

Advanced Cruise Control (ACC)

Gewenste beleidsmaatregelen bij de invoering van ACC

R-99-23

Ir. Oei Hway-liem

Leidschendam, 1999

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

Documentbeschrijving

Rapportnummer: R-99-23
Titel: Advanced Cruise Control (ACC)
Ondertitel: Gewenste beleidsmaatregelen bij de invoering van ACC
Auteur(s): Ir. Oei Hway-liem
Onderzoeksmanager: Mr. P. Wesemann
Projectnummer SWOV: 54.228
Projectcode opdrachtgever: PRDVL 98.703
Opdrachtgever: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal
Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer

Trefwoord(en): Automatic, driving (veh), vehicle spacing, speed, driver information.
Projectinhoud: Een advanced cruise control-systeem is een cruise control systeem, dat rekening houdt met de afstand tot de voorligger.
In dit onderzoek wordt nagegaan welke beleidsalternatieven er zijn om door middel van het gebruik van ACC-systemen de verkeersveiligheid te bevorderen. Tevens wordt een inventarisatie gemaakt van de ACC-systemen die in ontwikkeling zijn. Ook worden functionele eisen geformuleerd die vanuit veiligheidsoogpunt aan ACC-systemen gesteld moeten worden en wordt aandacht besteed aan positieve en negatieve effecten op de verkeersveiligheid als gevolg van de introductie van ACC-systemen. Tot slot wordt nagegaan of bij gelijktijdige toepassing van ACC-systemen en longitudinale regelsystemen (snelheidsbegrenzer, ISA en/of anti-botssysteem) er onderlinge afstemming wenselijk en/of noodzakelijk is en wat de gevolgen van deze integratie voor de verkeersveiligheid zullen zijn.

Aantal pagina's: 38 blz.
Prijs: f 20,-
Uitgave: SWOV, Leidschendam, 1999

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV
Postbus 1090
2260 BB Leidschendam
Telefoon 070-3209323
Telefax 070-3201261

Samenvatting

Bij Advanced Cruise Control (ACC) gaat het om een 'gewone' cruise control, waarbij de gewenste rijsnelheid handmatig wordt ingesteld, maar waarbij óók rekening wordt gehouden met de volgtijd ten opzichte van een voorliggend voertuig. Wordt deze volgtijd kleiner dan een kritische drempelwaarde, dan remt het systeem het voertuig geleidelijk af. Indien het voorliggend voertuig er niet meer is, of de volgtijd groter is dan de drempelwaarde, dan wordt de ingestelde wensnelheid weer aangehouden. Ook bij een te grote naderingsnelheid van een voorligger wordt afgeremd. Dit afremmen kan gebeuren door gas terugnemen, terugschakelen (bij automatische transmissie) of in werken stellen van de remmen. Zo'n ACC-systeem is bedoeld voor gebruik op wegen buiten de bebouwde kom onder niet overbelaste condities. Het systeem is niet bedoeld om onder kritische omstandigheden een botsing te voorkomen, het is dus geen anti-bots-systeem. De bestuurder blijft bij het gebruik van een ACC-systeem de eindverantwoordelijkheid dragen; hij kan het systeem op elk moment buiten werking stellen.

Een ACC-systeem kan op verschillende manieren worden uitgevoerd. De sensor kan met radar of licht werken. De terugkoppeling van informatie naar de bestuurder kan plaatsvinden via een waarschuwingslicht en/of geluid, of haptisch. Ook zijn er systemen die automatisch ingrijpen. De kritische volgtijd is instelbaar, omdat er verschil is in rijstijl tussen bestuurders.

Voor de acceptatie van het systeem is het van belang dat het een grote mate van betrouwbaarheid heeft; dat wil zeggen zeer weinig missers en vals-alarmen, anders is de kans groot dat het systeem door de bestuurder buiten werking wordt gesteld. Verder dient het systeem gebruiksvriendelijk te zijn, en dient de bestuurder op elk moment geïnformeerd te worden wat het systeem aan het doen is, welke 'mode' op dat moment in werking is, bijvoorbeeld gas minderen, terugschakelen of daadwerkelijk remmen. Knoppen, klokjes, lichtjes dienen zoveel mogelijk op een dusdanige wijze geplaatst te worden dat de bestuurder zijn blik niet hoeft af te wenden van de weg.

Uit diverse praktijkproeven met ACC-systemen bleek dat bestuurders er veilig mee om konden gaan. Ook blijkt dat de snelheden homogener werden, en dat er minder geremd werd. Anderzijds hadden bestuurders de neiging om van rijstrook te veranderen, teneinde geen voorligger meer te hebben; ook hielden ze minder rekening met bijvoorbeeld voetgangers. Het bleek ook dat het systeem kleine voertuigen niet waarnam.

Een enquête onder proefpersonen liet zien dat een belangrijk deel van hen twijfels had over het systeem; men voelde zich niet veilig met ACC. De mogelijkheid om het systeem uit te kunnen schakelen moest aanwezig zijn en men wil het systeem alleen hebben als het perfect werkte.

Ten aanzien van het effect van ACC-systemen op de verkeersveiligheid worden zowel positieve als negatieve effecten verwacht. ACC zal positief uitwerken op de kans op kop/staart-botsingen met voorliggers. Een negatieve uitwerking kan de minder coöperatieve opstelling ten opzichte van voetgangers hebben. Een andere negatief punt is dat de kans op kop/staart-botsingen tussen een achterliggend voertuig en het ACC-voertuig wordt zou kunnen worden vergroot.

De verwachting is dat ACC-systemen op korte termijn op de markt zullen komen, allereerst bij de duurdere categorie voertuigen.

Summary

Advanced Cruise Control (ACC)

Advanced Cruise Control (ACC) concerns an 'ordinary' cruise control in which the desired speed is fixed manually, but also in which the (time of) headway to the vehicle in front is taken into account. If this headway is smaller than a critical threshold value, the system brakes the vehicle gently. If the vehicle in front is no longer there, or the headway is larger than the threshold value, the desired speed installed is again maintained. The vehicle is also braked if the approach speed to the vehicle in front is too fast. This braking can happen by decelerating, changing down gear (with an automatic gearbox), or by applying the brakes. Such an ACC system is meant for use on rural roads that are not too busy. The system is not meant to avoid a collision under critical circumstances; it is not, therefore, an anti-collision system. When using an ACC system, the driver remains completely responsible; he/she can disengage the system at any moment. An ACC system can be designed in different ways. The sensor can work with radar or light. The information feedback to the driver can operate via a warning light and/or sound, or by touching. There are also systems that intervene automatically. The critical headway is adjustable, because drivers have different driving styles.

For a system to be accepted, it has to have a high reliability; i.e. few missers and false-alarms. Otherwise the chance is great that the driver turns the system off. Moreover, the system must be user-friendly, and the driver has to be constantly informed about a) what the system is doing, and b) which 'mode' is working, e.g. decelerating, changing down gear, or actually braking. Switches, meters, and lamps should be situated in such a way that the driver is not distracted from concentrating on the traffic.

Several practical experiments with ACC systems showed that drivers could behave safely with them. Speeds also appeared to become more homogenous, and there was less braking. On the other hand, drivers had more the inclination to change lanes in order not to have any more vehicles in front. They also paid less attention to, for example, pedestrians. The system also appeared not to observe small vehicles.

A survey of subjects showed that many of them had doubts about the system; they did not feel safe with ACC. The possibility of being able to disengage the system had to exist; and they only wanted the system if it worked perfectly.

As far as the road safety effects of ACC systems are concerned, positive as well as negative effects can be expected. ACC will have a positive effect on the chance of rear-end collisions with vehicles in front. A negative effect could be the less cooperative attitude towards pedestrians. Another negative effect is that the chance of rear-end collisions between a vehicle behind, and the ACC vehicle, could increase.

The expectation is that ACC systems will be for sale in the short-term, starting with the more expensive vehicles.

Inhoud

Voorwoord	7
1. Inleiding	8
2. Een inventarisatie van ACC-systemen	10
2.1. Technische aspecten van ACC-systemen	10
2.2. Soorten ACC-systemen	11
2.3. BAST (1998)	11
2.3.1. Interactieconcept	11
2.3.2. Technologie	11
2.3.3. Verwachte effecten	14
2.3.4. Evaluatiestudies	14
2.3.5. Videoanalyse	16
2.3.6. Acceptatie van ACC-systemen	16
2.3.7. Conclusies BAST-rapport	17
2.4. Braess et al. (1995a & b)	17
2.5. Doriszen et al. (1996), BAST (1998)	17
2.6. Sayer (1996)	20
2.7. Geduld (1997)	20
2.8. Scott (1997)	21
2.9. Risser & Lehner (1997)	23
2.10. Hayashi et al. (1997)	24
2.11. Kopf et al. (1997)	25
2.12. Fancher et al. (1998)	26
2.13. Van Arem et al. (1998)	28
2.14. Touran et al. (1998)	28
2.15. Hughes et al. (1995)	28
3. Conclusies en aanbevelingen	29
3.1. Opzet van de onderzoeken	29
3.2. Technische aspecten	29
3.2.1. Sensoren	29
3.2.2. Mate van automatisering	30
3.2.3. Betrouwbaarheid van het systeem	30
3.2.4. Human machine interface	30
3.2.5. Positieve en negatieve resultaten van onderzoek	31
3.2.6. Draagvlak	31
3.2.7. Effect op veiligheid	32
4. Nabeschuiving	34
Literatuur	36

Voorwoord

In het kader van de overeenkomst 'Realisatie van het onderzoeksjaarplan verkeersveiligheid voor 1998' tussen de Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV) van Rijkswaterstaat en de SWOV is het project 'Advanced Cruise Control' (ACC) uitgevoerd. Dit project valt onder het onderzoeksgebied 'Stimuleren kansrijke ontwikkelingen telematica'. Dit laatste is erop gericht telematicatoepassingen die als kansrijk bestempeld zijn en waarvan een positief effect op de verkeersveiligheid mag worden verwacht, te stimuleren. Het onderzoek naar 'Advanced Cruise Control' is erop gericht de ontwikkeling van dergelijke telematicasystemen door het bedrijfsleven te bevorderen en de eisen die aan dergelijke systemen vanuit de veiligheid worden gesteld, te bewaken. Ook dient het onderzoek ter ondersteuning bij het formuleren van richtlijnen en 'Codes of Practice' in Europees verband.

Vanuit AVV is het project 'Advanced Cruise Control' op plezierige wijze begeleid door Mw. drs. M.L. Duynstee.

1. Inleiding

De SWOV heeft in het verleden op het terrein van telematica verschillende rapporten uitgebracht, onder andere:

- Bouwstenen beleidsvisie telematica verkeersveiligheid (Oppe et al, 1995).
- Automation of the driving task (Heijer et al, 1998).
- Telematica en Duurzaam-Veilig I & II (Oei, 1998).
- Intelligente Snelheidsadaptatie. Een vergelijking van Nederlandse en Zweedse systemen. (Oei, 1998a).

Een systeem dat nauw aansluit bij intelligente snelheidsadaptatie (ISA) is Advanced Cruise Control (ACC). Voor dergelijke systemen zijn verschillende benamingen in omloop:

- Intelligent Cruise Control (ICC);
- Autonomous Cruise Control (ACC);
- Cruise Control (CC);
- Autonomous Intelligent Cruise Control (AICC);
- Automatic Distance Regulation (ADR).

Van Kampen (1996) heeft op basis van een literatuurstudie de conclusie getrokken, dat cruise control een positief effect op de verkeersveiligheid zal hebben, omdat:

- de taakbelasting voor de bestuurder lager is;
- de gemiddelde snelheid omlaag gaat en
- er een stabielere verkeersstroom ontstaat.

Het is niet bekend hoeveel auto's op dit moment in Nederland met cruise control zijn uitgerust (bron: RDC Datacentrum B.V.).

ACC-systemen zijn sterk in ontwikkeling en de eerste prototypen zijn reeds uitgetest. Bij ACC gaat het om een systeem waarbij cruise control niet gefixeerd is, maar waarbij rekening wordt gehouden met de afstand tot de voorligger. Het systeem bestaat uit de gebruikelijke cruise control: de snelheid die men rijdt en waarmee men wil blijven rijden wordt handmatig ingesteld. Deze instelling wordt automatisch opgeheven wanneer de bestuurder remt. Ook kan het systeem handmatig worden uitgeschakeld. Ten opzichte van de 'normale' cruise control heeft ACC als extra dat een veilige afstand tot de voorligger gehouden wordt.

