

# TNO Defensie en Veiligheid

ONGERUBRICEERD

Kampweg 5  
Postbus 23  
3769 ZG Soesterberg

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 346 35 62 11  
F +31 346 35 39 77  
Info-DenV@tno.nl

## TNO-rapport

**TNO-DV 2009 IN289**

## Literatuurstudie effecten AOS op veiligheid

Datum	november 2009
Auteur(s)	dr. M. de Goede ir. J.H. Hogema dr. D.M. Hoedemaeker
Opdrachtgever	Connekt, Delft
Projectnummer	033.22167
Rubricering rapport	Ongerubriceerd
Titel	-
Samenvatting	-
Rapporttekst	-
Aantal pagina's	24

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

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2009 TNO

ONGERUBRICEERD

## Samenvatting

In deze literatuurstudie is gekeken naar gevonden effecten van AOS op verkeersveiligheid en dient als aanvulling op en ter ondersteuning van de gegevens die zijn verzameld binnen een veldstudie naar de effecten van AOS (Anti Ongeval Systemen) op veiligheid, doorstroming en effectiviteit. In alle in dit overzicht besproken studies wordt een positief effect van de verschillende systemen op veiligheid verondersteld. Echter de grootte van deze effecten loopt sterk uiteen. Belangrijke oorzaken voor deze uiteenlopende bevindingen zijn de gehanteerde analysemethode (hoe worden effecten op veiligheid geoperationaliseerd?), de selectie van gemeten variabelen en de functionele eigenschappen van het systeem.

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Doel literatuurstudie.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Methoden .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Resultaten .....</b>	<b>6</b>
3.1	FCW/HWM .....	6
3.2	LDW .....	9
3.3	ACC .....	11
3.4	BBFB .....	13
3.5	Directional control (DC) / Rollover control.....	15
<b>4</b>	<b>Conclusies &amp; discussie .....</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>Gedragsadaptatie .....</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>21</b>
<b>7</b>	<b>Ondertekening.....</b>	<b>24</b>

# 1 Doel literatuurstudie

Deze literatuurstudie dient als aanvulling op en ter ondersteuning van de gegevens die worden verzameld binnen een veldstudie naar de effecten van AOS (Anti Ongeval Systemen) op veiligheid, doorstroming en effectiviteit. Dit document geeft een overzicht van de in de literatuur gevonden effecten op veiligheid van een aantal AOS, te weten Forward Collision Warning (FCW)/Headway Monitoring and Warning (HMW), Lane Departure Warning (LDW), Active Cruise Control (ACC), Black Box FeedBack (BBFB) en Directional Control (DC) / Rollover control.

## 2 Methoden

Om een compleet en actueel overzicht te krijgen van de bestaande kennis over AOS is er gebruik gemaakt van verschillende bronnen:

- Eerdere relevante TNO rapporten
- Wetenschappelijke literatuur (Scopus, bibliotheek TNO)
- Online databases:
  - <http://www.nhtsa.dot.gov/>
  - <http://www.swov.nl/>
  - <http://ai.fmcsa.dot.gov/lccs/default.asp>
  - <http://www.dot.gov/new/index.htm>

De in dit literatuuroverzicht besproken onderzoeken hanteren verschillende methoden, te weten: - simulatorexperimenten, - veldstudies, gedragssimulaties, literatuurstudies en vragenlijsten. De meest voorkomende variabelen aan de hand waarvan de effecten op veiligheid worden bepaald zijn: remreactie, volgafstand / -tijd, het aantal (bijna) incidenten en gevaarlijke situaties, werklast en alertheid. Een belangrijke subjectieve factor is de mate van acceptatie en daarmee de bereidheid tot gebruik van een systeem. Aangezien er relatief weinig studies naar de effecten van AOS specifiek betrekking hebben op vrachtwagens zijn in dit overzicht ook studies naar effecten van AOS bij personenauto's opgenomen. Ondanks het feit dat specifieke parameters (zoals optimale volgtijd en mate van wendbaarheid) afhankelijk zullen zijn voor het type voertuig, vertoont de relevantie van de verschillende gedrags – en systeemvariabelen met betrekking tot veiligheid veel overlap.

Door gebrek aan literatuur over het systeem Directional Control is dit onderdeel verder aangevuld met enigszins vergelijkbare systemen zoals Electronic Stability Control (ESC) voor personenauto's. Aangezien er geen studies zijn gevonden die de combinatie van FCW en HWM beschrijven, worden in dit literatuuroverzicht slechts FCW systemen in combinatie met andere AOS systemen beschreven.

## 3 Resultaten

Per systeem wordt elke studie die in dit literatuuroverzicht is opgenomen apart beschreven waarna de bevindingen in een algemene korte conclusie worden samengevat.

### 3.1 FCW/HWM

In een veldstudie (13 personenauto's, 96 bestuurders, 3-4 weken per deelnemer) van Sayer, LeBlanc, Bogard, Mefford, Hagan, Bareket & Winkler (2005) zijn de veiligheidseffecten van zowel FCW als ACC bekeken. Beide systemen reduceerden het percentage van de tijd dat bestuurders met een korte volgtijd reden (< 1 sec), voor FCW van 30% naar 26%. Er werd in deze studie echter geen bewijs gevonden voor een significante afname van het aantal kritische situaties. Kritieke situaties zijn omstandigheden waarin met grote waarschijnlijkheid een kop-staart aanrijding plaatsvindt als de bestuurder niet adequaat ingrijpt. Er werd gemiddeld 1.1 signaal afgegeven door het FCW systeem per 100 mijl (161 kilometer), gegeven een gemiddelde gereden afstand per deelnemer van 1200 mijl (1923 kilometer). Het aantal signalen varieerde echter sterk tussen de periodes waarin ACC was ingeschakeld en de periodes waarin zonder ACC werd gereden. Gemiddeld ontvingen de deelnemers in totaal tien waarschuwingssignalen. De onderzoekers definieerden omstandigheden waaronder volgens hen een waarschuwingssignaal functioneel was (bijvoorbeeld als de bestuurder zijn ogen niet op de weg had gericht, of als bleek dat de bestuurder als reactie op het signaal hard had geremd). Van 65 geselecteerde situaties op basis van deze criteria, bleek in 13 gevallen (kritische situaties) het waarschuwingssignaal functioneel te zijn geweest. Slechts één signaal van de 240 signalen die betrekking hadden op stilstaande objecten, en dus false alarms waren, betrof daadwerkelijk een stilstaand voertuig op de weg.

Ondanks de geobserveerde potentiële positieve effecten op de veiligheid, was de waardering voor het systeem door de bestuurders niet erg positief. Het merendeel van de waarschuwingen werd als onnodig en irritant ervaren. De meeste bestuurders zagen slechts een bescheiden voordeel van het gebruik van FCW, en dan hoofdzakelijk voor andere bestuurders en niet voor zichzelf. Ouderen zagen meer nut in het systeem dan jongere deelnemers.

In Batelle (2007) is op basis van een veldstudie met vrachtwagens (100 voertuigen, 3 jaar) gekeken naar de effecten van een gebundeld systeem van CWS (Collision Warning System), ACC en AdvBS (Advanced Braking System). De effecten van de systemen werden geschat op basis van de frequentie en ernst van kritische situaties gedurende de dataverzameling binnen de veldtest. Dit complete systeem zou volgens de bevindingen het aantal kop-staart aanrijdingen kunnen verminderen met 28%. Het CWS had echter het grootste aandeel in dit effect (21%). Dit werd grotendeels veroorzaakt doordat het CWS hielp kritieke situaties te voorkomen (door toedoen van een grotere volgafstand) en niet doordat het systeem aanrijdingen voorkwam wanneer bestuurders zich al in een kritieke situatie bevonden. Bestuurders gaven aan niet te worden afgeleid door het systeem. *False alarms* (ongeveer de helft van de waarschuwingen werd als zodanig ervaren) zorgden voor een verminderd vertrouwen in het systeem. Veel bestuurders hadden het gevoel dat CWS hen hielp bij het aanhouden van een veiligere volgafstand (wat werd bevestigd door de meetgegevens) en het voorkomen

van eventuele ongevallen, doordat ze oplettender waren en hun reactievermogen toenam.

