De redenering is vervolgens dat door invoering van AVG de fysieke aanleg en uitbreiding van de infrastructuur achterwege kan blijven.

Opvallend is dat in modelstudies vrijwel uitsluitend naar de capaciteit van 'ideale' rijstroken of rijbanen wordt gekeken en nauwelijks naar systeembrede capaciteitseffecten. Bij het laatste type integrale beschouwing komen aspecten als op- en afritten, knooppunten, systeemovergangen, betrouwbaarheden, incidenten e.d. aan de orde. Op deze wijze kan het netwerkeffect op de capaciteit van het complete vervoerssysteem getaxeerd worden. Dit type analyse is een echte onderzoeksurgentie.

Voor wat betreft de enkelvoudige rijstrookcapaciteit leert de korte verkenning van de literatuur dat men algemeen van mening is dat AVG tot een behoorlijke capaciteitsvergroting zal leiden; wel wordt opgemerkt dat aan deze verwachting grote onzekerheden kleven ten aanzien van de precieze regeling van het systeem en van allerlei acceptatie aspecten.

De DVK verwacht op grond van expert-opinions dat er op termijn sprake is van een substantiële verhoging van meer dan 15% (zie Tabel I), waarbij opgemerkt wordt dat het vrijwel ondoenlijk is verantwoorde schattingen te geven.

Johnston et al. (1990) verwachten capaciteiten van de ideale rijstrook van ca. 3600 vtg/h hetgeen bijna een verdubbeling inhoudt. Zij baseren deze raming op de minimale volgtijd bij intelligent cruise control systemen. Zij geven tevens aan waarom het rekenen met dergelijke ideaalcapaciteiten niet erg veelzeggend is.

Sviden (1988) verwacht op grond van de door hem gevolgde Delphi benadering, waarin experts hun onderbouwde mening moesten geven, dat AVG tot een capaciteitsvergroting van circa 10% zal leiden.

Davies et al. (1991) hebben een evaluatieraamwerk voor AVG en de samenstellende deelsystemen opgesteld; zij vermelden daarin omtrent de capaciteitseffecten van AVG: 'increase may be substantial'. De grondslag van deze beoordeling is niet duidelijk.

Zhang (1991) rapporteert de uitkomsten van enkele simulaties en van een enquête onder een beperkt aantal experts. De resultaten lijken aan te geven dat de capaciteitswinst zeer beperkt zal zijn. Hierbij wordt aangetekend dat deze uitkomst sterk afhangt van de regelstrategie die op zijn beurt weer samenhangt met aansprakelijkheidsaspecten.

De eerste stap op weg naar realistische simulaties van de capaciteitseffecten hebben de PATH-onderzoekers Rao et al. (1993) gezet. Zij hebben een geautomatiseerde rijbaan gesimuleerd inclusief op- en afritten. Onder bepaalde veronderstellingen ten aanzien van platoonvorming en het in- en uitvoegproces gingen zij na wat de capaciteit van de rijbaan is. Hun voornaamste conclusie is

dat op de geautomatiseerde rijbaan zelf inderdaad zeer hoge capaciteiten gehaald kunnen worden, doch dat het in- en uitvoegproces deze hoge waarden van ca 7000 tot 9000 vtg/h per rijstrook terugbrengen tot ruim 5000 vtg/h. Met name het proces van de overgang van de niet-geautomatiseerde naar de geautomatiseerde rijbaan blijkt dus een grote invloed op de capaciteitswinst te hebben.

De conclusie moet zijn dat de meningen omtrent de capaciteitseffecten van AVG sterk verdeeld zijn. Tevens blijkt dat een analyse van realistische situaties ten aanzien van hellingen, verkeerssamenstelling, etc., etc. nog slechts op beperkte schaal is uitgevoerd. De reeds eerder bepleite integrale beschouwingen op het niveau van het totale verkeerssysteem in een bepaald gebied, hebben voorzover bekend nog nauwelijks plaatsgevonden. Zeer recentelijk is in het kader van het PATH-programma een dergelijke analyse van de integrale effecten uitgevoerd door Miller et al. (1993). Zij hebben voor het stedelijk gebied van Los Angeles het effect op het voertuigkilometrage, het voertuig'urage' en het congestieniveau berekend van een AVG scenario. Dit scenario bestond uit een AVG op circa 1000 rijstrookkilometer, een markpenetratie van ca 45% en een AVG rijstrookcapaciteit van 6000 vtg/h. Met behulp van aangepaste conventionele vervoersmodellen bleek dat het totale wachttijdverlies door congestie sterk verminderde met bijna 40%. Overigens bleek er een behoorlijke verlegging van verkeersstromen van de stedelijke hoofdwegen (arterials) naar de autosnelwegen op te treden, met als gevolg dat op elk hierarchisch niveau in het wegennet verbeteringen optraden. De onderzoekers concluderen dat dergelijke integrale analyses het inzicht in de totaaleffecten op mobiliteit, congestie en milieu vergroten. Zij leveren veel informatie die nodig is om de beleidsrelevantie van AVG te beoordelen. Zij merken echter ook op dat de bestaande vervoersmodellen tekort schieten om de nieuwe AVG technologie en haar effecten op het gedrag van de bestuurders goed te kunnen bepalen: 'Enhancements to urban transport models are necessary to overcome the difficulties in this study and to enable future research on this subject to be performed with increased precision' (Miller et al., 1993, p.18).

3.2 Comfort en veiligheid

Verhoging van het rijcomfort wordt als een belangrijk voordeel van AVG-systemen gezien. De comfortvergroting kan enerzijds verband houden met de navigatie en route-zoektaak. AVG kan het zoeken van routes al dan niet in drukke of onbekende gebieden ondersteunen of zelfs overnemen. Dit vermindert de belasting van chauffeurs. Als de rijtaak zelf geheel wordt overgenomen raakt de chauffeur zowat in de positie van de treinpassagier maar dan in zijn eigen voertuig. Wellicht bestaat de mogelijkheid tijdens het rijden andere zaken te doen: telefoneren, faxen, lezen, 'kantoor op wielen'. Met name in de zakelijke sfeer zal dit voordeel snel benut worden. Hoewel het de vraag is of en wanneer de lang-afstandsverbindingen geautomatiseerd worden, spelen dergelijke comfortvoordelen ook op de langere verplaatsingen.

In het algemeen wordt de verhoging van de veiligheid ook gezien als een positief effect van AVG. Zonder nu op details omtrent de noodzakelijke voorwaarden hiervoor in te gaan verwacht men dat met name ongelukken door menselijke fouten - die de meerderheid uitmaken van de ongevallen - vermeden kunnen worden op de netwerkonderdelen met AVG. De bestudeerde literatuur bevat enkele beschouwingen over de effecten van AVG op de verkeersveiligheid. Deze beschouwingen lopen sterk uiteen wat betreft hun scope. De meest smalle benadering is die waarbij nagegaan wordt in hoeverre AVG de nu voorkomende ongevallen op de 'ideale' rijstrook of -baan doet vermijden. Een bredere, en ons inziens betere, analyse tracht ook te analyseren in hoeverre AVG nieuwe ongevalstypen introduceert. Hierbij is een essentiële vraag of de AVG technologie dusdanig betrouwbaar gemaakt kan worden dat het risico van de hogere snelheden en kortere volgafstanden geminimaliseerd kan worden (Johnston et al., 1990).