Het omschakelen van snelheidsregeling naar afstandsregeling en omgekeerd gebeurt in zo'n systeem automatisch. Dit betekent dat in principe de ingestelde snelheid wordt aangehouden tenzij de auto te dicht achter de voorligger terecht komt. Op dat moment wordt automatisch gas teruggenomen, teruggeschakeld of geremd en wordt een constante afstand tot de voorligger aangehouden. Wordt de afstand tot de voorligger weer groter dan de 'veilige marge', dan wordt automatisch weer overgegaan tot het rijden van de ingestelde snelheid.

ACC is bedoeld voor gebruik onder rustige verkeersomstandigheden en niet in druk verkeer. De bestuurder blijft toezicht houden op het ACC-systeem en kan zo nodig ook ingrijpen. ACC is *geen* 'anti-botsstelsel' dat automatisch afremt bij botsgevaar. Wel kan dit systeem worden beschouwd

als een tussenfase. Naar verwachting zal in de toekomst een anti-bots-systeem beschikbaar komen dat aanrijdingen tegen andere voertuigen en objecten kan voorkomen.

ACC werkt onder niet-kritische omstandigheden, terwijl een anti-bots-systeem alleen bij kritische situaties automatisch ingrijpt; er is dus verschil in de mate van autonomie van het systeem. Het is in principe ook mogelijk dat een anti-botssysteem alleen een waarschuwing geeft aan de bestuurder. Dit betekent echter, dat de beschikbare tijd om in te grijpen voor de bestuurder gering is.

Naar verwachting zullen autofabrikanten in de toekomst verschillende ACC-systemen als optie aanbieden.

Behalve ACC zullen er in de nabije toekomst ook diverse snelheidsbegrenzingsystemen, ISA, anti-botssystemen, en allerlei longitudinale regelsystemen op de markt komen. Het is derhalve relevant om behalve een beschrijving van de invloed van ACC-systemen op de verkeersveiligheid, ook na te gaan welke mogelijkheden tot integratie van dergelijke systemen er zijn. Tevens moet worden bekeken welke mogelijke positieve en negatieve veiligheidseffecten deze integratie heeft.

Uit het rapport 'Automation of the driving task' (Heijer et al, 1998) blijkt dat juist een integratie van de diverse systemen een belangrijk en vaak nog onderbelicht aspect is.

Doelstelling

De onderhavige studie kent doelstellingen die in de volgende onderdelen kunnen worden opgesplitst:

- a. De primaire doelstelling van het onderzoek is na te gaan welke beleidsalternatieven er zijn om door middel van het gebruik van ACC-systemen de verkeersveiligheid te bevorderen. Dit kan zijn:
 - de ontwikkeling en/of toepassing van ACC-systemen te stimuleren;
 - het vaststellen van de specificaties van de eisen waaraan ACC-systemen moeten voldoen en proberen om deze geïmplementeerd te krijgen;
 - het ontwikkelen en stimuleren van voorlichting en educatie over het gebruik van ACC-systemen.
- b. Mede ten behoeve van doelstelling a. een inventarisatie verrichten van ACC-systemen die in ontwikkeling zijn en de stand van zaken hiervan beschrijven. Het accent wordt gelegd op functionele aspecten en minder op de technische kant. Andere longitudinale beheersingssystemen, zoals bijvoorbeeld anti-botssystemen komen slechts zijdelings aan bod.
- c. Het formuleren van functionele eisen die vanuit veiligheidsoogpunt aan ACC-systemen gesteld moeten worden.
- d. Het beschrijven van mogelijke positieve en negatieve effecten op de verkeersveiligheid als gevolg van de introductie van ACC-systemen.
- e. Nagaan of bij gelijktijdige toepassing van ACC-systemen en longitudinale regelsystemen (snelheidsbegrenzer, ISA en/of anti-botssysteem) er onderlinge afstemming wenselijk en/of noodzakelijk is en wat de gevolgen van deze integratie voor de verkeersveiligheid zullen zijn.

2. Een inventarisatie van ACC-systemen

De inventarisatie van ACC-systemen wordt behandeld aan de hand van de literatuur en van aanvullende informatie. Omdat er veel literatuur is op dit gebied en de ontwikkeling van ACC-systemen nog in volle gang is, is een selectie gemaakt van publicaties die niet ouder zijn dan ongeveer drie jaar. Door fabrikanten en leveranciers wordt het doel van ACC omschreven als het verlichten van de rijtaak en daarmee het verhogen van het comfort voor de bestuurder. Er wordt niet gesteld dat het systeem de verkeersveiligheid zal verhogen; wellicht liggen juridische overwegingen hieraan ten grondslag.

Er is een grote verscheidenheid aan onderzoeken op het gebied van ACC, die bijna alle een andere invalshoek of doelstelling hebben. Het nadeel is dat deze publicaties daardoor moeilijk volgens eenzelfde structuur samen te vatten zijn. Wel wordt in de meeste publicaties ingegaan op het effect van ACC op de verkeersveiligheid. In de volgende twee paragrafen worden de technische aspecten van en de diverse soorten ACC-systemen nader toegelicht.

De *Paragrafen 2.3. tot en met 2.15.* beschrijven de bestudeerde literatuur over ACC-systemen.

2.1. Technische aspecten van ACC-systemen

Met behulp van een ACC-systeem kan de minimale volgafstand of volgtijd ten opzichte van een voorliggend voertuig beheerst worden. Dit gebeurt door middel van snelheidsregulering. Hiervoor is het nodig dat een voorliggend voertuig dient te worden waargenomen. Door middel van radar of lichtgolven (infrarood of zichtbaar licht), maar ook door beeldverwerkings-sensoren worden de afstand tot de voorligger en het snelheidsverschil tussen beide voertuigen gemeten.

Radar en laser werken verschillend. Radargolven 'buigen' als het ware om obstakels heen, terwijl laser daarentegen door obstakels wordt tegengehouden. De bundelbreedte van radar is groter dan van laser; met radar is er dus sprake van een breder 'gezichtsveld'. Met radar is er dus een grotere kans dat voorliggers in bochten en op naastgelegen rijstroken op de snelweg worden gedetecteerd. Dit is dus een voordeel van radar ten opzichte van laser. Omdat de golflengte van radar een stuk groter is dan van laser, heeft radar minder last van slechte weersomstandigheden. Bij toepassing van laser wordt licht zeer sterk gebundeld. Door gebruik te maken van bijvoorbeeld drie laser sensoren kan eveneens een breder 'gezichtsveld' worden verkregen.

De toepassing van beeldverwerkingssensoren, waarmee individuele voertuigen kunnen worden herkend, is nog toekomstmuziek, vanwege de zeer hoge kosten van een dergelijk systeem en de vereiste geheugencapaciteit van de computer.

Het probleem bij ACC-systemen is een juiste identificatie van objecten (gewenst is eigenlijk een soort streepjescode voor voertuigen).

In dit rapport wordt niet ingegaan op het aspect van elektronische vervuiling bij massale toepassing van radar- en lasersystemen in het wegverkeer.

2.2. Soorten ACC-systemen

ACC-systemen kunnen worden onderscheiden naar mate van automatisering van de handelingen die door de bestuurder moeten worden verricht. Bijvoorbeeld:

- Het systeem geeft alleen een waarschuwing aan de bestuurder, wanneer deze een voorligger te dicht of te snel nadert. Deze waarschuwing kan akoestisch, visueel of haptisch (bijvoorbeeld een zwaar werkend gaspedaal) worden gegeven. De bestuurder dient alle nodige handelingen zelf te verrichten.
- Het systeem knijpt de brandstoftoevoer af of schakelt terug. Voor dit laatste is een elektronisch geregelde automatische transmissie nodig. Wanneer remmen noodzakelijk is, dan dient de bestuurder dit zelf te doen.
- Het systeem stelt zo nodig de remmen in werking, waarbij de remvertraging begrensd wordt om te sterke remmanoeuvres te voorkomen. Zo nodig kan de bestuurder het systeem overrulen en zelf sterk remmen.

2.3. BASt (1998)

In het kader van het Europese project GADGET heeft de Bundesanstalt für Strassenwesen (BASt) op basis van de literatuur een evaluatie verricht van veiligheidsvoorzieningen in het voertuig. Één hoofdstuk is gewijd aan ACC. De belangrijkste informatie uit dit hoofdstuk wordt besproken in de *Paragrafen 2.3.1. tot en met 2.3.7.*

2.3.1. Interactieconcept

ACC wordt door de bestuurder in- en uitgeschakeld. Inschakelen gebeurt met een knop of schakelaar, waarna het systeem autonoom werkt. Uitschakelen gebeurt door het rempedaal in te trappen of een schakelaar om te zetten. Omdat de bestuurder verantwoordelijk blijft voor de besturing van de auto, krijgt hij informatie indien het systeem is ingeschakeld.

2.3.2. Technologie

Wanneer een gewenste snelheid wordt ingesteld, wordt deze snelheid in beginsel aangehouden; wanneer een langzamer rijdend voorliggend voertuig wordt gedetecteerd, wordt de snelheid hieraan aangepast. De detectie van een voorligger gebeurt met behulp van radar, laser of infraroodsensoren. De afstand tot voorligger(s) en het snelheidsverschil ten opzichte van de voorligger worden gemeten. Ook de auto vóór de voorligger kan worden gedetecteerd (in het BASt-rapport is niet aangegeven hoe). Ook de stuurhoek wordt gemeten.

Radar heeft een relatief brede bundel, waardoor ook naastliggende rijstroken kunnen worden bestreken. Radar is niet gevoelig voor slecht weer. Laser werkt een stuk nauwkeuriger, is eenvoudig in te bouwen vanwege de geringe omvang, maar heeft een beperkte reikwijdte en werkt - net als het menselijk oog - minder goede bij slechte zichtomstandigheden.

Cruciaal voor een ACC-systeem is dat de bestuurder op basis van de verkregen informatie een betrouwbaar beeld krijgt van de werkelijkheid. Ook is

noodzakelijk dat de informatie over bepaalde gebeurtenissen betrouwbaar is; bijvoorbeeld informatie over inhaal- en invoegmanoeuvres van andere voertuigen, waardoor binnen korte tijd de volgafstand ten opzichte van een voorligger verandert.

In het BAST-rapport worden systemen beschreven die in ontwikkeling zijn of reeds ontwikkeld zijn door MAN, Hella, BMW, Bosch, Mercedes-Benz en Porsche. Deze systemen verschillen onderling; bijvoorbeeld in type sensoren, waarnemingshoek, de mate van automatisering en het soort display waarop de bestuurder informatie kan aflezen verschillen. Of in de wijze waarop een waarschuwing wordt gegeven of de mate waarin automatisch wordt afgeremd.

MAN

Een cruise control, een radar-sensor, een detector, een stuurwielhoek-sensor, een regelsysteem dat de gastoevoer en het remmen beheerst en een display voor communicatie met de bestuurder, vormen de elementen van dit systeem. De radar-sensor meet de afstand tot een voorliggend object; samen met de stuurwielhoek en de rijsnelheid wordt de positie van het voorliggend voertuig afgeleid en wordt het snelheidsverschil bepaald. Met behulp van deze gegevens wordt de in te zetten regeltaktiek bepaald door regulatie van de gastoevoer en door te remmen met een maximale remvertraging van $2,5 \text{ m/sec}^2$. De ingestelde snelheid wordt vertoond op een display, alsook een gedetecteerd voorliggend voertuig. De volgafstand wordt automatisch geregeld door het systeem, waarbij diverse regelstrategieën mogelijk zijn, afhankelijk van de verkeerssituatie.

BMW AG (1997)

Active Cruise Control ACC van BMW is ontwikkeld in het kader van het PROMETHEUS-project. Dit systeem dat de snelheid en de volgafstand van het voertuig regelt, is bedoeld voor toepassing op de snelweg, ter ontlasting van de bestuurder. Een 'all-weather'-radar meet continu de volgtijd, de snelheid en de dwarspositie van het voorliggend voertuig (tot 120 meter afstand en hoek van ongeveer 5 graden). Ook het verkeer op de naastliggende rijstroken wordt hiermee gedetecteerd. Met behulp van toetsen aan het stuurwiel kan in stappen van 10 km/uur een gewenste snelheid worden ingesteld.