In een studie van Najm, Stearns, Howarth, Koopmann & Hitz (2006) zijn eveneens door middel van de uitvoering van een veldstudie de effecten van het ACAS (Automotive Collision Avoidance System), een gecombineerd systeem van FWC en ACC, bekeken op veiligheid. Het ACAS reduceerde het aantal kritische situaties die zouden kunnen leiden tot aanrijdingen met 8-23% onder de volgende condities: daglicht, helder weer, matige verkeersdichtheid, op de autosnelweg of bij snelheden groter of gelijk aan 35 mph (56.3 km/u). Het ACAS had echter weinig effect op de snelheid en intensiteit van de reactie op een kritische verkeerssituatie. De auteurs concludeerden dat op basis van deze gegevens, in combinatie met voorhanden zijnde ongevalstatistieken, met 100% gebruik van ACAS in de VS ongeveer 10% van de kop-staart aanrijdingen zou kunnen worden voorkomen. Reacties van de bestuurders met betrekking tot het gebruik van het FCW systeem waren erg verdeeld. Minder dan de helft rapporteerde dat ze het systeem wellicht zelf zouden willen aanschaffen.

In een studie van Fitch, Rakha, Arafeth, Blanco, Gupta, Zimmerman, en Hanowski (2008) is op basis van gegevens uit een eerdere veldstudie waarin geen FCW was opgenomen (Hanowski, Blanco, Nakata, Hickman, Schaudt, & Fumero, (in press) het mogelijke effect van een FCW systeem op verkeersveiligheid bepaald door middel van statistische simulatie. Op basis van de *exposure ratio* en *prevention ratio* (zie ook Wilson, 2007) werd de mate van preventie bepaald van kritieke situaties en kop-staart aanrijdingen in het geval er een FCW systeem zou zijn gebruikt. De *exposure ratio* wordt bepaald door de vergelijking tussen het aantal kritische situaties met en zonder het FCW systeem. De *prevention ratio* geeft een indicatie voor de extra tijd die een bestuurder heeft om te remmen om een aanrijding te voorkomen met een waarschuwing van het systeem. Deze twee maten werden gecombineerd om een algemene reductie in kop-staart aanrijdingen in te schatten, de *crash reduction ratio*. In tegenstelling tot de bevindingen in Batelle (2007) kwam uit deze simulatiestudie naar voren dat een FCW systeem kan helpen bij het voorkomen van aanrijdingen wanneer bestuurders zich al in een kritische situatie bevinden. Er werd echter geen betekenisvolle afname gevonden in het aantal kritische situaties. Volgens de auteurs zou een wijdverspreid gebruik in de VS van FCW systemen in vrachtwagens het aantal kop-staart aanrijdingen met 21% kunnen verminderen. De auteurs maken de kanttekening dat het simulatiemodel uitging van ideaal gedrag van de bestuurder, dat wil zeggen een optimale reactie op de verschillende waarschuwingen van het systeem.

Uit een rijnsimulator studie (120 deelnemers) van Lee, Brown en Reyes (2002) blijkt dat de timing van de waarschuwing van een RECAS (Rear-end Collision Avoidance System) van belang kan zijn bij het voorkomen van een aanrijding.

Vroege waarschuwingen (relatief weinig tijd tussen het moment dat de directe voorligger remt en het waarschuwingssignaal) hielpen afgeleide bestuurders sneller te reageren op een kritische situatie dan relatief late waarschuwingen of in het geval er geen waarschuwing werd gegeven. Bij vroege waarschuwingen resulteerde 8.8% van de kritische situaties in een aanrijding ten opzichte van 45.5% zonder waarschuwing. Late waarschuwingen leidde in 22.5% van de kritische situaties tot een ongeval. De studie liet zien dat zelfs voor bestuurders die niet zijn afgeleid het RACAS de veiligheid kan bevorderen. Verder laten de resultaten zien dat het RACAS de benodigde

tijd om het gaspedaal los te laten vermindert en niet zozeer de remreactie (gemiddelde of maximale deceleratie).

Ook Abe & Richardson (2006) (22 deelnemers) toonden door middel van een simulator studie aan dat de effectiviteit van een FCW systeem sterk afhankelijk kan zijn van de eigenschappen van het systeem en de specifieke omstandigheden. Voor relatief korte volgtijden (1.7 s) verbeterde de remreactie met gebruik van het systeem vergeleken met de reactie zonder systeem, terwijl er geen voordeel werd gevonden door het systeem bij een relatief lange volgtijd (2.2 s). Resultaten toonden aan dat variaties in volgtijd meer effect hebben op het reactievermogen dan snelheid.

De mate van gepercipieerde betrouwbaarheid van het systeem door de gebruikers hing met name af van de timing van een waarschuwing. Over het algemeen was de waargenomen betrouwbaarheid van relatief vroege waarschuwingen hoger dan van late waarschuwingen, onafhankelijk van de volgtijd en daadwerkelijke effectiviteit van het systeem. Het vertrouwen in een systeem bij de bestuurder kan dus sterk afhankelijk zijn van de systeemeigenschappen.

Ben-Yaacov (2002) laat eveneens met behulp van een simulator studie (30 deelnemers) zien dat een IVCS (In-Vehicle Collision Avoidance Warning System) een positief effect heeft op de volgtijd van bestuurders. Deelnemers kregen de opdracht om binnen de snelheidslimiet in een zo kort mogelijke tijd een bepaalde bestemming te bereiken. Ook moesten ze een andere auto volgen, met een volgtijd van 1 sec. Tijdens de eerste rit met gebruik van het systeem bevonden de deelnemers zich 42.5% van de tijd in de gevarezone, dat wil zeggen ze reden met een volgtijd die lager was dan 0.8. Dit percentage daalde gedurende en na gebruik van het systeem tot 3.5% en 6.5% (6 maanden later), vergeleken met 22.8% wanneer er zonder systeem werd gereden. Volgens Ben-Yaacov et al. (2002) hebben bestuurders de neiging hun volgtijd te overschatten waardoor gevaarlijke situaties kunnen ontstaan. Dit onderzoek laat zien dat zelfs na een korte blootstelling aan het IVCS bestuurders tot zeker zes maanden na gebruik van het systeem een kortere volgtijd hanteerden. Ook een niet-perfect systeem bleek effectief te zijn. Er werden geen significante verschillen in effecten gevonden tussen 60% (60% misses en false alarms), 80% en 95% betrouwbare systemen.

Op basis van bevindingen in Jamson (2008) (45 deelnemers) kan worden geconcludeerd dat naast systeemeigenschappen en -condities ook bestuurderseigenschappen een belangrijke rol kunnen spelen bij de acceptatie van een systeem. In deze studie werd een adaptief (timing van waarschuwing werd aangepast aan reactietijden van de bestuurder) en non-adaptief FCW systeem vergeleken tussen twee groepen bestuurders: agressieve ('sensation seeking') bestuurders en niet-agressieve ('no sensation seeking') bestuurders. Uit deze simulator studie kwam naar voren dat hoewel beide FCW systemen een algemeen bevorderend effect hadden op de veiligheid (snellere remreactie, grotere volgtijd), agressieve bestuurders een voorkeur hadden voor het adaptieve systeem. Bij niet-agressieve bestuurders was de mate van acceptatie niet afhankelijk van het type systeem.

Maltz & Shinar (2004) laten in een simulatorstudie (135 deelnemers) zien dat een In-vehicle Collision Avoidance Warning System (ICAWS) kan leiden tot veiligere (langere) volgtijden. De opdracht aan de deelnemers was om in een zo kort mogelijke tijd een route af te leggen met een korte maar veilige volgtijd ten opzichte van een directe voorligger. Het systeem gaf een waarschuwingssignaal bij een volgtijd korter dan 2 sec. Deelnemers die met het systeem reden hadden 7% van de tijd een korte



volgtijd (< 2 sec), vergeleken met 12% bij de controlegroep. Tussen de deelnemers verschilde de mate van betrouwbaarheid van het systeem. Een groot aantal false alarms zorgde er voor dat bestuurders onnodig afremden, wat een negatief effect kan hebben op de doorstroming. Bovendien reageerden deelnemers die een groot aantal false alarms kregen van het systeem vaker incorrect dan deelnemers die minder false alarms kregen. Het aantal *misses* (het systeem geeft geen waarschuwingssignaal terwijl zich er wel een kritische situatie voordoet) had geen significant effect. Acceptatie van het systeem varieerde nogal en was afhankelijk van de modaliteit van het waarschuwingssignaal. De meest favoriete interface gaf zowel een visueel als auditief waarschuwingssignaal.

