

Advanced Cruise Control en verkeersveiligheid

Ir. A.E. Hoetink

R-2003-24

Advanced Cruise Control en verkeersveiligheid

Een literatuurstudie

Documentbeschrijving

Rapportnummer:	R-2003-24
Titel:	Advanced Cruise Control en verkeersveiligheid
Ondertitel:	Een literatuurstudie
Auteur(s):	Ir. A.E. Hoetink
Onderzoeksthema:	Telematica en veiligheid in het wegverkeer
Themaleider:	Ir. R.G. Eenink
Projectnummer SWOV:	36.310
Trefwoord(en):	Adaptive cruise control, speed, telematics, safety, driver, road user, traffic, evaluation (assessment).
Projectinhoud:	Advanced Cruise Control (ACC) wordt met name gepresenteerd als een systeem om het comfort van het autorijden te vergroten en niet als een systeem om de verkeersveiligheid te verhogen. Dit rapport geeft een overzicht van resultaten uit recent onderzoek naar de mogelijke gevolgen van ACC voor de verkeersveiligheid. Om de zeer diverse studies naar verkeersveiligheidseffecten te kunnen vergelijken, is gekeken naar drie veiligheidsniveaus waarop effecten van telematica zich kunnen voordoen: functionele systeemveiligheid, veiligheid voor de bestuurder en veiligheid voor het verkeerssysteem als geheel. Tevens zijn de behoeften en eisen van de drie groepen belanghebbenden onderscheiden: de algemene weggebruiker, de ACC-gebruiker en de maatschappij als geheel.
Aantal pagina's:	53
Prijs:	€ 11, 25
Uitgave:	SWOV, Leidschendam, 2003

Samenvatting

Dit onderzoek maakt deel uit van het thema 'Telematica en veiligheid in het wegverkeer'. Telematicasystemen, zoals Advanced Cruise Control (ACC), zouden kunnen bijdragen aan een duurzaam-veilig wegverkeer. ACC werkt als volgt: als het wegdek voor het met ACC uitgeruste voertuig vrij is, functioneert het systeem als een conventionele Cruise Control, dat wil zeggen dat het systeem een door de bestuurder aangegeven streefsnelheid handhaaft. Zodra het systeem een voorligger detecteert, worden afstand en onderling snelheidsverschil bepaald, waarna het systeem de snelheid aanpast om een ingestelde volgtijd te bereiken. Door de fabrikanten en leveranciers wordt ACC gepresenteerd als een systeem om het comfort van het autorijden te vergroten en niet als een systeem om de verkeersveiligheid te verhogen. Deze studie heeft als doel om op basis van onderzoeksresultaten uit de recente literatuur de mogelijke gevolgen van ACC voor de verkeersveiligheid in kaart te brengen.

Er is hier om te beginnen een structuur geschapen om de zeer diverse studies naar verkeersveiligheidseffecten te kunnen vergelijken. Daarvoor is gekeken naar drie veiligheidsniveaus waarop effecten van telematica zich kunnen voordoen: functionele systeemveiligheid, veiligheid voor de bestuurder en veiligheid voor het verkeerssysteem als geheel. Tevens zijn in deze structuur de behoeften en eisen van de drie groepen belanghebbenden onderscheiden: de algemene weggebruiker, de ACC-gebruiker en de maatschappij als geheel.

Alhoewel er positieve effecten van ACC voor de verkeersveiligheid kunnen optreden, zijn er ook negatieve effecten gevonden. Huidige ACC-systemen kunnen een gunstig effect hebben op de verkeersveiligheid als ze gebruikt worden op autosnelwegen buiten de spits en bij weersomstandigheden met goed zicht. Een voordeel van ACC is dan, dat door de toename van het comfort de gebruiker minder vermoeid raakt. Ook heeft ACC een matigende invloed op de gereden snelheid en neemt het percentage zeer korte volgtijden af. Verder is rijden met ACC makkelijk te leren en is het systeem makkelijk in het gebruik. Een bijkomend positief effect is een reductie in het brandstofverbruik.

Zorgelijk is dat de bestuurder niet altijd adequaat reageert in kritische situaties of als het ACC-systeem faalt. Ook is het gebruik van ACC op provinciale wegen en tijdens congestie op autosnelwegen om verkeersveiligheidsredenen niet wenselijk. Een gelijktijdige toename van de wegcapaciteit en verkeersveiligheid is met de huidige ACC-systemen niet haalbaar. Ook zou ACC niet gebruikt moeten worden tijdens weersomstandigheden met slecht zicht. Het is van belang dat de gebruikers hierover goed geïnformeerd worden.

Aan weggebruikers zou aanbevolen kunnen worden ACC alleen te gebruiken als ondersteuning op autosnelwegen bij langere ritten, als rustig gereden kan worden en onder weersomstandigheden met goed zicht. Voorlichtingsinstanties zouden de weggebruiker kunnen informeren over het veilig gebruik van ACC, waarbij ook benadrukt moet worden dat regelmatig gecontroleerd wordt of het ACC-systeem nog correct werkt.

De Nederlandse en Europese overheid moeten snel een juridisch kader scheppen, waarbinnen zaken als aansprakelijkheid en te stellen eisen aan ACC-systemen geregeld zijn. Het stimuleren van ACC-gebruik moet pas gebeuren als een juridisch kader is opgesteld en uit de praktijk is gebleken wat de werkelijke effecten van ACC voor de verkeersveiligheid, de doorstroming en het milieu zijn.

Om negatieve effecten van verminderde alertheid te compenseren, zou ACC stilstaande voertuigen moeten kunnen detecteren. Verder moet een eventueel alarmsignaal, dat aangeeft dat de bestuurder moet ingrijpen, tijdig gegeven worden en duidelijk herkenbaar zijn. Ook zou moeten worden voorkomen dat ACC-systemen achteraf ingebouwd kunnen worden. Bij inbouw achteraf zou het systeem kunnen interfereren met andere, reeds aanwezige (telematica)systemen.

Aangezien de compatibiliteit van ACC met rijstijlen tussen landen en regio's kan verschillen, zal verder moeten worden onderzocht in welke mate en hoe ACC in Nederland in de praktijk gebruikt zal gaan worden.

Summary

Advanced Cruise Control and Road Safety; a literature study

This study is part of the 'Telematics and safety in road traffic' theme. Telematics systems, such as Advanced Cruise Control (ACC), could contribute towards sustainably-safe road traffic. ACC works as follows: if the road is clear for a vehicle fitted with ACC, the system functions as a conventional Cruise Control, i.e. the system maintains a target speed, preset by the driver. As soon as the system detects a vehicle in front, the distance and mutual speed difference are calculated, after which the system adjusts the speed to realise the preset headway time. Manufacturers and dealers present ACC as a system to increase the comfort of car driving, but not as a system to increase road safety. The purpose of this study is to present the possible road safety effects of ACC. This, based on research results of recent literature.

To start with, a structure was created for comparing the extreme variety of road safety effect studies. To do this, three safety levels at which effects of telematics could apply, were examined: functional safety, driver safety, and traffic system safety. The requirements and demands of the three interested parties (the general road user, the ACC user, and society as a whole) were also distinguished.

Although there can be positive effects of ACC, negative effects were also found. Current ACC systems can have a favourable road safety effect if they are used on motorways outside rush hours with good vision weather. An ACC advantage is that the increased comfort tires the driver less. ACC also has a moderating effect on the speed driven, and the percentage of very short headway times decreases. Moreover, driving with ACC is easy to learn and easy to use. An additional positive effect is a reduction in fuel consumption.

It is worrying that the driver does not always react adequately in critical situations, or if the ACC fails. It is also, for road safety reasons, undesirable to use ACC on secondary roads and during motorway congestion. A gradual increase in the road capacity and road safety is not feasible with the current ACC systems. Neither should ACC be used during weather with a poor vision. It is important that the users are well informed about this.

The drivers could be recommended to only use ACC as a support on motorways during long journeys, if one can drive calmly, and with good vision weather. Public information agencies could inform the user about ACC's safe use, in which it must be emphasized that one should regularly control the system to see if it is working properly.

The Netherlands and European governments must quickly create a legal framework, within which matters such as liability and the required demands of ACC systems are laid down. Stimulating ACC use must only occur once the legal framework has been drawn up and once experience has shown what the real road safety, traffic flow, and environmental effects of ACC are. To compensate for the negative effects of decreased alertness, ACC should be able to detect stationary vehicles. Furthermore, any alarm signal that

indicates driver intervention must be given in time and be clearly recognizable. It should also be prevented to install ACC systems afterwards. When installing afterwards, the system could interfere with other, already installed (telematics) systems.

As there can be differences in ACC compatibility with driving style between countries and regions, a further study is necessary of the extent in which, and how, ACC is used in the Netherlands.

Inhoud

Lijst van gebruikte afkortingen	9
1. Inleiding	11
1.1. Achtergrond	11
1.2. Probleemstelling	12
1.3. Doelstelling	12
1.4. Methode en opbouw van het rapport	12
2. Telematica en verkeersveiligheid	13
2.1. Systeemcategorieën en veiligheidsaspecten	13
2.2. Behoeften en eisen van belanghebbenden	15
2.2.1. De behoeften van de algemene weggebruiker	15
2.2.2. De behoeften van de gebruikers van telematicasystemen	15
2.2.3. De behoeften en eisen van de samenleving	16
2.2.4. De behoeften van fabrikanten	17
2.3. Specifieke veiligheidsaspecten van ACC	17
3. Beschrijving van ACC	19
3.1. Systeembeschrijving	19
3.2. Werking	19
3.3. Functionele systeemveiligheid en MMI	20
3.3.1. Detectie	20
3.3.2. Aansturing	20
3.3.3. Interactie met de bestuurder	21
3.4. De laatste ontwikkelingen	21
4. Onderzoekresultaten uit de literatuur	22
4.1. Verkeerssimulatiestudies	22
4.2. Rijsimulatorstudies	23
4.2.1. Rijsimulators	23
4.2.2. ACC-systemen	25
4.2.3. Studie-opzet	26
4.2.4. ACC op autosnelwegen	28
4.2.5. ACC op provinciale wegen	35
4.2.6. Acceptatie	38
4.3. Praktijkproeven	38
4.3.1. Fancher, Ervin & Bogard (1998)	38
4.3.2. Marsden, McDonald & Brackstone (2001)	40
4.4. Onderzoek naar de geprefereerde gebruiksomstandigheden	40
5. ACC en verkeersveiligheid	42
5.1. De behoeften van de algemene weggebruiker	42
5.1.1. Verkeersveiligheid	42
5.1.2. Reistijd	43
5.2. De behoeften van de ACC-gebruiker	43
5.2.1. Bruikbaarheid van ACC	43
5.2.2. Veilig functioneren van ACC	43
5.2.3. Veilig gebruik van ACC	44
5.2.4. Gebruiksgemak van ACC	45
5.3. De behoeften en eisen van de samenleving	45

5.3.1.	Aansprakelijkheid	45
5.3.2.	Milieueffecten	45
5.3.3.	Sociale en politieke acceptatie	45
5.3.4.	Kosten voor de samenleving	46
5.4.	Relatie tot eerder onderzoek	46
6.	Conclusies en aanbevelingen	47
6.1.	De algemene weggebruiker	47
6.2.	De ACC-gebruiker	47
6.3.	De samenleving	48
6.4.	Eindconclusie	48
6.5.	Aanbevelingen	49
	Literatuur	50

Lijst van gebruikte afkortingen

ACC	Advanced Cruise Control
CC	(conventionele) Cruise Control
CRD	Completely Randomized Design
ECG	Electrocardiogram
FCW	Forward Collision Warning
FCA	Forward Collision Avoidance
HSR	Hoge-snelheidsrijder
ISA	Intelligente Snelheidsaanpassing of -adaptatie
ITS	Intelligente Transportsystemen
LIDAR	Light Detection And Ranging
LSR	Lage-snelheidsrijder
MMI	Mens-Machine-Interactie
RADAR	Radio Detection And Ranging
RBD	Randomized Block Design
SDLP	Standaarddeviatie van de Laterale Positie
TTC	Time-to-collision

1. Inleiding

1.1. Achtergrond

Dit onderzoek maakt deel uit van het thema 'Telematica en veiligheid in het wegverkeer'. Telematica zou kunnen bijdragen aan een duurzaam-veilig wegverkeer. Al verscheidene jaren worden telematicatoepassingen en andere ondersteunende systemen voor het wegverkeer bedacht en ontwikkeld. Enkele systemen, zoals Advanced Cruise Control (ACC), zijn al op de markt. Andere systemen staan kort voor de introductie. Gezien de snelle ontwikkelingen op dit gebied, het feit dat verkeersveiligheids-overwegingen hierbij veelal geen dominante rol lijken te spelen, en het ontbreken van een grote mate aan coördinatie, is het van belang om bij dit thema niet achter de ontwikkelingen aan te hoeven lopen. In dit kader lopen er bij de SWOV verscheidene projecten onder de noemer 'Inventarisatie van telematicatoepassingen' die, zeggend, de vinger aan de pols proberen te houden. Het doel van deze projecten is een inhoudelijk en wetenschappelijk oordeel te vellen over de mogelijke positieve en negatieve invloeden van verschillende systemen op de verkeersveiligheid.

Bij een aantal automerken kan Advanced Cruise Control (ACC) als optie gekozen worden (Nissan, Mercedes, BMW, Volkswagen, Audi, Jaguar, Fiat en Seat). Het systeem werkt als volgt. Als het wegdek voor het met ACC uitgeruste voertuig vrij is, functioneert het systeem als een conventionele Cruise Control (CC), dat wil zeggen: het systeem handhaaft een door de bestuurder aangegeven streefsnelheid. Zodra het systeem een voorligger detecteert, worden afstand en onderlinge snelheid bepaald, waarna (indien nodig) het systeem de snelheid zelf aanpast door gas terug te nemen, naar een lagere versnelling terug te schakelen of door actief te remmen. Door de fabrikanten en leveranciers wordt ACC gepresenteerd als een systeem om het comfort van het autorijden te vergroten en niet als een systeem om de verkeersveiligheid te verhogen. Omdat ACC echter de rijtaak zal veranderen, zal het systeem invloed hebben op zowel de verkeersveiligheid als de verkeersstroom.

Voorafgaand aan de introductie in Nederland werden van ACC de volgende effecten verwacht (Van Arem, 1999). Voor de verkeersstroom zou ACC een verbetering van de stabiliteit tot gevolg hebben. Hierdoor zou de wegcapaciteit verhoogd kunnen worden. Verder zou het brandstofverbruik met zo'n 10-15% teruggedrongen kunnen worden. Op het gebied van verkeersveiligheid werden zowel positieve effecten (comfort) als negatieve effecten (verminderde alertheid) verwacht. In een voorgaand SWOV-rapport (Oei, 1999) is ook ingegaan op de mogelijke effecten van ACC op de verkeersveiligheid. Ook daarin werden een aantal positieve en negatieve effecten geconstateerd. De gevolgen voor de verkeersveiligheid van ACC zijn echter nog niet in harde cijfers uit te drukken. Inmiddels zijn vele studies verschenen over ACC en is het systeem op de markt verkrijgbaar. Dit is reden om een nieuwe studie uit te voeren.

1.2. Probleemstelling

Er zijn drie niveaus waarop implicaties voor verkeersveiligheid zich afspelen, namelijk de functionele veiligheid (hardware- en software-ontwerp), de veiligheid voor de bestuurder (interactie tussen bestuurder en systeem), en de veiligheid voor het verkeerssysteem als geheel.

Onderzoek naar de gevolgen van ACC voor de verkeersveiligheid zou alle drie de veiligheidsniveaus moeten behelzen. Hiervoor moet onder andere beter bekend zijn, wat de gevolgen zijn van de interactie tussen mens en machine. Uit een inventarisatie van de literatuur over Intelligente Transportsystemen (ITS; Oei & Eenink, 2001) is naar voren gekomen, dat er nog weinig studies zijn gedaan naar deze interactie. Oei & Eenink bevelen dan ook aan om verder te zoeken naar onderzoeksresultaten die op deze interactie gericht zijn.

1.3. Doelstelling

Het doel van deze studie is om, op basis van de recente literatuur, de mogelijke gevolgen van ACC voor de verkeersveiligheid in kaart te brengen. Hierbij zal vooral gekeken worden naar de hierboven genoemde interactie tussen mens en machine. Tevens zullen waar mogelijk aanbevelingen worden gedaan.

1.4. Methode en opbouw van het rapport

Om op basis van de literatuur een schatting te maken van de verkeersveiligheidseffecten van ACC, is het nodig om een structuur te scheppen om de zeer diverse studies te vergelijken en effecten te schatten. Daarom worden in *Hoofdstuk 2* de volgende drie structurerende principes geïntroduceerd:

1. een classificatie van de soorten telematicasystemen;
2. de veiligheidsniveaus waarop implicaties van telematica zich afspelen;
3. de behoeften en eisen van de belanghebbenden.

Verder zullen enige uitkomsten van een voorgaande SWOV-studie over ACC samengevat worden, die zullen dienen als referentie voor de resultaten uit dit rapport.