De meeste onderzoekers die zich van de engere benadering bedienen, verwachten een behoorlijke vergroting van de veiligheid. Sviden (1988) verwacht op basis van expert opinions een reductie van 30 tot 40%. Zhang (1991) komt op basis van een soortgelijke methodiek tot een reductie van circa 6%. Davies et al. (1991) en DVK (1992) kwalificeren de verbeteringen van de veiligheid eveneens op basis van expert oordelen als substantieel.

Johnston et al. (1990) volgen de meer integrale analyse. Zij geven een interessant overzicht van de relevante veiligheidsaspecten van de AVG. Juist omdat zij een integrale aanpak voorstaan en volgen zijn zij niet in staat kwantitatieve indicaties te geven. Wel bespreken ze een aantal veiligheidsoverwegingen van AVG. We noemen hier een aantal.

AVG dient in staat te zijn onder uiteenlopende weersomstandigheden en wegdeksituaties te functioneren. Te denken valt aan sneeuw, ijs, regen, wind en mist. Met name dient de regelstrategie expliciet rekening te houden met de toestand van het wegdek.

Onweer en bliksem kunnen elektronische systemen ontregelen; AVG dient uit veiligheidsoverwegingen in staat te zijn automatisch en geleidelijk terug te schakelen op 'handbediening'.

De betrouwbaarheid van de voor AVG uitgeruste auto's dient extreem groot te zijn. Immers, auto's die op wegen met AVG rijden en pech krijgen, vormen een groot veiligheidsrisico. In de literatuur wordt gesproken dat de vereiste betrouwbaarheid van deze auto's wel eens tien tot twintig maal zo hoog zal kunnen zijn als van de huidige voertuigen. Voeg dit bij het feit dat AVG auto's veel meer kwetsbare onderdelen bevatten dan de huidige en het is duidelijk dat zeer strikte onderhouds- en keuringsprogramma's nodig zullen zijn. De vergelijking met de eisen die aan vliegtuigen worden gesteld dringt zich op.

De perceptie van de veiligheid van AVG-systemen zal anders zijn dan die van het huidige autosysteem. Men zal veel meer dan nu geneigd zijn de producenten en de overheid ongelukken aan te rekenen omdat het collectieve en onvrijwillige systemen zijn. Dit zal resulteren in hogere veiligheidsnormen. Ook hier dringt zich een parallel op met de luchtvaart en de spoorwegen. Men verwacht op de geautomatiseerde delen van het wegennet weliswaar minder ongevallen maar wel grotere.

3.3 Milieu en energie

Doorgaans wordt de vermindering van energiegebruik, de luchtverontreiniging en het geluidsniveau niet als expliciete doelstelling van AVG opgevoerd. In de literatuur wordt hieraan dan ook tot heden slechts beperkt aandacht geschonken. Dit betekent niet dat AVG ten aanzien van deze aspecten geen gevolgen heeft. Enerzijds geldt dat het energieverbruik zal toenemen bij hogere snelheden door het kwadratisch verband tussen luchtweerstand en snelheid. Zorgvuldig ontwerp kan de aerodynamische vormweerstand van voertuigen in een cluster echter sterk reduceren. Ook de homogenisering van snelheid zal leiden tot een gunstiger energieverbruik. Ook hier geldt weer dat de weinige uitspraken die worden gedaan betrekking hebben op de 'ideale' rijstrook/rijbaan, terwijl analyses op systeemniveau nodig zijn. Immers, het is duidelijk dat op geautomatiseerde wegen met een hoge capaciteit en snelheid meer energie wordt verbruikt, met daarbij een hogere geluidsemissie en uitstoot van uitlaatgassen. Dit wil echter niet zeggen dat in totaliteit het effect negatief is. Dit is namelijk sterk afhankelijk van de verlegging van verkeersstromen en eventueel nieuw verkeer dat onder invloed van dergelijke hoogwaardig systemen gegenereerd wordt.

Davies et al. (1991) geven aan dat de effecten op energie en milieu onzeker zijn tot mogelijk kleine positieve effecten. Zhang (1991) verwacht geen effect, terwijl Sviden (1988) een klein positief effect verwacht. DVK (1992) voorziet grote positieve effecten op grond van de aanname dat AVG het mogelijk zal maken de homogeniteit van verkeersstromen te optimaliseren, terwijl daarnaast verwacht wordt dat alternatieve aandrijfsystemen juist op de geautomatiseerde delen van het wegennet inpasbaar zullen zijn.

3.4 Samenvattend

Door de elektronische en automobiël industrie wordt thans met grote inzet gewerkt aan de ontwikkeling van sensoren en communicatiesystemen, die een partiële automatisering van het wegverkeer binnen handbereik brengen. De benutting van deze ontwikkeling wordt tot heden vooral gezien in het verhogen van de capaciteit van het hoofdwegennet zonder daartoe meer ruimte nodig te hebben. De schattingen over de capaciteitseffecten lopen nogal uiteen en bovendien zijn de uitgevoerde modelberekeningen veelal gebaseerd op vereen-

voudigde situaties. Dat AVG door hoge snelheden en een dichte voertuigpakking een betere benutting van de huidige infrastructuur zal bewerkstelligen lijkt echter een reële aanname die door integrale modelberekening op systeemniveau nader gekwantificeerd moet worden.

Als 'bij'produkt levert AVG volgens de meeste schattingen een substantiële verhoging van de veiligheid op. Ook hier geldt echter dat een meer integraal verkeersmodel nodig is voor voorspelling van het totale effect en dat zo'n model realistische aannames moet bevatten over mogelijke gedragseffecten van de zijde van de gebruiker.

De effecten van AVG op energieverbruik en milieu worden i.h.a. als beperkt positief aangeduid. Dit effect hangt echter weer sterk af van aannamen over de homogenisering van snelheid en de regelstrategie van de wegbeheerder, die bij verbeterde capaciteit de snelheid van de verkeersstroom - en daarmee energieverbruik en emissies - kan beheersen.

4 NADERE OVERWEGINGEN

Het nadenken over automatische voertuiggeleiding leidt tot een aantal aandachtspunten die om een nadere overweging vragen. In dit hoofdstuk worden een aantal van deze punten nader aangeduid.