Over het algemeen hebben eerdere onderzoeken laten zien dat FCW/HWM systemen een positief effect kunnen hebben op de veiligheid, hoewel de grootte van deze effecten sterk uiteen loopt (van 10% tot 21% reductie in het aantal ongevallen). Andere positieve effecten hebben betrekking op de remreactie, gas loslaten, korte en lange termijn effecten op volgtijden en de mate van betrokkenheid bij kritieke situaties. De mate van acceptatie (en daarmee de vrijwillige toepassing en efficiënt gebruik) van dit systeem blijkt sterk afhankelijk te zijn van de eigenschappen van het systeem (timing van waarschuwingen) en de gebruiker (leeftijd, rijstijl) en is een aantal gevallen niet erg positief. Bevindingen aangaande de betrouwbaarheid van het systeem lijken afhankelijk van de variabele die men beschouwt. Ben-Yaacov (2002) stelt dat het effect van het systeem, wat betreft de reductie in volgtijd, niet afhangt van de betrouwbaarheid van het systeem (aantal false alarms en misses). Maltz en Shinar (2004) vinden echter dat een grotere onbetrouwbaarheid zorgt voor meer foutieve reacties (onnodig remmen).

### 3.2 LDW

Op basis van een veldstudie (22 vrachtwagens, 12 maanden) naar de effecten van LDWS concludeerden Orban, Hadden, Stark en Brown (2006) dat ongevallen veroorzaakt door het van de weg af raken of omkantelen op rechte wegen met 31% (significant effect) zou kunnen worden gereduceerd en in bochten met 34% (geen significant effect). Een meerderheid van de bestuurders rapporteerden dat ze het idee hadden dat het LDW systeem ervoor zorgde dat ze beter binnen de belijning bleven, de werklast gedurende het rijden verminderd werd maar dat het systeem echter geen effect had op hun gevoel van veiligheid. Er werden echter ook als negatieve aspecten genoemd dat de locatie van het systeem op het dashboard het zicht hinderde, dat de waarschuwingssignalen interfereerden met andere systemen en dat voor sommigen het systeem juist een *informatie overload* bewerkstelligde.

In Johnson (2008) wordt een overzicht gegeven van studies naar de mogelijke effecten van LDW systemen op de mogelijke reductie van flankaanrijdingen of van de weg raken van zware vrachtwagens. Ook is aan de hand van ongevalstatistieken (op basis van The Large Truck Crash Causation Study (FMCSA, 2007) en de gegevens van acht vrachtwagenvloten) de frequentie van ongelukken bepaald die mogelijk voorkomen hadden kunnen worden met een LDW systeem. Johnson (2008) concludeert dat hoewel de frequentie van ongelukken veroorzaakt door van de rijstrook of –baan afraken relatief laag is, de consequenties zeer ernstig kunnen zijn. Er wordt ook gewezen op het feit dat er veel variatie is in het aantal en de ernst van incidenten tussen verschillende vrachtwagenvloten. De belangrijkste conclusie luidt derhalve dat de keuze voor aanschaf van een LDW systeem of een bepaald type LDW systeem moet worden bekeken per vloot op basis van de veronderstelde effectiviteit en kostenreductie.

In zowel Alkim, Bootsma & Hoogendoorn (2007) als Hoogendoorn, Viti, Ossen, Van Nifterik, Doelman, Zijderhand & Kesting (2008) is gekeken door middel van een veldstudie (20 personenauto's, 5 maanden) naar de potentiële veiligheidseffecten van ACC gecombineerd met LDW. LDW reduceerde het onbedoeld verlaten van een rijstrook en zorgde voor een frequenter gebruik van de richtingaanwijzer. Om dit effect te kwantificeren voor de situatie in Nederland is een overzicht gemaakt van de verschillende typen ongevallen per wegtype in de provincie Noord-Holland en is bekeken welk soort ongevallen zouden kunnen worden gereduceerd door middel van het gebruik van ACC en LDW. Gebaseerd op deze gegevens is berekend dat met gebruik van een LDW systeem het aantal ongevallen op autosnelwegen met 4.7% en op secundaire wegen met 13.3% zou kunnen worden gereduceerd. In Alkim et al. (2007) wordt beschreven dat over het algemeen deelnemers ACC prefereerden boven LDW. Ondanks dat er werd gerapporteerd dat LDW de oplettendheid vergrootte, werd het systeem vaak als 'irritant' beschouwd.

Hoedemaeker en De Ridder (2003) rapporteren, op basis van een veldstudie naar de effecten van LDW (9 vrachtwagens) geen direct effect op het rijgedrag. Wel gebruikten de bestuurder het systeem om de grenzen van de rijstrook te bepalen. Gebaseerd op ongevalstatistieken en expertsessies werd een mogelijke afname van ongevallen waarbij zware vrachtwagens zijn betrokken geschat op maximaal 10% met gebruik van een LDW systeem. Er wordt echter gesteld dat het werkelijke effect waarschijnlijk kleiner zal zijn, aangezien in het geval van een waarschuwingssignaal het niet altijd mogelijk zal zijn om adequaat in te grijpen. Gebaseerd op subjectieve gegevens, wordt geconcludeerd dat er een grote mate van acceptatie van de LDW is onder bestuurders. LDW systemen zijn met name nuttig onder eentonige rijomstandigheden of in het geval de bestuurder vermoeid is. Het merendeel van de bestuurders rapporteerde het systeem te gebruiken bij bijna alle ritten. Het aantal bestuurders dat het systeem positief waardeerde (50%) is significant groter dan de groep die er de voorkeur aan gaf zonder LDW te rijden (21%). Echter een aanzienlijk deel was onverschillig (29%).

In LeBlanc (2006) worden de bevindingen beschreven uit een veldstudie (11 personen auto's, 78 chauffeurs, 4 weken) naar de effecten van een RDCW (Road Departure Crash Warning) systeem. Dit systeem bevat twee subsystemen: een LDW systeem en een CWS (Curve Warning System), dat bedoeld is om bestuurders te ondersteunen bij het aanhouden van een veilige snelheid in bochten. Uit deze studie kwamen effecten van het gebruik van een LDW systeem naar voren op drie niveaus: de frequentie van het gebruik van de richtingaanwijzer nam toe. Dit is toe te schrijven aan het feit dat het LDW systeem alleen bij onbedoelde lijnoverschrijdingen een signaal geeft. Een tweede effect was dat de variatie in rijstrookpositie afnam, wat duidt op een constanter en veiliger rijgedrag. Het aantal gevallen waarin het voertuig over de rijstrookbelijning kwam of binnen 10 cm van de belijning kwam nam af met 50%. Tenslotte kwam naar voren dat een voertuig sneller terugkeert naar de rijstrook bij een waarschuwingssignaal dan in het geval er geen signaal wordt afgegeven. 75% van de waarschuwingssignalen van het LDW systeem werd als relevant ervaren. Een meerderheid van de bestuurders beschouwde het systeem als wenselijk en rapporteerden dat ze door toedoen van het systeem een beter rijgedrag vertoonden.

Wilson (2007) heeft op basis van dezelfde veldstudie als beschreven in LeBlanc (2006) de directe effecten van het RDCW systeem op de veiligheid berekend. Aan de hand van bestaande ongevalstatistieken en het aantal kritieke situaties in de veldstudie is er op

basis van de *exposure ratio* en de *prevention ratio* (zie ook Fitch et al., 2008) de *crash prevention ratio* berekend en bepaald wat de reductie in het aantal ongevallen zou kunnen zijn bij gebruik van het systeem. Uit deze analyses kwam naar voren dat de RDCW de kans op een aanrijding door lijnoverschrijding aanzienlijk verkleint. Op basis van de analyse van 900 kritische situaties werd geconcludeerd dat met gebruik van het RDCW systeem het aantal kritische situaties met 31% afnam. In combinatie met ongevallenstatistieken werd geschat dat met gebruik van het systeem het aantal ongevallen in de VS zou kunnen afnemen van 7% tot 57% wat een jaarlijkse afname betekent van 9.400 tot 74.800 ongevallen die veroorzaakt worden door het van de weg afraken. Met een penetratiegraad van slechts 55% zou dit nog steeds een afname inhouden van 5.200 tot 41.200 ongevallen. De auteurs wijzen erop dat deze resultaten slechts schattingen zijn, aangezien zich er geen daadwerkelijke ongevallen hebben voorgedaan binnen het onderzoek. Een veel omvangrijkere studie zou noodzakelijk zijn om exact vast te stellen in hoeverre het gebruik van een RDCW systeem daadwerkelijk het aantal ongevallen reduceert.