In *Hoofdstuk 3* wordt een korte algemene beschrijving gegeven van de werking van ACC. *Hoofdstuk 4* geeft een overzicht van onderzoeksresultaten uit de literatuur en deze worden gestructureerd aan de hand van de gehanteerde onderzoeksmethode. Deze onderzoeksresultaten uit *Hoofdstuk 4* worden in *Hoofdstuk 5* besproken met behulp van de structurerende principes uit *Hoofdstuk 2*. In *Hoofdstuk 6* worden conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

2. Telematica en verkeersveiligheid

In dit hoofdstuk wordt een structuur geschapen om de implicaties van telematicatoepassingen voor de verkeersveiligheid in kaart te kunnen brengen. Om te beginnen wordt in *Paragraaf 2.1* een indeling gegeven van telematicasystemen op basis van hun functie, en worden drie veiligheidsniveaus gedefinieerd waarop het gebruik van een telematicasysteem invloed kan hebben. Vervolgens worden in *Paragraaf 2.2* de behoeften en eisen van belanghebbenden geïdentificeerd. Tot slot worden de resultaten van een eerdere SWOV-studie (Oei, 1999) over ACC samengevat in *Paragraaf 2.3*.

2.1. Systemecategorieën en veiligheidsaspecten

Telematicasystemen zijn volgens Carsten & Nilsson (2001) in te delen in vier categorieën:

1. systemen die de rijtaak ondersteunen door de bestuurder informatie te geven, bijvoorbeeld navigatie- en verkeersinformatiesystemen.
2. systemen die waarschuwingen of terugkoppeling geven, meestal om fouten of overtredingen van bestuurders te verminderen, bijvoorbeeld adviserende Intelligente SnelheidsAdaptatie (zachte ISA) en Forward Collision Warning systemen (FCW).
3. systemen die interveniëren in voertuigbesturing zonder volledig de bestuurder te vervangen, bijvoorbeeld ACC, Stop & Go en verschillende vormen van interveniërende ISA (harde ISA).
4. systemen die autonoom of geautomatiseerd rijden, waarbij de bestuurder compleet vervangen is en niet kan ingrijpen in het systeem.

Volgens dezelfde auteurs zijn er drie niveaus waarop de implicaties van telematicasystemen voor de verkeersveiligheid zich afspelen:

1. functionele systeemveiligheid;
2. veiligheid voor de bestuurder;
3. veiligheid voor het verkeerssysteem als geheel.

De functionele systeemveiligheid (niveau 1) behelst zaken als technische betrouwbaarheid, storingen van het systeem en de mogelijkheid om in een gevaarlijke of niet-geanticipeerde toestand te raken. De functionele systeemveiligheid moet verzekerd worden tijdens de productontwikkeling. Het veilig functioneren van een telematicasysteem is in grote mate afhankelijk van het specifieke ontwerp en zal daarom in deze studie alleen in algemene zin besproken worden.

De veiligheid van een telematicasysteem voor de bestuurder (niveau 2) is onder andere afhankelijk van de mens-machine-interactie (MMI). Hierbij gaat het om het ontwerp en de locatie van knoppen en menu's en de manier van informatie uitwisselen tussen de gebruiker en het systeem. Slecht ontworpen systemen kunnen leiden tot overbelasting (er moet te veel informatie worden verwerkt), onderbelasting (gebruiker is niet meer betrokken bij de belangrijkste rijtaak) of afleiding van de rijtaak op verkeerde momenten. De informatie die aan de bestuurder verstrekt wordt moet dus relevant zijn, makkelijk te interpreteren zijn, en moet op tijd worden gegeven zodat erop gereageerd kan worden. Verder is het van belang dat gebruikers adequaat reageren in noodsituaties, en dat het gebruik van een systeem niet leidt tot zodanige gedragsadaptatie dat de veiligheidseffecten teniet worden gedaan.

De veiligheid voor het verkeer (niveau 3) volgt uit zowel de functionele systeemveiligheid als de meeste MMI-problemen. Verder omvat dit aspect de manier waarop het gebruik van een bepaald systeem (of combinaties van systemen) het gedrag van weggebruikers verandert en de interactie beïnvloedt tussen weggebruiker, voertuig, infrastructuur en andere weggebruikers, inclusief kwetsbare.

Volgens Carsten & Nilsson (2001) spelen bij interveniërende systemen zoals ACC, de belangrijkste implicaties voor de verkeersveiligheid zich af op de niveaus 2 en 3: de MMI en de veiligheid voor het verkeerssysteem als geheel. Aan de ene kant kan een interveniërend systeem de rijtaak verlichten, waardoor het rijcomfort toeneemt en de bestuurder minder vermoeid raakt. Aan de andere kant kan de bestuurder afgeleid raken van de rijtaak doordat hij/zij te weinig betrokken is (onderbelasting). Ook kan een slecht ontworpen MMI afleiding veroorzaken omdat de bestuurder te veel informatie moet verwerken (overbelasting), terwijl de juiste, op een adequate manier gegeven informatie de bestuurder van dienst kan zijn. Bij interveniërende systemen is het ook van belang dat de gebruiker adequaat ingrijpt als het systeem faalt. Verder is het de vraag hoe een telematicasysteem het gedrag van gebruikers en hun interactie met andere weggebruikers verandert.

De interactie tussen telematicagebruikers en andere weggebruikers wordt door Heijer & Wiersma (2001) op de volgende manier benaderd. Zij stellen dat gekeken moet worden of een telematicatoepassing de bestuurder die ondersteuning geeft, die nodig is om veilig aan het verkeer te kunnen deelnemen. De auteurs stellen op basis van een theoretische berekening, dat de faalkans in het verkeer (het aantal conflictsituaties dat door de betrokken bestuurders niet adequaat wordt opgelost én tot ongevallen leidt) ten minste een ordegrootte kleiner is dan de faalkans van een individuele weggebruiker. Blijkbaar zijn bestuurders in staat om sommige fouten zelf op tijd te corrigeren en in andere gevallen passen andere weggebruikers zich aan, zodat fouten niet tot ongevallen leiden.

Over het algemeen is de mens vrij traag in het uitvoeren van beslissingen (reactietijd). Gezien het feit dat deelnemen aan het verkeer hoge eisen stelt aan het reactievermogen, wordt aangenomen dat verkeersdeelnemers een aantal mechanismen gebruiken om effectief met de snelle verkeersprocessen om te gaan. Een manier is om een groot deel van de rijtaak uit te voeren op lagere cognitieve niveaus ('rule-based level' en 'skill-based level'), zie bijvoorbeeld Hale, Quist & Stoop (1988) en Michon (1985). Een ander mechanisme is anticiperen. In plaats van te reageren op de situatie van het moment, reageren bestuurders over het algemeen op een voorspelde situatie in de nabije toekomst. Hierdoor kan gecompenseerd worden voor de vertraging door de reactietijd. Om de situatie in de nabije toekomst te voorspellen, wordt gebruikgemaakt van een mentaal model om de huidige situatie te extrapoleren. Dit wordt ook wel 'situation awareness' genoemd, zie bijvoorbeeld Endsley (1995). Behalve dat het model voorspellende waarde moet hebben, moet het mentale model ook toegepast kunnen worden op een grote verscheidenheid aan wegen en verkeerssituaties. Verder moet het, gezien de snelheid van het verkeersproces, van beperkte omvang en complexiteit zijn, zodat het snelle reacties toestaat. Dit laatste leidt er echter toe dat het niet altijd accuraat zal zijn. Daarom zal het mentale model van een ervaren bestuurder waarschijnlijk ook een strategie bevatten om met deze beperkte accuratesse om te gaan. Uiteindelijk ontstaat in het

verkeer tijdens interactie van verschillende weggebruikers (met elk een individueel mentaal model) een gemeenschappelijk scenario om conflict-situaties op te lossen.

De relatie van het bovenstaande tot de verkeersveiligheidseffecten van telematicasystemen is, volgens Heijer & Wiersma (2001), dat huidige telematicasystemen zich vooral richten op het compenseren of voorkomen van fouten van de telematicagebruiker. Hierbij wordt niet gekeken naar de mogelijke gevolgen voor de interactie met andere weggebruikers. Bij het ontwerpen van telematicasystemen zou dus ook moeten worden gekeken of deze systemen het tot stand komen van een gemeenschappelijk scenario in conflictsituaties bevordert. In andere woorden, hoe voorspelbaar is het gedrag van een telematicagebruiker voor de andere weggebruikers.

2.2. Behoeften en eisen van belanghebbenden

In verband met de hierboven beschreven veiligheidsniveaus identificeren Jagtman, Marchau & Heijer (2001) drie belangengroepen: algemene weggebruikers, gebruikers van telematicasystemen en de samenleving als geheel. Een vierde belangengroep wordt gevormd door de fabrikanten (zowel de auto-industrie als fabrikanten van telematicasystemen), zie bijvoorbeeld Wiethof et al. (2001) en Macharis & Stevens (2002).

2.2.1. *De behoeften van de algemene weggebruiker*

In het algemeen kan gesteld worden dat de algemene weggebruiker de behoefte heeft om comfortabel, snel, veilig en goedkoop te reizen. Soms gaat de behoefte niet verder dan te genieten van het autorijden. Bij het beoordelen van de gevolgen van de introductie van telematicasystemen zal voor niet-gebruikers vooral gekeken moeten worden naar de invloed op:

- verkeersveiligheid;
- doorstroming (en hieraan gerelateerd de reistijd).

Waar de invloed van telematicasystemen op de doorstroming relatief simpel te bepalen is met verkeerssimulatiestudies, is de impact op de verkeersveiligheid moeilijker vast te stellen. Daarom wordt vaak gewerkt met grootheden waarvan men veronderstelt dat ze de verkeersveiligheid beïnvloeden. Over het algemeen wordt aangenomen dat als de gemiddeld gereden snelheid of de spreiding in gereden snelheden toeneemt, de verkeersveiligheid afneemt. Ook kortere volgtijden worden over het algemeen gerelateerd aan een afname van de verkeersveiligheid. De effecten van een telematicasysteem op deze grootheden zijn te bepalen in zowel verkeerssimulatiestudies als rijsimulatiestudies.

Een aspect dat meestal buiten beschouwing wordt gelaten, is de voorspelbaarheid van het gedrag van gebruikers van telematicasystemen. Als het gedrag van een bestuurder door gebruik van een telematicasysteem verandert, kan dit voor een niet-gebruiker tot ongewenste verwarrende verkeerssituaties leiden.

2.2.2. *De behoeften van de gebruikers van telematicasystemen*

De gebruikers van telematicasystemen vormen een subgroep van de algemene weggebruikers. Zij hebben, naast de behoeften van de algemene weggebruikers, specifieke behoeften die gerelateerd zijn aan het gebruikte

telematicasysteem. Deze behoeften zijn te verwoorden in de volgende vragen:

1. Heb ik wat aan het systeem?
2. Doet het systeem het?
3. Is het systeem veilig te gebruiken?
4. Is makkelijk om het systeem te gebruiken?

Vraag 1 heeft betrekking op de bruikbaarheid van een telematicasysteem. Belangrijk is dat het systeem in een behoefte van de gebruiker voorziet (comfortabeler, sneller, goedkoper of veiliger reizen). Een systeem dat niet in een van deze behoeften voorziet, zal weinig of niet gebruikt worden. In het geval van ACC is het voornaamste doel een toename van het comfort. Voor de gebruiker is het dus van belang te weten tijdens welke verkeersomstandigheden gebruik van het systeem zal leiden tot realisatie van het doel waarvoor het ontworpen is.

Vraag 2 heeft betrekking op de betrouwbaarheid van het systeem. Een systeem zal niet gebruikt worden als een gebruiker geen vertrouwen in het systeem heeft. Dit gebrek aan vertrouwen kan ontstaan doordat het systeem niet goed functioneert of omdat het functioneren niet overeenkomt met de verwachting van de gebruiker.

Of een systeem veilig te gebruiken is (vraag 3), hangt van een aantal zaken af. In de eerste plaats kan een ingewikkeld systeem, waarvan de werking moeilijk te doorgronden is, leiden tot een verkeerde interpretatie van een situatie. Dit kan leiden tot het niet of te laat herkennen van kritische situaties (zoals systeemfalen) met als gevolg dat niet adequaat wordt ingegrepen. Een dergelijk systeem zal waarschijnlijk na een aantal als kritisch ervaren situaties niet meer gebruikt worden. Ook kan een systeem dat in grote mate de rijtaak overneemt, leiden tot aandachtverslapping waardoor kritische situaties niet of te laat herkend worden. Een toename van comfort kan op die manier leiden tot een afname van de veiligheid. Meestal wordt er echter van uitgegaan dat een toename van comfort leidt tot minder vermoeidheid en dus minder kans op ongevallen. Dit is dus alleen het geval als de bestuurder betrokken blijft bij de rijtaak. Verder is het van belang dat de gebruiker op de hoogte is van omstandigheden waaronder het systeem gebruikt mag worden (systeembepalingen). Idealiter moet voorkomen worden dat een systeem gebruikt kan worden in situaties waarvoor het niet ontworpen is.

Tot slot is het van belang dat gebruik van het systeem makkelijk te leren is (vraag 4). Het valt niet te verwachten dat bestuurders bereid zullen zijn lange gebruiksaanwijzingen te lezen of extra rijlessen te nemen om gebruik van het systeem te leren. Een systeem moet dus in grote mate zelfverklarend zijn.

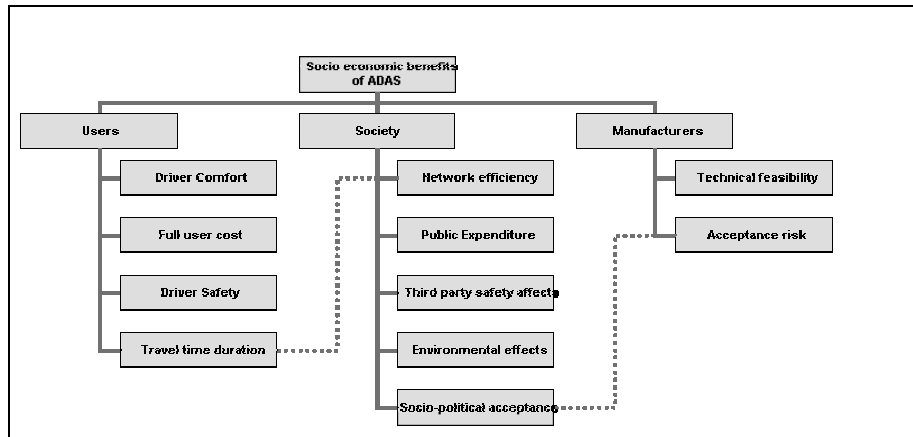
2.2.3. *De behoeften en eisen van de samenleving*

De samenleving als geheel heeft ook bepaalde belangen bij het gebruik van telematicasystemen. Sommige behoeften van de samenleving, zoals verkeersveiligheid en wegcapaciteit (door de invloed op de reistijd), worden gedeeld met de algemene weggebruikers. Macharis & Stevens (2002) zien algemene weggebruikers dan ook als deel van de samenleving als geheel (zie *Afbeelding 1*). In dit rapport worden algemene weggebruikers als aparte

groep behandeld om naar voren te laten komen dat telematicagebruikers een subgroep zijn van algemene weggebruikers. Specifieke eisen die de maatschappij aan het gebruik van telematicasystemen stelt zijn:

- duidelijkheid omtrent aansprakelijkheid;
- milieueffecten;
- sociale en politieke acceptatie;
- kosten voor de samenleving.

Het is overigens ook in het belang van de fabrikanten dat het goed geregeld is wie er aansprakelijk is bij eventuele problemen die voortvloeien uit het gebruik van telematicasystemen.



Afbeelding 1. Overzicht van de behoeften en eisen van de belanghebbenden; de stippellijnen geven gemeenschappelijke belangen aan. Bron: Macharis & Stevens (2002)

2.2.4. De behoeften van fabrikanten

Een tweetal belangen van fabrikanten van telematicasystemen, namelijk duidelijkheid omtrent aansprakelijkheid en sociale en politieke acceptatie, delen ze met de samenleving als geheel. Een specifiek belang van de fabrikanten is technische haalbaarheid. Voor ACC is technische haalbaarheid geen kwestie meer, omdat het systeem al op de markt geïntroduceerd is. Daarom zullen de fabrikanten in dit rapport als onderdeel van de samenleving worden beschouwd.

2.3. Specifieke veiligheidsaspecten van ACC

In een voorgaand SWOV-onderzoek is, voorafgaand aan de introductie van ACC in Nederland, een literatuurstudie gedaan naar de mogelijke effecten van ACC op de verkeersveiligheid (Oei, 1999). Uit deze studie kwamen onder meer de volgende conclusies naar voren.

Gebruik van ACC:

- ACC is bedoeld voor de snelweg en de provinciale weg onder niet-congestie-condities.
- ACC is niet bedoeld als autonoom werkend anti-botssysteem; de bestuurder blijft eindverantwoordelijk.

- Het primaire doel is de bestuurder te helpen met de rijtaak met als mogelijk gevolg verbetering van doorstroming en verkeersveiligheid.

Positieve effecten van ACC:

- Bestuurders kunnen veilig met het systeem omgaan.
- Het rijcomfort neemt toe.
- Snelheden zijn homogener.
- Afstand houden is verbeterd, waardoor er minder geremd wordt.