4.1 Acceptatie en gedrag

Een uiterst belangrijk issue is dat van de acceptatie van AVG door de reizigers en vervoerders. Welke reizigers zullen daadwerkelijk onder bepaalde scenario's van realisatie, prijsstelling en levels of service overgaan tot aanschaf van geëquiperde voertuigen en hoe zullen zij ervan gebruik maken. Welke geaggereerde effecten heeft dit gebruik op de totale systeemefficiëntie? In dit verband is het evenzeer van belang te weten welke gedragseffecten van individuele verkeersdeelnemers zich zullen voordoen bij deelautomatisering van de rijtaak. Janssen et al. (1992) geven hiervan het volgende speculatieve overzicht.

- 1 De automaat zal in bepaalde situaties handelingen van de bestuurder voorkomen waardoor de laatste zich gedwarsboemd kan voelen. De gebruiker zou deze beperking kunnen compenseren door extremer gedrag te gaan vertonen in situaties waarin de automaat (nog) niet ingrijpt.
- 2 Er zal de neiging ontstaan om de automaat te testen, casu quo om het rijgedrag zo aan te scherpen dat de automaat het nog net (of net niet meer) aankan.
- 3 De wetenschap dat de automaat waakt leidt tot een algehele verminderde alertheid, met negatieve gevolgen in situaties waarin de automaat niet waakt.

- 4 Bestuurders die met de automaat rijden verliezen, door gebrek aan oefening, vaardigheden die nodig zijn in de zich nog voordoende situaties waarin de automaat geen oplossing geeft.
- 5 Menselijke fouten kunnen door de automatisering nooit volledig worden geneutraliseerd: de fouten zullen zich gaan voordoen bij het ontwerp en onderhoud van de automaat ("gebruiksveiligheid" tegenover "systeemveiligheid").
- 6 Bij het (zeldzame) falen van de automaat zullen de gevolgen relatief ernstig zijn: er vindt een verschuiving plaats van ongevalsrequentie naar ongevals-ernst.
- 7 Omdat bestuurders bij automatisering een onvrijwillig risico wordt opgelegd, in tegenstelling tot het als vrijwillig ervaren te lopen risico bij volledige vrijheid van keuze, zal het werkelijke ongevalsrisico drastisch omlaag moeten worden gebracht wil een bepaalde vorm van automatisering maatschappelijk geaccepteerd worden.
- 8 Omdat automatisering verhoogde veiligheid belooft, naast een vlottere doorstroming, inviteert het segmenten van de populatie tot deelnemen aan het verkeer die daar, om welke reden dan ook, tot dan toe minder geschikt voor waren. Deze toename van expositie zal op zichzelf slecht kunnen uitwerken op de veiligheid, en daarom zal het "bereik" van automaten, in termen van verkeerssituaties en persoonsgebonden variabelen als leeftijd, vaardigheden en ervaring, zó moeten zijn dat de uitgelokte, extra mobiliteit niet leidt tot een verhoogde ongevalsbetrokkenheid van de gehele populatie.
- 9 Vanuit het perspectief van de Mens-Machine Interface (MMI) kunnen we stellen dat de bestuurderstaak zich wezenlijk zal veranderen. De bestuurder zal meer en andere informatie worden aangeboden, zeker in de eerste fasen van automatisering terwijl verwacht wordt dat bestuurders uit verschillende segmenten van de bevolking anders zullen reageren op veranderingen in de MMI.

De puntsgewijze genoemde consequenties moeten uiteraard afgezet worden tegen de positieve effecten op veiligheid en doorstroming die, in principe, door automatisering geboden worden. Per stadium in de ontwikkeling van automatisering moet dus gepoogd worden iets als een "netto effect" op veiligheid en doorstroming te schatten. Dat zal in de nu volgende paragraaf worden gedaan.

4.2 Mobiliteit en veiligheid

Janssen et al. (1992) geven, voortbouwend op de in 4.1 gegeven verwachtingen, een overzicht van de effecten die AVG in de verschillende invoeringsstadia kan hebben op de mobiliteit en veiligheid.

Fase 1: deelautomatisering van de navigatie- en volgtaak.

Het netto-effect dat van de deelautomatisering in Fase 1 te verwachten valt laat zich als volgt omschrijven:

- De optionele beschikbaarheid van navigatiesystemen zal niet leiden tot een vermindering van gereden kilometers, alhoewel het "excess mileage" gereduceerd zal worden.
- Er is geen zekerheid over de mate van extra afleiding, noch over de ernst daarvan, die dergelijke systemen de bestuurder bezorgen. Dit geldt in het bijzonder voor kwetsbare groepen automobilisten. Tevens is het niet bekend hoe het leren gebruiken van dergelijke systemen verloopt.
- De optionele beschikbaarheid van anti-bots systemen zal leiden tot een reductie van zich voordoende zeer korte volgtijden. Gedragsaanpassingen, met mogelijke negatieve consequenties voor de veiligheid, zullen door zorgvuldige ontwikkeling niet ongedaan te maken zijn, maar wellicht wel te minimaliseren.
- De commerciële beschikbaarheid van gebruikselektronica zal leiden tot een verhoging van de mentale werkdruk van de bestuurder. Slechts zeer ten dele is bekend wat deze extra werkdruk betekent voor de veiligheid van het transportmiddel, maar verwacht wordt dat het effect negatief zal zijn.

Fase 2: Geïntegreerde deelsystemen

De geïntegreerde deelsystemen zoals die in fase 2 beschikbaar zullen zijn, omvatten nog steeds slechts een beperkt aantal elementen van de rijtaak, namelijk de navigatie- en de anti-bots voorzieningen zoals die in fase 1 als geïsoleerde systemen al bestonden. Ook is er nog geen sprake van dat de beslisbevoegdheid van de bestuurder in meerdere mate aan de automaat wordt overgedragen.

In concreto valt om deze beide redenen te verwachten dat fase 2 ten opzichte van fase 1 minder dramatische consequenties voor het wegverkeerssysteem in zijn geheel zal hebben dan fase 1 heeft ten opzichte van het nú bestaande systeem. De wezenlijke bijdrage van geïntegreerde deelsystemen ligt in het afvlakken van pieken in het informatie-aanbod aan de bestuurder. Overigens mag verwacht worden dat de bestuurder zijn gedrag zal aanpassen aan de afvlakking van piekbelasting. Als netto effect van fase 2 valt dan ook een verdere toename in mobiliteit te verwachten, gepaard gaande met een aanzienlijk geringere, of wellicht géén, verbetering in veiligheid. Geïntegreerde systemen zullen maatschappelijk gesproken een succes zijn, zodat het ondenkbaar wordt dat er nog nieuwe technologie beschikbaar komt die niet onder het geïntegreerde regime wordt gebracht.

Fase 3: Uitbreiding naar laterale geleiding.