Over het algemeen geven onderzoeken aan dat gebruik van een LDW systeem een positief effect kan hebben op de veiligheid. Specifieke effecten zijn een vermindering van lijnoverschrijdingen (bedoeld en onbedoeld), een toename in het gebruik van de richtingaanwijzer en een verhoogde alertheid. De veronderstelde potentiële reductie van het aantal ongevallen is in sommige gevallen zeer beperkt 4.7% terwijl in andere studies een veel groter gunstig effect wordt gevonden (31%). Dit onderschrijft de conclusie van Johnson (2008), namelijk dat het effect van een LDW systeem sterk afhankelijk is van het type systeem en de omstandigheden waarin vrachtwagens rijden, en daarmee het type ongevallen dat vaak voorkomt. De subjectieve beoordeling van LDW systemen is overwegend positief.

### 3.3 ACC

Uit een literatuurstudie van Hoetink (2003) naar de effecten van ACC op de verkeersveiligheid blijkt dat ACC systemen een gunstig effect kunnen hebben op de verkeersveiligheid onder specifieke omstandigheden; bij gebruik op autosnelwegen, buiten de spits en bij weersomstandigheden met goed zicht. ACC heeft in die omstandigheden een matigende invloed op de gereden snelheid en het percentage zeer korte volgtijden neemt af. Een toename in rijcomfort bij gebruik van ACC zorgt er bovendien voor dat de bestuurder minder vermoeid raakt. Een bestuurder reageert echter niet altijd adequaat in kritische situaties of wanneer het ACC systeem faalt. Uit veiligheidsoverwegingen is het af te raden het systeem te gebruiken op provinciale wegen, bochtige wegen en in geval van congestie op autosnelwegen.

Sayer et al. (2007) beschrijven de veiligheidseffecten van zowel FCW als ACC, op basis van een veldtest met 10 personenauto's (12 maanden, 96 bestuurders). De frequentie van volgtijden van minder dan 1 sec was drie keer lager (reductie van 60% - 70%) met gebruik van ACC dan zonder ACC. Het bleek dat er relatief weinig gevallen waren waarin het ACC systeem met volle kracht remde. Dit suggereert dat bestuurders prefereerden om zelf te remmen voordat het systeem dit deed en dat bestuurders dus niet geheel vertrouwden op het systeem. Ook werd geconcludeerd dat ACC de veiligheid vergrootte door een vermindering van het aantal rijstrookwisselingen en een toename in de inter-voertuig afstand waarbij bestuurders inhaalmanoeuvres uitvoerden of van rijstrook verwisselden. Bestuurders waren unaniem zeer positief over het ACC systeem, vermoedelijk doordat het systeem de werklast en

stress in het alledaagse rijden verminderende (gebaseerd op het gereduceerd aantal remacties bij gebruik van ACC).

Cafiso et al. (2007) hebben een simulatiemodel ontworpen om het effect van ACC in te schatten op de waarschijnlijkheid van kop-staart botsingen waarbij vrachtwagens zijn betrokken. Het model bevatte drie voertuigen: het eerste voertuig was een auto, de eerste volger een vrachtwagen (2 typen) en de tweede volger wederom een auto. Het model, gegeven de specifieke aannames en parameters, liet zien dat het uitrusten van vrachtwagens met ACC de kans op een aanrijding aanzienlijk reduceert. De kans op een kop-staart aanrijding tussen de voorligger (auto) en een vrachtwagen met ACC werd gereduceerd met meer dan 50% (op een droog wegdek), ten opzichte van de situatie waarin de vrachtwagen zonder ACC rijdt. De effecten verschilden per type vrachtwagen. Voor vrachtwagens met een laadvermogen van 44 ton liet het model een reductie zien van 40% (droog wegdek, 80 km/uur, volgtijd 2.5 sec) tot 80% (nat wegdek, 70km/uur, volgtijd 1.8 sec) in het aantal kop-staart aanrijdingen. Voor vrachtwagens met 12 ton laadvermogen was dit 20% (droog wegdek, 110 km/uur, volgtijd 2.0 sec.) tot 60% (nat wegdek, 80 km/uur, volgtijd 1.4 sec.). Ondanks een reductie van het aantal aanrijdingen met de directe voorligger, liet het model zien dat een ACC een tegenovergesteld effect zou kunnen hebben op de veiligheid van de volgauto. Op een droge weg met volgtijden van minder dan 1.6 sec., liet het model een verminderde veiligheid voor de volgauto zien.

Op basis van een in Nederland uitgevoerde veldtest naar ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) (19 personenauto's, zes maanden) hebben Viti et al. (2008) onder andere gekeken naar het effect van ACC op de veiligheid en de interactie tussen het systeem en de bestuurder. Het bleek dat de variatie in snelheid en volgtijden aanzienlijk lager was met gebruik van ACC dan zonder gebruik van ACC. Bovendien waren de gemiddelde volgtijden en –afstanden groter met gebruik van ACC. Dit kan een gunstig effect hebben op de verkeersveiligheid maar nadelig zijn voor de doorstroom. Viti et al. (2008) concludeerden dat het gebruik van ACC sterk afhangt van de omstandigheden. Bestuurders kozen vooringestelde volgtijden op basis van hun normale rijgedrag. Ook schakelden ze het systeem vaak uit in drukke verkeersomstandigheden.

Op basis van dezelfde veldstudie als beschreven in Viti et al. (2008) onderzochten Pauwelussen en Minderhoud (2008) de effecten van deactivatie en reactivatie van ACC op het rijgedrag. Bestuurders schakelen een ACC systeem uit of overrulen het door de beperkte functionaliteit van het systeem of omdat ze van rijstrook willen wisselen. Voor het eerste type situaties lieten de bevindingen in deze studie zien dat in de 10 seconden nadat bestuurders de ACC had gedeactiveerd door het rempedaal in te drukken, de afstand tenopzichte van directe voorligger gemiddeld kleiner was (65% van de gevallen bevatte een volgtijd < 1 sec.) dan in de 10 sec. voor de deactivatie (32% van de gevallen bevatte een volgtijd < 1 sec.), hetgeen een negatief effect kan hebben op de verkeersveiligheid. Wanneer de ACC weer werd ingeschakeld door het systeem te heractiveren of door het gaspedaal los te laten na handmatig ingrijpen, leidde dit tot een grotere afstand tussen de auto en de directe voorligger (47% van de gevallen bevatte een volgtijd < 1 sec.) dan voor de reactivatie (62% van de gevallen bevatte een volgtijd < 1 sec.). Pauwelussen en Minderhoud (2008) beargumenteren dat de effecten die ACC transitie hebben op bestuurdersgedrag moeten worden meegenomen in verkeerssimulatiemodellen met behulp waarvan effecten op veiligheid, doorstroming en milieu worden geschat.

Door zowel Alkim et al. (2007) als Hogedoorn et al. (2008) wordt gerapporteerd dat over het algemeen bestuurders ACC positiever waarderen dan het LDW systeem. ACC werd ervaren als effectief en plezierig. De bestuurders gaven aan meer vertrouwen in ACC dan in LDW te hebben en ze dachten dat ACC meer nut zou hebben. Dit had volgens de auteurs te maken met het feit dat ACC de bestuurder actief ondersteunt terwijl het LDW systeem slechts waarschuwingssignalen afgeeft. Dankzij het gebruik van ACC werden de volgtijden langer (gemiddeld 0.2 sec). Regelmatigere snelheden en minder hoge snelheden bevorderden volgens de onderzoekers de veiligheid. Gebaseerd op het aantal en soort ongevallen in de provincie Zuid-Holland, aangenomen dat dit representatief is voor de rest van Nederland, schatten de onderzoekers in dat het gebruik van ACC een reductie van 48.8% van het aantal ongevallen op autosnelwegen en 24.9% op secundaire wegen zou kunnen bewerkstelligen. Deze cijfers zijn gebaseerd op de aanname van een penetratiegraad en gebruik van 100% en dat alle ACC-relevante ongevallen voorkomen zouden kunnen worden door het constant gebruik van het systeem.