Het systeem kan:

- a. zelfstandig ingrijpen of
- b. de bestuurder waarschuwen door middel van een intelligent gaspedaal dat tegendruk levert, maar door de bestuurder 'overruled' kan worden.

Ad a. Uit de informatie over het voorliggende voertuig, in combinatie met informatie over de eigen snelheid wordt afgeleid welke snelheid het voertuig dient aan te houden. Is de weg voor het voertuig vrij, dan wordt de rijsnelheid aangehouden die is ingesteld. Is de weg niet vrij maar rijdt er een voertuig voor het betreffende voertuig en is de volgafstand te klein, dan wordt de snelheid teruggebracht, om deze vervolgens weer te laten toenemen zodra de weg vrij is. De aangehouden volgtijd is circa 1,8 sec. De bestuurder kan deze waarde naar wens zelf instellen (binnen wettelijk toegelaten grenzen).

Ad b. Ook wanneer de cruise control uitgeschakeld is, blijft de radar operationeel; het gaspedaal werkt zwaar indien de volgafstand te kort wordt en het snelheidsverschil te groot. De bestuurder kan het systeem echter te allen tijde overrulen, hij blijft verantwoordelijk voor de besturing van het voertuig.

Mercedes-Benz (1999), van Ginneken (1998)

Het ACC-systeem van Mercedes wordt ACC - DISTRONIC genoemd en zal binnen afzienbare tijd verkrijgbaar zijn in de duurere Mercedes-series. Mercedes heeft drie systemen geïntegreerd: een cruise control, een ACC en een variabele snelheidsbegrenzer VSB. Bij de cruise control wordt een ingestelde snelheid aangehouden, bij VSB kan een ingestelde snelheid niet worden overschreden en bij ACC wordt de ingestelde snelheid aangehouden mits er geen voorligger is, anders wordt de snelheid hieraan aangepast.

Van Mercedes-Benz is de volgende technische informatie ontvangen:

Bij druk verkeer is de cruise control (Tempomat) zelden te gebruiken.

De bestuurder zou de snelheid telkens moeten bijstellen of het systeem uitschakelen. DISTRONIC heeft achter de grille een radarsensor die een bereik heeft van 130 meter, die het verkeer vóór het voertuig bestrijkt. Dit systeem berekent de vereiste volgafstand. Nadert het voertuig een voorligger die langzamer rijdt, dan wordt met behulp van de motor afgeremd, door te remmen of terug te schakelen (bij een elektronisch geregelde automaat).

Het systeem kan ingesteld worden op snelheden tussen de 40 km/uur en 160 km/uur. Indien er geen voorligger aanwezig is, werkt het systeem als een gewone cruise control.

Mercedes stelt dat het systeem geen veiligheidssysteem is maar dat het dient ter verhoging van het comfort; de bestuurder dient in voorkomende situaties zelf te remmen.

In het DISTRONIC-systeem is de variabele snelheidsbegrenzer geïntegreerd. Het omschakelen tussen de twee functies gebeurt door een druk op de knop 'Tempomat variabel'. De variabele snelheidsbegrenzer - in te stellen tussen 10 en 250 km/uur - belemmert het sneller rijden dan de ingestelde snelheid door indien nodig de remmen in werking te stellen.

Bij het plotseling verschijnen van een voorligger (bijvoorbeeld door een rijstrookwisseling) tracht DISTRONIC regelend op te treden. De remvertraging wordt uit veiligheidsoverwegingen op maximaal 2m/sec^2 (20% van het remvermogen) ingesteld. Wordt een grotere vertraging vereist, dan krijgt de bestuurder een waarschuwingssignaal te horen, dat hij dient in te grijpen en dus zelf dient te remmen.

Een ander geluidssignaal treedt in werking, indien DISTRONIC vanwege een storing buiten werking is of de snelheid buiten het bereik van 40 tot 160 km/uur is geraakt (uitschakelsignaal). Het instelbereik van de volgafstand kan worden afgesteld tussen 0,28 tot 0,56 maal de rijnsnelheid. Dus bij een snelheid van 100 km/uur ligt het instelbereik van de volgafstand tussen de 28 en 56 meter.

Bij een uitgeschakelde DISTRONIC blijft de afstandsmeter functioneren. Bij een te korte volgafstand wordt de bestuurder gewaarschuwd door middel van een optisch signaal op een display en een waarschuwingstoon. Het akoestische signaal kan worden uitgeschakeld.

Van Ginneken (1998) meldt dat behalve Mercedes-Benz ook Fiat binnenkort een ACC-systeem zal introduceren; daarbij wordt gebruik gemaakt van een lasersysteem. Van Ginneken verwacht in de toekomst nog betere

resultaten van een gecombineerde toepassing van radar (voor observatie veraf) en laser (voor dichtbij), waarbij het systeem dan ook in druk en stadsverkeer gebruikt kan worden¹.

2.3.3. *Verwachte effecten*

De BAST verwijst naar Langwieder et al (1998). Zij hebben een ongevalanalyse verricht op verschillende typen weg in Duitsland en in het bijzonder gekeken naar kop/staart-ongevallen. De onderzoekers raamden op basis van de ongevalsanalyse dat de eerste generatie ACC (voor de veiligheid in positieve zin), *invloed zal hebben* op het uiteindelijk gevolg van 40% van alle kop/staart-ongevallen op de lagere-orde-wegen buiten de kom en op 60% van deze ongevallen op de snelweg. Z zijn er daarbij vanuit gegaan dat

- stilstaande objecten niet kunnen worden gedetecteerd;
- snelheden van voorliggende voertuigen waartegen is gebotst boven de 40 km/uur lagen;
- alle voertuigen van ACC zijn voorzien en
- het ACC-systeem naar behoren werkt.

Deze percentages geven dus niet de grootte van de reductie in kop/staart-ongevallen weer, maar geven een bovengrens aan. Bij deze ongevalanalyse dienen kanttekeningen te worden geplaatst, omdat gegevens over rijnsnelheden vlak voor een ongeval niet betrouwbaar zijn vastgesteld.

Omdat in de eerstvolgende jaren alleen nieuwe duurdere voertuigen van ACC-systemen zullen zijn voorzien en kop/staart-ongevallen slechts in beperkte mate kunnen worden voorkomen, zal het systeem naar verwachting slechts effect kunnen hebben op een gering percentage van alle ongevallen op de snelweg en op de lagere-orde-weg buiten de kom. Om een idee te geven van de totale omvang van slachtoffers bij kop/staart-ongevallen: in Nederland vielen in 1997 bij dergelijke ongevallen 140 doden en werden 2.120 mensen in het ziekenhuis opgenomen.

2.3.4. *Evaluatiestudies*

De BAST verwijst naar Doriszen et al (1996). TÜV Rheinland heeft praktijkproeven verricht met een Autonomous Intelligent Cruise Control (AICC). Niet vermeld is om welke soort AICC het gaat. Bij deze proeven zijn van het longitudinale gedrag van de voertuigen video-opnamen gemaakt tijdens het rijden en zijn de bestuurders naar hun meningen over het systeem gevraagd. De auteurs concludeerden dat bestuurders veilig met het systeem konden omgaan, het comfort voor de bestuurders en de veiligheid in het verkeer namen toe.

Negatieve resultaten waren: in het bijzonder lichte voertuigen, zoals motoren werden te laat herkend en gedetecteerd. In bochten bleek detectie van voertuigen een probleem en traden vals-alarmen op. Ook detectie van voertuigen op nabij gelegen rijstroken was een probleem.

¹ In Japan wordt Adaptive Cruise Control door Nissan geïntroduceerd in het model 41LV-Z. De sensor is een millimeter-golf-radar. Het systeem remt zo nodig automatisch af en de bestuurder kan het systeem overrulen (www.itsa.org).

Velen hadden een positieve mening over het AICC-systeem en zouden het graag willen hebben in hun volgende auto, afhankelijk van prijs van het systeem en het aantal kilometers dat ze per jaar rijden.

De acceptatie van het systeem bleek onder andere afhankelijk van de toegepaste sensor, naar aangenomen mag worden vanwege de betrouwbaarheid.

De BAST refereert naar Chaloupka et al (1998). Zij rapporteren als volgt over 94 rijproeven met en observaties van AICC.

De resultaten van deze proeven met AICC-systemen zijn:

- om geen voorliggers te hebben, veranderen bestuurders van rijstrook; ze halen niet meer in;
- in het verkeer zijn ze minder coöperatief;
- bestuurders houden minder rekening met voetgangers: ze remmen minder, de veiligheid vermindert;
- de gereden snelheden zijn homogener; in sommige situaties wordt een hogere snelheid aangehouden dan gewenst.
- het houden van afstand is verbeterd, waardoor er minder vaak wordt geremd om de juiste afstand aan te houden.

Op stedelijke wegen waar langzaam wordt gereden en op snelwegen ontstaan minder kritische situaties met betrekking tot de volgafstand en de snelheid.

Wel neemt de kans op kritische situaties toe, bij rijstrookwisselingen en bij interactie met andere verkeersdeelnemers op kruisingen en voorrangssituaties.

Een enquête onder de bestuurders, die aan de rijproeven deelnamen liet de volgende resultaten zien:

- 50% van de respondenten vindt AICC zinvol;
- volgens een groot aantal respondenten reageert het systeem te laat;
- het systeem reageert onvoorspelbaar: soms blijft een verwachte reactie uit;
- soms reageert het systeem verkeerd, bijvoorbeeld in bochten en ten opzichte van voertuigen op nabijgelegen stroken;
- bijna 50% verliest het plezier in het rijden door het systeem; 15-25% wordt nerveus van het feed-back-systeem;
- 50% zegt dat de aandacht gedurende een korte tijd van het verkeer wordt afgeleid door het feed-back-systeem;
- meer dan tweederde zegt het systeem te willen hebben in hun auto;
- bijna de helft wil de mogelijkheid hebben het systeem te kunnen uitschakelen;
- 43-46% wil het systeem alleen hebben als het perfect veilig werkt;
- tweederde denkt (met AICC) langzamer te rijden dan normaal.

Respondenten gaven de volgende ongewenste effecten aan:

- men vertrouwt erop gewaarschuwd te worden bij een kritische situatie;
- men verliest bepaalde vaardigheden, waardoor er gevaar kan ontstaan bij disfunctioneren van het systeem;
- waarschuwingssignalen kunnen de bestuurder verwarren of voor een overload aan informatie zorgen;

- autorijden gaat eerder vervelen en men wordt sneller moe; de aandacht verslapt.

De volgende gedragsveranderingen werden waargenomen:

Positief:

- een belangrijke aanpassing met betrekking tot een veilige volgafstand;
- aanpassing van de snelheid;
- harmonisatie van de snelheid;

Negatief:

- een grotere veilige volgafstand leidt tot invoegen van andere voertuigen, dus meer conflicten door strookwisselingen;
- problemen het rijden te vervolgen, bijvoorbeeld wanneer iemand mentaal is ingesteld op het volgen van een voorligger;
- problemen bij de interactie met zwakkere verkeersdeelnemers, vooral waar het laagste automatiseringsniveau is ingesteld;

2.3.5. Videoanalyse

De BAST verwijst naar Robinson et al (1998). Zij hebben video-opnamen gemaakt van het rijgedrag bij het gebruik van ACC, ten behoeve van een veiligheidsevaluatie (volgafstand en veranderingen daarin). De video-analyse werd gebruikt om de rij-scenario's, de volgafstanden en de reactietijd van de bestuurders tijdens de testrit te registreren. De resultaten van de analyse zijn niet beschikbaar.

De BAST verwijst naar Färber et al (1998). Zij hebben video-analyses verricht van het gedrag van bestuurders op stedelijke en autosnelwegen (in het kader van het EU-project MOTIV). Het doel was minimumeisen te formuleren en testcriteria vast te stellen voor ACC-systemen. De resultaten van de analyse zijn niet beschikbaar.