In fase 3 is er ondersteuning van alle deeltaken van de rijtaak, in geïntegreerde vorm, maar nog zonder dat er vanwege de automaat ingrepen gebeuren die niet

meer door de bestuurder te herroepen of te wijzigen zijn. Het eindpunt van de nog als "conventioneel" aan te duiden technologische ontwikkeling, waarbij de infrastructuur zelf nog grotendeels dezelfde blijft, is daarmee bereikt.

Als extra's vergeleken met de voorgaande fasen is er de belofte van capaciteitsverhoging en risicoverlaging in de laterale dimensie. Het volgende kan voorspeld worden met betrekking tot de consequenties van de introductie van dit soort voorzieningen:

- Er zullen verdergaande gedragsaanpassingen van de zijde van de gebruiker plaatsvinden.
- Systeemveiligheid zal, meer dan het nu is, een dwingende zorg worden.
- Er zal druk ontstaan in de richting van een drastisch *lager* werkelijk risico van het verkeers- en vervoerssysteem.
- Het bestaan van een voertuig "mix" zou in deze fase reeds vermeden moeten worden, waartoe de aanleg van "dedicated lanes" (fase 4) al in deze fase ware te overwegen.
- Er zal druk ontstaan om het zich vernieuwende vervoerssysteem te evalueren vanuit de minder vaardige bestuurders daar deze groep in omvang zal toenemen door de vergrijzing.

Fase 4: Dedicated lanes.

In dit stadium vindt een breuk plaats met de wijze van inrichting van het huidige wegsysteem. Op de hoofdaders zullen nu rijstroken liggen, te denken valt aan de twee meest links liggende rijstroken, waarop de bestuurder zich overgeeft aan een regeling per computer. Dit zijn de zogenaamde "dedicated lanes". De beslismacht van de automaat is daarbij nagenoeg volledig waar dit het uitvoeren van de eigenlijke rijtaak betreft. Navigeren, longitudinaal en lateraal in de pas blijven ten opzichte van het andere verkeer, geschiedt dus zonder tussenkomst van de bestuurder.

Deze automatische rijstroken zijn uiteraard ontoegankelijk voor voertuigen die niet de vereiste voorzieningen bezitten om van de automatische regeling gebruik te kunnen maken.

Een effect dat zich in deze fase pas echt zal voordoen is de roep om (nog) meer veiligheid, meer dan in de voorgaande fasen. Behalve door het afstaan van beslismacht aan de automaat wordt dat in de hand gewerkt door de incidentele, maar desastreuze ongevallen ten gevolge van technische mankementen die zich op de geautomatiseerde stroken zullen voordoen.

Gedragsaanpassingen van de bestuurder worden natuurlijk door de verregaande automatisering drastisch ingeperkt. Gedragsmatige problemen zullen zich nu concentreren op overgangen van het geautomatiseerde naar het niet-geautomatiseerde deel van het wegennet. Te noemen zijn:

- 1 De algehele staat van alertheid van de bestuurders van geautomatiseerde voertuigen zal na een automatisch traject relatief laag zijn, juist op het ogenblik dat zij weer de algehele controle over moeten nemen.
- 2 Er zullen na-effecten zijn van de adaptatie aan de hoge snelheid waarmee op de automatische rijstroken is gereden, zodat de snelheid op de lagere-orde weg aanvankelijk hoger zal zijn dan bedoeld.
- 3 Qua taakverrichting kwetsbare groepen (oudere en onervaren bestuurders) zullen zich steeds sterker gaan onderscheiden qua ongevalsbetrokkenheid op de overgangen. Ten eerst omdat zij minder in staat zijn snel om te schakelen van het (monotone) controleren van de automatische besturing naar de situatie waarin de bestuurder de volledige controle over de auto heeft. Ten tweede zullen ervaren automobilisten wellicht een hoge rijnsnelheid handhaven, zie punt 2, terwijl juist op de overgangen de verkeersintensiteit hoog zal zijn. Kortom, het niet tijdig aanpassen van de alertheid zal "kwetsbare" bestuurders die bij voortduring onder mentale taakdruk staan, juist in deze complexe en verkeersintensieve situaties uit de pas laten lopen met andere bestuurders, waardoor het aantal conflicten fors zou kunnen oplopen.
- 4 De periode waarin een jonge automobilist als onervaren beschouwd moet worden neemt toe: de tijd dat hij/zij actief de auto bestuurt, neemt steeds meer af. Daarom zal de groep onervaren automobilisten in omvang toenemen.

Fase 5: Volledige automatisering.

De maximale automatisering van het wegverkeer zoals die zich in het hier aangehouden scenario zal voordoen komt in feite op niet meer neer dan het voltooiën van de in fase 4 begonnen aanleg van "dedicated lanes". Daarbij zal mogelijk nog een uitbreiding plaatsvinden naar het lagere-orde wegennet, afhankelijk van de praktische en financiële haalbaarheid van een dergelijke operatie. Er zullen zich echter geen wezenlijk nieuwe problemen voordoen in deze fase. Overgangen van (vooral) het geautomatiseerde naar het niet-geautomatiseerde deel zullen knelpunten blijven, in termen van gedrag, en er zal een nog grotere druk bestaan tot het verminderen van het maatschappelijk te accepteren niveau van risico op de weg. Het probleem van de "mix" binnen het voertuigenbestand zal daarentegen met deze fase opgelost zijn.

4.3 Technologische ontwikkelingen en randvoorwaarden

De invoering van AVG zal in belangrijke mate samenhangen met het beschikbaar komen van de daartoe vereiste technische systemen en de daaraan verbonden kosten. Met drastische en uitermate kostbare ingrepen in de infrastructuur, b.v. door het gebruik van grootschalige mechanische lopende banden, zou AVG reeds thans gerealiseerd kunnen zijn. Naar de mening van de auteurs zal AVG zich echter ontwikkelen in de richting van elektronische oplossingen, waarbij voertuigen via elektronische koppeling geleid worden. Vanuit deze optiek wordt het begrijpelijk dat door de automobiel- en elektronica industrie thans op grote

schaal gewerkt wordt aan de ontwikkeling van systemen, waarmee de omgevingswaarneming en de dosering en uitvoering van besturingsfuncties kan worden overgenomen door een automaat. We zullen deze ontwikkelingen nader beschouwen.

Sensoren

Volledige voertuiggeleiding berust op het overnemen van waarneming, regeling en uitvoering van besturingsfuncties. Deze taken worden door verschillende componenten verricht, hetgeen resulteert in een verdeling in subsystemen voor data-acquisitie, data-verwerking en actuatoren. Het transport van signalen tussen de componenten kan verzorgd worden door een voertuignetwerk.