Malone & Eijkelenbergh (2004) concludeerden op basis van literatuuronderzoek dat er een sterke variatie in de effecten van ACC is. Effecten zijn overwegend positief maar er zijn ook negatieve effecten die met name betrekking hebben op een verminderende doorstroom van het verkeer onder bepaalde omstandigheden.

Wat betreft de objectieve effecten van ACC op veiligheid laten de onderzoeken een positief beeld zien. Over het algemeen zorgt het gebruik van ACC voor minder variatie in snelheden en langere volgtijden en -afstanden. Schattingen geven aan dat deze effecten een aanzienlijke reductie in het aantal ongevallen kan opleveren. Er worden echter ook mogelijk negatieve (indirecte) effecten gerapporteerd, namelijk een vergroot risico voor achteropkomend verkeer van voertuigen die ACC gebruiken en een verminderde doorstroom.

### 3.4 BBFB

Black Box Feedback is een systeem dat ontwikkeld is door TNO (De Jong, Kranenborg, Brouwer & Hogema, 2008). Het systeem bevat een blackbox systeem dat gegevens over het rijgedrag opslaat en een feedbacksysteem, met behulp waarvan de bestuurder terugkoppeling ontvangt over het rijgedrag. In de literatuur worden systemen met dezelfde of overlappende functionaliteiten vaak omschreven als (invoertuig) data verzamelsystemen al dan niet met de mogelijkheid tot feedback. Deze algemene benaming zal in dit literatuuroverzicht worden gebruikt.

Wouters en Bos (2000) deden in een veldtest onderzoek naar de directe effecten van invoertuig data verzamelsystemen op veiligheid, dat wil zeggen het potentiële effect op een afname in het aantal ongevallen. Deze studie ging uit van een indirect effect van feedback, namelijk het gegeven dat mensen die weten dat hun gedrag wordt geobserveerd hun gedrag op positieve wijze zullen aanpassen. Het systeem bevatte twee subsystemen; een *accident data recorder* (verzamelt gegevens tijdens en direct voor en na een ongeval of incident) en een *journey data recorder* (met dit systeem worden tijdschema's, gemiddelde snelheid, sterke acceleraties en deceleraties en brandstofverbruik geregistreerd). Van een experimentele groep bestuurders en controle groep bestuurders werd het aantal incidenten geregistreerd in een periode vóór en nadat het systeem was geïnstalleerd (alleen bij de experimentele groep bestuurders).

De voor- en na- periode besloegen elk 12 maanden, zodat eventueel gevonden effecten niet konden worden toegeschreven aan specifieke seizoensinvloeden.

Verscheidene type voertuigen namen deel aan het onderzoek: (zware & medium) vrachtwagens, bussen, personenauto's en autobuses. In totaal namen meer dan 840 voertuigen deel waarvan er 270 werden uitgerust met een data verzamel systeem. Ondanks het feit dat overall een reductie van 20% in het risico op een ongeval werd geobserveerd door toedoen van het datarecorder en – feedback systeem, liet slechts een gedeelte van de voertuigvloten een afname in veiligheid zien. Bij de zware vrachtwagens werd alleen een positief effect gevonden (afname in aantal ongevallen) wanneer de experimentele groep werd vergeleken met een *interne* controlegroep (een vloot binnen hetzelfde bedrijf).

Dit effect bleek echter grotendeels veroorzaakt doordat het aantal ongevallen bij de controlegroep was toegenomen.

In een studie van Lotan en Toledo (2006) werd in een veldtest het effect bekeken van een invoertuig datasysteem (DriveDiagnostics) op de zogenaamde risico-index (een indicatie voor het risico op een ongeval) bij 33 bestuurders van personenauto's, werkzaam bij twee verschillende bedrijven. Eerdere ongevallen data werden gebruikt om het verband tussen de gegevens die werden verzameld door het systeem en de daadwerkelijke betrokkenheid bij ongevallen te kunnen nagaan voor elke bestuurder. In de eerste fase werd het systeem in alle auto's geïnstalleerd, met medeweten van de bestuurders, maar zonder enige uitleg over de werking ervan. Bestuurders ontvingen in deze fase ook geen feedback. In de tweede fase waren de deelnemers wel van het doel en de werking van het systeem op de hoogte en konden ze feedback opvragen op hun persoonlijke website over hun eigen gegevens en ook over de gemiddelde waarden van de hele groep. Er werd feedback gegeven over specifieke manoeuvres (bijvoorbeeld het aantal keren dat er plotseling werd geremd, grote acceleraties, snelheid etc.) en een algemene impressie aangaande de mate van veilig rijgedrag. De verzamelde data in de eerste fase werd gebruikt om het normale rijgedrag van de bestuurders in kaart te brengen en om het verband met hun ongevallenhistorie in kaart te brengen. De auteurs concludeerden dat deze twee maten verband houden, maar de gerapporteerde statistiek lijkt niet volledig. Gedurende de eerste maand na de introductie van het systeem aan de deelnemers, werd er gemiddeld per bestuurder 14.78 keer ingelogd op de 'feedback website'. De volgende maanden nam de interesse in feedback sterk af tot een gemiddeld aantal inloggen van 2.33 in maand vijf. Er werd ook alleen in het begin een significant effect waargenomen van de feedback op het rijgedrag, dat wil zeggen de gemiddelde risico-index werd kleiner. Maar naar verloop van tijd nam dit positieve effect af en werd de risico index zelfs iets groter dan bij de start van het onderzoek. Verdere analyses laten zien dat de variatie in de risico index over de tijd binnen individuen samenhangt met de mate waarin iemand toegang heeft tot feedback (inlogt). Dus ondanks het feit dat feedback een positief effect kan hebben op veilig rijgedrag, lijken deze effecten niet blijvend.

Effecten van het Drivediagnostics systeem op het rijgedrag worden ook beschreven in Toledo, Musicant en Lotan (2008). In deze studie werd gedurende zeven maanden een veldtest uitgevoerd met 191 kleine pick-up trucks van één bedrijf.

Dezelfde onderzoeksopzet als in Lotan en Toledo (2006) werd toegepast. De resultaten lieten zien dat in het algemeen het betreffende feedbacksysteem een reductie van 38% van het aantal ongevallen zou kunnen opleveren. Opvallend was dat bij de rest van de vloot van het bedrijf (ongeveer 1200 voertuigen), die niet deelnamen aan het onderzoek, in dezelfde periode ook een afname werd waargenomen in het aantal ongevallen van

19%. Ondanks het feit dat het hier andere typen voertuigen betrof, is het werkelijke effect dat is toe te schrijven aan het feedbacksysteem hoogstwaarschijnlijk een stuk kleiner dan de veronderstelde reductie van 38%.

In een reeks van studies (Huang, Rau, Zhang & Roetting, 2008, Zhang, Huang, Rau, Roetting & Liu, 2006, Huang, Roetting, McDevitt, Melton & Smith, 2005, Roetting, Huang, McDevitt & Melton, 2003) werden surveyonderzoeken en paneldiscussies naar attitudes ten aanzien van feedback bij Amerikaanse en Chinese vrachtwagenchauffeurs beschreven. Over het algemeen werd feedback als prettig en nuttig ervaren, dat wil zeggen een positief effect hebbend op het rijgedrag. Aangaande veiligheid noemden de Chinese chauffeurs als het belangrijkste gedrag: niet slaperig rijden, niet harder rijden dan de toegestane snelheid en het dragen van de veiligheidsgordels.

Amerikaanse chauffeurs noemden: goed vooruitkijken om te kunnen anticiperen, er vanuit gaan dat andere weggebruikers fouten maken en op tijd je richtingaanwijzer uitzetten bij het veranderen van rijstrook. Opvallend was dat Chinese chauffeurs bij voorkeur feedback krijgen via een in-voertuig systeem terwijl Amerikaanse chauffeurs aangaven voorkeur te geven aan menselijke feedback.