Negatieve effecten van ACC:

- Bestuurders veranderen van rijstrook om geen auto voor zich te hebben en niet om in te halen.
- Bestuurders zijn minder coöperatief en houden minder rekening met overstekende voetgangers.
- Bestuurders verwachten dat bij kritische situaties een waarschuwing wordt gegeven.

Draagvlak voor ACC:

- De acceptatie van ACC hangt samen met uitvoering en betrouwbaarheid van het systeem.
- De acceptatie onder ouderen is groter dan onder jongeren.
- Er zijn verschillen in acceptatie per land, afhankelijk van attitudes van bestuurders in die landen.

Deze conclusies zullen als referentie dienen voor de onderzoeksresultaten die in dit rapport beschreven worden.

3. Beschrijving van ACC

Dit hoofdstuk begint met een korte beschrijving van ACC; in de tweede paragraaf wordt de werking van het systeem uitvoeriger beschreven. De derde paragraaf geeft een opsomming van voor- en nadelen van bepaalde ACC-uitvoeringen voor de functionele systeemveiligheid en de MMI. En de laatste paragraaf beschrijft de laatste ontwikkelingen van ACC-systemen.

3.1. **Systeembeschrijving**

Adaptive of Advanced Cruise Control (ACC) wordt ook wel Intelligent Cruise Control (ICC) of Adaptive of Advanced Intelligent Cruise Control (AICC) genoemd. Dit systeem is een uitbreiding van de reeds bekende Cruise Control of Conventional Cruise Control (CC of CCC). De uitbreiding bestaat uit een regelmechaniek dat het motorvermogen kan reduceren en/of (in beperkte mate) de rem kan bedienen, en een detectiegedeelte dat bepaalt of er een voorligger op de weg aanwezig is, en zo ja, wat de afstand en de relatieve snelheid zijn. Het detectie-element bestaat uit een LIDAR-sensor (Light Detection And Ranging, gebaseerd op laserdetectie) of een RADAR-sensor (Radio Detection And Ranging) en in sommige gevallen uit een combinatie van beide. Er zijn momenteel ook ontwikkelingen gaande waarbij detectie berust op beeldherkenning.

3.2. **Werking**

In de situatie waarin de voorliggende rijstrook vrij is, functioneert het ACC-systeem als een conventionele Cruise Control, dat wil zeggen: het systeem handhaaft een door de bestuurder aangegeven streefsnelheid. Zodra het systeem een voorligger detecteert, worden afstand en onderlinge snelheid bepaald, waarna (indien nodig) het systeem de snelheid zelf aanpast door gas terug te nemen, naar een lagere versnelling terug te schakelen of door actief te remmen. De snelheidsvermindering wordt voortgezet tot een (door de bestuurder) ingestelde volgafstand of volgtijd is bereikt. In de huidige opzet kan het systeem op deze wijze een vertraging realiseren tot maximaal 0,2-0,3 g ($\frac{1}{4}$ tot $\frac{1}{3}$ van de maximale remkracht). Indien de benodigde remkracht groter is dan door het systeem geleverd kan worden, wordt een signaal gegeven aan de bestuurder dat de systeemtolerantie wordt overschreden en dat bestuurderinterventie vereist is. De bestuurder kan te allen tijde het systeem uitzetten door op een knop te drukken of door te remmen. Het systeem kan tijdelijk buitenspel worden gezet door gas te geven. Sommige huidige systemen hebben het vermogen om onderscheid te maken tussen voertuigen in dezelfde rijstrook als het ACC-bestuurde voertuig en voertuigen in andere rijstroken en tegenliggers. Door gegevens uit de toestand van het eigen voertuig te combineren met data die betrekking heeft op de voorligger, kan deze bij sommige systemen ook door bochten nog gevolgd worden.

3.3. Functionele systeemveiligheid en MMI

De precieze uitvoering van ACC kan effect hebben op de functionele systeemveiligheid. Het dan gaat om de technologie achter de volgende ACC-elementen:

- de detectie: de sensortechniek die verantwoordelijk is voor het herkennen en lokaliseren van voorliggers;
- de aansturing: het regelalgoritme dat plaats op de weg, afstand en relatieve snelheid van een object gebruikt om vast te stellen of al dan niet een ingreep moet plaatsvinden);
- de interactie met de bestuurder: de wijze waarop het systeem de gebruiker informeert.

3.3.1. Detectie

Wat de detectie betreft, kleven aan alle drie methoden (LIDAR, RADAR en beeldherkenning) voor- en nadelen:

LIDAR biedt het voordeel van een grote nauwkeurigheid. Daar staat tegenover dat LIDAR in sterke mate gevoelig is voor vuil op de lens. Ook slechte weersomstandigheden (vooral mist) kunnen het detectiebereik verminderen (Geduld, 1997). Beide factoren kunnen de systeemwerking negatief beïnvloeden of zelfs teniet doen.

RADAR is minder nauwkeurig dan LIDAR, maar deze wijze van detecteren is vrijwel ongevoelig voor vuil op het detectie-element. Slechte weersomstandigheden, met name zware regenval, hebben echter wel een reductie van het detectiebereik tot gevolg (Geduld, 1997). De nauwkeurigheid is hier echter het grootste veiligheidsrisico. Bij oudere uitvoeringen van het systeem kon het voorkomen dat bij het volgen van een voertuig door een bocht per abuis een immobiel object langs de kant van de weg als voorligger werd gedetecteerd.

Beeldherkenning berust op detectie door middel van een camera. Het blikveld is vergelijkbaar met dat van een mens. Voor de nauwkeurigheid van het systeem geldt in grote lijnen dezelfde argumentatie als voor LIDAR-detectie: gevoeligheid voor slechte weersomstandigheden en vuil op of voor de lens. Tevens is de correcte werking van het systeem afhankelijk van interpretatie van de sensorinput door een computersysteem. Dit geldt natuurlijk ook voor LIDAR- en RADAR-systemen, maar de hoeveelheid en complexiteit van camera-informatie is aanzienlijk groter. ACC op basis van beeldherkenning stelt dus hogere eisen aan de software.

Alhoewel het de bedoeling is dat bij de meeste systemen een waarschuwing wordt gegeven wanneer de sensor niet naar behoren functioneert (als er bijvoorbeeld vuil op de laserlens zit), is het de vraag hoe bestuurders reageren als dit, om wat voor reden dan ook, niet gebeurt.

Een ander probleem is dat kwetsbare weggebruikers niet altijd worden gedetecteerd en dus meer risico lopen.

3.3.2. Aansturing

Op basis van de door de sensoren aangeleverde informatie besluit het sturingsalgoritme of een ingreep noodzakelijk is en op wat voor wijze. Het kan gebeuren dat de aangeleverde informatie onjuist wordt geïnterpreteerd

(immobiel object wordt geïnterpreteerd als een voorligger, voorligger wordt niet als zodanig herkend, en dergelijke). Bielaczek (1999) stelt dat een ACC-systeem niet 100% nauwkeurig onderscheid hoeft te maken tussen voorliggers en andere objecten, als voorliggers maar 100% nauwkeurig worden geïdentificeerd. Dat wil zeggen dat bijvoorbeeld een object langs de wegkant nog wel eens als een voorligger mag worden gedetecteerd, als een voorligger maar niet als een object langs de wegkant wordt geïdentificeerd. De voorspelbaarheid van het gedrag van een voertuig met ACC zal echter voor de overige weggebruikers afnemen, als er plotseling wordt geremd omdat een object langs de weg als voorligger wordt gedetecteerd. Ook moet worden opgemerkt dat als het aantal foutmeldingen te groot wordt, men het vertrouwen in het systeem zal verliezen en het als gevolg daarvan niet meer zal gebruiken.

3.3.3. *Interactie met de bestuurder*

Afhankelijk van de uitvoering van het systeem, zijn er verschillende momenten en manieren waarop de bestuurder geïnformeerd dient te worden over het functioneren van het systeem:

- Aan/uit indicatie van het systeem: het systeem is ingeschakeld dan wel uitgeschakeld, door een keuze van de bestuurder of door het optreden van een storing of een defect. Dit gebeurt veelal met een visueel signaal op het dashboard (soms met een aparte aanduiding voor 'normaal' aan/uit en uitschakeling ten gevolge van een systeemstoring).
- Bereiken van de ingestelde volgafstand, dan wel ingestelde streefsnelheid (visueel signaal).
- Overschrijden van de systeemcompetenties: wanneer de benodigde remvertraging, om een botsing te voorkomen, door het systeem niet gerealiseerd kan worden, wordt de bestuurder hierop geattendeerd via auditieve en/of visuele waarschuwingen.

Het is van belang dat de verschillende signalen duidelijk herkenbaar zijn. Vooral een alarmsignaal dat aangeeft dat de bestuurder moet ingrijpen, moet niet te verwarren zijn met signalen van andere aanwezige (telematica)systemen.

3.4. **De laatste ontwikkelingen**

Op dit moment zijn ontwikkelingen gaande waarbij ACC-systemen worden uitgebreid met de zogenaamde Stop & Go-functie, die het mogelijk moet maken met ACC ook in files of binnen de bebouwde kom te kunnen rijden. Ook zijn ACC-systemen in ontwikkeling die kunnen worden gebruikt in vrachtwagens en autobussen.

Door SEAT is een concept-auto ontwikkeld die is uitgerust met beeldherkenningsapparatuur, waarmee onder andere snelheidslimieten, aangegeven langs de kant van de weg, worden herkend. Deze kunnen dan via ACC automatisch worden aangehouden, waardoor ACC effectief als een intelligente snelheidsadaptor (ISA) functioneert. Het betreffende systeem omvat tevens een Lane Keeping support.

Het combineren van verschillende systemen is overigens een trend die vaker kan worden vastgesteld bij telematicatoepassingen voor het voertuig.

4. Onderzoeksresultaten uit de literatuur

In dit hoofdstuk worden de resultaten behandeld van een aantal studies over ACC die in de literatuur zijn gevonden. Deze studies verschillen zowel in methodologie als in specifieke eigenschappen van de ACC-systemen die zijn onderzocht. De verschillende soorten studies die hier worden beschreven zijn: verkeerssimulaties, experimenten met rijsimulators, praktijkproeven en onderzoeken naar de voorkeuren van (potentiële) gebruikers. De eigenschappen van de onderzocht ACC-systemen kunnen verschillen in MMI, maximale remkracht (variërend van 10% tot 30% van de maximale remcapaciteit), in te stellen volgtijd (variërend van 0,6 tot 3.0 sec.), snelheidsbereik waarbij het systeem werkt en, in het geval van verkeerssimulaties, de penetratiegraad (variërend van 10-100%). Deze variatie compliceert een analyse van de resultaten aanzienlijk. Enerzijds kunnen verschillen in resultaten wijzen op afhankelijkheid van methode of eigenschappen van het ACC-systeem. Anderzijds kan echter aangenomen worden dat overeenkomsten in resultaten geïnterpreteerd kunnen worden als een sterke aanwijzingen.

4.1. Verkeerssimulatiestudies

Verkeerssimulatiestudies kunnen inzicht verschaffen in de effecten van ACC op de wegcapaciteit en parameters die de verkeersveiligheid beïnvloeden: de volgtijd, verandering van de gemiddelde rijnsnelheid en verandering van de standaarddeviatie van de rijnsnelheid. In een aantal verschillende verkeerssimulatiestudies is geprobeerd om de invloed van ACC op de verkeersstroom op autosnelwegen te bepalen, zie Hogema et al. (1997), Cremer et al. (1998), Minderhoud (1999), Marsden, McDonald & Brackstone (2001), Antoniou, Yannis & Golias (2002), Demir (2002), Van der Werf et al. (2002), en Hoogendoorn & Minderhoud (2002). Zoals hierboven beschreven, verschillen deze studies met betrekking tot de gebruikte simulatiemodellen, eigenschappen van de onderzochte ACC-systemen, penetratiegraden en verkeersscenario's. De volgende scenario's, met verschillende penetratiegraden van ACC, zijn onderzocht:

- rustig verkeer;
- de overgangen van rustig verkeer naar congestie en vice versa;
- congestie;
- afsluiting van een rijstrook.

In al deze scenario's is uitgegaan van autosnelwegen met twee tot vier rijstroken. Aangezien de resultaten van deze studies in dezelfde richting wijzen, zullen ze gezamenlijk behandeld worden. De resultaten van de verkeerssimulatiestudies kunnen als volgt worden samengevat:

- Voor lage penetratiegraden (tot 20%) heeft ACC geen wezenlijke invloed op de verkeersstroom, ongeacht de ingestelde volgtijd en het verkeersscenario.
- Het effect van ACC op de verkeersstroom is bij hoge snelheden en lage verkeersvolumes (rustig verkeer) nauwelijks te meten, ongeacht de penetratiegraad.
- Bij congestie en hoge penetratiegraden (40%-100%) leiden ingestelde ACC-volgtijden die groter zijn dan 1,2 sec. tot een toename van de

reistijd en een afname van de gemiddelde snelheid. De doorstroming neemt dus af. Ook neemt dan de standaarddeviatie van de snelheid toe, door het ontstaan van schokgolven. Deze schokgolven ontstaan doordat bij toenemende ACC-volgtijden dusdanig grote gaten tussen elkaar volgende voertuigen ontstaan, dat bestuurders van naburige rijstroken zullen invoegen. Hierdoor moet door het ACC-systeem (of zelfs de bestuurder) geremd worden. Deze remreacties planten zich voort en worden steeds heftiger (Marsden, McDonald & Brackstone, 2001). De toename van het aantal schokgolven zal de verkeersveiligheid niet ten goede komen.

- Bij ACC-volgtijden die kleiner zijn dan 1 sec. neemt de wegcapaciteit toe. De geschatte capaciteitstoename varieert van 4% tot 25%, afhankelijk van de ingestelde volgtijd en het soort ACC-systeem dat is gebruikt. Het is echter de vraag of, gelet op de verkeersveiligheid, dergelijk korte volgtijden wenselijk zijn.
- Zoals kan worden verwacht, neemt bij ACC-gebruik het percentage volgtijden dat korter is dan de ingestelde ACC volgtijd af. Dit effect is, vanzelfsprekend, groter naarmate de penetratiegraad hoger is. Afhankelijk van de ingestelde ACC-volgtijd kan dit een positief effect op de verkeersveiligheid hebben.

4.2. Rijsimulatorstudies

In een aantal rijsimulatorstudies is geprobeerd de gedragsverandering van bestuurders als gevolg van rijden met ACC, te meten. Hiermee kan inzicht worden verschaft in de MMI en, net als in verkeerssimulaties, in het effect van ACC op parameters die de verkeersveiligheid beïnvloeden. Omdat er grote verschillen zijn tussen deze studies, worden zowel de gebruikte methoden als resultaten uitgebreid behandeld.

4.2.1. Rijsimulators

Tabel 1 geeft een overzicht van de verschillende soorten rijsimulators die gebruikt zijn.

Er is een groot verschil tussen rijsimulatorstudies met gebruik van een vaste basis en die met een bewegende basis. Rijsimulatie met een vaste basis houdt in dat de auto waarin de proefpersoon zit niet beweegt. De proefpersoon voelt dus geen krachten bij het accelereren, remmen of sturen en is dus volledig afhankelijk van visuele informatie (bijvoorbeeld bij remmen van het voertuig). Een rijsimulator met een bewegende basis, daarentegen, kan wel bewegingen nabootsen, zodat de proefpersoon wel krachten voelt (naast de visuele informatie). De simulatie is dus veel realistischer.

Studie	Basis (Simulator)	Model voor overig verkeer
Hogema & Janssen (1996)	Vast (TNO)	MIXIC (Van Arem, Hogema & Verheul, 1995)
Nilsson (1996)	Bewegend (VTI)	Vast patroon met voorgeschreven snelheidsverandering
Stanton, Young & McCaulder (1997)	Vast (Southampton)	Vast patroon met voorgeschreven snelheidsverandering
Young & Stanton (1997)	Vast (Southampton)	Vast patroon met voorgeschreven snelheidsverandering
Hoedemaeker (1999a)	Vast (Groningen)	Interactief bestuurdersmodel (Van Winsum, 1991)
Hoedemaeker (1999b)	Vast (Groningen)	Interactief bestuurdersmodel (Van Winsum, 1991)
Törnros et al. (2002)	Bewegend (VTI)	Vast patroon met voorgeschreven snelheidsverandering
Aanvullende studie in Törnros et al. (2002)	Bewegend (VTI)	Vast patroon met voorgeschreven snelheidsverandering

Tabel 1. *Eigenschappen van de gebruikte rijsimulators in diverse studies.*

Een ander verschil tussen de studies zijn de modellen die gebruikt zijn voor het simuleren van het gedrag van het overige verkeer. Het MIXIC-model dat is gebruikt door Hogema & Janssen (1996), gebruikt meetgegevens van werkelijk verkeer als input en berekent met behulp van een model voor het wisselen van rijstrook en een model voor de longitudinale controle (snelheidskeuze binnen een rijstrook) hoe het overige verkeer in de simulatie zich gedraagt (zie Van Arem, Hogema & Verheul, 1995). In het interactieve bestuurdersmodel dat is gebruikt door Hoedemaeker (1999a en b), beweegt het gesimuleerde overige verkeer zich autonoom door de virtuele omgeving. Het gedrag van de overige voertuigen die proefpersonen tegenkomen is dus niet volledig voorgeprogrammeerd, maar hangt af van het rijgedrag van, onder andere, de proefpersonen. Wel heeft van tevoren iedere gesimuleerde weggebruiker die de proefpersoon tegenkomt, een doel gekregen. Om hun individuele doelen te bereiken, evalueren deze gesimuleerde weggebruikers een aantal gedragsregels die leiden tot een adequate beslissing omtrent uit te voeren manoeuvres. Deze gedragsregels zijn gebaseerd op een beschrijvend model van bestuurdersgedrag, zie Van Winsum (1991).