De taak van het geleidingssysteem is om, binnen de mogelijke manoeuvre capaciteiten, het voertuig te geleiden ten opzichte van de infrastructuur en naburige voertuigen. Om deze taak van koershouden en snelheidsregeling uit te kunnen voeren, moet zowel de toestand van het voertuig zelf, als ook de toestand in relatie tot de omgeving bekend zijn. De toestand van het voertuig wordt beschreven door zijn snelheid, dwars- en langsversnelling, gierhoeksnelheid, stuurhoek, gas- en rempedaalpositie, etc. Deels zijn de benodigde sensoren beschikbaar, deels zijn de kosten van sensoren met voldoende prestatie nog te hoog voor commerciële toepassing in voertuigen. Verwacht mag worden dat binnen afzienbare tijd ook de economische haalbaarheid voldoet. De ontwikkeling van 'smart actuators' en 'smart sensors' draagt hieraan bij door fysieke integratie van de functies waarnemen, regelen en uitvoeren (De Sitter, 1988).

Een enigszins aparte positie wordt ingenomen door de bepaling van de wrijvingsconditie tussen band en wegdek. Oplossingen worden langs verschillende wegen ontwikkeld, waarbij zowel waarneming van de omgeving als de toestand van het voertuig zelf als basis kan dienen. Door waarneming van de wegdekconditie kan indirect de bandkarakteristiek bepaald worden. Een tweede methode is de vergelijking van de momentane voertuigresponsie met een verwachte responsie om een schatting te maken van de band - weg interactie, terwijl ook de gemeten vervormingen van de band zelf als informatiebron kunnen dienen.

Waarneming van de omgeving richt zich op de bepaling van de relatieve positie en snelheid ten opzichte van de infrastructuur, het verkeer en obstakels. De technische oplossingen die ontwikkeld worden maken gebruik van uiteenlopende fysische principes zoals radar, lidar en cameratechnieken (PROMETHEUS, 1991). De waarneming op zich dient onder alle condities gegarandeerd te zijn (dus ook in mist en bij neerslag): in geval van visuele systemen kunnen beeldverbeteringstechnieken toegepast worden, hier geldt dat de benodigde rekencapaciteit nog zeer groot is. Op basis van het waargenomen beeld moeten de benodigde grootheden voor het geleidingssysteem bepaald worden. Ontwikkeling van enerzijds de beeldherkenningstechniek, maar anderzijds ook van de herkenbaarheid van de omgeving zelf, moet de prestatie en realiseerbaarheid van deze

systemen verhogen. Dit is een belangrijk argument voor een tweedeling van het infrastructuurnetwerk. Een eenduidig en eenvoudig herkenbaar deelsysteem is geschikt voor volledige voertuiggeleiding, waar door de grote accuratesse en snelheid van de 'automaat' een hoge snelheid en dichtheid van de verkeersstroom gerealiseerd wordt.

Voor navigatiedoeleinden zijn reeds verscheidene systemen (GPS, Loran C) beschikbaar die een globale positie bepalen waaruit gecombineerd met een nauwkeurige digitale kaart, de relatieve positie ten opzichte van de statische infrastructuur bepaald kan worden. Om bij deze benadering die relatieve positie ten opzichte van het verkeer, obstakels en veranderende condities te bepalen, kan communicatie tussen infrastructuur en voertuig als ook tussen voertuigen onderling de benodigde informatie leveren.

Objecten in longitudinale en laterale richting kunnen zowel gescheiden als gecombineerd gedetecteerd worden. De eisen die aan de nauwkeurigheid van de positiebepaling in beide hoofdrichtingen gesteld moeten worden, zijn in een eerste opzet beschreven door de PROMETHEUS task force "Cooperative Control" (1990). Deze eerste aanzet voor de haalbare en gewenste nauwkeurigheid en snelheid van positiebepalingssystemen geeft aan dat voor coöperatieve vormen van bestuurder ondersteunende intelligent cruise control en intelligent manoeuvring de eisen naar verwachting gehaald worden, echter de prestaties die gevraagd worden door automatische beheersingssystemen zullen hoger liggen.

In feite vindt voertuiggeleiding plaats ten opzichte van de infrastructuur. Dit betekent dat investeringen nodig zijn langs de weg om positie, afstand, etc. te kunnen bepalen. Het gekozen fysische principe zal in belangrijke mate bepalen hoe de verdeling in kosten tussen infrastructuur en voertuig is. Optische methoden om wegmarkering te volgen vergen veel van het voertuigstelsel bij geringe investering in de infrastructuur. De toepassing van specifieke passieve geleidings-elementen in de infrastructuur kan hierin een verschuiving en optimalisatie mogelijk maken. Het verdient aanbeveling om meer dan tot heden te werken aan de ontwikkeling van dergelijke interactieve sensoren en bij de vervanging van eerdere systemen reeds rekening te houden met dergelijke toekomstige opvolgers.

Regel-functies

Bij volledige voertuiggeleiding is een verschuiving nodig van beslissingen en acties door het menselijke controle centrum in het voertuig naar het autonome computer controle centrum in het voertuig. Uitgaande van een hiërarchie in de regeling die van strategisch - via tactisch - naar operationeel loopt zal op het hoge strategische niveau een steeds verder gaande adviesfunctie ontstaan, terwijl op het lage operationele niveau taken en deeltaken autonoom door de computer zullen worden overgenomen. De tactische coördinatie-taken en prioriteitsstellin-

gen zullen, dankzij een verdergaande structurering van de omgeving, ook langzaam naar het computer controle centrum verlegd worden.

In feite is de structurering van de omgeving, standaardisatie op dit gebied, één van de sleutels naar autonome voertuiggeleiding op korte termijn. De trein op rails is hiervan het ultieme voorbeeld. Maar ook het homogeniseren van verkeersstromen, minimaliseren van snelheidsverschillen en het minimaliseren van voertuig - voertuig afstandsfluctuaties is een vorm van het structureren van de omgeving.

Om de regeltaak te automatiseren kunnen verschillende regeltechnische methoden toegepast worden. Belangrijkste criteria voor een regelaar zijn snelheid, versterkingkarakteristiek en damping van de responsie. Met name bij clustervorming is het essentieel dat de snelheids- en volgafstandsregelaar snelheidsvariëaties van de voorligger niet versterkt. Hoewel een versterking van snelheidsverstoringen lokaal niet tot problemen hoeft te leiden, zal bij voldoende lengte van een cluster instabiliteit optreden (De Vos, 1991).

De klassieke regeltechniek kent proportionele regelaars, integratoren, differentiatoren en combinaties daarvan, waarbij de regelaarparameters zodanig gekozen worden dat de responsie (stap- en frequentie-) van het systeem voldoende stabiliteit, snelheid en damping biedt. Recentere methoden bieden een verbetering in het ontwerp van de regelaar zelf, door optimalisatie van een prestatie criterium (Optimal Control). De eindige snelheid van het geregelde systeem kan ondervangen worden door de toepassing van voorspellingsmethoden (Kallman filters) die gebruik maken van een intern model van het geregelde systeem (Åström & Wittemark, 1984). Dit biedt goede perspectieven voor het stabiel beheersen van de verkeersstroom.