Samenvattend kunnen we stellen dat feedback een positief effect lijkt te kunnen hebben op de veiligheid. Ook blijken chauffeurs feedback op prijs te stellen. De gevonden effecten blijken minder groot te zijn voor zware vrachtwagens dan voor andere categorieën voertuigen en de effecten lijken niet blijvend van aard.

### 3.5 Directional control (DC) / Rollover control

Het doel van een survey studie van Rudin-Brown, Jenkins, Whitehead & Burns (2009) was inzicht te krijgen in de kennis van Canadese autobestuurders over Electronic Stability Control (ESC) en een potentiële gedragsadaptatie aan ESC.

Gedragsaanpassing wil zeggen dat bestuurders hun gedrag kunnen aanpassen aan het systeem op een zodanige manier dat de effectiviteit van systeem afneemt.

Bijvoorbeeld: bestuurders die weten dat ze een ESC systeem hebben kunnen gevaarlijker gaan rijden doordat ze vertrouwen op het systeem. Om dit te onderzoeken werden 500 telefonische interviews gehouden onder Canadese autobestuurders.

Vervolgens werden 1017 interviews gehouden onder bestuurders van een auto met ESC. De resultaten suggereerden een mogelijke gedragsaanpassing met ESC onder sommige groepen bestuurders. Genoemde gedragsaanpassingen waren: harder rijden, vaker en harder rijden in slechte weersomstandigheden, en agressiever rijden.

Zorgwekkend is ook het feit dat meer dan de helft van de ESC gebruikers denken dat ESC ervoor zorgt dat ze sneller kunnen remmen wanneer dit nodig is, wat niet het geval is. Ook bleek dat een groot gedeelte van de ondervraagden onwetend was over de werking van ESC systemen en de bijdrage die het systeem zou kunnen leveren aan een grotere veiligheid op de weg.

McMillan, Greenberg, Mayfield, Chitwood, Winkler, Blower, Barnes & Harback, (2008) beschrijven de evaluatie van vier maatregelen ten aanzien van het reduceren van het aantal kantelingen van vrachtwagens, waaronder het gebruik van elektronische stabiliteitshulpmiddelen. Het onderzochte stabiliteitssysteem remt automatisch wanneer een vrachtwagen te snel een bocht inkomt. Het systeem bleek effectief te kunnen zijn (reductie van 53% van aantal ongevallen bij 100% penetratiegraad), maar dit soort systemen kunnen niet alle kantelingen voorkomen. Zowel computersimulaties als rijbaantesten lieten zien dat sommige situaties zo plotseling optreden dat zelfs het

automatische remsysteem geen kanteling kan voorkomen. Statistieken laten zien dat slechts in de helft van de gevallen een te grote snelheid de oorzaak van een kanteling is. Wanneer een kanteling wordt veroorzaakt door het van de weg af raken, heeft een automatisch stabiliteitssysteem volgens de auteurs geen nut. Dit zal echter afhangen van het specifieke stabiliteitssysteem (zie bijv. ESC in Erke (2008) en Rudin-Brown et al., 2009). Er werd geconcludeerd dat ondanks het feit dat stabiliteitssystemen zeker een rol kunnen spelen bij het voorkomen van kantelen, er ook nog andere belangrijke factoren zijn (zoals bijvoorbeeld: weg- en voertuigontwerp en training van bestuurders).

Erke (2008) voerde een meta-analyse uit op basis van acht empirische onderzoeken naar de effecten van ESC. Met behulp van de meta-analyse is inzichtelijk gemaakt hoe verschillende type ongevallen zouden voorkomen kunnen worden met behulp van ECS. Met gebruik van ESC werd een aanzienlijke reductie gevonden van ongevallen waarbij één voertuig betrokken was en die veroorzaakt waren door verlies van controle en/of kantelen. Het aantal kop-staart botsingen werd ook minder, maar dit effect was kleiner. Bij alle ongevallen waar meerdere auto's bij betrokken waren, werd alleen een significante reductie door gebruik van ECS in het aantal dodelijke ongevallen geconstateerd. De auteurs merken op dat er grote verschillen zijn tussen de studies wat betreft de selectie van ongevallen die verondersteld worden beïnvloed te worden door ECS. De data bevatten bovendien een grote spreiding, het weglaten van individuele bevindingen beïnvloedt het totale effect sterk en er lijkt sprake te zijn van een publicatiebias (wanneer onderzoeken die geen effecten vinden in de verwachte richting niet worden gepubliceerd). Hoewel ESC een positief effect kan hebben op de veiligheid, zijn de effecten voor één-voertuig ongevallen waarschijnlijk minder groot dan ze in eerste instantie lijken te zijn. Resultaten kunnen ook onbedoeld beïnvloed worden door verschillen in attitude verschillen ten aanzien van veiligheid tussen personen die ESC aanschaffen en personen die dit niet doen en door gedragsaanpassingen door toedoen van de aanwezigheid van ESC (zie ook Rudin-Brown et al., 2009).

Farmer (2004) heeft gekeken naar het verschil in aantal ongevallen waarbij voertuigen betrokken waren zónder ESC en (hetzelfde type) voertuigen mét ESC in zeven Amerikaanse staten, op basis van ongevalsgegevens van de NHTSA van 2001-2002. Risico inschattingen werden berekend voor verschillende categorieën ongelukken en type voertuigen. Voor alle voertuigen samen werd berekend dat ESC zorgde voor een reductie van 41% op het risico van één-voertuig ongevallen met gewonden en 56% reductie op het risico van één-voertuig ongevallen met fatale afloop. Ingeschatte effecten voor ongevallen met meerdere voertuigen waren ook positief, echter niet significant. De ingeschatte totale risico reductie (één of meerder voertuigen betrokken) met gebruik van ESC was 7% voor alle ongevallen, 9% in ongevallen met gewonden en 34% in ongevallen met fatale afloop.

Langwieder, Gwehenberger, Hummel en Bende (2003) hebben op basis van bestaande gegevens (in totaal 850 ernstige ongevallen met vrachtwagens in 1997 in Bavaria, Duitsland) een mogelijke positief effect van een Electronic Stability Program systeem op het voorkomen of reduceren van de ernst van ongevallen bepaald. Er werd bekeken of specifieke omstandigheden (snelheid en wegcondities) zodanig waren dat er een succesvolle interventie had kunnen plaatsvinden van het ESP systeem. Uit de analyse kwam naar voren dat 8.6% van het aantal ongevallen ESP-relevant waren (in totaal 73). De helft daarvan vond plaats op een niet droog wegdek. Drie typische ESP-relevante situaties werden beschreven: te hoge snelheid, onoplettendheid en slippen in bochten.



Op basis van deze gegevens werd geconcludeerd dat een reductie van 9% van het totaal aantal ongevallen met vrachtwagens zou kunnen worden behaald met gebruik van een ESP systeem.

Onderzoeken laten een positief effect zien van systemen die voertuigstabiliteit monitoren die ingrijpen in situaties waarin er kans is op kanteling of verlies van controle. Sommige systemen met dezelfde benaming hebben verschillende functionaliteiten. Sommige systemen grijpen in bij signalering/voorspelling van instabiliteit terwijl andere systemen alleen ingrijpen bij een te hoge snelheid. Op welk type ongevallen stabiliteitssystemen een positief effect kunnen hebben hangt uiteraard af van de specifieke functies van het systeem. Ook lijken de effecten groter te zijn op een niet droog wegdek. Stabiliteitssystemen kunnen ook een ongunstige gedragsaanpassing teweegbrengen doordat bestuurders te veel vertrouwen op het systeem.

## 4 Conclusies & discussie

In deze literatuurstudie is gekeken naar gevonden effecten van AOS op verkeersveiligheid in eerdere studies. In alle in dit overzicht besproken studies wordt een positief effect van de verschillende systemen op veiligheid verondersteld. Echter de grootte van deze effecten loopt sterk uiteen.

Om tot een inschatting van de effecten te komen worden in de verschillende onderzoeken uiteenlopende methoden gehanteerd:

- 1 Het vergelijken van het aantal ongevallen met en zonder gebruik van AOS.
- 2 Aan de hand van bestaande gegevens over ongevallen (type en ernst) de mogelijke effecten van AOS inschatten.
- 3 Effecten van AOS op indirecte maten (zoals volgtijd, snelheidsvariatie, remkracht) gebruiken om een mogelijke reductie van het aantal ongevallen in te schatten.
- 4 Aan de hand van bekend veronderstelde parameters van specifieke rij situaties door middel van statistische simulatie tot een inschatting komen van mogelijke effecten van AOS op veiligheid.