Young & Stanton (1997) melden dat in de door hen gebruikte simulator, het overige verkeer zich gedraagt volgens een vast patroon met voorgeschreven snelheidsveranderingen. Alhoewel Stanton, Young & McCaulder (1997) dit niet expliciet vermelden, mag worden aangenomen dat voor deze studie hetzelfde geldt, aangezien dezelfde simulator is gebruikt. Een vergelijkbare methode is toegepast door Nilsson (1996) en Törnros et al. (2002). Van de drie modellen zijn het MIXIC-model en het interactieve bestuurdersmodel realistischer dan het model waarbij snelheidsveranderingen zijn voorgeschreven. Het gesimuleerde overige verkeer gedraagt zich immers min of meer autonoom en reageert op de proefpersoon. Bij voorgeschreven snelheidsveranderingen gebeurt dit niet en rijdt het overige verkeer op een van tevoren vastgelegde wijze.

4.2.2. ACC-systemen

Tabel 2 toont de verschillen tussen de ACC-systemen die in de rijssimulatorstudies onderzocht zijn. Opmerkelijk is, dat Nilsson (1996) niet vermeldt welke volgtijd is gebruikt. Stanton, Young & McCaulder (1997) en Young & Stanton (1997) vermelden alleen dat het ACC-systeem de snelheid en volgtijd regelen door gas te geven en te remmen.

Studie	Volgtijd (sec.)	Maximale remkracht (g)	Alarm bij benodigde remkracht (g)	Snelheidsbereik (km/uur)
Hogema & Janssen (1996)	1,5	0,18	> 0,36	-
Nilsson (1996)	-	0,20-0,30	> 0,30	30-130
Stanton, Young & McCaulder (1997)	-	Gebruikt rem	-	-
Young & Stanton (1997)	-	Gebruikt rem	-	-
Hoedemaeker (1999a)	1,0 1,5 pg	Kan volledig tot stilstand komen	Geen alarm	> 0
Hoedemaeker (1999b)	0,6 1,8 sb	0,30-0,60	-	0-150
Törnros et al. (2002)	0,8 1,0 1,5	0,25	> 0,30	50-140
Aanvullende studie in Törnros et al. (2002)	1,0	0,25	> 0,30	50-140
pg: door proefpersoon geprefereerd sb: continu schakelbaar tussen 0,6 sec. en 1,8 s				

Tabel 2. *Eigenschappen van de onderzochte ACC-systemen in de diverse rijssimulatorstudies.*

Hogema & Janssen (1996) merken op, dat het door hen gesimuleerde ACC-systeem gebruikmaakt van een ideale sensor, die geen vertraging of meetruis geeft. Dit geldt hoogstwaarschijnlijk ook voor alle andere studies, alhoewel dit niet vermeld wordt. Verder wordt een voorliggend voertuig altijd gedetecteerd als dit in het bereik van de sensor is (120 m), zelfs al staat dit voertuig stil. In werkelijkheid worden voorliggende voertuigen soms niet gedetecteerd (bijvoorbeeld in scherpe bochten) en stilstaande voertuigen vaak ook niet. Dat stilstaande voertuigen door het gesimuleerde ACC-systeem niet worden gedetecteerd, wordt alleen expliciet vermeld door Nilsson (1996).

Sommige onderzochte ACC-systemen geven een alarm als de bestuurder zelf moet ingrijpen (als de benodigde remkracht de maximale systeemcapaciteit overtreft). Stanton, Young & McCaulder (1997) en Young & Stanton (1997) onderzochten alleen, respectievelijk, systeemfalen en volgedrag. Ze vermelden niets over het geven van alarm. Hoedemaeker (1999a) vermeldt dat het onderzochte ACC-systeem het virtuele voertuig volledig tot stilstand kon brengen. Hierover wordt opgemerkt dat, hoewel niet

realistisch, hiervoor gekozen is omdat systeemfalen niet onderzocht werd en een alarm de proefpersonen in verwarring had kunnen brengen. In deze studie werd echter ook een scenario onderzocht, waarin wel door de proefpersonen moest worden ingegrepen. Er wordt echter niet vermeld of in dit geval wel een alarm werd gegeven en daarom wordt er hier van uitgegaan dat dit niet het geval was. In Hoedemaeker (1999b) wordt ook niets vermeld over het eventueel geven van een alarm door het systeem.

4.2.3. Studie-opzet

Tabel 3 vat de belangrijkste verschillen in opzet van de rijnsimulatorstudies samen. Aan de meeste studies hebben ongeveer evenveel mannen als vrouwen meegedaan. Alleen bij Hogema & Janssen (1996) namen geen vrouwen deel en bij Hoedemaeker (1999a en b) is het aantal mannen veel groter dan het aantal vrouwen.

Studie	Aantal en geslacht van deelnemers	Leeftijd (jaar)	Rijbewijs (jaren)	Rijervaring	Design
Hogema & Janssen (1996)	12 ♂	< 60	> 3	> 10.000 km/jaar	RBD
Nilsson (1996)	10 ♂ 10 ♀	26-46	-	Ervaren	CRD
Stanton, Young & McCaulder (1997)	6 ♂ 6 ♀	21*	3,4*	-	RBD
Young & Stanton (1997)	17 ♂ 13 ♀	25,3*	> 1 (6,9)	9.040* km/jaar	RBD
Hoedemaeker (1999a)	25 ♂ 13 ♀	25-60	> 3	> 2.600 km/jaar	RBD
Hoedemaeker (1999b)	24 ♂ 6 ♀	25-60	> 3	> 2.600 km/jaar	RBD
Törnros et al. (2002)	12 ♂ 12 ♀	23-55 (40)	5-37 (16)	Totaal: 302.000* km Jaar voor deelname: 15.100* km	Gemengd*
Aanvullende studie in Törnros et al. (2002)	5 ♂ 3 ♀	24-42 (35)	6-25 (16)	Totaal: 538.000* km Jaar voor deelname: 44.500* km	RBD
RBD: Randomized Block Design CRD: Completely Randomized Design * Alle proefpersonen reden zowel met als zonder ACC (RBD), maar met maar een van de volgtijden (CRD) * Gemiddelde waarde					

Tabel 3. *Overzicht van de ontwerpen van de diverse rijnsimulatorstudies.*

Wat de leeftijd betreft, melden alleen Stanton, Young & McCaulder (1997) dat er sprake is van een afwijkende groep (allemaal studenten), alhoewel de gemiddelde leeftijd bij Young & Stanton (1997) ook relatief laag is.

Als wordt uitgegaan van de SWOV-definitie van ervaren bestuurders (6 jaar rijervaring of 100.000 km gereden), dan is in alle studies sprake van een mix van ervaren en onervaren bestuurders. Alleen Nilsson (1996) meldt dat alleen ervaren bestuurders hebben deelgenomen, maar een definitie van ervaren ontbreekt.

Er is een belangrijk verschil tussen een zogenaamd Randomized Block Design (RBD) en een Completely Randomized Design (CRD), zie bijvoorbeeld Kirk (1995). In het eerste geval rijden alle proefpersonen zonder ACC én met ACC (met alle mogelijke volgtijden, wanneer deze ook worden vergeleken). In het andere geval worden de proefpersonen opgedeeld in een groep die met ACC rijdt en een controlegroep die zonder ACC rijdt. Het grote voordeel van een RBD, vooral bij weinig proefpersonen, is de grotere statistische kracht vergeleken met een CRD. Dit komt omdat gekeken wordt naar verschillen *binnen* proefpersonen, terwijl bij een CRD naar de verschillen *tussen* proefpersonen wordt gekeken. Dit betekent dus dat effecten (verschillen in gedrag tussen rijden met en zonder ACC) die in een CRD niet statistisch significant zijn, in een RBD wel significant zouden kunnen zijn. Hiermee zal bij de resultaten van Nilsson (1996), die een CRD gebruikte, rekening moeten worden gehouden. Bij het gemengde design dat Törnros et al. (2002) gebruikt hebben, reden alle proefpersonen zowel met als zonder ACC (RBD), maar met maar één van de drie mogelijke volgtijden. Elke volgtijd werd dus door verschillende groepen proefpersonen gebruikt (CRD). Dit betekent dat in deze studie eventuele statistisch niet-significante verschillen tussen ACC met verschillende volgtijden, significant zouden kunnen zijn bij gebruik van een ander design.

Vermeldenswaard is nog dat Hoedemaeker (1999a en b) in beide studies verschil maakt tussen hoge-snelheidrijders (HSR) en lage-snelheidrijders (LSR). De proefpersonen zijn in deze groepen ingedeeld aan de hand van een vragenlijst naar hun rijstijl. In Hoedemaeker (1999a) wordt vermeld, dat de proefpersonen wat betreft leeftijd, geslacht en rijervaring, gelijkelijk verdeeld zijn over deze groepen. Verschillen tussen deze groepen kunnen dus alleen veroorzaakt zijn door verschil in rijstijl. Indien aanwezig zullen deze verschillen aangegeven worden. In Hoedemaeker (1999b) bleken de hoge-snelheidrijders aanzienlijk meer rijervaring te hebben dan de lage-snelheidrijders. Hierdoor kunnen verschillen tussen deze twee groepen niet alleen toegewezen worden aan verschil in rijstijl. Er zal dan ook geen onderscheid worden gemaakt.

Tabel 4 geeft een overzicht van de gebruikte wegtypen en gegeven instructies. Nilsson (1996) vermeldt niets over eventueel gegeven instructies. Bij de aanvullende studie van Törnros et al. (2002) wordt niets over instructies vermeld, maar aangenomen wordt dat deze dezelfde zijn als bij de hoofdstudie.

Studie	Wegtype	Instructies
Hogema & Janssen (1996)	Autosnelweg (2x2 stroken)	Er werd gevraagd vlot en veilig te rijden De werking van ACC werd uitgelegd Expliciet vermeld: ACC is geen FCA
Nilsson (1996)	Autosnelweg (2x2 stroken)	-
Stanton, Young & McCaulder (1997)	Autosnelweg (2x1 stroken)	Volg een auto op veilige afstand
Young & Stanton (1997)	Provinciale weg	Volg een auto op veilige afstand
Hoedemaeker (1999a)	Autosnelweg (2x2 stroken) Provinciale weg	Rijden zoals normaal Alleen ingrijpen als dat echt nodig is
Hoedemaeker (1999b)	Autosnelweg (2x2 stroken) Provinciale weg	Rijden zoals normaal Alleen ingrijpen als dat echt nodig is
Törnros et al. (2002)	Autosnelweg (2x2 stroken) Provinciale weg	Rijden zoals normaal De werking van ACC werd uitgelegd ACC aanzetten elke keer na uitschakelen
Aanvullende studie in Törnros et al. (2002)	Autosnelweg (2x2 stroken)	Waarschijnlijk hetzelfde als hierboven

Tabel 4. Overzicht van de gebruikte wegtypen en gegeven instructies in de diverse rijsimulatorstudies.

4.2.4. ACC op autosnelwegen

In deze paragraaf worden om te beginnen de resultaten besproken van de rijsimulatorexperimenten die de effecten van ACC tijdens rijden op de autosnelweg onderzochten. Er wordt onderscheid gemaakt tussen rijden tijdens rustig verkeer (*Paragraaf 4.2.4.1*), rijden tijdens druk verkeer (*Paragraaf 4.2.4.2*) en het optreden van kritische verkeerssituaties (*Paragraaf 4.2.4.3*). Tot slot geeft *Paragraaf 4.2.4.4* de gevolgen van ACC op de door de bestuurder ervaren (subjectieve) mentale belasting en de eventueel gemeten mentale belasting. In alle studies werd gereden op een autosnelweg met twee rijstroken, met uitzondering van Stanton, Young & McCaulder (1997) die volgedrag onderzochten op een rechte weg met één rijstrook. De auteurs zijn echter van mening dat, omdat de weg geen bochten bevat, de rijtaak in deze situatie overeenkomt met rijden op een autosnelweg.

4.2.4.1. Rustig verkeer

Rustig verkeer houdt in dat er dusdanig weinig andere weggebruikers zijn dat de proefpersonen zelf de snelheid waarmee ze rijden kunnen bepalen. *Tabel 5* laat zien dat sommige studies afwijkende resultaten hebben gevonden wat betreft de effecten van ACC bij rustig verkeer.

Studie	Gemiddelde snelheid	St. deviatie snelheid	St. deviatie laterale positie	Bijzonderheden
Hogema & Janssen (1996)	↓	ns	-	-
Hoedemaeker (1999a)	↑	-	↑ HSR ↓ LSR	Langer links rijden ^x
Hoedemaeker (1999b)	↓	↓	ns	Langer links rijden [#] Vaker strook wisselen
Törnros et al. (2002)	ns [*]	↓	ns	Langer links rijden
ns: niet significant HSR: hoge-snelheidrijders LSR: lage-snelheidrijders		^x Vooral hoge-snelheidrijders [#] Met korte volgtijd (0,6 sec.) minder dan met andere volgtijden (1,8 sec. en schakelbaar) [*] Maximale snelheid lager		

Tabel 5. *Effect van ACC op het rijgedrag bij rustig verkeer op autosnelwegen in rij simulator studies.*

Waar Hogema & Janssen (1996) en Hoedemaeker (1999b) een afname van de gemiddelde snelheid rapporteren, heeft Hoedemaeker (1999a) een toename gevonden. Törnros et al. (2002) hebben geen significant verschil gevonden in gemiddelde snelheid, alhoewel het gemiddelde van de maximaal gereden snelheid wel is afgenomen. Het afwijkende resultaat is dus de toegenomen gemiddelde snelheid van Hoedemaeker (1999a). Een mogelijke oorzaak van deze afwijking is het ACC-systeem dat is gebruikt. Het systeem kon namelijk altijd op een veilige manier het gesimuleerde voertuig volledig tot stilstand brengen (zonder bestuurderinterventie), terwijl in de andere studies de ACC-systemen een maximale remcapaciteit hadden en de bestuurders dus soms zelf moesten ingrijpen. Misschien dat in het eerste geval de proefpersonen meer risico's durfden te nemen en dat in het realistischer geval van een maximale remcapaciteit dit niet het geval is.

Wat de standaarddeviatie van de snelheid betreft, valt op dat Hogema & Janssen (1996) geen verschil tussen rijden met en zonder ACC vinden. Dit is nogal opmerkelijk gezien het feit dat ACC werkt als een traditionele Cruise Control als er geen voorliggers zijn. Een duidelijke oorzaak is niet aan te wijzen, maar het betekent dat óf de proefpersonen zonder ACC met een uitermate constante snelheid reden, óf het ACC-systeem met een uitzonderlijk variërende snelheid reed. In ieder geval mag aangenomen worden dat met een correct werkend ACC-systeem, tijdens rustig verkeer de standaarddeviatie zal afnemen zoals Hoedemaeker (1999b) en Törnros et al. (2002) laten zien.

Als maat voor de betrokkenheid bij de rijtaak wordt vaak de standaarddeviatie van de laterale positie (SDLP) gebruikt. Dit is de mate waarin de positie van het voertuig binnen een rijstrook varieert. Het idee is dat een grote SDLP (veel slingeren) het gevolg is van verminderde aandacht. Een klein maar significant effect van ACC op de SDLP is alleen gevonden door Hoedemaeker (1999a). Hierbij valt op dat HSR meer gaan slingeren, terwijl LSR minder gaan slingeren. Bij Hoedemaeker (1999b) en Törnros et al. (2002), echter, is geen verschil in SDLP gevonden. Als er al sprake van een effect op de SDLP is, zal dit klein en niet eenduidig zijn.

Alle studies die onderzocht hebben of er met ACC meer links wordt gereden, laten zien dat dit het geval is, vooral bij langere volgtijden. Bovendien rapporteert Hoedemaeker (1999b) dat er meer van rijstrook gewisseld wordt.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat de resultaten suggereren dat gebruik van ACC op autosnelwegen tijdens rustig verkeer zal leiden tot:

- lagere gemiddelde snelheden;
- kleinere standaarddeviatie van de snelheid;
- langer op de linker rijstrook rijden, vooral met langere volgtijden;
- meer van rijstrook wisselen.

4.2.4.2. Druk verkeer

Druk verkeer betekent dat het voor een proefpersoon moeilijker is zijn eigen snelheid te kiezen. Bij zowel Hoedemaeker (1999a en b) als Törnros et al. (2002) was er sprake van overig verkeer, maar konden de proefpersonen eventueel wel inhalen. Een beperkte mate van snelheidskeuze was dus mogelijk. In twee studies is expliciet gekeken naar volggedrag. In de studie van Hogema & Janssen (1996) konden de proefpersonen niet inhalen, omdat op de twee rijstroken van de autosnelweg voertuigen reden. In Stanton, Young & McCaulder (1997) kregen de proefpersonen de instructie om een voertuig te volgen, zonder dit in te halen. Vandaar dat in deze twee studies de snelheid niet is gemeten (deze is min of meer gelijk aan de snelheid van de voorliggende voertuigen).