Van oudsher worden regelaars specifiek voor een werkpunt ontworpen. Door adaptieve technieken toe te passen wordt het mogelijk om de prestaties van de regelaar in een ruim werkgebied op peil te houden, ondanks de variatie in systeem karakteristieken bij wijzigende omgevingscondities en snelheden.

Voor de uitvoering van de regeling kan gekozen worden voor mechanische, hydraulische, pneumatische en elektrische actuatoren. De betrouwbaarheid, de snelheid en het energieverbruik van mechanische systemen is gunstig. Toch hebben de overige systemen de voorkeur gezien hun grote flexibiliteit. Hoewel de regelaar deels kan compenseren voor de eindige snelheid van actuatoren, is de actuatorsnelheid nog een belangrijk gebied van ontwikkeling (De Sitter, 1988).

Voertuigdynamische aspecten

Een volledig voertuiggeleidingssysteem vervangt de mens als bestuurder en ondervangt daarmee de beperkte snelheid en nauwkeurigheid van de mens als

regelaar. Juist in deze situatie bepalen de dynamische eigenschappen van het voertuig de prestaties van het verkeerssysteem. Belangrijke factoren zijn de snelheid waarmee het voertuig reageert en de grenzen die het gebied van mogelijke manoeuvres beperken. De grens aan de te genereren krachten tussen band en wegdek bepaalt het potentieel van de combinaties tussen laterale en longitudinale manoeuvres.

Aandrijf- en remkrachten beperken het beschikbare dwarskracht-potentieel. Dit heeft consequenties voor het ontwerp van zowel infrastructuur als geleidingssysteem. Met name is dit aspect van belang voor baanwisselingen en in- en uitvoeg situaties, waar het versnellen en vertragen min of meer samen valt met de noodzaak tot koersverandering.

Beperkingen aan het band - weg contact zelf worden beïnvloed door een veelheid aan factoren. De factor met de grootste invloed is de aanwezigheid van wrijvingsverlagende substantie in het contactvlak, zoals vuil en water in de vorm van regen, sneeuw of ijs. Onder ongunstige omstandigheden kan de frictie teruglopen tot een orde van 20% ten opzichte van de normale situatie (Reimpel & Sponagel, 1986). Ook de dynamische variatie van de bandlast beperkt het wrijvingspotentieel.

Een optimale benutting van het frictiepotentieel kan bereikt worden door besturing en aandrijving van alle wielen van het voertuig te regelen, waarbij stabiliteit en bestuurbaarheid gehandhaafd worden, ook in gecombineerde manoeuvres en omstandigheden waarbij de frictie niet voor alle wielen gelijk is (μ -split). Verdere ontwikkeling en integratie van systemen voor vierwielbesturing, ABS (anti-blokkeersysteem) en ASR (anti-slipregeling) legt een basis voor optimalisatie van stabiliteit en bestuurbaarheid en benutting van het frictiepotentieel.

Communicatie systemen

Wanneer er van uitgegaan wordt dat alle bovengenoemde taken in het voertuig uitgevoerd moeten kunnen worden dan zal er van allerlei bronnen, en op allerlei detail-niveaus, informatie in het voertuig binnenkomen. De (elektronische) wegen waarlangs deze informatie zal binnen komen zal eveneens zeer divers zijn en afhangen van de bron, het detailniveau, het gebruik, de noodzaak tot privacy/beveiliging, etc.

Wat is er nu minimaal nodig om deze informatiestromen technisch in goede banen te leiden? In feite is het allerbelangrijkste een open, gelaagde communicatie infrastructuur op basis van een gestandaardiseerd voertuignetwerk.

Een voertuignetwerk maakt het mogelijk dat verschillende functies dezelfde basisgegevens gebruiken en dat de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid verhoogd kunnen worden door fusie van sensordata. Hieruit vloeien eisen voort die aan het communicatienetwerk gesteld moeten worden ten aanzien van snelheid,

capaciteit en betrouwbaarheid. Indien de eisen voor verschillende functies sterk uiteen lopen, moet de keus gemaakt worden om ofwel de zwaarste eisen aan het totale systeem op te leggen, ofwel systemen met bijvoorbeeld een verschillend risico bij falen (verlichting ten opzichte van besturing) te scheiden. De applicatie in het voertuig, of het nu een anti-bots systeem of een kartografisch planningssysteem is, moet uiteindelijk wel weten waar de informatie vandaan komt maar niet hoe en langs welke communicatieweg.

De vereiste snelheid en betrouwbaarheid voor het voertuignetwerk varieert voor verschillende functies en condities. Het belang van systeemveiligheid is groot bij het samenwerken van verschillende software en hardware componenten. Een veiligheidsanalyse waarbij het gehele systeem met zijn omgeving beschouwd wordt is essentieel. Gestructureerde methoden voor een dergelijke analyse zijn onder andere binnen DRIVE ontwikkeld (DRIVE Safely, 1992).

Standaardisatie van systemen wordt bereikt door netwerk protocols zoals CAN, VAN en J1850 (Korzin, 1991) en de afspraken die de voertuigindustrie hierover maakt (in Europees verband binnen het PROMETHEUS programma).

Het voertuignetwerk dient uiteindelijk feilloos te communiceren met databestanden die worden aangeleverd vanuit de infrastructuur. Het is daarom van belang dat reeds in de plan- en prototype fase van automatisering (nu) kaders gesteld worden die het mogelijk maken dat de betreffende systemen en de hieraan gelieerde informatiestromen consistent op elkaar aansluiten.

Informatie uitwisseling naar de bestuurder

De bestuurder zal zich ontwikkelen tot een "voertuig-manager" en minder geïnteresseerd zijn in de details van de veelheid aan processen. Er zullen alleen verstoringen gemeld worden waarop actie wordt verwacht. Tevens zullen korte termijn prognoses gepresenteerd worden: zijn er afwijkingen in het tijdschema, zijn er wijzigingen in het routeplan, op welke termijn dient overgeschakeld te worden op handbediening. Het gaat hier om intelligente interfaces die qua concept volledig aansluiten bij de thans in ontwikkeling zijnde driver-support systemen. In het zgn. GIDS-project is door Nederland een aanzet gegeven voor zo'n geïntegreerd support systeem. In de AVG toepassing zou de GIDS boodschappen-bibliotheek en de bijbehorende dialog controller uitgebreid kunnen worden met specifieke AVG informatie. De zgn. actieve bedieningsmiddelen zoals in GIDS voorzien, zijn rechtstreeks toepasbaar in overgangsmoeuvres waarbij wordt geschakeld tussen automatisch en handbediening.