2.3.6. Acceptatie van ACC-systemen

BAST verwijst naar Grimmer et al (1995). Zij zijn de mate van acceptatie van ACC-systemen nagegaan door middel van een enquête. In dit geval ging het niet om een gedragsevaluatie; door middel van scenario's werd aan de proefpersonen (1.074) uitgelegd hoe het systeem werkte.

- driekwart van de proefpersonen reageerden positief, onder de voorwaarde dat het systeem technisch goed werkt;
- een even groot deel had twijfels over de betrouwbaarheid van het systeem;
- 48% zei zo'n systeem heel weinig te gebruiken wanneer het in hun auto aanwezig zou zijn;
- 86% achtte een schakelaar waarmee het systeem kan worden uitgeschakeld van groot belang;
- bijna de helft zei zich in het verkeer niet veilig te voelen met zo'n systeem.

2.3.7. *Conclusies BAST-rapport*

Het probleem bij de genoemde evaluatieonderzoeken is dat er een grote variatie is in de technische en operationele uitvoering van ACC-systemen. Kleine verschillen in uitvoering kunnen grote verschillen betekenen voor de veiligheid. Dit betekent dat in een evaluatieonderzoek exact de systeemparameters aangegeven dienen te worden, teneinde te weten welk systeem er precies geëvalueerd is, maar ook om de studies onderling te kunnen vergelijken. Tenzij precies bekend is hoe het systeem is ingericht, wordt een vergelijking van de resultaten van de diverse onderzoeken problematisch.

Uit de evaluatiestudies die in het BAST-rapport beschreven zijn, kunnen dan ook geen eenduidige conclusies getrokken worden. Ook de gedragsstudies die in het rapport beschreven zijn laten een grote variatie aan resultaten zien.

2.4. **Braess et al. (1995a & b)**

In deze artikelen wordt een overzicht gegeven van het PROMETHEUS-project (1987-1994): de opzet, de organisatie en projecten worden beschreven en kritisch geëvalueerd. Volgens de auteurs was de Autonomous Intelligent Cruise Control AICC een systeem (toe te passen op de snelweg) dat als een van de uitmuntende resultaten van PROMETHEUS beschouwd kan worden. Onderstaand artikel (*Paragraaf 2.5.*) is een vervolg op dit artikel.

2.5. **Doriszen et al. (1996), BAST (1998)**

De Autonomous Intelligent Cruise Control AICC, onderdeel van PROMETHEUS, werd als een van de veelbelovende systemen voor de toekomst beschouwd. In een artikel van Doriszen et al. (1996) wordt een beschouwing gewijd aan het AICC-systeem van Hella, waarbij gebruik wordt gemaakt van een laser-sensor. Op basis van ongevalgegevens op de Duitse snelwegen, werd afgeleid dat ongeveer 60% van alle kop/staart-ongevallen voorkomen hadden kunnen worden indien de bestuurder 0,5 seconde eerder had gereageerd.

In het artikel wordt ingegaan op algemene feedback mogelijkheden. Daarbij worden vier soorten afstandswaarschuwings- en regel-systemen onderscheiden:

1. Waarschuwingssysteem

Dit systeem geeft alleen een waarschuwing aan de bestuurder (akoestisch en/of haptisch) bij een te korte volgafstand. Een hoge mate van betrouwbaarheid is nodig - een hoge trefkans (dit betekent een grote kans op waarschuwing door het systeem bij een te geringe volgafstand) en een kleine kans op vals alarm - anders wordt het systeem door de bestuurder buiten werking gesteld. Een hoge betrouwbaarheid betekent waarschijnlijk ook dat de kosten van een dergelijk systeem hoog zijn. De kans wordt klein geacht dat dit systeem op korte termijn zal worden toegepast.

2. Haptisch gaspedaal

De bestuurder krijgt door middel van tegenkracht in het gaspedaal informatie dat de volgtijd te kort is. Hij kan deze tegenkracht echter teniet doen

door met meer kracht het gaspedaal in te drukken. Ook hier gaat het om een waarschuwingssysteem - met beperkt nut - omdat de bestuurder zelf het gaspedaal moet bedienen.

Deze eerste twee besproken systemen zijn enkele waarschuwingssystemen (zonder cruise control).

3. *Autonomous Intelligent Cruise Control AICC*

Bij dit systeem wordt de rijsnelheid (de gewenste snelheid die door de bestuurder wordt ingesteld) afhankelijk gesteld van de afstand tot een voorligger. Afremmen gebeurt door het systeem door gas terug te nemen en zo nodig terug te schakelen (bij een elektronisch gestuurde automatische transmissie. Dit systeem beoogt *niet* om botsingen te voorkomen.

4. *Stop and go/anti-botssysteem*

De eisen die aan een dergelijk systeem worden gesteld zijn veel hoger dan bij het voorgaande systeem. Dit systeem zal pas op langere termijn in de praktijk realiseerbaar zijn.

In het artikel worden drie mogelijke *volgsituaties* geschetst waarbij gebruik wordt gemaakt van het AICC-systeem:

1. De snelheid van de voorligger is hoger dan van het voertuig met AICC: het systeem werkt als een gewone cruise control, de ingestelde snelheid wordt aangehouden.
2. De snelheid van de voorligger is lager dan van het voertuig met AICC. Bij een reikwijdte van de sensor van 150 meter, kan een snelheidsverschil van maximaal 40 km/uur door middel van gasafname worden opgevangen. Indien het systeem de terugschakelt kunnen grotere snelheidsverschillen worden verwerkt (tot 60 km/uur). Het automatisch in werking stellen van de remmen stelt zware eisen aan het systeem; verwacht wordt dat dit systeem pas in een latere fase realiseerbaar is.
3. Met constante snelheid achter een voorligger rijden.

Het reduceren van de snelheid kan op verschillende manieren gebeuren:

- gas terugnemen en terugschakelen;
- indien een grotere remvertraging nodig is, kan het systeem de rem in werking stellen;
- automatisch remmen indien de bestuurder aan het rempedaal komt, de remkracht wordt door het systeem bepaald;
- de remkrachten van het systeem en van de bestuurder worden bij elkaar opgeteld;
- de remkracht van de bestuurder wordt alleen bij die van het systeem opgeteld, indien de bestuurder harder remt dan het systeem.

In Duitsland wordt door de politie de regel gehanteerd dat de volgafstand in meters minimaal 50% van de snelheid in kilometers dient te zijn. Dus bij een snelheid van 120 km/uur mag de volgafstand niet minder dan 60 meter bedragen. Praktijkproeven laten zien dat een percentage van 40% (in plaats van 50%) realiseerbaar is; dit correspondeert met een volgtijd van 1,44 sec, of een minimale volgafstand van $d \text{ (m)} = 0,4 \text{ maal } v \text{ (km/uur)}$. Proeven in de praktijk met snelheden tot 170 km/uur, werden door bestuurders ten aanzien van versnellings- en volgedrag als 'aangenaam en ont-

spannend' ervaren. Kleine voertuigen zoals motoren werden soms te laat gedetecteerd en in bochten kon verlies van detectie van een voorligger optreden.

Human-Machine Interface

In het artikel wordt ook ingegaan op de gebruiksvriendelijkheid van AICC-systemen. In het algemeen kan gesteld worden dat het display en de bedieningsorganen afgestemd dienen te zijn op de bestuurder.

Het display dient de volgende informatie te geven:

- ingestelde snelheid;
- informatie over relevante doelen;
- informatie over de status van het systeem (aan of uit).

Het display zou onderdeel uit kunnen maken van de snelheidsmeter of als aan apart display worden uitgevoerd. Ook kan de informatie via een head-up-display worden getoond (projectie op de voorruit). De plaats van het display is van groot belang; de bestuurder moet immers de informatie tot zich kunnen nemen zonder zijn blik van de weg af te moeten nemen.

De instelling van de gewenste snelheid kan door middel van de reeds voorhanden schakelaar voor cruise control worden verricht. Via tiptoetsen kan de instelsnelheid in stappen van 10 km/uur worden verhoogd of verlaagd; bij cruise control dient eerst een bepaalde snelheid te worden gereden alvorens deze kan worden ingesteld. Uitschakelen van de afstandregeling waarbij de normale cruise control in werking is, is bij dit systeem mogelijk.

Afstandsensoren

In beginsel zijn er drie systemen mogelijk om de afstand tot de voorligger te bepalen: radar, laser en door middel van een beeldverwerkingssysteem.

1. Radar

Het voordeel van dit systeem is dat het niet gevoelig is voor vuil, regen en mist. De snelheidsmeting geschiedt door een Doppler-effectmeting, waarmee ook stilstaande objecten kunnen worden gemeten. Door diverse radarbundels toe te passen of de bundel te laten scannen kan een voorligger ook in bochten worden gevolgd. Dit systeem is reeds ontwikkeld en klaar voor toepassing in de praktijk.

2. Infrarood laser

De afstand tot de voorligger wordt met behulp van laser bepaald. Dit systeem is gevoelig voor regen en mist en bij inbouw in de auto mag het niet afgedekt worden door carrosseriedelen. Inbouw achter de achteruitkijkspiegel of in de koplampenheid is een mogelijke oplossing. Het systeem is ontwikkeld en klaar voor toepassing in de praktijk.

3. Beeldverwerkingssysteem

Met behulp van een CCD camera wordt de situatie voor het voertuig opgenomen. Door middel van patroonherkenningstechnieken kunnen voorliggende voertuigen worden gedetecteerd en kunnen de afstand en het snelheidsverschil worden bepaald. Dit systeem bevindt zich nog in een ontwikkelingsfase. De kosten zijn vooralsnog zeer hoog.

2.6. Sayer (1996)

Dit korte artikel behandelt - naar aanleiding van een onderzoek naar standaardisatie van de operationele kenmerken van Intelligent Cruise Control ICC - een aantal nog op te lossen kwesties met betrekking tot ICC, en werpt eerder vragen op dan dat antwoorden worden gegeven, zoals:

- dient ICC automatisch in werking te worden gesteld of handmatig?
- dient het initiëren van de volg-modus te worden gestandaardiseerd?
- dienen de remmen zo nodig automatisch in werking te worden gesteld?
- in de toekomst wordt ICC waarschijnlijk gekoppeld aan andere elektronische voertuigbeheerssystemen zoals een anti-botsysteem. Waar eindigt ICC en waar beginnen forward collision avoidance systems (FCAS) of forward collision warning systems (FCWS)?

Punten die volgens de auteur aandacht vragen:

- bestuurders dienen niet in verwarring te worden gebracht over de op een zeker moment in werking zijnde modus: ACC of FCAS;
- is het nodig bestuurders te trainen, mede in verband met de overstap van het ene voertuig of systeem naar het andere?
- is het gebruik van autogordels een vereiste (om niet van de stoel te glijden bij sterke vertragingen als gevolg van sterk remmen)?
- wanneer de bestuurder zijn voeten ver van het rem- en gaspedaal plaatst, zal het hem meer tijd kosten om in te grijpen, indien dat nodig is. Dit kan worden opgevangen door de volgafstand afhankelijk te maken van de plaats van de voeten;
- dient de volgafstand vast of handmatig instelbaar te zijn door de bestuurder? Op basis van enquêteonderzoek wordt een instelbare volgafstand met een minimumwaarde aanbevolen; bijvoorbeeld drie standen tussen 1 en 2 seconden.

2.7. Geduld (1997)

Dit artikel behandelt twee op elkaar lijkende systemen - ACC en een anti-botsysteem of Collision Avoidance (CA) - die een verschillende achtergrondfilosofie en verschillende veiligheidseffect hebben.

ACC regelt de ingestelde snelheid afhankelijk van de afstand tot een voorligger (niet onder congestie-omstandigheden), waarbij de omschakeling van snelheids- naar afstandsregeling en de longitudinale positie van een voertuig ten opzichte van een voorligger (deels) geautomatiseerd wordt. Dit systeem werkt gedurende een groot deel van de tijd, waardoor ervaring kan worden opgedaan met het systeem. De bestuurder leert ervan. De rijtaak wordt verlicht en het comfort voor de bestuurder wordt verhoogd. De remvertraging bij automatisch remmen is beperkt.