De resultaten zijn samengevat in *Tabel 6*. Uit deze tabel blijkt dat Hoedemaeker (1999a en b) gevonden heeft dat de gemiddelde snelheid bij gebruik van ACC tijdens druk verkeer stijgt. Vooral bij LSR ligt de snelheid hoger (70 km/uur zonder ACC en 75 km/uur met ACC). Zij rijden dan ongeveer even snel als hoge-snelheidrijders. Alhoewel een verhoging van de gemiddelde snelheid tijdens druk verkeer op zich niet gunstig is voor de verkeersveiligheid, is het resultaat een homogener snelheidsverdeling wat wel gunstig kan zijn.

Törnros et al. (2002) vonden echter geen verandering van de gemiddelde snelheid. Wel was de gemiddelde maximale snelheid lager (reductie van ongeveer 10 km/uur). Mogelijk kan het verschil in uitkomsten verklaard worden door verschil in rijstijl tussen Nederlanders en Zweden, het kleine aantal proefpersonen bij Törnros et al. (2002) of het grotere aantal mannen bij Hoedemaeker (1999a en b).

Stanton, Young & McCaulder (1997) rapporteren dat er geen verschil in gemiddelde snelheid is gevonden. Dit is echter te verwachten, omdat in deze studie expliciet gekeken is naar volggedrag. De gereden snelheid is dus in grote mate bepaald door een voorligger, die immers niet ingehaald mocht worden.

Uit deze resultaten mogen we voorzichtig concluderen, dat in Nederland de gemiddelde snelheid met ACC tijdens druk verkeer iets hoger zal liggen, maar de snelheidsverdeling homogener zal zijn.

Alleen Hoedemaeker (1999b) heeft een grote afname van de standaarddeviatie van de snelheid gevonden (van 9 km/uur naar 3 km/uur). Törnros et al. (2002) vonden een kleine, statistisch niet-significante, afname. Mogelijk speelt het kleine aantal proefpersonen in deze studie hierbij een rol.

De SDLP toont alleen een kleine toename bij Hoedemaeker (1999a). In het algemeen zou dus gesteld kunnen worden dat de SDLP niet of nauwelijks toeneemt.

Studie	Gemiddelde snelheid	St. deviatie snelheid	St. deviatie laterale positie	Gemiddelde volgtijd	Bijzonderheden
Hogema & Janssen (1996)	-	-	-	ns ⁺	-
Stanton, Young & McCaulder (1997)	ns	-	ns	ns	-
Hoedemaeker (1999a)	↑	-	↑	↓	Langer links rijden ^x Efficiënter invoegen
Hoedemaeker (1999b)	↑	↓	ns	↓	Langer links rijden [#] Vaker strook wisselen
Törnros et al. (2002)	ns [*]	ns	ns	ns	Langer links rijden
ns: niet significant ^x Vooral door hoge-snelheidrijders [#] Met korte volgtijd (0,6 sec.) meer dan met andere volgtijden (1,8 sec. en schakelbaar) ⁺ Reductie in zeer korte volgtijden (< 1 sec.) van 29% naar 2% [*] Maximale snelheid lager					

Tabel 6. *Effect van ACC op het rijgedrag bij druk verkeer op autosnelwegen in rijsimulatorstudies.*

De gemiddelde volgtijd neemt alleen af bij Hoedemaeker (1999a en b). Hiervoor zijn de volgende redenen aan te voeren. Bij Hoedemaeker (1999a) reden de proefpersonen zonder ACC met uitzonderlijk lange volgtijden (hoge-snelheidrijders 2,5 sec. en lage-snelheidrijders 3,5 sec.), terwijl tijdens rijden met ACC de volgtijd iets onder 1,5 sec. lag. (Waarschijnlijk is hier de gemiddelde volgtijd genomen tijdens rijden met ACC met een ingestelde volgtijd van 1,0 sec. en 1,5 sec.) Het is onwaarschijnlijk dat in werkelijkheid op de Nederlandse wegen tijdens druk verkeer volgtijden van 2,5 sec. of 3,5 sec. veel zullen voorkomen. Uit empirische data gemeten op Nederlandse autosnelwegen, zie bijvoorbeeld Vermijs (1992), blijkt dat de gemiddelde volgtijd rond de 1,2 sec. ligt. Het ligt dus meer voor de hand aan te nemen dat de gemiddelde volgtijd niet veranderd, maar het percentage zeer korte volgtijden (< 1 sec.) aanzienlijk zal afnemen, zoals blijkt uit Hogema & Janssen (1996). Dat het gemiddelde niet verandert, terwijl het percentage zeer korte volgtijden afneemt, impliceert dat het percentage zeer lange volgtijden ook moet afnemen. Hogema & Janssen (1996) constateren dan ook dat met ACC de spreiding van volgtijden kleiner wordt.

Net zoals bij rustig verkeer laten alle studies die onderzocht hebben of er meer links wordt gereden, zien dat dit ook het geval is tijdens druk verkeer (in hogere mate zelfs dan tijdens rustig verkeer). Bovendien rapporteert Hoedemaeker (1999b) ook weer dat er meer van rijstrook gewisseld wordt. In tegenstelling tot rustig verkeer, waar met een ingestelde volgtijd van

0,6 sec. minder links wordt gereden met de andere volgtijden, leidt bij druk verkeer een volgtijd van 0,6 sec. tot meer links rijden dan de andere volgtijden.

Hoedemaeker (1999a) laat zien dat als bestuurders van strook moesten wisselen (omdat de rechter rijstrook gesloten was), de invoegmanoeuvres plaatsvonden met een hogere snelheid, in een kortere tijd en er een kleinere afstand tussen de andere voertuigen werd geaccepteerd. In hoeverre dit efficiëntere invoegen een negatief effect heeft op de verkeersveiligheid is onduidelijk.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat de resultaten suggereren dat gebruik van ACC op autosnelwegen tijdens druk verkeer zal leiden tot:

- hogere gemiddelde snelheden;
- homogenere verdeling van de snelheid;
- kleinere spreiding van volgtijden;
- langer op de linkerbaan rijden, vooral met korte ingestelde volgtijden;
- meer van rijstrook wisselen;
- efficiëntere invoegmanoeuvres.

4.2.4.3. Kritische situaties

In een aantal studies is onderzocht hoe ACC het gedrag van bestuurders verandert in een aantal kritische situaties. *Tabel 7* geeft een samenvatting van de resultaten.

Studie	Naderen file (stilstaand)	Naderen file (rijdend)	Hard remmen voorligger	Plotseling inhalen door voorligger	ACC-falen (plotseling accelereren)
Hogema & Janssen (1996)	Later remmen	Later remmen	Later remmen en minimale TTC korter	-	-
Nilsson (1996)	Later remmen, 25% ACC groep botst	-	Later en harder remmen	ns	-
Stanton, Young & McCaulder (1997)	-	-	-	-	33% ACC-groep botst
Hoedemaeker (1999a)	-	-	Harder remmen ⁺ en minimale TTC korter	-	-
Törnros et al. (2002)	-	Minimale TTC korter	ns	ns	-
ns: niet significant TTC: Time-to-collision			⁺ Alleen lage-snelheidrijders [*] 10% uit de controlegroep botst		

Tabel 7. *Effect van ACC op kritische scenario's op de autosnelweg in rij simulator studies.*

Omdat sommige ACC-systemen geen stilstaande voertuigen detecteren, is het bij het naderen van een stilstaande file van belang dat de bestuurder de situatie goed inschat en zelf ingrijpt. Uit de resultaten blijkt dat met ACC later geremd wordt en bij Nilsson (1995) botst zelfs 25% van de proefpersonen op de staart van de file. Dat bij Hogema & Janssen (1996) geen botsingen voorkwamen, komt omdat het ACC-systeem in die studie wel stationaire voertuigen detecteerde, in tegenstelling tot het ACC-systeem dat door Nilsson (1996) is onderzocht. Hogema & Janssen (1996) vermelden jammer genoeg niet of de proefpersonen reageerden voordat of nadat een alarm door het ACC-systeem werd gegeven. De resultaten tonen echter aan dat het naderen van een stilstaande file met ACC tot kritischer situaties leidt.

Ook bij het naderen van rijdende files met ACC remmen de proefpersonen later (Hogema & Janssen, 1996) en stoppen ze met remmen op een kortere afstand van de staart van de file (Törnros et al., 2002). De situaties zijn minder kritisch dan bij een stilstaande file, maar plotseling heftig moeten remmen kan achterliggers verrassen.

Als een voorligger plotseling heftig remt leidt dit ook tot vertraagde en heftiger reacties tijdens rijden met ACC. Nilsson (1996) beschrijft dat 90% van alle proefpersonen die met ACC reden, ingrepen nadat het ACC-systeem een alarm had gegeven. De andere studies vermelden niet of het ingrijpen voor of na het geven van een alarm gebeurde.

Hoedemaeker (1999a) constateert wel dat er een verschil is tussen HSR en LSR. De eerste groep remt ook hard zonder ACC en dit verandert dus niet met rijden met ACC. De minimale TTC neemt met ACC echter wel iets af. LSR remmen normaalgesproken rustiger, maar met ACC moeten ze even hard gaan remmen als HSR. De minimale TTC zonder ACC, die bij LSR veel groter was dan bij HSR, is met ACC voor beide groepen gelijk. Hier is dus weer sprake van een nivellerend effect van ACC, vergelijkbaar met hetgeen is besproken in *Paragraaf 4.2.4.2*.

Bij Törnros et al. (2002), die geen verschil tussen rijden met en zonder ACC vonden, remde de voorligger nadat deze eerst de proefpersoon had ingehaald en was ingevoegd. Mogelijk heeft dit ertoe geleid dat de proefpersonen al alerter waren en derhalve op tijd reageerden (twee proefpersonen ontweken zelfs de situatie).

Als een proefpersoon een peloton auto's inhaalt waarvan er plotseling één ook gaat inhalen, leidt gebruik van ACC niet tot veranderd gedrag. Mogelijk zijn bestuurders in dit soort situaties altijd alert, met of zonder ACC.

De enige studie die ACC-falen heeft onderzocht (het systeem accelereert terwijl er een voorligger in de baan van het voertuig is) geeft reden tot zorg. Eenderde van de proefpersonen reageert niet adequaat en kan geen botsing voorkomen. Omdat in deze studie een vaste-basis-rijnsimulator is gebruikt, waardoor de proefpersoon de acceleratie niet voelt en volledig afhankelijk is van zijn gezichtsvermogen, kan niet worden uitgesloten dat het hoge percentage een artefact is. Om dit resultaat te verifiëren zou dit onderzoek gereproduceerd moeten worden in een bewegende-basis-rijnsimulator.

Samenvattend kan uit de hierboven beschreven resultaten voor kritische situaties het volgende geconcludeerd worden:

- ACC kan leiden tot gevaarlijke situaties bij het naderen van files (vooral bij stilstaande maar ook bij rijdende).

- ACC leidt tot vertraagde reacties bij plotseling remmen van een voorligger, waarbij een bestuurder hoogstwaarschijnlijk wacht op een alarmsignaal van het systeem.
- Tijdens inhalen is een bestuurder waarschijnlijk toch al alert en zal ACC daar niet veel invloed op hebben.
- Bij systeemfalen reageert mogelijk een grote groep bestuurders niet adequaat.

4.2.4.4. Subjectieve en gemeten mentale belasting

In deze paragraaf worden de resultaten van de subjectieve mentale belasting (verkregen met vragenlijsten) en gemeten mentale belasting besproken, zie *Tabel 8*.

In studies waar verschillende verkeerssituaties voorkomen, is geen onderscheid gemaakt tussen de subjectieve mentale belasting tijdens druk verkeer, rustig verkeer of kritische scenario's. Er is dus alleen gevraagd naar algemeen ervaren mentale belasting tijdens rijden op de autosnelweg met en zonder ACC, ongeacht de verkeerssituatie. Hoedemaeker (1999a) vermeldt wel dat, zoals verwacht, de gemeten mentale belasting tijdens rustig verkeer lager is dan tijdens druk verkeer.

Studie	Ervaren mentale belasting		Gemeten mentale belasting		Bijzonderheden
	Methode	Resultaat	Methode	Resultaat	
Nilsson (1996)	NASA-RTLX	ns	-	-	Alleen kritische scenario's
Stanton, Young & McCaulder (1997)	-	-	ST	↓	Alleen systeemfalen
Hoedemaeker (1999a)	RSME	↓	ST	ns	Druk verkeer, rustig verkeer en kritische scenario's
Hoedemaeker (1999b)	RSME	↓ ⁺	ECG	↓	Druk verkeer, rustig verkeer, maar geen kritische scenario's
Törnros et al. (2002)	NASA-RTLX	ns [*]	ST ^x	ns	Druk verkeer, rustig verkeer en kritische situaties
			ECG ^x	↓ [#]	
ns: niet significant		⁺ Korte volgtijd (0,6 sec.) geeft kleinste afname van de drie volgtijden			
ST: Secundaire taak		[#] Afname alleen bij kritische scenario's			
ECG: Electrocardiogram		^x Alleen gemeten in de aanvullende studie (8 proefpersonen)			
		[*] Fysieke werkbelasting en inspanning wel omlaag			

Tabel 8. *Effect van ACC op de mentale belasting tijdens rijden op autosnelwegen in rijnsimulatorstudies.*

Zoals uit *Tabel 8* blijkt vinden Nilsson (1996) en Törnros et al. (2002) geen significante afname van de subjectieve mentale belasting, alhoewel deze met ACC in beide studies lager was dan zonder ACC. Het is mogelijk dat de

afname wel significant was geweest, als in de eerste studie een RBD was gebruikt en bij de tweede studie meer proefpersonen. Hierbij moet opgemerkt worden dat Törnros et al. (2002) wél een significante afname van de subjectieve *fysieke* belasting constateren. Hoedemaeker (1999a en b) vindt wel een afname van de subjectieve mentale belasting, waarbij deze het minst afneemt bij een ingestelde volgtijd van 0,6 sec. Sommige proefpersonen rapporteren dat ze zichzelf minder actief vinden tijdens het rijden met ACC (gemeten met de 'Bartenwerfer activation scale', zie Bartenwerfer, 1969).

Wat de gemeten mentale belasting betreft, blijkt uit Hoedemaeker (1999a en b) en Törnros et al. (2002) dat deze niet verschilt bij rijden met en zonder ACC, wanneer gemeten wordt met een secundaire taak. Een ECG (hartritme en 10 Hz-component) geeft echter wel een verschil aan in mentale belasting. Dit verschil in uitkomst wordt mogelijk verklaard door de opmerking in Hoedemaeker (1999a) dat de proefpersonen tijdens het uitvoeren van de secundaire taak langzamer gingen rijden (vooral tijdens druk verkeer). Blijkbaar is in dit geval de secundaire taak geen goede methode om de mentale belasting te meten, omdat proefpersonen hun rijgedrag zodanig aanpassen dat ze genoeg aandacht aan de secundaire taak kunnen besteden. Dit betekent dat de uitkomsten van de metingen van het ECG mogelijk betrouwbaarder zijn dan die van de secundaire taak. Bij Stanton, Young & McCaulder (1997) was de situatie anders. De proefpersonen moesten een auto volgen op een veilige afstand. Met ACC wordt de afstand automatisch gehandhaafd en kan de proefpersoon meer aandacht besteden aan de secundaire taak dan zonder ACC. Hierdoor wordt de secundaire taak beter uitgevoerd. Op het moment dat het systeem echter faalt, heeft de proefpersoon mogelijk niet al zijn aandacht op de weg gericht en kan hij/zij niet tijdig ingrijpen om een botsing te voorkomen. Deze uitkomst zegt dus mogelijk niet zozeer iets over de mentale belasting tijdens rijden met ACC, maar meer over het afgenomen reactievermogen van bestuurders die de vrijgekomen mentale capaciteit aan iets anders besteden dan aan het toezicht houden op de werking van het ACC-systeem of het verkeer.

Uit het bovenstaande kan het volgende geconcludeerd worden:

- De subjectieve mentale belasting neemt af door het rijden met ACC.
- Sommige proefpersonen vinden zichzelf minder actief als ze met ACC rijden.
- De secundaire taak is in deze onderzoekssituatie waarschijnlijk geen goede methode om de mentale belasting te meten.
- De mentale belasting gemeten met het ECG neemt af door het rijden met ACC.

4.2.5. ACC op provinciale wegen

In een beperkt aantal studies zijn ook de effecten van ACC op het rijgedrag op provinciale wegen onderzocht. Hierbij is onderscheid gemaakt hoe het gedrag verandert tijdens zogenaamd vrij rijden (*Paragraaf 4.2.5.1*), volggedrag (*Paragraaf 4.2.5.2*). Tot slot wordt in *Paragraaf 4.2.5.3* het effect van ACC op de mentale belasting besproken.

4.2.5.1. Vrij rijden

De gevolgen van ACC op het rijgedrag bij vrij rijden op de provinciale weg worden weergegeven in *Tabel 9*. Hieruit blijkt dat een afname van de standaarddeviatie van de snelheid het enige effect is. Dit mag verwacht worden omdat, bij afwezigheid van ander verkeer, ACC functioneert als een traditionele CC.