5 DISCUSSIE EN CONCLUSIES

Het ontwikkelen van een beleid aangaande automatische voertuiggeleiding dient gedragen te worden door een totaalvisie op de ontwikkeling van het wegverkeer

en de daartoe beschikbaar te stellen infrastructuur. Koornstra (1991) en Theeuwes en Godthelp (1992) schetsen als onderdeel hiervan de ontwikkeling naar een qua functie, vormgeving en gebruik evenwichtig opgebouwd wegensysteem, waarin op den duur nog slechts vier wegcategorieën resteren t.w. autosnelwegen, verkeersaders, landwegen en erven. Elk van deze categorieën heeft een unieke combinatie van vorm- en regelgevingskenmerken. Binnen deze structurering vormt de gefaseerde invoering van AVG op de autosnelwegen een logische ontwikkeling. Op de verkeersaders past in deze visie de implementatie van intelligente support systemen, d.w.z. systemen die met toepassing van vergelijkbare technologie als AVG de automobilist/vrachtautochauffeur waarschuwen en geleiden. Op de landwegen en erven bestaat de elektronische geleiding vervolgens vooral uit het beperken van snelheid en toegankelijkheid en het geven van simpele route instructies.

Als belangrijkste drijfveer achter de ontwikkeling van automatische voertuiggeleiding geldt tot heden de daarvan te verwachten capaciteitswinst. De in de literatuur gepresenteerde schattingen van dit effect variëren echter nogal en zijn bovendien veelal niet gebaseerd op een integrale aanpak. Zo'n systeembrede benadering is echter nodig om tot betrouwbare voorspellingen te komen. Als onderbouwing dient daarbij bovendien uitgegaan te worden van verwachtingen over gedrags- en gebruikseffecten. In aanvulling op ontwikkelingen naar longitudinale verdichting zou ook voor de Europese situaties het gebruik van smalle AVG rijstroken in de (capaciteits)berekeningen moeten worden betrokken.

Alhoewel een mogelijke capaciteitswinst zeker als primair doel van AVG kan gelden zouden daarnaast, veel meer dan tot heden het geval is, milieu- en veiligheidseisen de ontwikkeling van voertuiggeleiding dienen te sturen. Zo is over de combinatie van AVG en schone motortechnologie en/of elektrische aandrijving nog nauwelijks nagedacht. Verder geldt dat de overgang naar een systeem met collectieve i.p.v. individuele aansprakelijkheden voor een definitieve doorbraak in de verkeersveiligheid zou kunnen zorgen. Immers, veel meer dan bij conventionele voertuigsystemen zal het aspect aansprakelijkheid in het geval van AVG een rol spelen terzake van ongevallen. Dit zal de noodzaak van specifieke regelgeving vanuit de overheid doen toenemen. Belangrijke partijen zijn in dit verband de beheerder van de infrastructuur (overheid of particulier), de producent van voertuigen en elektronica en de bestuurder/eigenaar van de voertuigen. Juridische vragen rond dit aspect lijken op die in de luchtvaart.

Een kernvraag bij de introductie van AVG is voorts het dilemma tussen enerzijds een geleidelijke invoering en anderzijds de noodzaak meteen bij de aanvang al een minimale schaalgrootte te bereiken. Bij een kleinschalige invoering zullen de voordelen van de AVG-gebruikers niet gemakkelijk opwegen tegen de kosten: bovendien zal het dan lastig zijn de politiek te overtuigen van de noodzaak tot implementatie. Daarnaast is het noodzakelijk AVG te integreren in de conventionele vervoerssystemen. Dit stelt hoge eisen aan de geïntegreerde planning van AVG en aan de systeemovergangen tussen conventionele en AVG componenten.

Voertuiggeleiding dient daarom ook onderdeel te zijn van een totaal visie over de technologische infrastructuur. Wij verwijzen hier naar de ontwikkelingen op het gebied van Dynamisch Verkeers Management (DVM) welke thans in ontwikkeling zijn. Inpassing in en koppeling met de ontwikkelingen van de wegkant gebaseerde DVM systemen is noodzakelijk voor een consistente verkeersregeling. Er is een direct belang om vanuit de DVM ontwikkelingen de mogelijkheden voor informatie uitwisseling tussen het intelligente wegnetwerk en de intelligente voertuigen mee te nemen. Er is ook een wederzijds belang: het voertuig als informatiebron voor de DVM systemen (reistijden, bestemmingen, het voertuig als sensor, etc.) en de wegkantsystemen als informatiebron voor de voertuigsystemen (veiligheid, knelpunten, wegconditie, etc.).

Zoals eerder is uiteengezet valt bovendien te verwachten dat er hoge eisen aan de betrouwbaarheid van het AVG systeem zullen worden gesteld. De kans op disfunctioneren, storing en uitval dient extreem laag te zijn ook in allerlei ongunstige situaties wat betreft weer en wegdek. Bij de realisatie van de systeem-betrouwbaarheid spelen het voertuig, de bestuurder en de fysieke/elektronische infrastructuur in onderlinge samenhang elk hun rol.

Zowel t.a.v. aansprakelijkheid, betrouwbaarheid, als systeemveiligheid kan specifieke regelgeving daarom noodzakelijk blijken.

Bij het ontwikkelen van een visie over AVG komt tenslotte natuurlijk de vraag naar kosten en baten om de hoek kijken. AVG staat bekend als een dure aangelegenheid. De directe kosten betreffen o.a. aanleg en onderhoud van de infrastructuur en de voorzieningen aan AVG auto's. Johnston et al. (1990) schatten de prijsverhoging op enkele duizenden dollars per auto. Ook de onderhoudskosten zullen stijgen.

Het is duidelijk dat bij een doorberekening van de kosten aan de automobilist de hogere inkomens en de zakelijke rijders eerder tot aanschaf en gebruik van AVG zullen overgaan. De minder gefortuneerde automobilisten zullen dan langer de conventionele wegen blijven gebruiken. Overwogen kan worden hierop in te spelen door AVG in eerste instantie te richten op zakelijk verkeer en de daarvoor geldende knelpunten in het wegennet. AVG wordt zo een logische stap na carpool-, bus- en vrachtverkeerstroken. Deze selectieve acceptatie vormt een belangrijk issue.

De baten voor de gebruikers liggen vooral op het vlak van reistijdwinsten, hogere betrouwbaarheid, meer comfort en gemak, etc. Vooral in grootstedelijke gebieden met congestie spelen deze voordelen een rol: het valt dan ook aan te nemen dat deze voorzieningen in eerste instantie vooral op de autosnelwegen in dergelijke gebieden ingevoerd zullen worden.

De maatschappelijke baten houden verband met een beter economisch functioneren van de regio's, de verminderde noodzaak tot aanleg van conventionele

wegen, een verhoogde verkeersveiligheid en - indien daarop wordt aangestuurd - een verbeterd milieu.