Omdat de bestuurder toezicht houdt op en verantwoordelijk blijft voor het uiteindelijk gedrag van het voertuig - daar het systeem niet vol automatisch werkt- zijn de kosten beperkt.

Het anti-botsysteem (AC), beoogt een botsing te voorkomen respectievelijk de consequenties hiervan te minimaliseren. Laterale en longitudinale regeling wordt door het systeem bij kritische omstandigheden verricht, buiten de bestuurder om. Plotseling ingrijpen door het systeem interfereert met de rijtaak die de bestuurder uitvoert. Dit ingrijpen gebeurt

pas op het laatste moment en daardoor is er weinig gelegenheid tot lering voor de bestuurder. Immers de bestuurder zal in het algemeen niet veel bijna-botsingen meemaken en dus weinig ervaring opdoen met de werking van het systeem. Het totale systeem dient feilloos te werken; het dient een zeer hoge trefkans en zeer kleine kans op vals alarm te hebben. Waarschijnlijk zijn de kosten van een dergelijk systeem hoog. Er dient rekening gehouden te worden met risicocompensatie: de kans bestaat dat de bestuurder te veel gaat vertrouwen op het systeem (vergelijk ABS), waardoor de onveiligheid kan worden vergroot.

	ACC	Anti-botssysteem (CA)
Verantwoordelijkheid bestuurder	zeer hoog	geen
Verantwoordelijkheid systeem	gering	uitsluitend
Complexiteit van het systeem	gering	zeer hoog
Vereisten aan de sensor	gering	nog niet aan te geven
Interferentie met menselijke factoren	gering	complex
Mogelijkheid tot realisatie	in productie sinds 1995	niet voor 2020

Tabel 1. *Verschillen tussen ACC en CA*

2.8. Scott (1997)

Dit artikel behandelt de vereisten die gesteld kunnen worden aan een ACC-systeem gezien vanuit Human Factors (HF). Bestuurders zullen de komende jaren meer en meer worden geconfronteerd met nieuwe, complexe elektronische systemen in de auto. Dit kan problemen opleveren wanneer de bestuurders niet over voldoende kennis en vaardigheden beschikken om er goed mee om te kunnen gaan.

Problemen die zouden kunnen optreden zijn:

- begrijpen bestuurders hoe het systeem werkt?
- begrijpen bestuurders wat het systeem op een bepaald moment doet?
Op elk moment dient het de bestuurder duidelijk te zijn of het systeem in- of uitgeschakeld staat, of dat het onklaar is, of de kruissnelheid wordt aangehouden met cruise control (kruismodus), dan wel dat een voorligger wordt gevolgd (volgmodus), wat de ingestelde snelheid is (bij systemen die automatisch van de volg- naar kruismodus schakelen).
- in welke mate is standaardisatie nodig, uit oogpunt van consistentie in werking en verwachting?

Bedieningselementen, knoppen, symbolen, signalen en geluiden dienen eenduidig begrepen te worden. De bestuurder dient te weten wanneer het systeem wel en wanneer niet in werking is. Indien de mate van snelheidsafname niet voldoende is dient de bestuurder gewaarschuwd te worden. Ook is het van belang de ingestelde snelheid zichtbaar te maken,

aangezien de bestuurder deze vergeten kan zijn, en ter eventuele correctie wanneer deze instelling niet meer adequaat is.

Informatie aan de bestuurder dient eenduidig te zijn en eenvoudig te begrijpen, zodat een zo kort mogelijke responstijd wordt gegarandeerd. Op basis hiervan kunnen de systeemgrenzen worden afgeleid. Nader onderzoek is nodig om te bepalen op welke wijze de informatie het meest effectief kan worden overgebracht: visueel, auditief en/of haptisch/kinestetisch.

ACC systemen kennen een beperking van de remvertraging, met andere woorden er wordt niet krachtig geremd. De maximale vertraging is 0,2g. Gas loslaten geeft een vertraging van circa 0,1g en één stap terugschakelen 0,2g; dit laatste is ongeveer 20 tot 30% van de maximale remvertraging op een droge weg die 0,8g bedraagt. De maximale remvertraging van 0,2g is voldoende om een veilige volgafstand aan te houden, maar niet om een botsing te voorkomen als de voorligger maximaal remt of stilstaat. ACC zal (wanneer een veilige volgafstand wordt aangehouden) bijna zeker het aantal kop/staart-aanrijdingen en de ernst hiervan doen verminderen.

Onderzoek door autofabrikanten geeft aan dat het achteropkomende voertuig informatie dient te krijgen via oplichtende remlichten van zijn voorligger wanneer deze vaart mindert met een vertraging die groter is dan 0,07 g; vertragingen minder dan 0,05g hoeven niet aan het achteropkomend verkeer te worden getoond. Dit zou een aanpassing van het huidige systeem van remlichten met zich meebrengen.

Aanbevolen wordt de volgende operationele kenmerken van ACC-systemen te standaardiseren:

- de maximaal in te stellen snelheid;
- de maximum-remcapaciteit, zodat de maximale remvertraging gelijk is voor verschillende systemen;
- de minimumsnelheid, zodat bij stadsverkeer waar voetgangers gevaar lopen het systeem niet kan worden ingeschakeld (dit betekent dat de minimumsnelheid zodanig hoog zou moeten zijn dat het systeem bij druk stadsverkeer niet gebruikt kan worden).
- een minimum instelbare volgtijd, zodat het systeem niet wordt gebruikt om met (te) korte volgtijd een voorligger te volgen bij hoge snelheid. Gedacht wordt aan 1,2 seconden.
- vals alarm; Vals alarm zal niet te voorkomen zijn, gegeven de huidige stand van de techniek. Zo kan het zijn dat constructies langs de weg in een bocht gedetecteerd worden als 'te dichtbij', en dat het systeem alarm slaat, terwijl dit voor de bestuurder als onlogisch overkomt. Ook kan het gebeuren dat het systeem in een bocht op het ene moment de voorligger detecteert en op het volgende moment een voertuig op een aangrenzende rijstrook detecteert. Welk vals-alarm-niveau geaccepteerd wordt door de bestuurder is momenteel niet bekend, daarom is het wellicht raadzaam te wachten met standaardisatie op dit terrein.

Door ACC-systemen te standaardiseren wordt voorkomen dat bestuurders bij overstap naar een ander voertuig van een ander merk of type worden

geconfronteerd met andere ACC karakteristieken, zoals remvertraging et cetera.

Educatie van bestuurders over mogelijkheden, beperkingen en onmogelijkheden van ACC is gewenst. Veel bestuurders lezen het instructieboek niet, dat met de nieuwe technieken steeds complexer wordt.

Om geen valse verwachtingen te scheppen dient duidelijk te worden gemaakt aan de bestuurder dat ACC geen anti-bots-systeem is.

2.9. **Risser & Lehner (1997)**

Zij onderzochten de verkeersveiligheids-implicaties van ACC voor het overig verkeer, ook voor de kwetsbare verkeersdeelnemers. Ze maakten daarbij gebruik van een verkeersveiligheidschecklist (Gnavi et al, 1995) en van observaties die in het voertuig gedaan werden.

De studie beoogt onder meer met behulp van de literatuur na te gaan wat de mogelijke motieven voor gedragsveranderingen zijn als gevolg van de toepassing van nieuwe technieken. Op basis hiervan kunnen suggesties worden gedaan ten aanzien van mogelijke consequenties van adaptatieprocessen (positieve en negatieve) voor het hele verkeer (ook voor de kwetsbare verkeersdeelnemers). Aanbevelingen kunnen worden gegeven ten aanzien van het gebruik van die nieuwe technieken vóór invoering ervan.

Nagegaan werd of er veranderingen waren in de bereidheid bij de bestuurder - en op welke wijze - om te communiceren met andere weggebruikers. Met name werd gelet op de communicatie met de kwetsbare groepen.

De veiligheidschecklist kan gezien worden als ex-ante evaluatie van het effect van nieuwe systemen op het rijgedrag; het kan tevens gezien worden als een prognose-instrument.

Op basis van de checklist werden hypothesen geformuleerd ten aanzien van het effect van ACC op de verkeersveiligheid. Deze hypothesen werden besproken in 'round table meetings', waaraan onderzoekers uit drie landen deelnamen. Dit werd gedaan om een beter begrip te krijgen van adaptatieprocessen in een sociale context.

Vervolgens werden deze hypothesen getoetst door middel van observaties in de auto tijdens gestandaardiseerde ritten. Door middel van een vragenlijst werd onderscheid gemaakt naar attitude-typen. Na de rit werd door iedere proefpersoon een vragenformulier ingevuld, waaruit de attitude-typen konden worden afgeleid. De hypothese was dat een verschil in attitude tot een verschil in gedrag zal leiden.

Tijdens de ritten werden verschillende condities getest:

- zonder ACC;
- licht geautomatiseerde ACC: versnellingen worden door de bestuurder verricht. Een tegendruk van het gaspedaal duidt op bereiken van de instelsnelheid en/of instelafstand tot voorligger;
- sterk geautomatiseerde ACC: acceleratie en deceleratie gebeurt automatisch gegeven een ingestelde wenssnelheid en volgtijd of volgafstand. Bij remmen wordt het systeem uitgeschakeld.

Door middel van observaties in het voertuig werd nagegaan welk gedrag potentieel tot een ongeval zou kunnen leiden. Een observator noteerde alle gedragingen zoals remmen, richting aangeven, etc. die in gestandaardiseerde vorm op formulieren waren vastgelegd. Een tweede observator noteerde andere gedragingen die niet gestandaardiseerd konden worden, zoals uitwijkmanoeuvres ter voorkoming van een ongeval, gevaarlijk gedrag, en communicatieprocessen tussen de bestuurder en overige verkeersdeelnemers.

Uit de observaties konden de volgende conclusies worden afgeleid:

- wanneer de vrijheid van de bestuurder door het systeem beperkt wordt, mogen negatieve emoties worden verwacht; hiermee worden voorwaarden geschapen voor onaangepast gedrag (een relatie met onveiligheid is niet vermeld).
- wanneer de keuzevrijheid vergroot wordt door het systeem, dan zullen andere behoeften worden vervuld, en andere activiteiten worden verricht.
- een verandering in communicatie vond plaats; zoals een afname van de frequentie van communicatie met andere weggebruikers ter verduidelijking van situaties;
- de frequentie van safety checks ten aanzien van kwetsbare weggebruikers nam af; er werden geen voorbeelden gegeven.

Het effect van het systeem is afhankelijk van het feit of de bestuurder zich bewust is van bepaalde verkeersproblemen., zoals een te hoge snelheid bij druk verkeer.

2.10. Hayashi et al. (1997)

De auteurs, werknemers van een Japanse autofabrikant, behandelen het belang van Human Machine Interface (HMI) in auto's en de resultaten van een gebruikersenquête over HMI.

Ze stellen dat effecten van intelligente cruise control systemen (ICC) op de veiligheid onvoldoende gekwantificeerd zijn. Ze beogen de betrouwbaarheid en de veiligheid van ICC te kwantificeren. Daarvoor gebruiken ze een zogenaamd 'reliability analysis model' van HMI systeem. Op basis van dit model werden de vereiste kenmerken van ICC ten behoeve van de veiligheid afgeleid.

Ze kwamen tot de volgende conclusies:

- ICC dient zonder additionele vaardigheden te kunnen worden toegepast en bediend.
- de bestuurder dient duidelijke informatie te krijgen over de modus waarin het systeem zich bevindt.
- het systeem dient te allen tijde overruled te kunnen worden door de bestuurder.
- in noodsituaties dient er voldoende tijd te zijn voor de bestuurder om op die noodsituatie te reageren.

Er werd niet aangegeven op welke wijze de implementatie technisch dient te worden verricht.