Studie	Gemiddelde snelheid	St. deviatie snelheid	St. deviatie laterale positie
Hoedemaeker (1999b)	ns	↓	ns
Törnros et al. (2002)	ns*	↓	ns
ns: niet significant		* maximale snelheid lager	

Tabel 9. *Effect van ACC op het rijgedrag bij vrij rijden op provinciale wegen in rijsimulatorstudies.*

4.2.5.2. Volggedrag

Het volggedrag op provinciale wegen is vergelijkbaar met rijden bij druk verkeer op de autosnelweg, in die zin, dat de proefpersoon niet altijd zijn snelheid vrij kan kiezen.

Het blijkt dat ACC alleen invloed heeft op de volgtijd en de standaarddeviatie van de snelheid, die beide afnemen¹ (zie *Tabel 10*). Wat de standaarddeviatie betreft is dit te verwachten; wat de volgtijd betreft ligt dit minder voor de hand. Een mogelijke verklaring hiervoor is het vertrouwen van bestuurders in het ACC-systeem. Mogelijk accepteren de proefpersonen een kortere volgtijd als ze deze niet zelf hoeven te handhaven.

Studie	Gemiddelde snelheid	St. deviatie snelheid	St. deviatie laterale positie	Volgtijd	Bijzonderheden
Young & Stanton (1997)	-	↓	-	↓	-
Hoedemaeker (1999b)	ns	↓ ⁺	ns	↓	Meer interventies dan op autosnelwegen Inhalen met kleinere afstand tussen tegenliggers Later reageren op verkeer van rechts
Törnros et al. (2002)	ns*	ns	ns	↓	-
ns: niet significant		⁺ St. dev. neemt toe met korte volgtijd (0,6 sec.) [*] Gemiddelde maximale snelheid wel lager			

Tabel 10. *Effect van ACC op het volggedrag op provinciale wegen in rijsimulatorstudies.*

¹ Bij Törnros et al. (2002) was de afname van de standaarddeviatie van de snelheid klein en niet significant.

Hoedemaeker (1999b) heeft nog een aantal interessante resultaten gevonden. Het blijkt dat bestuurders op provinciale wegen vaker ingrijpen (de controle overnemen van ACC) dan op autosnelwegen. Als aangenomen wordt dat alleen ingegrepen wordt als de systeemreactie niet past bij de verkeerssituatie, dan volgt hieruit dat ACC minder geschikt is voor gebruik op provinciale wegen.

Verder blijkt dat de proefpersonen met ACC tijdens inhalen kleinere afstanden tussen de tegenliggers accepteren en bij het naderen van kruispunten later reageren op verkeer van rechts dat voorrang heeft. Dit zijn twee gevolgen die niet gunstig zijn voor de verkeersveiligheid.

4.2.5.3. Subjectieve en gemeten mentale belasting

Tabel 11 geeft een overzicht van het effect op de subjectieve en gemeten mentale belasting van gebruik van ACC op provinciale wegen. Opvallend hierbij is dat alleen Hoedemaeker (1999b) een afname van zowel de ervaren als gemeten mentale belasting vindt.

Studie	Ervaren mentale belasting		Gemeten mentale belasting		Bijzonderheden
	Methode	Resultaat	Methode	Resultaat	
Young & Stanton (1997)	NASA-TLX	ns	ST	ns	Alleen volgen
Hoedemaeker (1999b)	RSME	↓	ECG	↓	Ook kritische scenario's
Törnros et al. (2002)	NASA-RTLX	ns	-	-	Ook kritische scenario's
ns: niet significant ST secundaire taak					

Tabel 11. *Effect van ACC op de mentale belasting tijdens rijden op provinciale wegen in rijsimulatorstudies.*

Een mogelijke verklaring voor het verschil in resultaten tussen Young & Stanton (1997) en Hoedemaeker (1999b) is het parcours. Waar Young & Stanton (1997) vermelden dat er veel bochten in hun parcours zaten, bestond het parcours van Hoedemaeker (1999b) uit een lange flauwe bocht naar links. Törnros et al. (2002) vermelden niets over het aantal bochten in het door hun gebruikte parcours.

Stanton & Young (1998)² suggereren dat, op bochtige wegen, de mentale belasting hoofdzakelijk bepaald wordt door het sturen. Als ACC wordt gecombineerd met automatisch sturen, blijkt namelijk dat de mentale belasting wel afneemt (Young & Stanton, 1997). Dit zou betekenen dat ACC op bochtige provinciale wegen geen invloed op de mentale belasting zal hebben.

² Stanton & Young (1998) vergelijken de resultaten van Young & Stanton (1997) met resultaten uit andere studies.

4.2.6. *Acceptatie*

In alle hierboven beschreven experimenten werden de proefpersonen via een vragenlijst naar hun mening over ACC gevraagd. De belangrijkste resultaten kunnen als volgt worden samengevat:

- Uit alle studies bleek dat de proefpersonen ACC als nuttig, comfortabel, bruikbaar en plezierig ervaren.
- Nilsson (1996) vermeldt dat de deelnemers aangaven vertrouwen te hebben in het systeem, dat naar hun mening belangrijke informatie gaf zonder af te leiden. Dit is opvallend, aangezien in deze studie een groot deel van de proefpersonen niet adequaat ingreep in sommige kritische situaties.
- Soms werd de mening verkondigd dat ACC meer gemak biedt en dat capaciteit wordt vrijgemaakt voor andere taken, zoals opletten op het verkeer.
- Anderen uitten hun angst dat ACC bestuurders inactief kan maken en dus de capaciteit om te reageren en beslissingen te nemen negatief kan beïnvloeden.
- ACC is volgens de meeste proefpersonen makkelijk te leren en te gebruiken.
- Er was geen verschil in de mate van acceptatie van ACC voor gebruik op de autosnelwegen en op provinciale wegen.
- Er was echter wel een groot verschil in acceptatie tussen de ACC-versies met verschillende volgtijden, zie Hoedemaeker (1999b). De ACC-versie waarbij geschakeld kon worden tussen de korte volgtijd (0,6 sec.) en de lange volgtijd (1,8 sec.) werd het meest geaccepteerd. De versie met alleen de korte volgtijd het minst. HSR reden echter, als ze mochten kiezen, vaker met de korte volgtijd. LSR reden vaker met de lange volgtijd.

4.3. **Praktijkproeven**

4.3.1. *Fancher, Ervin & Bogard (1998)*

Fancher, Ervin & Bogard (1998) beschrijven de resultaten van een praktijkproef met een prototype ACC-systeem, uitgevoerd in de Verenigde Staten. Deze praktijkproef is uitgevoerd met 108 niet-professionele bestuurders, die identieke ACC-voertuigen ter beschikking kregen voor een periode van twee tot vijf weken. De groep bestond uit evenveel mannen als vrouwen uit verschillende leeftijdsgroepen (20'ers, 40'ers en 60'ers). De proefpersonen mochten zelf weten wanneer, waar en hoe ze in de ACC-voertuigen reden.

Het gebruikte systeem kon alleen de snelheid regelen met de benzine-toevoer en door terug te schakelen van de vierde naar de derde versnelling. Bij terugschakelen gingen de remlichten aan. De maximale remvertraging die het systeem zo kon bereiken was 0,07 g. De laatste eigenschap maakt dat dit systeem niet direct vergelijkbaar is met de nu verkrijgbare systemen, die een grotere remcapaciteit hebben. De belangrijkste MMI-eigenschappen van het systeem waren:

- Volgtijden van 1,1 sec. (kort), 1,5 sec. (gemiddeld) en 2,1 sec. (lang) werden door het systeem gehandhaafd.
- Er werd geen alarm gegeven, als de bestuurder zelf moest ingrijpen.

- Door het indrukken van het gaspedaal kon de controle over de snelheid van het voertuig door de bestuurder worden overgenomen. Het ACC-systeem werd echter niet uitgeschakeld en nam de controle weer over als het gaspedaal werd losgelaten.
- Door het indrukken van het rempedaal werd het ACC-systeem uitgeschakeld.
- Het ACC-systeem kon ook worden ingeschakeld en uitgeschakeld met een knop, die een onderdeel was van de interface van de gewone CC. Ook kon hiermee de gewenste volgtijd worden ingesteld.
- Op een display waren te zien: de status van het systeem (aan/uit), de ingestelde snelheid, de ingestelde volgtijd (kort, gemiddeld of lang en niet de tijdwaarden), of er een voorligger werd gedetecteerd en of er slecht zicht was (verminderd sensorbereik).

De belangrijkste resultaten worden door de auteurs als volgt samengevat:

1. Het ACC-systeem is makkelijk te leren en te gebruiken. Verder is het plezierig in gebruik en toezicht houden is vrij eenvoudig.
2. De volgtijden zijn, bij gebruik van ACC, iets langer en daardoor wordt het rijden comfortabeler.
3. Het ACC-systeem vermindert de stress veroorzaakt door het afstand houden en neemt de last weg van het bedienen van het gaspedaal.
4. Als ACC was ingeschakeld, was er minder noodzaak om te remmen en waren bijna-botsingen minder waarschijnlijk.
5. Sommige proefpersonen gaven aan, dat na een lange periode van ACC-gebruik, te veel op het systeem vertrouwd zou kunnen worden.
6. De proefpersonen gebruikten ACC vaak, vooral bij hogere snelheden en matige verkeersdrukke.

De resultaten 1 en 5 komen overeen met hetgeen in de rijnsimulator-experimenten is gevonden (zie *Paragraaf 4.2.6*). Resultaat 3 komt tot op zekere hoogte overeen met de resultaten van de ECG-metingen uit de rijnsimulatoronderzoeken. Ook resultaat 6 is in zekere mate bevestigd in een rijnsimulatoronderzoek (Hogema & Janssen, 1996).

De iets langere volgtijden met ACC (resultaat 2) zijn niet als zodanig in rijnsimulatorstudies gevonden. Daar veranderde de gemiddelde volgtijd niet, maar nam wel het percentage zeer korte volgtijden (< 1 sec.) af. Dit verschil heeft mogelijk te maken met het feit dat het in het veldexperiment gebruikte ACC-systeem alleen via de gastoevoer en via terugschakelen de snelheid en afstand kon regelen. Mogelijk maakte dit de proefpersonen voorzichtiger. Resultaat 4 kan niet vergeleken worden met de resultaten van de rijnsimulatorexperimenten, omdat bij de laatste niet is geteld hoe vaak er werd geremd of bijna gebotst. Echter, de afname van de TTC in sommige kritische scenario's in de simulatiestudies, lijkt in tegenspraak met de resultaten van de veldstudie. Dit zou mogelijk ook verklaard kunnen worden met het feit dat de proefpersonen in de veldstudie voorzichtiger waren dan in de simulatiestudies.

Een andere verklaring voor de gevonden verschillen met rijnsimulatorstudies wordt gegeven door Fancher, Ervin & Bogard (1998). De auteurs stellen dat door de geringe remcapaciteit (0,07 g), de door hun gevonden resultaten mogelijk niet representatief zijn voor systemen met een hogere remcapaciteit.

4.3.2. Marsden, McDonald & Brackstone (2001)

In deze studie is onderzocht hoe ACC het volgedrag verandert en in welke situaties de controle door bestuurders moet worden overgenomen. Met een geïnstrumenteerd voertuig is op drie locaties op autosnelwegen in Europa (M3 Londen, A1 Rijsel en A1 Hamburg) het volgedrag van willekeurige, anonieme bestuurders gemeten tijdens de ochtend- en avondspits. Vervolgens is met een computersimulatie (FLOWSIM) nagebootst wat het volgedrag zou zijn geweest, als met ACC zou zijn gereden. Dit is gedaan door twee auto's elkaar te laten volgen, waarbij aan het begin van een simulatie de snelheid en afstand van de auto's gelijk waren aan de werkelijk gemeten snelheid en afstand. De gesimuleerde snelheid en versnelling (beide als functie van de tijd) als gevolg van rijden met ACC werden vergeleken met de gemeten data. Het ACC-systeem kon een maximale vertraging realiseren van 0,15 g en kon worden gebruikt bij snelheden boven de 40 km/uur. Per 'locatie' (snelheid-afstandcombinatie) zijn drie simulaties uitgevoerd, met ingestelde volgtijden van 1,0 sec., 1,5 sec. en 2,0 sec.

De belangrijkste resultaten kunnen als volgt worden samengevat:

- Tijdens de spits kan ACC weinig gebruikt worden, omdat de snelheid vaak lager is dan 40 km/uur en er vaak harder geremd moet worden dan het ACC-systeem aan kan (> 0,15 g).
- De meest voorkomende situaties die leiden tot het ingrijpen van de bestuurder zijn: een ander voertuig dat plotseling van rijstrook wisselt, het naderen van langzamer verkeer en het veranderen van rijstrook om een langzamere voorligger in te halen.
- Als ACC gebruikt kan worden, leidt dit tot een afname in de standaarddeviatie van de versnelling met 44-52%.

De eerste twee resultaten zijn sterk afhankelijk van de uitvoering van het ACC-systeem. Mogelijk kan een systeem dat een grotere remcapaciteit heeft, vaker tijdens de spits gebruikt worden. Echter, om werkelijk invloed op de verkeersstroom te hebben, moet ACC uitgebreid worden met Stop & Go om ook bij lage snelheden gebruikt te kunnen worden.

Als ACC gebruikt kan worden, leidt dit tot een veel gladder acceleratieprofiel. Dit resultaat bevestigt de resultaten uit de rijsimulatiestudies (afname standaarddeviatie van de snelheid). Dit impliceert dat er een grote brandstofbesparing bereikt kan worden als met ACC gereden kan worden. Dit zal voornamelijk het geval zijn buiten de spits.

McDonald, Marsden & Brackstone (2001) bespreken de resultaten verder, en merken het volgende op. De verschillen in volgedrag die gemeten zijn op de verschillende locaties, wijzen erop dat de compatibiliteit van een bepaald ACC-algoritme met rijstijlen per land (of regio) kan verschillen. Hieruit volgt dat resultaten uit buitenlands onderzoek niet noodzakelijk representatief zijn voor de Nederlandse situatie. Daarom is het van belang om in Nederland de compatibiliteit van ACC met het rijgedrag te onderzoeken en na te gaan in hoeverre bestuurders bereid zijn zich eventueel aan te passen.

4.4. Onderzoek naar de geprefereerde gebruiksomstandigheden

Hier zullen kort de resultaten van twee studies beschreven worden die de favoriete gebruiksomstandigheden onderzocht hebben van (potentiële) gebruikers van ACC.

McDonald, Marsden & Brackstone (2001) hebben in België, Duitsland en Noorwegen een enquête gehouden naar de omstandigheden waaronder bestuurders ACC zouden willen gebruiken. De geënquêteerden hadden geen ervaring met ACC, maar hen werd uitgelegd hoe ACC werkt. De resultaten laten zien dat ACC bij voorkeur onder de volgende omstandigheden gebruikt wordt:

- rijden in mist;
- 's nachts rijden op een onverlichte snelweg;
- 's nachts rijden op een verlichte snelweg;
- overdag rijden.

Uit een enquête onder ACC-gebruikers in Japan (Yahagi & Yanai, 2002) komt naar voren dat ze het systeem (van Nissan) uitgebreid zouden willen zien voor gebruik:

- bij lagere snelheden;
- bij files op autosnelwegen;
- op andere wegen dan snelwegen;
- op regenachtige dagen;
- op bochtige wegen.

Een aantal zaken komt uit deze enquêtes naar voren. Ten eerste is het zorgwekkend dat bestuurders ACC zouden willen gebruiken tijdens slecht zicht (mist of regen). Blijkbaar wordt ACC gezien als een uitbreiding van de zintuigen. Ook al waarschuwen de fabrikanten dat het systeem niet gebruikt dient te worden tijdens slecht zicht, valt het niet uit te sluiten dat dit toch gaat gebeuren (niet iedereen leest de gebruiksaanwijzing even goed). Ook gebruik op bochtige wegen wordt, met de huidige stand van de sensor-techniek, door de meeste leveranciers afgeraden.

Ten tweede blijkt uit de resultaten van Yahagi & Yanai (2002) dat gebruikers graag zouden zien dat ACC wordt uitgebreid met Stop & Go, om in files te rijden of op andere wegen dan autosnelwegen te rijden (provinciale wegen of wegen in de bebouwde kom). Brook-Carter et al. (2002) hebben in een rijnsimulatorexperiment de effecten van Stop & Go op het rijgedrag onderzocht in stedelijk verkeer. Zij wijzen op een aantal mogelijk negatieve gevolgen, te weten: hogere gemiddelde snelheid en grotere standaarddeviatie van laterale positie. Dit laatste wijst mogelijk op een afname van de oplettendheid.