In tabel 1 is een overzicht gegeven van de verschillende schattingen van de afname in het aantal ongevallen (of risico op een ongeval) per anti-ongeval systeem, ingedeeld naar bovengenoemde onderzoeksmethode. Niet in alle onderzoeken werd overigens een dergelijke inschatting gegeven. Gezien de grote variatie in de gevonden effecten, is het van belang de verschillende methoden kritisch te evalueren.

Tabel 1 Geschatte afname (in percentages) in het aantal ongevallen / risico op ongevallen bij gebruik van AOS.

	<b>Werkelijke ongevallen</b>	<b>Bestaande ongevalsgegevens</b>	<b>Indirecte maten *</b>	<b>Statistische simulatie</b>
<b>FCW/HWM</b>			8% - 23%	21%
<b>LDWA</b>		4.7% - 57%	31% - 34%	
<b>ACC</b>		24.9% - 48.8%		20% - 80%
<b>BBFB</b>	19% - 20%			
<b>Rollover Control</b>	7% - 34%	9% - 53%		53%

De aangegeven ranges in percentages kunnen ook betrekking hebben op bevindingen binnen één studie, waarin afhankelijk van de omstandigheden (type ongeval, eigenschappen systeem, weersomstandigheden etc.) verschillende percentages worden gerapporteerd.

\* Hieronder vallen ook aanrijdingen in rij simulator studies.

Ondanks het feit dat het tellen van het werkelijk aantal ongevallen met en zonder gebruik van AOS een op het eerste gezicht ideale methode lijkt, is het aantal ongevallen dat binnen een onderzoek plaatsvindt vaak te klein om op basis daarvan een betrouwbare uitspraak te kunnen doen over effecten. Om die reden wordt na uitvoer van een veldtest vaak alsnog gebruik gemaakt van indirecte maten, op basis waarvan een uitspraak wordt gedaan over de mogelijke reductie in het aantal gevaarlijke situaties of ongevallen. Om tot een dergelijke inschatting te komen zullen selectiecriteria moeten worden gehanteerd om te bepalen hoe deze indirecte factoren zich verhouden tot het daadwerkelijk plaatsvinden van een ongeval, met andere woorden: wat is gevaarlijk rijgedrag? De definiëring hiervan verschilt vaak per onderzoek, hetgeen het lastig maakt

bevindingen met elkaar te vergelijken. Ook wordt niet altijd duidelijk beschreven hoe en welke selectiecriteria zijn toegepast. Een ander probleem bij het gebruik van indirecte maten en ook van bestaande ongevalstatistieken en simulaties is dat er veelal bij de berekeningen wordt uitgegaan van een ideaal systeem en een optimale reactie van de bestuurder bij een waarschuwingssignaal, hetgeen uiteraard niet altijd het geval zal zijn. Ook zal het van de omstandigheden afhangen of de ingreep van een systeem in alle gevallen effectief is. Daarbij wordt er bij het inschatten van effecten vaak uitgegaan van een (onrealistische) 100% penetratiegraad en 100% gebruik van het systeem. Veel AOS kunnen in- en uitgeschakeld worden. Daarom is het van belang om inzicht te krijgen in de mate van acceptatie van een systeem bij de gebruiker. Als een systeem als vervelend, nutteloos of juist gevaarlijk wordt beschouwd zal de bestuurder geneigd zijn het systeem uit te schakelen, of wanneer dit niet mogelijk is eventuele waarschuwingssignalen negeren. Voor de FCW en LDW systemen wordt in verschillende studies gerapporteerd dat het systeem negatief kan worden ervaren, met name doordat waarschuwingssignalen worden afgegeven in situaties die de bestuurder niet als gevaarlijk beschouwt.

Al met al laten de in de literatuur gerapporteerde effecten een overwegend positief effect (direct dan wel indirect), op de verkeersveiligheid. Afhankelijk van het beschouwde systeem en de gehanteerde methode zijn de effecten kleiner (incidenteel zelfs negatief), groter of zeer groot. Dit geldt zowel voor de studies met personenauto's als voor die met vrachtwagens. Deze variatie in effecten kan worden veroorzaakt door een aantal factoren. Een belangrijke factor is zoals hierboven besproken, de analysemethode (hoe worden effecten op veiligheid geoperationaliseerd?) en de selectie van gemeten variabelen. De functionele eigenschappen van het systeem zelf, zoals kritische volgtijd, kunnen ook een rol spelen. De grootte van de effecten, en de grootte in variatie van de effecten, lijken niet te verschillen voor vrachtwagens en personenauto's. Dit veronderstelt dat de effecten van AOS vergelijkbaar zijn voor verschillende typen voertuigen. Echter, door deze variatie in gevonden effecten is het niet goed mogelijk een eenduidige inschatting te geven van de omvang van deze effecten. Al met al kan wel worden geconcludeerd dat AOS over het algemeen een gunstig effect op de verkeersveiligheid hebben.

## 5 Gedragsadaptatie

Met gedragsadaptatie ('behavioural adaptation') wordt hier bedoeld: onverwachte en onbedoelde veranderingen in het gedrag die worden veroorzaakt door veranderingen in het weg-voertuig-bestuurder systeem. Een OECD expert groep concludeerde op basis van een review van een groot aantal empirische studies dat over het algemeen veiligheidseffecten niet teniet worden gedaan door gedragsadaptatie, maar dat een reductie van de verwachte effecten plaatsvindt (Cacciabue & Saad, 2008). Verschillende elementen kunnen een rol spelen bij het ontstaan van gedragsadaptatieve processen: de aard van de verandering door het systeem en de perceptie van deze verandering door de bestuurder, de mate van vrijheid die de bestuurder ervaart bij het gebruik van het systeem of de aanwezigheid van conflicterende motieven (Saad, 2007). Ondanks het feit dat de exacte onderliggende processen en factoren van gedragsadaptatie niet exact kwantificeerbaar zijn, is het een algemeen erkend fenomeen. Ook AOS kunnen, naast een beoogde toename in veiligheid, onbedoelde gedragsveranderingen met zich meebrengen. Een verhoogd gevoel van veiligheid kan leiden tot risicovoller rijgedrag, bijvoorbeeld rijden met kortere voltijden of een hogere snelheid. De mate waarin gedragsadaptatie ontwikkelt of tot uiting komt, hangt af van een groot aantal factoren: de functionele eigenschappen van het systeem (bijvoorbeeld: minimale volgtijd, aantal false alarms etc.), bestuurderseigenschappen (bijvoorbeeld: ervaring met het systeem, attitudes ten aanzien van veilig rijden, rijstijl etc.) en de omstandigheden waaronder het systeem wordt gebruikt (weer, verkeersdruk etc.). Om te kunnen nagaan of er sprake is van gedragsadaptatie, is het noodzakelijk in kaart te brengen wat de bedoelde en onbedoelde (gedragsadaptatie) effecten van AOS zijn en met welke gedragsmaten deze effecten gemeten kunnen worden. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen twee type systemen in het AOS project: waarschuwingssystemen en automatische systemen (die daadwerkelijk ingrijpen). Een belangrijke factor bij waarschuwingssystemen (FCW, LDW) is de timing van het waarschuwingssignaal, hetgeen samenhangt met de waargenomen betrouwbaarheid van het systeem. False alarms of niet nuttige signalen kunnen leiden tot verminderd gebruik van of negeren van het systeem (Abe & Richardson, 2006; Lee et al., 2002; Sayer et al., 2005). Deze factoren kunnen ervoor zorgen dat positieve effecten op time headway en time-to-line-crossing minder groot zijn dan beoogd. Bij de automatische systemen (ACC, Rollover control/directional control) kan met name een vergroot gevoel van veiligheid een kritische factor. Dit zou kunnen leiden tot hogere snelheden (Rudin-Brown et al., 2009; Erke, 2008) en kortere volgtijden.