In 1995 is het ICC-systeem door de fabrikant op de markt gebracht onder de naam Preview Distance Control (PDC). Een voorliggend voertuig wordt herkend door middel van een camera (CCD) die achter de achteruitkijkspiegel is gemonteerd in combinatie met een laser die in de voorbumper is

geplaatst. Een afname van snelheid wordt bereikt door het verminderen van de brandstof toevoer en zo nodig door terugschakelen van de automatische transmissie. Overrulen van het systeem gebeurt door gas geven of remmen zoals bij een gewone cruise control. De modus waarin het systeem opereert wordt op een display weergegeven. De minimale volgtijd is op 2 seconden afgesteld. Bij een geringere volgtijd, bijvoorbeeld veroorzaakt doordat de voorligger sterk remt of door een invoegende voorligger, wordt de bestuurder door middel van een geluidssignaal gemaand te remmen. Uit een enquête onder gebruikers bleek dat zij het systeem zowel in de stad als daarbuiten gebruikten. De minimum-instelling van de volgtijd van 2 seconden wordt als acceptabel ervaren; 30% echter vindt deze te lang. Deze 2 seconden brengt een verlaging van de doorstroming met zich mee, aangezien in Japan de gemiddelde volgtijd op de snelweg 1,5 seconde is. In het algemeen geldt dat voor een lagere instelling van de volgtijd, de remmen ook automatisch in werking moeten kunnen worden gesteld met een vertraging van 2,5 m/s². Dit wordt een acceptabele vertraging geacht. De bestuurder kan zo nodig de vertraging sterk doen toenemen door zelf sterk te remmen. Bij een gebruiksonvriendelijke HMI of een overmatig vertrouwen op het systeem kunnen de voordelen ten aanzien van comfort en veiligheid van een intelligente cruise control gemakkelijk teniet worden gedaan. Een eerste vereiste is echter de betrouwbaarheid van het systeem te verhogen.

2.11. Kopf et al. (1997)

In dit onderzoek werden drie versies van ACC beproefd. De verschillen tussen de versies betroffen de maximum-remvertragingen en de volgtijd-instellingen. Het doel was na te gaan welke mogelijke problemen op zouden treden als gevolg van verschillen in het verwachtingspatroon van de bestuurder over ACC en hetgeen ACC in werkelijkheid doet.

De kenmerken van de drie beproefde versies zijn:

1. soft: een maximum-remvertraging van 0,5 m/s² en een volgtijd van 2,1 seconden.
2. medium: een maximum-remvertraging van 1,0 m/s² en een volgtijd van 1,8 seconden.
3. hard: een maximum-remvertraging van 3,0 m/s² en een volgtijd van 1,5 seconden.

Drie groepen proefpersonen deden aan de test mee. Hun rijgedrag werd voorafgaand aan het experiment geclassificeerd: als voorzichtig, gewoon of sportief.

De volgende 'natuurlijke' combinaties werden in het experiment getest:

- het softe systeem met de voorzichtige rijder,
- het medium systeem met de gewone rijder en
- het harde systeem met de sportieve rijder.

Het voertuig dat voor het voertuig met de proefpersonen reed, reed volgens vastgestelde instructies.

Er werd gekeken naar de remfrequentie van de volgauto. Bij de softe instelling werd het meest frequent geremd door de bestuurder van de volgauto, terwijl bij de harde instelling het systeem op tijd remde. Bij de medium instelling werd in 50% van de gevallen geremd door de bestuurder, dit betekent dat onder deze conditie het nemen van een beslissing het moeilijkst was, de werkbelasting was dan het grootst.

Het bleek echter dat de remfrequentie na een leerperiode afnam en dat het vertrouwen in het systeem toenam. Het is van belang dat het leerproces zo kort mogelijk is.

Aanbevolen werd de voorspelbaarheid van ACC te vergroten door informatie terug te koppelen aan de bestuurder, bijvoorbeeld door het laten klinken van een akoestisch signaal wanneer het systeem een object herkent. De bestuurder weet dan dat het systeem spoedig sterk gaat afremmen.

2.12. Fancher et al. (1998)

Dit onderzoek doet verslag van een experiment waarbij ACC in de praktijk werd beproefd door 108 bestuurders; er waren tien identieke voertuigen met ACC uitgerust. De bestuurders bereiden de voertuigen gedurende 2 of 5 weken. Er werd onderscheid gemaakt naar drie leeftijdsklassen en naar bestuurders die wel en niet beschikten over cruise control in hun eigen voertuig.

Het werkt noodzakelijk geacht dat de bestuurder te allen tijde weet wat de status van het ACC systeem is: of het in- of uitgeschakeld is, wat de instelsnelheid en - volgtijd is, en ook of er een voorligger is gedetecteerd, en of het systeem eventueel gaat afremmen, of de remvertraging voldoende is en of remmen door de bestuurder nodig is. Ook informatie over eventuele slecht-zichtomstandigheden, waardoor het systeem niet (optimaal) functioneert moeten de bestuurder bekend zijn. De bestuurder kan op elk moment het ACC-systeem overrulen door te remmen of gas te geven, dan wel met de hand de ACC uit te schakelen.

De extra taak waarmee de bestuurder wordt belast, namelijk de supervisie op het functioneren van het systeem, wordt niet dusdanig groot geacht, dat bestuurders zouden afzien van het systeem.

De resultaten van de praktijkproef kunnen als volgt worden samengevat:

1. Acceptatie van ACC door bestuurders. Op de eerste dag zegt 60% van de 108 deelnemende bestuurders dat zij zich gemakkelijk voelen met ACC. In de eerste week zegt meer dan 95% dit. Negatieve opmerkingen van 14 bestuurders over ACC (13%) betreffen de vals alarmen en hieraan gekoppeld het onnodig remmen.
Wanneer *plezier en comfort* als criterium gehanteerd wordt, dan zegt een grote meerderheid ACC te prefereren boven rijden met normale cruise control of het zogenaamde 'handmatig rijden', dus zonder enige vorm van (cruise) control. Wanneer *veiligheid* het criterium is, dan scoort 'handmatige besturing' het hoogst; cruise control scoort het laagst. Deze opvattingen gelden ondanks het feit dat ACC goed wordt beoordeeld ten aanzien van de veiligheid.
2. ACC zorgt voor langere volgtijden, hetgeen een verhoging van het comfort met zich meebrengt.
3. De bestuurder is kennelijk in staat om visueel de situatie vóór het voertuig goed te beoordelen, waardoor met een kortere volgtijd kan worden volstaan.
4. ACC doet stress verminderen in verband met het regelen van de volgtijd en ontlast de bestuurder van het regelen van het gaspedaal.
5. Afremmen en te dicht naderen van een voorligger is minder waarschijnlijk dan 'handmatig rijden'. Er werd gekeken naar een remmanoeuvre met een vertraging van minimaal 0,05 m/s² gedurende 4

seconden. Gebleken is dat remmen bij 'handmatig rijden' vijf keer zo frequent gebeurt als met ACC of CC. De gemiddelde afstand tussen opeenvolgende reminterventies is bij 'handmatig rijden' 4 mijl, en 20 mijl bij rijden met ACC.

Te dicht naderen van een voorligger gebeurde 2,5 maal zo veel bij 'handmatig rijden' als met ACC of CC (gemiddeld respectievelijk 13 mijl en 32 mijl tussen opeenvolgende te dichte naderingen).

6. Het gebruik van ACC is afhankelijk van de heersende condities, dat wil zeggen gerelateerd aan de eigen rijstijl, de wegcategorie, de verkeersdichtheid, de ritlengte, en de mate van ervaring met ACC. Bestuurders maken frequent gebruik van ACC vooral bij een hogere snelheidsbereik en een matige verkeersdruk. Bij een snelheid tussen de 105 en 120 km/uur wordt ACC door 70% van de bestuurders gebruikt en bij een snelheid hoger dan 56 km/uur wordt ACC op de helft van de afgelegde weg gebruikt.

Jongere bestuurders en zij die de gewoonte hebben sneller te rijden dan het overig verkeer hebben de neiging ACC minder te gebruiken. Dit komt omdat de ACC inhalen belemmert en omdat andere auto's invoegen in de ruimte tussen de auto en zijn voorligger.

De proefpersonen deden de volgende suggesties voor verbeteringen aan het ACC systeem:

- geen	21
- grotere versnelling ten behoeve van inhalen	17
- minder onterechte vertragingen	14
- beter en vollediger display	11
- betere prestaties bij slecht weer	9

Relevant bevonden aspecten van ACC die van invloed zijn op de taak van de bestuurder:

- reactie ACC op een voorligger die stilstaat;
- verlies van het doel (voorliggend voertuig) in bochten;
- vertraging door vals alarm
- de tijd die het duurt om op de ingestelde snelheid te komen.

Bij een vergelijking tussen ACC en 'handmatig rijden', valt op dat de mens moeilijker afstandveranderingen kan beoordelen dan ACC.

Ook is er een verschil in ingestelde volgtijd tussen jongere en oudere bestuurders: jongere bestuurders (de 20-ers) stellen een kortere volgtijd in dan oudere, ongeveer 1,1 seconde; de middengroep (40-ers) kiest voor 1,5 seconde en ouderen (60-ers) kiezen een nog langere volgtijd van 2,1 seconde.

De auteurs achtten het systeem onder normale condities in grote mate toepasbaar op snelwegen, het is eenvoudig om ermee om te gaan, het vermindert korte volgtijden, het vermindert stress, het vermindert de frequentie van remmen per gereden kilometer. Wel zijn diverse volgtijdinstellingen gewenst vanwege voorkeurverschillen van bestuurders die te samenhangen met hun leeftijd. Verdere verbeteringen aan het systeem zijn mogelijk en zullen het systeem effectiever maken en eenvoudiger om toezicht op te houden. De proef strekte zich uit tot enkele weken, Dit betekent dat de effecten op langere termijn niet zijn nagegaan.

2.13. **Van Arem et al. (1998)**

Er is een simulatiestudie verricht naar de effecten van een speciale rijstrook op snelwegen voor intelligente voertuigen (ICC). Een speciale rijstrook voor dit soort voertuigen heeft potentieel een grotere capaciteit dan een strook voor gemengde voertuigen. Een microscopisch verkeerssimulatie-model werd gebruikt om de verkeersprestatie en de verkeersveiligheid bij een bottle-neck- situatie te evalueren. Het resultaat was dat een speciale rijstrook voor ICC- voertuigen bij een rijstrookvermindering de doorstroming en stabiliteit van het verkeer kan verbeteren. Echter ook zonder een aparte strook werd de doorstroming met 1,6% verbeterd bij de bottle-neck. Bij gebruik van een speciale strook was de verbetering in doorstroming 4,7%, (met een verkleining van de volgtijd en vergeleken met de situatie zonder ICC). Indien de situatie met een speciale strook werd vergeleken met de situatie zonder speciale strook, was de verbetering in doorstroming met strook 3%. ICC deed het optreden van schokgolven aanmerkelijk verminderen. Naar verwachting zal een dergelijke oplossing een verbetering voor de veiligheid met zich meebrengen.

2.14. **Touran et al. (1998)**

Dit (concept)artikel beschrijft twee botsmodellen, waarbij gebruik werd gemaakt van data en van specificaties van prototype apparatuur. Een model beschouwt vier achter elkaar rijdende voertuigen, waarvan alleen de tweede auto is voorzien van ACC. Bij het tweede model heeft geen enkel voertuig ACC. Beide modellen kunnen de botskans berekenen tussen de voertuigen onder een variatie van omstandigheden, door de resterende afstand tussen voertuigen te berekenen na het remmen van de voorste auto. Door de twee modellen met elkaar te vergelijken kan de effectiviteit van ACC worden geëvalueerd in het voorkómen van botsingen. Het resultaat hiervan was dat ACC de kans op een botsing met een voorligger aanmerkelijk kan verkleinen, maar de kans op een botsing door achterliggende voertuigen juist kan vergroten.

2.15. **Hughes et al. (1995)**

Bij de Airbus A320 is door vergaande automatisering en computerisering, het probleem opgetreden, dat de gezagvoerder onder zekere condities niet begrijpt wat het systeem aan het doen is en er tegen 'vecht'; in een aantal gevallen met fatale gevolgen. Alhoewel de situatie in de lucht en op de weg zeker niet geheel vergelijkbaar is, kunnen desondanks parallellen worden getrokken met problemen bij sterke automatisering in het wegverkeer.

3. Conclusies en aanbevelingen

3.1. Opzet van de onderzoeken

Uit de literatuur blijkt dat er veel onderzoek is verricht op het gebied van Advanced Cruise Control. De wijze waarop in de literatuur verslag wordt gedaan van deze onderzoeken, verschilt zeer sterk. Daarom was het niet goed mogelijk de literatuur op uniforme wijze te verslaan. Op basis van de beschikbare literatuur is het niet mogelijk één specifiek systeem aan te wijzen dat onder alle omstandigheden en bepaalde instelwaarden het meest optimaal functioneert.