Op dit moment zijn onvoldoende kennis en daarop gebaseerde kwantitatieve gegevens beschikbaar om een betrouwbare kosten/baten afweging te maken. Om hiertoe te komen is een beter onderbouwde schatting nodig van de verwachte capaciteits-, milieu- en veiligheidseffecten. Samenvattend kan geconcludeerd worden dat

- AVG potentieel grote mogelijkheden heeft,
- AVG technologie in het begin van ontwikkeling is,
- AVG deelsystemen zoals intelligent cruise control en laterale geleiding thans als prototype beproefd kunnen worden,
- de implicaties van AVG slechts ten dele overzien kunnen worden.

Om de afweging van AVG mogelijkheden maximaal doeltreffend te maken dient op grond van onderzoek een visie op automatisering van het verkeer te worden ontwikkeld als deel van een meer integrale visie op de ontwikkeling van het wegverkeer.

Meer dan tot heden zou Nederland zich in dit verband gericht kunnen aansluiten bij lopende programma's, die zich richten op demonstratie van deelsystemen (b.v. intelligent cruise control, lateral guidance) en op de ontwikkeling van afwegingsmodellen. E.e.a. zou een gezamenlijke activiteit van overheid (V&W, EZ), bedrijfsleven en grote research instellingen kunnen zijn. Het opstellen van een R&D agenda lijkt zo te vragen om zowel een top-down als bottom-up benadering, waarbij b.v. een stuurgroep AVG richting geeft en coördineert en een werkgroep AVG de technische mogelijkheden nagaat en toetst in experimenteel onderzoek en pilot projecten.

Belangrijke onderzoeksthema's zijn:

- analyse van verschillende ontwikkelingsscenario's AVG,
- integrale afwegingsmodellen m.b.t. te verwachten effecten op capaciteit, milieu, gedrag, veiligheid; e.e.a. ook bij gedeeltelijke invoering van AVG,
- effectiviteit deelsystemen, zoals intelligent cruise control en laterale geleiding,
- optimale taakverdeling mens-automaat, o.a. in overgangs-manoeuvres,
- geleide voertuigen,
- elektronische en civieltechnische AVG infrastructuur,
- regelgeving t.a.v. betrouwbaarheid en aansprakelijkheid.

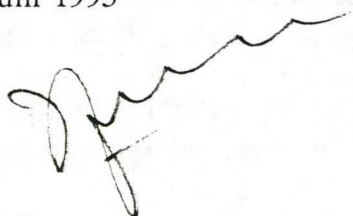
REFERENTIES

Åström, K.J. & Wittemark, B. (1984). Computer Controlled Systems: Theory and design, Prentice-Hall, 1984.

- Davies, P. (1991). 'Assessment of advanced technologies for relieving urban traffic congestion'. Washington, Transportation Research Board, NCHRP report 340 (E).
- DRIVE Safely (1992). DRIVE project V1051. Towards a European Standard: The Development of Safe Road Transport Informatics Systems. Draft 2.
- DVK (1992). 'Dynamic traffic management in The Netherlands'. Report DVK-CX nr. CX91074. Rotterdam, Transport and Traffic Research Division, Rijkswaterstaat.
- Janssen, W.H. (1979). Routeplanning en geleiding: een literatuurstudie. Rapport IZF 1979 C-13. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Janssen, W.H., Wierda, M., & Horst, A.R.A. van der (1992). Automatisering van de rijtaak en gebruikersgedrag: een inventarisatie en research-agenda. Rapport IZF 1992 C-16. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Johnston, R.A., Sperling, D. & Craig, P.P. (1988). Freeway automation policy issues. San Francisco: SAE Techn. Paper Series No. 881211, Future Transp. Conference.
- Johnston, R.A., De Luchi, M.A., Sperling, D. & Craig, P.P. (1990). Automating urban freeways: Policy Research Agenda. J. Transport. Engin. 16, 442-460.
- Koornstra, M.J. (1991). Veiligheid in transportmodi: samenhang, diversiteit en overdraagbaarheid. In: Stoop, J. & Kroes, J.L. de (Eds), Toekomstig transport, Veiligheid Voorzien. Delft: Delftse Universitaire Pers.
- Korzin, S. (1991). Influence of Networking on System Design and Integration. ISATA conference, Florence.
- Margolis, D.C., Baker, D., Yasui, Y. & Arai, A. (1991). Lateral control of an automobile for intelligent vehicle/highway systems. Florence: Proc. FISITA Conf., 185-192.
- Michon, J.A. (1985). A critical view of driver behaviour models: what do we know, what should we do. In L. Evans en R.C. Schwing (eds), Human behaviour and traffic safety. New York: Plenum.
- Miller, M.A., Bresnock, A., Lechner, E.H. & Shladover, S.E. (1991). 'Highway automation: regional mobility impacts assessment'. Paper presented at: '72nd Annual Meeting Transportation Research Board', Washington D.C.
- PROMETHEUS task force "Cooperative Control" (1990). Requirements Analysis of Positioning Systems for Cooperative Control. PROMETHEUS Office, Stuttgart.
- PROMETHEUS (1991). Safe and effective mobility in Europe. Brochures. PROMETHEUS Office, Stuttgart.
- Rao, B.S.Y. & Varaiva, P. (1993). 'Flow benefits of autonomous intelligent cruise control in mixed manual and automated traffic'. Paper presented at: '72nd Annual Meeting Transportation Research Board', Washington D.C.
- Reimpel, J. & Sponagel, P. (1986). Fahrwerktechnik: Reifen und Räder. Würzburg, Vogel-Buchverlag.
- Shladover, S.E. (1989). Roadway automation technology: Research needs. Washington D.C.: TRB Preprint Paper No. 880208.
- Shladover, S.E. (1991). Automatic vehicle control developments in the PATH program. IEEE Transactions on Vehicular Technology 40, 114-130.

- Sitter, S. de (1988). Toepassing van mikro-electronica ter verbetering van het rijgedrag van auto's. TNO-rapport 740980028, Instituut voor Wegtransportmiddelen, Delft.
- Sviden, O. (1988). 'Future information systems for road transport: a Delphi panel-derived scenario'. Technological Forecasting and Social Change vol. 33, pp 159 -178.
- Theeuwes, J. & Godthelp, J. (1992). Begrijpelijkheid van de weg. Rapport IZF 1992 C-8. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Vos, A.P. de (1991). Longitudinal Driver-Vehicle Behaviour in Bad Weather Conditions. TU Delft rapport nr. 90.3.VT.2765, Technische Universiteit Delft.
- Wierda, M. & Wolf, J. (1989). Gangbare kinderfietsen op comfort, manoeuvreerbaarheid en remweg vergeleken. Rapport VK 89-01, Haren: Verkeerskundig Studiecentrum.
- Zhang, X. (1991). Intelligent driving - PROMETHEUS approaches to longitudinal traffic flow control. In: Vehicle Navigation & Information Systems, Conf. Proc. SAE, pp. 999-1010.

Soesterberg, 2 juni 1993

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'J. Godthelp', written in a cursive style.

J. Godthelp