5. ACC en verkeersveiligheid

Om de gevolgen van ACC voor de verkeersveiligheid in kaart te brengen, zullen de resultaten uit het vorige hoofdstuk gerelateerd worden aan de behoeften en eisen van de belanghebbenden, zoals besproken in *Hoofdstuk 2*. Hierbij is het ook van belang om de resultaten van de (buitenlandse) onderzoeken tegen de achtergrond van de Nederlandse verkeerssituatie en verkeerscultuur te plaatsen (Oei, 1999). Belangrijke kenmerken van Nederland zijn: een grote verkeersdichtheid, relatief veel snelwegen met veel aansluitingen, een grote kruispunt dichtheid, veel relatief kleine voertuigen en veel kwetsbare verkeersdeelnemers. Ook de mate van agressie of ongeduld in het Nederlandse verkeer is een factor om rekening mee te houden.

5.1. De behoeften van de algemene weggebruiker

Zoals vermeld in *Paragraaf 2.2.1* zijn de behoeften van de algemene weggebruiker met betrekking tot ACC een positieve invloed op de verkeersveiligheid en de reistijd.

5.1.1. Verkeersveiligheid

Uit de resultaten van de rijsimulatiestudies blijkt dat ACC een aantal tegenstrijdige effecten voor de verkeersveiligheid kan hebben.

Positieve effecten:

- Tijdens rustig verkeer op autosnelwegen neemt de gemiddelde snelheid af met ACC.
- Tijdens druk verkeer wordt de snelheidsverdeling homogener.
- Het percentage zeer korte volgtijden neemt af (vooral bij hoge penetratiegraden en tijdens druk verkeer).

Negatieve effecten:

- Bij druk verkeer op autosnelwegen neemt de gemiddelde snelheid toe. Dit komt voornamelijk doordat bestuurders die normaalgesproken rustiger rijden, met ACC sneller gaan rijden. Hierdoor wordt wel de snelheidsverdeling homogener, maar of dit gunstig is voor de verkeersveiligheid is dubieus.
- Bij plotseling remmen van een voorligger reageren bestuurders later (meestal pas nadat het ACC-systeem een alarm heeft gegeven) en remmen ze heftiger. Dit plotseling hard remmen zal de voorspelbaarheid van het gedrag van ACC-gebruikers voor bestuurders zonder ACC niet ten goede komen.
- Op provinciale wegen neemt de volgtijd af (ongunstig voor de verkeersveiligheid), wordt bij inhalen een kleinere afstand tussen tegenliggers geaccepteerd en wordt later gereageerd op verkeer van rechts (beide ongunstig voor de verkeersveiligheid en de voorspelbaarheid).

5.1.2. *Reistijd*

Uit de verkeerssimulatiestudies (die alleen voor autosnelwegen zijn gedaan) blijkt dat voor lage penetratiegraden (onafhankelijk van de verkeerscondities) en voor lage verkeersdichtheden (onafhankelijk van de penetratiegraad) ACC een te verwaarlozen effect heeft op de verkeersveiligheid en de wegcapaciteit (en dus reistijd). Het aantal zeer korte volgtijden (< 1 sec.) zal misschien wel afnemen, maar dit effect zal klein zijn bij lage penetratiegraden. Bij lage verkeersdichtheden zal ACC vooral functioneren als een traditionele Cruise Control.

Voor hogere verkeersdichtheden en penetratiegraden zal het aantal zeer korte volgtijden wel aanzienlijk afnemen, wat de verkeersveiligheid positief kan beïnvloeden. Om ACC echter een positief effect op de wegcapaciteit te laten hebben tijdens congestie, moeten volgtijden worden gebruikt die kleiner zijn dan 1 sec. Deze volgtijd is veel korter dan de volgtijd van 2 sec. die momenteel in Nederland wordt geadviseerd. Als ACC-volgtijden van 1,2 sec. of langer worden gebruikt, zal de wegcapaciteit afnemen. Verder kunnen door de relatief grote afstanden tussen de voertuigen schokgolven ontstaan, doordat bestuurders van andere rijstroken gaan invoegen. Dit kan een negatieve invloed op de verkeersveiligheid hebben. Touran, Brackstone & McDonald (1999) tonen aan dat alhoewel de kans dat een voertuig met ACC op een voorligger botst afneemt, de kans dat een achterligger op het ACC-voertuig botst licht toeneemt.

Er kan geconcludeerd worden dat een toename van de verkeersveiligheid en een toename van de wegcapaciteit met de huidige ACC-systemen niet mogelijk is. Om dit te bereiken, zouden geavanceerde ACC-systemen geïmplementeerd moeten worden, die in staat zijn om op een adequate manier te reageren op invoegmanoeuvres van andere weggebruikers. Verder zouden zulke systemen uitgebreid moeten worden met Stop & Go om ook bij lage snelheden te kunnen functioneren.

5.2. **De behoeften van de ACC-gebruiker**

5.2.1. *Bruikbaarheid van ACC*

De resultaten laten duidelijk zien dat gebruik van ACC het comfort tijdens het rijden doet toenemen. Dit volgt uit de resultaten van metingen van de subjectieve mentale belasting en met hartritmevariatie. Zolang de vrijgekomen aandacht wordt gericht op het in de gaten houden van het verkeer, zal dit de verkeersveiligheid doen toenemen.

Hogema & Janssen (1996) laten verder zien dat bestuurders de neiging hebben om ACC niet te gebruiken als ze moeten volgen met korte volgtijden (< 1 sec.) en in situaties waarin sterk geremd en geaccelereerd moet worden. Dit gebeurt veelal als het heel druk is tijdens de spits, wat in Nederland vaak voorkomt. Het gevolg is dat ACC (zonder Stop & Go) waarschijnlijk niet veel gebruikt zal worden tijdens de spits en daarmee zal de potentie van ACC om congestieproblemen in Nederland te verminderen, beperkt zijn.

5.2.2. *Veilig functioneren van ACC*

Vanzelfsprekend is het de taak van de fabrikant om te zorgen dat zijn ACC-systeem veilig functioneert. Dit aspect moet onderzocht worden tijdens het

ontwerp van het systeem. Dit zou kunnen worden afgedwongen door het opstellen van officiële standaarden. Concept-standaarden worden op dit moment ontwikkeld door de Europese Unie (McDonald, Marsden & Brackstone, 2001). Deze standaarden zullen de minimale en maximale systeemcapaciteiten (maximale remkracht en in te stellen volgtijd) vastleggen. Ook zullen de standaarden moeten vastleggen dat er informatie aan de bestuurder moet worden verschaft over hoe ACC werkt of over het al dan niet defect zijn van (onderdelen van) het systeem. Aangezien het veilig functioneren van ACC afhangt van specifieke systeemeigenschappen, zal er hier niet verder op ingegaan worden.

Wel kan worden opgemerkt, dat één onderzoek is gevonden (zie Stanton, Young & McCaulder, 1997) dat de reactie van bestuurders onderzocht bij systeemfalen. Dit falen hield in dat ACC plotseling accelereerde terwijl er een voorliggend voertuig was. Dit is volgens de auteurs één van de ernstigste faalscenario's. De resultaten laten zien dat vier van de twaalf proefpersonen niet op een adequate manier reageerden om een botsing te voorkomen. Alhoewel dit resultaat het gevolg kan zijn van het gebruik van een vaste-basis-rijnsimulator, is het nodig om de waarschijnlijkheid van zulke faalscenario's en bijbehorende bestuurdersreacties te onderzoeken.

5.2.3. *Veilig gebruik van ACC*

Zoals in *Paragraaf 5.1.1* is beschreven, kan het gebruik van ACC op provinciale wegen mogelijk leiden tot gevaarlijkere situaties bij het inhalen. Ook zijn er aanwijzingen dat bestuurders met ACC-systemen later reageren als ze voorrang aan rechts moeten verlenen op kruispunten. Dit kan de veiligheid van de bestuurder en het overige verkeer doen afnemen, wanneer ACC veel gebruikt zal worden op Nederlandse provinciale wegen (die over het algemeen een hoge kruispunt dichtheid hebben). Dat ACC daar gebruikt zal worden, valt af te leiden uit het feit dat de waardering voor ACC-gebruik op de provinciale weg niet lager is dan voor gebruik op de autosnelweg.

De resultaten van onderzoek naar het gedrag van bestuurders in kritische situaties, geven aanleiding tot zorg. In het algemeen is gevonden dat gebruik van ACC zal leiden tot vertraagde reacties met als gevolg kortere TTC-waarden in kritische situaties. Verder blijkt dat de reacties in die situaties heftiger zijn (harder remmen). Bestuurders hebben de neiging op het systeem te vertrouwen, zelfs als stilstaande voertuigen niet worden gedetecteerd. Dit wordt ondersteund door de resultaten van vragenlijsten, die laten zien dat bestuurders zelf aangeven dat de alertheid mogelijk afneemt. Gezien het grote aantal files op Nederlandse autosnelwegen zal dit niet leiden tot een toename van de veiligheid van de ACC-gebruiker en het overige verkeer. Aan de andere kant kan feedback door remmen van het ACC-systeem, gecombineerd met een tijdig en duidelijk herkenbaar alarm, de bestuurder waarschuwen en zo de verminderde alertheid compenseren (zie Wakasugi & Yamada, 2000). De negatieve gevolgen van ACC kunnen dus mogelijk overwonnen worden, door het uitbreiden van toekomstige ACC-systemen met de mogelijkheid om stilstaande voertuigen te detecteren en, indien mogelijk, ook met Forward Collision Warning (FCW).

5.2.4. *Gebruiksgemak van ACC*

Zowel de resultaten van de rij simulatorstudies als de praktijkproef van Fancher, Ervin & Bogard (1998) laten zien dat rijden met ACC makkelijk is te leren en het systeem makkelijk is te gebruiken. Gebruikers moeten echter wel geïnformeerd worden over de systeembependingen, zoals die bij weersomstandigheden met slecht zicht, bij detectie van stilstaande voertuigen of objecten langs de weg, en bij gebruik op andere wegen dan de autosnelweg.

5.3. **De behoeften en eisen van de samenleving**

Een aantal van de eisen die de samenleving stelt aan telematica-toepassingen zijn terug te vinden in het beleid dat door de Nederlandse regering gevoerd wordt. Een deel van dat beleid wordt besproken door Van Gelderen, Bastiaansen & Busstra (2002). De auteurs stellen dat een belangrijke reden voor de overheid om energie te steken in telematica-toepassingen, de potentie van die toepassingen is om de verkeersveiligheid te vergroten, congestieproblemen te verminderen en in mindere mate milieuproblemen ten gevolge van het wegverkeer te reduceren. Alhoewel de auto-industrie leidend is bij ontwikkeling van deze toepassingen, wil de overheid flankerend zijn. Daarom wordt een visie ontwikkeld over telematica in het verkeer. Verder treedt de overheid op als stimulator, wetgever en wegbeheerder.

5.3.1. *Aansprakelijkheid*

De rol van de overheid als wetgever houdt in: het opstellen van een juridisch kader, dat ten minste de toepassing van telematicasystemen toestaat. Een belangrijke vraag is bij wie de aansprakelijkheid ligt als er iets mis gaat bij het gebruik van telematicasystemen zoals ACC? De overheid werkt samen in Europees verband om oplossingen hiervoor te vinden (bijvoorbeeld in de werkgroep e-Safety).

5.3.2. *Milieueffecten*

De grootste impact van huidige ACC-systemen zal op het gebied van het milieu liggen. Buiten de spits kan ACC leiden tot een vermindering van de standaarddeviatie van de versnelling met ongeveer 50%. Dit zal leiden tot een aanzienlijke reductie van het brandstofverbruik.

5.3.3. *Sociale en politieke acceptatie*

De sociale en politieke acceptatie van ACC hangt af van de acceptatie door zowel de gebruikers als de politiek. De acceptatie van ACC door de politiek zal afhangen van de potentie van ACC om de beleidsdoelstellingen te halen, (verkeersveiligheid, congestie en milieu). Zoals al is gezegd, zal het niet mogelijk zijn om met de huidige ACC-systemen tegelijk de verkeersveiligheid te verbeteren en de fileproblemen op te lossen. Ten eerste leidt het vergroten van de wegcapaciteit met ACC tot een afname van de verkeersveiligheid. Ten tweede lijkt de bruikbaarheid van ACC tijdens congestie beperkt te zijn. Het enige duidelijke voordeel van huidige ACC-systemen is dat het brandstofverbruik gereduceerd zou kunnen worden.

5.3.4. *Kosten voor de samenleving*

Voor het toepassen van ACC hoeft niet geïnvesteerd te worden in de infrastructuur, wat het systeem op zich aantrekkelijk maakt. Wel spreken Van Gelderen, Bastiaensen & Busstra (2002) over de mogelijkheid om ACC op de lijst van accessoires te plaatsen, die in aanmerking komen voor een korting op de Belasting van personenauto's en motorrijtuigen (BPM), om consumenten en fabrikanten aan te moedigen.

5.4. **Relatie tot eerder onderzoek**

In een voorgaand SWOV-rapport (Oei, 1999) is een aantal conclusies getrokken over het effect van ACC op, met name, de verkeersveiligheid (samengevat in *Paragraaf 2.3*).

Gebruik van ACC

Alhoewel gesteld wordt dat ACC ook bedoeld is voor *provinciale wegen*, blijkt uit de hierboven beschreven resultaten dat de verkeersveiligheid negatief kan worden beïnvloed door gevaarlijker inhaalgedrag en vertraagde reacties bij voorrang aan rechts verlenen.

De mogelijke verbetering van de *doorstroming* zal alleen bij hoge penetratiegraden en bij zeer korte ACC-volgtijden (< 1 sec.) optreden. De wenselijkheid van zulke korte volgtijden is dubieus. Bij langere ACC-volgtijden zal er een negatief effect op de doorstroming optreden. Een bijkomend negatief effect van langere volgtijden is de toename van schokgolven, waardoor de verkeersstroom instabiel wordt.

Positieve effecten

Een aantal positieve effecten is min of meer bevestigd: het *rijcomfort* neemt toe, het *afstand houden is verbeterd*, en de *snelheden zijn homogener*. Enige kanttekeningen zijn echter op hun plaats. Een significant positief effect op de verkeersveiligheid, door *verbeterd afstand houden*, zal alleen optreden bij hoge penetratiegraden. Alhoewel sommige resultaten laten zien dat in druk verkeer de *snelheden homogener* worden, dient opgemerkt te worden dat dit gepaard gaat met hogere snelheden. Bestuurders die zonder ACC langzamer reden (de lage-snelheidrijders), gaan met ACC sneller rijden. Of dit een positief of negatief effect heeft op de verkeersveiligheid is moeilijk vast te stellen.

Of bestuurders *veilig met ACC omgaan* valt nog te bezien. Alhoewel het gebruik van ACC makkelijk te leren is, zijn er aanwijzingen dat door de verminderde alertheid te laat of niet adequaat gereageerd zal worden in kritische situaties. Ook gebruik van ACC tijdens weersomstandigheden die gepaard gaan met slecht zicht (mist, zware regen) kan mogelijk leiden tot gevaarlijke situaties.

Negatieve effecten

Een aantal negatieve resultaten is ook min of meer bevestigd: bestuurders *veranderen vaker van rijstrook* en rijden langer links, en bestuurders *wachten met reageren totdat een alarm* is gegeven. In de recente literatuur zijn geen studies gevonden die onderzocht hebben of bestuurders *minder coöperatief* worden en *minder rekening houden met overstekende voetgangers*.

6. Conclusies en aanbevelingen

Het doel van deze studie is om de mogelijke gevolgen van het gebruik van ACC voor de verkeersveiligheid in Nederland in kaart te brengen. Een aantal belangrijke zaken is hierbij naar voren gekomen.

6.1. De algemene weggebruiker

Er is gesteld dat de algemene weggebruiker de behoefte heeft dat door gebruik van ACC de verkeersveiligheid niet afneemt, en de doorstroming (met daaraan gekoppeld de reistijd) niet vermindert.

Alhoewel er positieve effecten van ACC voor de verkeersveiligheid kunnen optreden, zijn er ook negatieve effecten gevonden.

Positieve effecten:

- verlaging van de gemiddelde rijsnelheid bij rustig verkeer;
- homogener snelheden in druk verkeer;
- reductie van het percentage zeer korte volgtijden;
- toename van het comfort en als gevolg daarvan mogelijk meer aandacht voor het verkeer.

Negatieve effecten:

- verhoging van de gemiddelde rijsnelheid bij druk verkeer;
- veranderd (en mogelijk onvoorspelbaarder) gedrag bij rijstrookwisselingen;
- gebruik op provinciale wegen met als mogelijk gevolg kortere volgtijden, gevaarlijker inhaalgedrag en vertraagde reacties bij voorrang geven;
- niet-adequate reactie in kritische situaties door afgenomen alertheid;
- mogelijke afname van de voorspelbaarheid van het gedrag van ACC-gebruikers voor overige weggebruikers;
- mogelijk gebruik tijdens weersomstandigheden met slecht zicht.

Om de wegcapaciteit van autosnelwegen te vergroten, moeten ACC-systemen geïmplementeerd worden met zeer korte volgtijden (< 1 sec.). De huidige ACC-systemen, die zulke korte volgtijden niet toestaan, zullen (als ze al tijdens druk verkeer gebruikt worden) bij hoge penetratiegraden leiden tot een afname van de wegcapaciteit en mogelijk een toename van schokgolven. Dit laatste zal waarschijnlijk een nadelig effect hebben op de verkeersveiligheid. Alhoewel efficiënter invoegen de doorstroming kan verbeteren, is de invloed op de verkeersveiligheid onduidelijk.