## 6 Referenties

- Abe & Richardson (2006). *Alarm, timing, trust and driver expectations for forward collision warning systems*. *Applied Ergonomics*. 37: 577-586.
- Alkim, T.P., Bootsma, G. & Hoogendoorn, S.P. (2007). *Field Operational Test "The Assisted Driver"*. IEEE Intelligent Vehicles Symposium. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings. Istanbul, 13-15 juni 2007: p. 1198-1203.
- Batelle (2007). *Evaluation of the Volvo Intelligent Vehicle Initiative Field Operational Test*. US Department of Transportation. US Department of Transportation. Washington DC.
- Ben-Yaacov, Avner; Maltz, Masha; Shinar, David (2002). *Effects of an In-Vehicle Collision Avoidance Warning System on Short- and Long-Term Driving Performance*. *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* Volume 44, Number 2, Summer pp.335-342(8).
- Cacciabue, P.C. & Saad, F. (2008). *Behavioral adaptations to driver support systems: a modeling and road safety perspective*. *Cogn Tech Work*. 10: 31-39.
- Cafiso, S., Di Graziano, A., Acquaviva, T. (2007). *Improving safety using adaptive cruise control to prevent truck-car rear-end collisions*. Transportation Research Board Annual Meeting 2007 Paper #08-2244.
- Carnell, R. et al. (2007). *Conditional Analysis of the Safety Benefits of A Collision Warning System and Adaptive Cruise Control in Commercial Trucks*. Source Data: Transportation Research Board Annual Meeting 2007 Paper #07-2175.
- Erke, A. (2008). *Effects of electronic stability control (ESC) on accidents: A review of empirical evidence*. *Accident Analysis and Prevention*. 40: 167-173.
- Farmer, C.M. (2004). *Effect of electronic stability control on automobile crash risk*. *Traffic Injury and Prevention*. 5: 317-325.
- Federal Motor Carrier Safety Administration (FMCSA) and National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) (2007). *Large Truck Crash Causation Study (LTCCS)*.
- Fitch, G.M., Rakha, H.A., Arafeth, M., Blanco, M., Gupta, S.K., Zimmerman, R.P., Hanowski, R.J. (2008). *Safety benefit evaluation of a forward collision warning system: final report* US Department of Transportation. DOT HS 810 910.
- Green, P.E., Woodrooffe, J. (2006). *The estimated reduction in the odds of loss-of-control type crashes for sport utility vehicles equipped with electronic stability control*. *Journal of Safety Research*. 37: 439-499.
- Hanowski, R.J., Blanco, M., Nakata, A., Hickman, J.S., Schaudt, W.A., Fumero, M.C. (in press). *The drowsy driver warning system field operational test, data collection final report* (No. DTNH22-00-C-07007, Task Order 14). Blacksburg, VA: Virginia Tech Transportation Institute.
- Hoedemaker, M. & De Ridder, S.N. (2003). *The Dutch Experience with LDWA systems* (report TM-03-C048). TNO Human Factors. Soesterberg, The Netherlands.
- Hoetink, A.E. (2003). *Advanced Cruise Control en verkeersveiligheid*, (Rapport R-2003-24). Leidschendam: Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV).

- Hoogendoorn, S., Viti, F., Ossen, S., Van Nifterink, W., Doelman, M., Zijderhand, F. & Kesting, A. (2008). *Full Traffic* (rapport). Delft: TU Delft.
- Huang, Y., Rau, P.P., Zhang, B., Roetting, M. (2008). *Chinese truck drivers' attitudes toward feedback by technology: a quantitative approach*. *Accident analysis and prevention*. 40: 1553-1562.
- Huang, Y., Roetting, M., McDevitt, J.R., Melton, D., Smith, G.S. (2005). *Feedback by technology: attitudes and opinions of truck drivers*. *Transportation Research Part F*. 8: 277-297.
- Jamson, A.H., Lai, F.C.H., & Carsten, O.M.J. (2008). *Potential benefits of an adaptive forward collision warning system*. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 16 (4): 471-484.
- Jonhson, S.L. (2008). *Human factors study of driver assistance systems to reduce lane departures and side collision accidents*. Mack-Blackwell Rural Transportation Center. Project MBTC 2083.
- Kerry M. Malone and Pascal Eijkelenbergh. *A Quick Scan of Quantified Effects of Advanced Driver Support Systems, ADASE II Extension*, December 10, 2004.
- Langwieder, K., Gwehenberger, J., Hummel, T. Bende, J. (2003). *Benefit potential of ESP in real accident situations involving cars and trucks*. GDV Institute for Vehicle Safety. München.
- LeBlanc, Sayer, D., Winkler, J., Ervin, R., Bogard, S., Devonshire, J., Mefford, M., Hagan, M., Bareket, Z., Goodsell, R. & Gordon, T. (2006). *Road Departure Crash Warning System Field Operational Test: Methodology and Results*. The University of Michigan Transportation Research Institute.
- Lee, J.D., McGhee, D.V., Brown, T.L., Reyes, M.L.(2002). *Collision warning timing, driver distraction, and driver response to imminent rear-end-collisions in a high-fidelity driving simulator*. *Human Factors*. 44 (2): 314-334.
- Lotan, T., Toledo, T. (2006). *An In-Vehicle Data Recorder for Evaluation of Driving Behaviour and Safety*. TRB proceedings 2006.
- Malone, K.M., Eijkelenbergh, P. (2004). *A quick scan of quantified effects of advanced driver support systems, ADASE II extension*.
- Maltz, M. & Shinar, D. (2004). *Imperfect In-Vehicle Collision Avoidance Warning Systems can aid drivers*. *Human Factors*. 46(2): 357-366.
- Najm, W.G., Stearns, M.D., Howarth, H., Koopmann, J. & Hitz, J.(2006). *Evaluation of an automotive rear-end collision avoidance system*. Report. US Department of Transportation. National Highway Traffic Safety Administration.
- Orban, Hadden, Stark and Brown (2006). *Evaluation of the Mack Intelligent Vehicle Initiative Field Operational Test*. FMCSA-06-016. Washington DC: Federal Motor Carrier Safety Administration.
- Pape, D.B., McMillan, N., Greenberg, A., Mayfield, H., Chitwood, J.B., Winkler, C.B., Blower, D., Gordon, T.J., Barnes, M., Harback, K, (2008). *Benefits and Costs of Four Approaches to Improving Rollover Stability of Cargo Tank Motor Vehicles*. *Transportation Research Record*. 2066: 114-121.
- Pauwelussen & Minderhoud (2008). *The effect of deactivation and (re) activation of ACC on driver behaviour analysed in real traffic*. IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Eindhoven University of Technology.

- Saad, F. (2007). *Dealing with behavioural adaptations to advanced driver support systems*. In: Cacciabue (Ed.). *Modelling driver behaviour in automotive environments*. Springer-Verlag, London.
- Sayer, J., LeBlanc, D., Bogard, S., Mefford, M., Hagan, M. Bareket, Z., Winkler, C. (2005). *Automotive Collision Avoidance System – Field Operational Test*. Final program report. NHTSA. DOT HS 809886.
- Scrully, J., Newstead, S. (2008). *Evaluation of electronic stability control effectiveness in Australasia*. *Accident Analysis and Prevention*. 40: 2050-2057.
- SWOV (2007). *SWOV Fact sheet: Headway times and road safety*. SWOV Leidschendam, The Netherlands.
- Toledo, T., Musicant, O., Lotan, T. (2008). *In-vehicle data recorders for monitoring and feedback on drivers' behavior*. *Transportation Research Part C*. 16: 320-331.
- Viti, F., Hoogendoorn, S.P., Alkim, T.P. & Bootsma, G. (2008). *Driving behavior interaction with ACC: result from a Field Operations Test in the Netherlands*. IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Eindhoven University of Technology.
- Zhang, B., Huang, Y., Rau, P., Roetting, M. & Liu, C. (2006). *A study of Chinese truck drivers' attitudes toward feedback by technology*. *Safety Science*. 44: 747-752.

## 7 Ondertekening

Soesterberg, november 2009

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'J.P. Dezaire', written in a cursive style.

ir. J.P. Dezaire  
Afdelingsmanager

TNO Defensie en Veiligheid,

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'M. de Goede', written in a cursive style.

dr. M. de Goede  
Auteur



## Distributielijst

Onderstaande instanties/personen ontvangen een volledig exemplaar van het rapport.

1 ex. Connekt

2 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg,

4 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg  
dr. M. de Goede  
ir. J. Hogema  
dr. D.M. Hoedemaeker  
ir. J.P. Dezaire