3.2. Technische aspecten

ACC berust op de detectie van een voorliggend voertuig, de meting van de afstand tot dat voertuig en het snelheidsverschil tussen de auto en zijn voorligger. Bij een te korte volgafstand en/of een te grote naderings-snelheid, wordt door het systeem automatisch gas teruggenomen, teruggeschakeld of afgeremd.

Het systeem ACC is een verfijning van de bekende cruise control; het heeft als extra dat het rekening houdt met een veilige volgafstand tot een voorligger. Het is bedoeld voor wegen buiten de bebouwde kom: de snelweg en provinciale weg, onder niet-congestie condities. Het is niet bedoeld als een autonoom werkend anti-botsysteem, dat automatisch ingrijpt bij een dreigende botsing.

Primair doel is de bestuurder te verlichten in de uitvoering van de rijtaak, met als mogelijk gevolg een verbetering van de doorstroming en van de veiligheid. Vooralsnog blijft de bestuurder eindverantwoordelijkheid dragen voor het doen en laten van het voertuig: hij kan elk moment het systeem overrulen door in te grijpen.

Op basis van de literatuur kan niet geconcludeerd worden dat één bepaalde uitvoering van een dergelijk systeem de meest optimale is wanneer naar de criteria veiligheid, doorstroming, HMI, kosten, en leeftijdsgroep wordt gekeken.

3.2.1. Sensoren

Systemen die werden beproefd gebruikten radar of lichtsensoren (infrarood/ laser). Radar heeft een bredere bundel dan licht, waardoor ook de naastliggende rijstroken kunnen worden bestreken; door toepassing van meerdere lasersensoren kan dit ook worden bereikt. In bochten kan door stuurhoekmeting de richting van de sensorbundel worden meegedraaid, waardoor een voorligger niet uit de bundel raakt.

Radar is minder gevoelig voor ongunstige weersomstandigheden. Omdat er fabrikanten zijn die desondanks laser toepassen, zou mogen worden afgeleid dat de problemen bij slecht weer kunnen worden overkomen (echter, de wijze waarop is niet in de literatuur aangegeven).

3.2.2. *Mate van automatisering*

ACC kan door de bestuurder in- of uitgeschakeld. Het systeem kan op verschillende wijze terugkoppeling geven aan de bestuurder: bijvoorbeeld waarschuwen (visueel, akoestisch, haptisch: tegendruk gaspedaal), brandstof-toevoer afknijpen, terugschakelen van de automatische transmissie, het in werking stellen van de remmen. De remvertraging wordt begrensd, teneinde abrupt sterk remmen te voorkomen. Wordt sterk remmen noodzakelijk geacht dan krijgt de bestuurder een signaal om dit te doen. De tijdsmarges zijn dan erg klein.

Ook bij uitgeschakelde ACC kan het systeem de bestuurder waarschuwen voor een te korte volgtijd.

De kritische volgtijd en/of volgafstand is instelbaar. Zo kan aan de verschillende behoeften van specifieke gebruikers (jong/oud, snelle/rustige rijder, et cetera) tegemoet gekomen worden.

Eén autofabrikant heeft ACC geïntegreerd met een vrijwillig in te stellen snelheidsbegrenzer.

3.2.3. *Betrouwbaarheid van het systeem*

Het succes van ACC wordt in belangrijke mate bepaald door de betrouwbaarheid van het systeem. Dit betekent:

- een laag percentage vals-alarmen, dus weinig onnodig waarschuwen en gas minderen of terugschakelen wanneer dit niet nodig is. Dit zal immers als hinderlijk worden ervaren;
- een hoge detectiegraad; dus zeer weinig missers van bijvoorbeeld kleine voertuigen zoals motoren. Ook in bochten en onder slechte weersomstandigheden moet het systeem goed functioneren.

Wanneer de betrouwbaarheid te laag is, is de kans groot dat de bestuurder het systeem buiten werking zal stellen.

Een ACC-systeem dient individueel instelbaar te zijn, waardoor het systeem kan worden afgestemd op de karakteristieken en wensen van de bestuurder (bijvoorbeeld een vlot of rustig rijgedrag of juist niet).

De bestuurder dient op ieder moment te weten wat het systeem aan het doen is.

Waarschuwingen aan de bestuurder dienen spaarzaam gedoseerd te worden, daar deze anders als vals alarm worden beschouwd.

Bij kritische situaties, waarbij ingrijpen van de bestuurder noodzakelijk is, dient de informatie aan de bestuurder eenduidig te zijn.

Het systeem dient in feite niet alleen rekening te houden met de voorligger maar ook met achteropkomende voertuigen. Dit wordt voor een deel reeds gerealiseerd door middel van remlichten die branden bij het automatisch vertragen van het voertuig. Bovendien dient nader te worden onderzocht of het zinvol is sensoren aan de achterzijde te plaatsen om het achteropkomend verkeer te monitoren.

3.2.4. *Human machine interface*

Het is van groot belang dat de bestuurder te allen tijde weet welke subtaak het systeem aan het verrichten is en wat er eventueel van de bestuurder wordt verwacht.

De plaats van de knoppen en het display is eveneens van belang voor de verkeersveiligheid. Knoppen dienen zonder de blik van de weg af te

wenden te kunnen worden bediend. Dit is mogelijk door deze bijvoorbeeld aan het stuurwiel te plaatsen.

Het kunnen instellen van de wensnelheid in stappen van 10 km/uur, is voldoende.

Een head-up display, waarbij informatie op de voorruit wordt geprojecteerd lijkt een goede methode: de bestuurder hoeft zijn blik niet van de weg te wenden.

Waarschuwingen aan de bestuurder dienen eenvoudig te begrijpen en eenduidig te zijn. Een evenwichtige balans tussen optische en akoestische signalen is wenselijk, alweer om overbelasting en irritatie te voorkomen.

Een haptisch gaspedaal dient overruled te kunnen worden door 'kick-down' te geven.

Omdat het rijgedrag van de bestuurder mede afhankelijk is van zijn/haar geslacht en leeftijd, is het wenselijk, dat er diverse instelmogelijkheden zijn van de volgtijd en de volgafstand (uiteraard binnen de wettelijke grenzen).

Instelwaarden Distronic bij *Mercedes S-serie* zijn:

- snelheidsbegrenzer: 10-250 km/uur: bij een door de bestuurder ingestelde snelheid binnen dit bereik, is sneller rijden dan de ingestelde waarde niet mogelijk (behalve met kick-down)
- ACC Distronic: 40-160 km/uur; buiten dit bereik werkt ACC niet.
- de maximale remvertraging door ACC is: 2m/sec^2 (20% van het remvermogen).
- het instelbereik van de volgafstand is : 0,28-0,56 maal de snelheid. Bij een snelheid van 100 km/uur kan de volgafstand worden ingesteld tussen de 28 en 56 meter.

3.2.5. *Positieve en negatieve resultaten van onderzoek*

Positieve effecten van ACC:

- bestuurders kunnen veilig met het systeem omgaan, het comfort neemt toe in het verkeer. Ook de eigen veiligheid zou hierdoor wellicht kunnen toenemen.
- de snelheden zijn homogener;
- afstand houden is verbeterd, waardoor er minder wordt geremd.

Negatieve resultaten van ACC:

- bestuurders veranderen van rijstrook om geen auto voor zich te hebben, en niet zozeer om de voorligger in te halen;
- bestuurders zijn bij gebruik van ACC minder coöperatief en houden minder rekening met overstekende voetgangers.
- kleine voertuigen worden niet altijd gedetecteerd;
- in boegen worden voertuigen soms niet gedetecteerd en soms treden vals-alarmen op;
- detectie van voertuigen op nabij gelegen rijstroken is een probleem;
- bestuurders verwachten dat er bij kritische situaties een waarschuwing wordt gegeven.

3.2.6. *Draagvlak*

De acceptatie van ACC hangt nauw samen met hoe het systeem is uitgevoerd, de ingestelde waarden, de wijze van feed back, en de betrouwbaarheid van het systeem. Verder is de leeftijd van de bestuurder

van invloed: de acceptatie van een dergelijk systeem is groter bij oudere bestuurders; dit heeft te maken met het feit dat de volgafstand die met behulp van een ACC-systeem aangehouden wordt door jongeren veelal als te ruim ervaren wordt. Zij accepteren kleinere volgafstanden dan ouderen. Ook zijn de verschillen in acceptatie per land verschillend, afhankelijk van de attitudes van de bestuurder in die landen.

Uit de onderzoeken naar het draagvlak van ACC blijkt dat een belangrijk deel van ondervraagden:

- twijfels heeft over het systeem;
- zich niet veilig voelt met ACC;
- de mogelijkheid wil hebben het systeem uit te kunnen schakelen;
- het systeem alleen wil hebben als het perfect werkt;
- het plezier in rijden verliest door ACC;
- zegt het systeem te willen hebben;
- denkt langzamer te rijden met ACC.

3.2.7. *Effect op veiligheid*

Het gebruik van ACC bleek met zich mee te brengen dat bestuurders minder coöperatief zijn, ze remmen minder voor voetgangers: dit verschijnsel is als minder veilig te beschouwen.

Het niet detecteren van voertuigen omdat ze klein zijn of omdat ze zich in bogen of bochten bevinden, brengt risico's met zich mee. Het frequent monitoren van een display waarop de aanwezigheid van gedetecteerde voertuigen wordt weergegeven is niet gewenst. Daarom zal de bestuurder zelf continu dienen te beoordelen of het systeem al dan niet juist functioneert, (bijvoorbeeld bij een te dichte nadering van een motorfiets).

Wanneer Duitse berekeningen toegepast worden op de Nederlandse situatie zal ACC - indien in alle auto's aanwezig - een effect kunnen hebben op de afloop van 40% van de kop/staart-ongevallen op de lagere-orde-wegen buiten de bebouwde kom en op de afloop van 60% van de kop/staart-ongevallen op de snelwegen in Nederland. Deze percentages dienen als bovengrens gezien te worden omdat ze uitgaan van een 100% correct functioneren van de systemen. Wanneer zou gelden dat deze percentages tevens de bovengrens voor de besparing van slachtoffers zouden betekenen, dan zouden er in Nederland door ACC maximaal 105 (lagere-orde-wegen) respectievelijk 193 (snelwegen) ernstig gewonden (in ziekenhuis opgenomen gewonden plus doden) kunnen worden bespaard. Bij deze schatting dienen kanttekeningen te worden geplaatst omdat bij de Duitse ongevalanalyse, waar deze schatting van afgeleid is vlak voor een ongeval de snelheid niet betrouwbaar kon worden vastgesteld.

De attitudes en gewoonten van bestuurders spelen een belangrijke rol bij het instellen van waarden van de volgafstand en de snelheid. Er dienen diverse instelmogelijkheden worden geboden, zodat de bestuurder afhankelijk van zijn rijstijl een keuze kan maken.

De bestuurder dient op elk moment te weten in welke mode het systeem opereert, onwetendheid of onbegrip kan tot gevaarlijke situaties leiden: wanneer de ACC nalaat een voorliggend (klein) voertuig te detecteren en dus niet zal afremmen bij onderschrijding van een ingestelde volgafstand, dient de bestuurder geïnformeerd te worden dat het systeem geen voertuig detecteert.

Bij integratie van ACC en een anti-botssysteem zal de grootte van de remvertraging automatisch dienen te worden gedoseerd, afhankelijk van de ernst van de situatie.

De autofabrikanten Mercedes en Fiat staan op het punt ACC in te voeren. Standaardisatie lijkt dringend gewenst, zowel qua functionaliteit, instelmogelijkheden, human-machine-interface en displays. Hiermee worden grote veiligheidsproblemen voorkomen wanneer iemand van automerk verandert (of in een ander merk huurauto rijdt).

Het is voor bestuurders moeilijk in te schatten of de remvertraging die door ACC is ingezet voldoende zal zijn om een botsing te voorkomen met een voorligger die vol remt of stilstaat. Hierdoor bestaat de mogelijkheid dat door de bestuurder later wordt gereageerd dan wanneer geen ACC is ingebouwd.