6.2. De ACC-gebruiker

Rijden met ACC is makkelijk te leren en het systeem is makkelijk te gebruiken. ACC zal vooral bruikbaar zijn op autosnelwegen, tijdens rustig verkeer. Door de toename van het comfort zullen gebruikers minder moe worden als ze lange afstanden moeten afleggen. Echter, de alertheid kan bij langdurig gebruik afnemen. Verwacht mag worden dat de bruikbaarheid van ACC op autosnelwegen tijdens de spits beperkt zal zijn. Om in deze situaties ook bruikbaar te zijn, zou het systeem uitgebreid moeten worden met Stop & Go.

Wat betreft het veilig functioneren van ACC, zijn in de literatuur geen studies gevonden naar de faalkans van ACC-systemen. De resultaten suggereren wel dat als ACC faalt, een deel van de gebruikers mogelijk niet adequaat reageert. Meer onderzoek naar de waarschijnlijkheid van systeemfalen en bestuurdersreactie hierop is geboden.

Gebruik van ACC op provinciale wegen en tijdens congestie op autosnelwegen is om verkeersveiligheidsredenen niet wenselijk. Ook zou ACC niet gebruikt moeten worden tijdens weersomstandigheden met slecht zicht. Het is van belang dat de gebruikers hierover goed geïnformeerd worden.

6.3. De samenleving

Uitgaande van de eisen die door de overheid gesteld worden aan telematicasystemen, namelijk gunstige bijdragen aan de verkeersveiligheid, aan congestieproblemen, en aan milieuproblemen ten gevolge van het verkeer, kan het volgende geconcludeerd worden. Een gelijktijdige toename van de wegcapaciteit en verkeersveiligheid is met de huidige ACC-systemen niet haalbaar. Het enige duidelijke positieve effect van ACC zal een reductie van het brandstofverbruik zijn, omdat het systeem het gaspedaal veel gelijkmatiger regelt dan de mens.

6.4. Eindconclusie

Huidige ACC-systemen kunnen een gunstig effect hebben op de verkeersveiligheid als ze gebruikt worden op autosnelwegen met rustig verkeer. Dit houdt in dat er niet continu snelheidsveranderingen nodig zijn en de bestuurder dus in staat is voor langere tijd met constante snelheid te rijden. Verder dient ACC alleen gebruikt te worden onder weersomstandigheden met goed zicht. Een voordeel van ACC is dan, dat door de toename van het comfort de gebruiker minder vermoeid raakt. Ook heeft ACC een matigende invloed op de gemiddelde snelheid en neemt het percentage zeer korte volgtijden af.

Gebruik van ACC op autosnelwegen met druk verkeer is vanuit verkeersveiligheidsoogpunt niet wenselijk. Druk verkeer houdt in dat er veel geremd, geaccelereerd en van rijstrook gewisseld wordt. Het gebruik van ACC leidt dan tot hogere snelheden, vertraagde reacties en harder remmen.

Op provinciale wegen zonder rijrichtingscheiding waar ingehaald mag worden en waar gelijkvloerse kruisingen zijn, zou ACC niet gebruikt moeten worden. De redenen hiervoor zijn, dat met ACC bij inhalen kortere ruimtes tussen tegenliggers worden geaccepteerd en dat vertraagde reacties optreden bij voorrang verlenen. Ook op bochtige provinciale wegen is het gebruik van ACC af te raden, omdat voorliggers door het nemen van een bocht uit het gezichtsveld van de sensoren kunnen raken, waardoor het systeem voor een bocht plotseling gaat accelereren. Verder kan, als tijdens het nemen van een bocht een tegenligger in het bereik van de sensoren komt, plotseling door het systeem geremd worden.

Ook voor wegen binnen de bebouwde kom geldt dat ACC niet gebruikt zou moeten worden. Behalve de argumenten die voor provinciale wegen gelden, is een extra reden de aanwezigheid van veel kwetsbare verkeersdeelnemers (voetgangers en (brom)fietsers), die door ACC over het algemeen niet of slecht gedetecteerd worden.

6.5. Aanbevelingen

Aan weggebruikers zou aanbevolen kunnen worden ACC alleen te gebruiken als ondersteuning op autosnelwegen bij langere ritten, als er rustig gereden kan worden en onder omstandigheden met goed zicht. In feite dient het gebruikt te worden als een CC met het voordeel van automatische aanpassing aan kleine snelheidsverschillen met een voorligger. De weggebruiker moet dus wel alert blijven op veranderende verkeerssituaties en niet volledig op ACC vertrouwen bij te grote snelheidsverschillen en onoverzichtelijke verkeerssituaties. Als ACC op deze manier gebruikt wordt, zal het rijden comfortabeler worden en het brandstofverbruik mogelijk dalen. Voorlichtingsinstanties zouden de weggebruiker kunnen informeren over het juiste gebruik van ACC, waarbij ook benadrukt moet worden dat de weggebruiker regelmatig moet (laten) controleren of het ACC-systeem nog correct werkt (bijvoorbeeld controleren of de sensoren nog schoon zijn).

Aangezien ACC al op de markt is geïntroduceerd, is het van belang dat de Nederlandse en Europese overheid snelheid maken met het scheppen van een juridisch kader waarbinnen zaken als aansprakelijkheid en te stellen eisen aan ACC-systemen geregeld zijn. Aan het stimuleren van gebruik van ACC zou pas gedacht moeten worden als een juridisch kader is opgesteld en uit de praktijk is gebleken wat de werkelijke effecten van ACC voor de verkeersveiligheid, doorstroming en milieu zijn.

Het volgende zou de auto-industrie en ACC-producenten aanbevolen kunnen worden. Om negatieve effecten van verminderde alertheid te compenseren, zou ACC stilstaande voertuigen moeten kunnen detecteren. Verder moet een eventueel alarmsignaal, dat aangeeft dat de bestuurder moet ingrijpen, tijdig gegeven worden en duidelijk herkenbaar zijn. Het is beter geen alarmsignaal te geven dan een onduidelijk en/of te laat signaal. Gebruikers zullen namelijk, in de wetenschap dat een alarmsignaal gegeven wordt, hoogstwaarschijnlijk wachten met reageren totdat het alarm gegeven is. In de praktijk zal het alarm dus geïnterpreteerd worden als een botsingswaarschuwing. Zolang ACC-systemen niet aan de hoge eisen voldoen die aan een FCW-systeem gesteld moeten worden, zal het geven van een alarm een vals gevoel van veiligheid geven. Het is voor de alertheid van een gebruiker dan waarschijnlijk beter, dat het duidelijk is dat er geen alarm wordt gegeven.

Verder zou moeten worden voorkomen dat ACC-systemen achteraf ingebouwd kunnen worden. Van een systeem dat achteraf ingebouwd is, kan niet worden gegarandeerd dat het niet interfereert met andere al aanwezige (telematica)systemen. Zo kan een eventueel alarmsignaal identiek zijn aan een signaal van een ander al aanwezig systeem, waardoor verwarring ontstaat. De integratie van telematicasystemen in voertuigen zou geheel in handen moeten liggen van de producenten van de voertuigen, omdat die kennis hebben van het gehele voertuig. Ook de aansprakelijkheid is dan eenvoudiger te regelen.

Een beperking van dit rapport is het gebrek aan resultaten van praktijkproeven en gebruikersenquêtes in Nederland. Aangezien de compatibiliteit van ACC met rijstijlen tussen landen en regio's kan verschillen, zal moeten worden onderzocht in welke mate en hoe ACC in Nederland in de praktijk gebruikt zal gaan worden.

Literatuur

Antoniou, C., Yannis, G. & Golias, J. (2002). *Road network efficiency and environmental impact assessment of Driver Assistance Systems*. In: Proceedings of the 9th World Congress on Intelligent Transport Systems ITS, 14-17 October 2002, Chicago. ITS America, Washington, D.C.

Arem, B. van, Hogema, J.H. & Verheul, C. (1995). *The microscopic traffic simulation model MIXIC 1.2*. INRO-VVG 1995-17b. TNO INRO, Delft.

Bartenwerfer, H. (1969). *Einige praktische Konsequenzen aus der Aktivierungstheorie (some practical consequences of activation theory)*. In: Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie, 16, pp. 195-222.

Bielaczek, C. (1999). *Die Auswirkung der aktiven Fahrerbeeinflussung auf die Fahrsicherheit*. In: ATZ Automobiltechnische Zeitschrift, 101(9), pp. 714-725.

Brook-Carter, N., Parkes, A.M., Burns, P & Kersloot, T. (2002). *An investigation of the effect of an urban Adaptive Cruise Control (ACC) system on driving performance*. In: Proceedings of the 9th World Congress on Intelligent Transport Systems ITS, 14-17 October 2002, Chicago. ITS America, Washington, D.C.

Carsten, O.M.J. & Nilsson, L. (2001). *Safety assessment of driver assistance systems*. In: European Journal of Transport and Infrastructure Research, 1(3), pp. 225-243.

Cremer, M., Demir, C., Donikian, S., Espié, S. & McDonald, M. (1998). *Investigating the impact of AICC concepts on traffic flow quality*. In: Towards the new horizon together, Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Transport Systems ITS, 12-16 October 1998, Seoul. Paper no. 2113.

Demir, C. (2002). *Modelling the impact of ACC systems on traffic flow at macroscopic modelling level*. In: Proceedings of the 9th World Congress on Intelligent Transport Systems ITS, 14-17 October 2002, Chicago. ITS America, Washington, D.C.

Endsley, M.R. (1995). *Towards a theory of situation awareness in dynamic systems*. In: Human Factors, 37 (1), pp. 32-64.

Fancher, P., Ervin, R. & Bogard, S. (1998). *A field operational test of adaptive cruise control: System operability in naturalistic use*. In: Proceedings of the Society of Automotive Engineers International Congress and Exposition, SAE Technical Paper No. 980852, Special Publication SP-1332, Detroit, MI.

Geduld, G.O. (1997). *In-vehicle visibility measurement as an expansion of ACC and support system for the driver*. In: Mobility for everybody,

Proceedings of the 4th World Congress on Intelligent Transport Systems ITS, 21-24 October 1997, Berlin, paper no. 2398.

Gelderen, M. van, Bastiaensen, E. & Busstra, J. (2002). *Advanced Driver Assistance (ADA) systems: Framework for speed assistance*. In: Proceedings of the 9th World Congress on Intelligent Transport Systems ITS, 14-17 October 2002, Chicago. ITS America, Washington, D.C.

Hale, A.R., Quist, B.W. & Stoop, J. (1988) *Errors in routine driving tasks: a model and proposed analysis technique*. In: Ergonomics, 31 (4), pp. 631-641.

Heijer, T. & Wiersma, J.W.F. (2001). *A model for resolving traffic situations based upon a scenario approach*. In: Transforming the future, Proceedings of the 8th World Conference on Intelligent Transport Systems ITS, 30 September - 4 October 2001, Sydney. ITS Australia, Melbourne.

Hoedemaeker, M. (1999a). *A driving simulator experiment on Adaptive Cruise Control*. Chapter 6 in: Driving with intelligent vehicles; Driving behaviour with Adaptive Cruise Control and the acceptance by individual drivers. Proefschrift Technische Universiteit Delft. TRAIL Thesis series T99/6, Delft University Press, Delft.

Hoedemaeker, M. (1999b). *A driving simulator experiment on different road types*. Chapter 7 in: Driving with intelligent vehicles; Driving behaviour with Adaptive Cruise Control and the acceptance by individual drivers. Proefschrift Technische Universiteit Delft. TRAIL Thesis series 99/6, Delft University Press, Delft.

Hogema, J.H. & Janssen, W.H. (1996) *Effects of Intelligent Cruise Control on driving behaviour: a simulator study*. TM-96-C012, TNO Human Factor Research Institute, Soesterberg.

Hogema, J.H., Arem, B. van, Smulders, S.A. & Coëmet, M.J. (1997). *Modelling changes in driving behaviour: on the effects of autonomous intelligent cruise control*. In: Traffic and Transportation psychology: theory and application, Proceedings of the International Conference on Traffic and Transport Psychology, 22-25 May 1996, Valencia, pp. 237-246. Pergamon, Amsterdam.

Hoogendoorn, S.P. & Minderhoud, M.M. (2002). *Motorway flow quality of advanced driver assistance systems*. In: Transportation Research Record 1800, paper no. 02-2671. Transportation Research Board/National Academy Press, Washington, D.C.

Jagtman, H.M., Marchau, V.A.W.J. & Heijer, T. (2001). *Current knowledge on safety impacts of Collision Avoidance Systems (CAS)*. In: Harder, P.M. & Thissen, W.A.H. (eds.), Critical Infrastructures – 5th International Conference on Technology, Policy and Innovation, 26-29 juni 2001, Den Haag. Paper no. 1152. Lemma.

Kirk, R.E. (1995). *Experimental Design: Procedures for the Behavioral Sciences*. Second Edition. Brooks/Cole Publishing Company, Monterey, pp. 129 & 149.

- Macharis, C. & Stevens, A. (2002). *A multi-criteria approach to the strategic assessment of driver assistance systems*. In: Proceedings of the 9th World Congress on Intelligent Transport Systems ITS, 14-17 October 2002, Chicago. ITS America, Washington, D.C.
- Marsden, G., McDonald, M. & Brackstone, M. (2001). *Towards an understanding of adaptive cruise control*. In: Transportation Research Part C, Vol. 9, pp. 33-51.
- McDonald, M., Marsden, G. & Brackstone, M. (2001). *Deployment of interurban ATT test scenarios (DIATS): implications for the European road network*. In: Transport Reviews, 21(3), pp. 303-335.
- Michon, J. (1985). *A critical view of driver behavior models: what do we know, what should we do?* In: Evans, L. & Schwing, R.C. (eds.) Human behavior and traffic safety, Plenum Press, New York, pp. 485-524.
- Minderhoud, M.M. (1999). *Supported driving: impacts on motorway traffic flow*. Proefschrift Technische Universiteit Delft. TRAIL Thesis series T99/4, Delft University Press, Delft.
- Nilsson, L. (1996). *Safety effects of Adaptive Cruise Controls in critical traffic situations*. In: Proceedings of Steps Forward, Volume III, 2nd World Congress on Intelligent Transport Systems, 9-11 November 1995, Yokohama, pp. 1254-1259.
- Oei, H.L. (1999). *Advanced Cruise Control (ACC); Gewenste beleidsmaatregelen bij de invoering van ACC*. R-99-23. SWOV, Leidschendam.
- Oei, H.L. & Eenink, R.G. (2001). *Ontwikkelingen op het gebied van Intelligente Transportsystemen; Een inventarisatie van Intelligente Transportsystemen, relevant beleid en toekomstverwachtingen*. R-2001-17. SWOV, Leidschendam.
- Stanton, N.A., Young, M. & McCaulder, B. (1997). *Drive-by-wire: the case of driver workload and reclaiming control with adaptive cruise control*. In: Safety Science, 27(2), pp. 149-159.
- Stanton, N.A. & Young, M.S. (1998). *Vehicle automation and driving performance*. In: Ergonomics, 41(7), pp. 1014-1028.
- Törnros, J., Nilsson, L., Östlund, J. & Kircher, A. (2002). *Effects of ACC on driver behaviour, workload and acceptance in relation to minimum time headway*. In: Proceedings of the 9th World Congress on Intelligent Transport Systems ITS, 14-17 October 2002, Chicago. ITS America, Washington, D.C.
- Touran, A., Brackstone, M.A. & McDonald, M. (1999). *A collision model for safety evaluation of autonomous intelligent cruise control*. In: Accident Analysis and Prevention, 31, pp. 567-578.
- Vermijs, R.G.M.M. (1992). *Het microsимулатiemodel FOSIM*. VK2205.306a, Technische Universiteit Delft / Directoraat-Geenraal Rijkswaterstaat.

Wakasugi, T. & Yamada, K. (2000). *Driver reaction time to forward vehicle collision warning: effectiveness of warning system under low awareness level*. In: From vision to reality, Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Transport Systems ITS, 6-9 November 2000, Turin.

Werf, J. van der, Shladover, S.E., Miller, M.A. & Kourjanskaia, N. (2002). *Effects of Adaptive Cruise Control on highway traffic flow capacity*. In: Transportation Research Record 1800, paper no. 02-3665. Transportation Research Board/National Academy Press, Washington, D.C.

Wiethoff, M., Penttinen, M., Heijer, T. & Bruinsma, L. (2001). *ADAS application opportunities and barriers: demand pull and technology push*. In: Transforming the future, Proceedings of the 8th World Conference on Intelligent Transport Systems ITS, 30 September - 4 October 2001, Sydney. ITS Australia, Melbourne.

Winsum, W. van (1991). *Cognitive and normative models of car driving*. Drive Project V1041, Deliverable GIDS/DIA3. Transport Research Centre, University of Groningen RUG, Groningen.

Yahagi, S. & Yanai, Y. (2002). *Market Response to Adaptive Cruise Control*. In: Proceedings of the 9th World Congress on Intelligent Transport Systems ITS, 14-17 October 2002, Chicago. ITS America, Washington, D.C.

Young, M.S. & Stanton, N.A. (1997). *Automotive Automation: investigating the impact on drivers' mental workload*. In: International Journal of Cognitive Ergonomics, 1(4), pp. 325-336.