Ook is het gewenst dat bestuurders geleerd wordt om te gaan met ACC-systemen. Dit kan door middel van educatie en training. De huidige zelf in te stellen snelheidsbegrenzer, zoals die bij Mercedes SLK is geïnstalleerd, heeft reeds geleid tot een bijna-ongeval, omdat tijdens het inhalen de brandstoftoevoer werd afgeknepen. Dit kon echter worden overruled door het gaspedaal een kickdown te geven; de bestuurder wist dat echter niet (meer).

Op langere termijn zou bij het gebruik van ACC risicocompensatie kunnen optreden, doordat te veel vertrouwd wordt op het systeem, met als gevolg een verslapping van de aandacht.

Eén artikel (status: concept) berekent het effect van ACC op achterliggende voertuigen met behulp van computersimulatie. De kans op een kop/staartbotsing met een voorligger wordt verkleind, echter ten opzichte van achteropkomende voertuigen wordt deze vergroot.

4. Nabeschuwing

Automobielfabrikanten hebben ACC-systemen ontwikkeld en beproefd, en de verwachting is dat ACC binnen afzienbare tijd verkrijgbaar zijn bij enkele automerken.

De beleidsvraag of het de moeite waard is de ontwikkeling van dit systeem in Nederland te bevorderen is niet meer aan de orde, omdat de fabrikanten nu zelf al het voortouw nemen.

Er wordt gewerkt aan een Europese type-goedkeuring voor het systeem DISTRONIC van Mercedes-Benz (door TÜV). Het ligt voor de hand dat iedere autofabrikant voor zijn eigen systeem een type-goedkeuring zal aanvragen. De vraag of bij de typekeuring *standaardisatie* van ACC-systemen en van de human-machine-interface een aandachtspunt is, kan naar verwachting negatief worden beantwoord.

Na Europese certificatie zal het systeem in alle lidstaten toegelaten worden. De verwachting is dat Nederland weinig tot geen invloed kan uitoefenen op de specificatie van eisen en op de standaardisatie ervan.

De vraag of toepassing van dit systeem bevorderd zou moeten worden, kan worden beantwoord door te verwijzen naar andere systemen die de intentie hebben de verkeersveiligheid bevorderen, zoals ABS, airbags, en side-bags. Voor de invoering van deze systemen is geen stimuleringsbeleid vanuit de Nederlandse overheid geweest, de automobielindustrie heeft hier zelf voor gezorgd.

Overigens raakt dit een zeer fundamenteel punt voor het Nederlands overheidsbeleid. Als de (voertuig)industrie zelf ontwikkelingen op dit terrein in gang zet en tot Europese besluitvorming brengt en Nederland na deze besluitvorming de resultaten hiervan slechts kan implementeren en als de Nederlandse beïnvloeding van Europese besluitvorming een indirecte is, moet de vraag onder ogen gezien worden of Nederlands beleid op dit punt wel opportuun is. Aanbevolen wordt eerst deze vraag 'ten principale' te beantwoorden, vooraleer een inhoudelijke discussie te voeren over de wenselijkheid van bepaalde voertuigvoorzieningen dan wel de condities waaronder ze ingevoerd zouden kunnen worden. In het Nederlandse beleid zouden we dan alleen met die voorzieningen bezig hoeven zijn die niet door 'Brussel' zijn of worden geëntameerd en niet met die vanuit de (voertuig)industrie. Een voorbeeld daarvan zou de ISA zijn, de intelligente snelheidsadaptor. Deze redenering is parallel aan die welke gevolgd is door de Nederlandse overheid toen besloten werd steun te verlenen aan de EURO N-CAP.

Bij een beschouwing van de literatuur en interpretatie van de resultaten van buitenlands onderzoek is het van belang, deze tegen de achtergrond van de Nederlandse verkeerssituatie en verkeerscultuur te plaatsen. Enkele kenmerken van Nederland zijn: een grote verkeersdichtheid, relatief veel snelwegen met veel aansluitingen, een grote kruispunt dichtheid, veel relatief kleine voertuigen, veel kwetsbare verkeersdeelnemers (fietsverkeer in bebouwde kommen).

Verder is de mate van agressie of ongeduld in het Nederlandse verkeer een factor om rekening mee te houden.

Dit kan met zich meebrengen dat relatief grote volgfstanden tussen auto's snel teniet worden gedaan doordat andere auto's invoegen in deze openingen.

In dit stadium, waarbij ACC-systemen al op korte termijn leverbaar zullen zijn, zal er voor de Nederlandse overheid niet veel ruimte meer over zijn om invloed uit te oefenen op de specificatie van eisen, de hard- en software en standaardisatie van ACC.

Desondanks zal er toch naar gestreefd moeten worden nader onderzoek te laten verrichten naar de veiligheid van dergelijke systemen (ook ten opzichte van achteropkomend verkeer). Tevens wordt aanbevolen dat de Nederlandse overheid haar invloed aanwendt om te komen tot standaardisatie van ACC-systemen.

Door middel van voorlichting en educatie aan (toekomstige) gebruikers kan het gebruik van ACC-systemen op een zo veilig mogelijke wijze plaatsvinden. Het is wenselijk om ACC-systemen in Nederland onder verschillende omstandigheden aan proeven te onderwerpen en op basis van de resultaten van die proeven een programma voor voorlichting en educatie op te stellen.

Als ACC-systemen op de markt zijn, wordt aanbevolen om een 'vinger-aan-de-pols'-onderzoek te houden om de ervaringen met ACC vast te leggen en ervan te leren. Een tweede mogelijkheid is dat de Nederlandse overheid, wellicht in samenwerking met het bedrijfsleven - als fleet-owner, als belanghebbende industrie, als verzekeraar et cetera, - een experiment laat plaatsvinden om zo op een wetenschappelijk verantwoorde wijze de effecten van ACC-systemen in de praktijk vast te stellen. Resultaten uit een dergelijk experiment kunnen gebruikt worden bij de verdere introductie van ACC (bijvoorbeeld bij voorlichting- en educatieprogramma's).

✶

Literatuur

Albus, C., Friedel, B. & Sander, K. (1998). *ITS - Safety-Related Driver Assistance Systems*. Federal Highway Research Institute. ITS Workshop at BASt, 1998.

Arem, B. van, Vos, A.P. de & Schuurman, H. (1998). *Simulation of traffic flow on a special lane for intelligent vehicles*. 3rd International Symposium on Highway Capacity. Copenhagen, June 22-27, 1998.

BASt (1998). *Evaluation of In-vehicle safety devices - literature survey*. EU-Project 7.2/14 GADGET, August 1998.

BMW AG (1997). *Fahrerassistenz bei BMW*. Aktuelles Lexikon AK-2, 1997.

BMW AG. *Technik von Morgen: Fahrerassistenz. Aktive Geschwindigkeitsregelung*.

Braess, H.H. & Reichart, G. (1995). *Prometheus: Vision des "intelligenten Automobils auf "intelligenter Strasse"*. Versuch einer kritischen Würdigung - Teil 1 & 2. ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 97 (1995) 4, pp: 200-205 & 97 (1995) 6, pp.: 330-343.

Doriszen, H.T. & Höver, N. (1996). *Autonome Intelligente Geschwindigkeitsregelung (AICC) - Ein Beitrag zur Steigerung des Comforts und der aktiven Fahrsicherheit*. ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 98 (1996) 7/8, pp: 396-405.

Fancher, P., Koziol, J. & Baker, M. (1997). *Preliminary results from the intelligent cruise control field operational test in southeastern Michigan*. In: Proceedings of 4th World Congress on Intelligent Transport Systems. Berlin, 21-24 October 1997.

Fancher, P., Ervin, R. & Bogard, S. (1998). *A Field Operational Test of Adaptive Cruise Control: System Operability in Naturalistic Use*. UMTRI. Society of Automotive Engineers, Inc. 1998.

Geduld, G.O. (1997). *Collision avoidance, adaptive cruise control: two similar applications with different kinds of philosophy and safety impact*. In: Proceedings of 4th World Congress on Intelligent Transport Systems. Berlin, 21-24 October 1997.

Ginneken, R. van. (1998). *Bestuurder op non actief*. In: Zakenauto, november 1998; pag. 72-73.

Gnavi, F., Risser, R. & Sapegno, G.G. (1995). *The PROMETHEUS Traffic Safety Checklist (TSC). First steps to standardisation*. FACTUM, Vienna, December 1995.

Hayashi, Y., Hayafune, K. & K. Yamada (1997). *System safety study on intelligent cruise control*. In: Proceedings of 4th World Congress on Intelligent Transport Systems. Berlin, 21-24 October 1997.

Heijer, T., Brookhuis, K., van Winsum, W. & Duynstee, L. (1998). *Automation of the driving task.. Final report*. R-98-9. SWOV, Leidschendam, 1998.

Hoedemaker, M., Andriessen, J.H.T.H., Wiethoff, M. & Brookhuis, K.A. (1998). *Effects of driving style on headway preference and acceptance of an adaptive cruise control (ACC)*. In: IATSS Research, vol. 22 no.2, 1998. Special Feature: ITS and Safety, pp.: 29-36.

Hughes, D. & Dornheim, M.A. (1995). *Automated Cockpits Special Report, Part 1. Aviation Week & Space Technology, January 30, 1995, pp.: 52-65. Part 2. Aviation Week & Space Technology, February 6, 1995, pp.: 48-57.*

Johnson, T. & Tucker, J. (1998). *Integration is the key*. Traffic Technology International. Annual Review 1998, pp. 25-30.

Kampen, L.T.B. van (1996). *Cruise control in personenauto's. Een literatuuriëntatie op verkeersveiligheidsaspecten*. R-96-21. SWOV, Leidschendam, 1996.

Kopf, M. & Nirschl, G. (1997). *Driver-vehicle interaction while driving with ACC in borderline situations*. In: Proceedings of 4th World Congress on Intelligent Transport Systems. Berlin, 21-24 October 1997.

Oei Hway-liem (1998). *Telematica en 'Duurzaam Veilig' I. Toepassingsmogelijkheden*. R-98-32 I. SWOV, Leidschendam, 1998.

Oei Hway-liem (1998). *Telematica en 'Duurzaam Veilig' II. Discussienota voor uitwerking van maatregelen die voor realisatie in aanmerking komen*. R-98-32 II. SWOV, Leidschendam, 1998.

Oei Hway-liem (1998a). *Intelligente Snelheidsadaptatie ISA. Een vergelijking van Nederlandse en Zweedse systemen*. R-98-52. SWOV, Leidschendam, 1998.

Oppe, S., Roszbach, R. & Heijer, T. (1995). *Bouwstenen beleidsvisie telematica verkeersveiligheid*. R-95-74. SWOV, Leidschendam, 1995.

Risser, R. & Lehner, U. (1997). *Evaluation of an ACC (autonomous cruise control) system with the help of behaviour observation*. In: Proceedings of 4th World Congress on Intelligent Transport Systems. Berlin, 21-24 October 1997.

Savage, J.T., Smith, S.M. & Trivedi, H.P. (1997). *Sensor integration for adaptive cruise control*. In: Proceedings of 4th World Congress on Intelligent Transport Systems. Berlin, 21-24 October 1997.

Sayer, J.R. (1996). *Intelligent Cruise Control - Issues for Consideration*. In: Recent publications related to AICC research at the University of Michigan. May 1998, UMTRI.

Scott, S. (1997). *Human Factors Standards Requirements for Adaptive Cruise Control*. In: Proceedings of 4th World Congress on Intelligent Transport Systems. Berlin, 21-24 October 1997.

Touran, A., Brackstone, M.A. & McDonald, M. (1998). *A collision model for safety evaluation of autonomous intelligent cruise control*. Draft.

Rudinger, G., Espey, J. & Holte, H. (1998). *Effects of In-Vehicle Safety Devices on Traffic Safety - Development of an Evaluation Guide*. University of Bonn, October 1998.

Touran, A., Brackstone, M.A. & McDonald, M. (1998). *A collision model for safety evaluation of autonomous intelligent cruise control*. Draft.

UMTRI (1998). *Recent publications related to AICC research at the University of Michigan Transport Research Institute*. May, 1998.