

Verkeersveiligheidseffecten van Anti-Ongevalsystemen

Ir. R.G. Eenink

R-2009-11

Verkeersveiligheidseffecten van Anti-Ongevalsysteem

Schatting van de effecten op ongevallen met vrachtauto's op
autosnelwegen

Documentbeschrijving

Rapportnummer:	R-2009-11
Titel:	Verkeersveiligheidseffecten van Anti-Ongevalsystemen
Ondertitel:	Schatting van de effecten op ongevallen met vrachtauto's op autosnelwegen
Auteur(s):	Ir. R.G. Eenink
Projectleider:	Ir. R.G. Eenink
Projectnummer SWOV:	7.231
Projectcode opdrachtgever:	PAOS.01.019
Opdrachtgever:	Stichting Connekt
Trefwoord(en):	Forecast; accident rate; accident; prevention; fatality; injury; statistics; analysis (math); lorry; motorway; intelligent transport system; telematics; automatic cruise control; traffic lane; warning; Netherlands; SWOV
Projectinhoud:	In een grootschalig veldonderzoek zijn Anti-Ongevalsystemen (AOS) voor vrachtauto's getest. Het doel daarvan was om te achterhalen welke bijdrage deze in-voertuigsystemen kunnen leveren aan het voorkómen van ongevallen of (ernstig) letsel en het (daarmee) verminderen van files en voertuigverliesuren. Dit rapport richt zich alleen op het voorkómen van ongevallen met vrachtauto's op autosnelwegen in Nederland. Op basis van de meetresultaten van de AOS-proef, een ongevallenanalyse en onderzoeksliteratuur wordt in dit rapport een schatting gegeven van de effecten van AOS op de verkeersveiligheid in termen van aantallen te besparen verkeersdoden en ziekenhuisgewonden.
Aantal pagina's:	30
Prijs:	€ 8,75
Uitgave:	SWOV, Leidschendam, 2009

De informatie in deze publicatie is openbaar.
Overname is echter alleen toegestaan met bronvermelding.

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV
Postbus 1090
2260 BB Leidschendam
Telefoon 070 317 33 33
Telefax 070 320 12 61
E-mail info@swov.nl
Internet www.swov.nl

Samenvatting

In opdracht van Connekt heeft de SWOV een schatting gemaakt van de effecten op verkeersveiligheid van Anti-Ongevalsystemen (AOS) voor vrachtauto's op autosnelwegen in Nederland. Beschouwd zijn de invoertuigsystemen zoals deze zijn getest in een grootschalige Field Operational Test (FOT) in het kader van het programma FileProof van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. De achtergrond van deze test is om te achterhalen welke bijdrage anti-ongevalsystemen kunnen leveren aan het voorkómen van ongevallen of (ernstig) letsel en het (daarmee) verminderen van files c.q. voertuigverliesuren. Dit rapport richt zich alleen op het voorkomen van ongevallen.

De volgende systemen zijn in de FOT getest in dit rapport beschouwd:

- *Headway Monitoring and Warning/Forward Collision Warning (HMW/FCW)*. Deze systemen geven een geluidsignaal als een voorligger te dicht of te snel wordt genaderd; ze beogen kop-staartbotsingen te voorkomen.
- *Advanced Cruise Control (ACC)*. Bij ACC wordt een ingestelde snelheid aangehouden die automatisch wordt verlaagd als de volgtijd tot de voorligger onder een ingestelde waarde komt. Dit systeem beoogt het rijcomfort te verhogen, maar aangenomen wordt dat het ook kop-staartbotsingen kan voorkomen.
- *Lane Departure Warning Assist (LDWA)*. Dit systeem geeft een signaal als een ingestelde afstand tot de lijnmarkering wordt overschreden dan wel te snel wordt benaderd. LDWA is bedoeld om enkelvoudige ongevallen waarbij een voertuig van de weg raakt, te voorkomen.
- *Directional Control (DC)*. Dit systeem vergelijkt continu de stuurhoek met de wiel(draai)snelheden en remt per wiel als deze afwijken van de juiste waarde. DC kan voorkomen dat een voertuig in een slip raakt of kan de gevolgen daarvan beperken.
- *Black Box FeedBack (BBFB)*. Met dit systeem wordt de bestuurder geïnformeerd over zijn rijgedrag, met als beoogd gevolg dat hij dit gedrag verbetert. Als dat lukt, heeft het in principe effect op alle ongevalstypen.

In deze SWOV-studie is uitgegaan van de resultaten uit de literatuurstudie, interviews, enquêtes en (gedrags)metingen zoals die door de projectorganisatie (Connekt-ITS Netherlands, TNO en Buck Consultants International) zijn verzameld. Op een enkel punt is nog wat aanvullende informatie beschouwd. De SWOV heeft een zelfstandige ongevallenanalyse uitgevoerd, gebaseerd op de bij de SWOV aanwezige databestanden. Door kennis uit de literatuur, de gedragsmetingen en de ongevallenanalyse met elkaar te verbinden, is getracht per systeem een kwalitatieve, en waar mogelijk een kwantitatieve schatting te geven van het effect op slachtoffers. Aangezien men zich in de praktijkproef heeft beperkt tot de autosnelwegen in Nederland, heeft de SWOV deze beperking ook aangehouden.

Van Directional Control wordt geschat dat dit systeem op Nederlandse autosnelwegen per jaar 1-2 doden en 7-10 ziekenhuisgewonden kan voorkomen als het in alle vrachtwagens aanwezig is. Voor Advanced Cruise Control is het aannemelijk dat dit systeem een positief effect op de veiligheid

heeft; dit is echter niet te kwantificeren op basis van de nu beschikbare informatie. Van de andere systemen (HMW/FCW, LDWA en BBFB) werd op basis van de literatuur een positief gedragseffect verwacht, maar dit is niet uit de metingen in de praktijkpoef naar voren gekomen. Op grond van de metingen, literatuur en discussies zijn in dit rapport hypothesen geformuleerd die in vervolgonderzoek getoetst kunnen worden. Wellicht kan dit leiden tot aanpassingen aan de anti-ongevalsystemen zodat wel een (meetbaar) veiligheidseffect kan worden gerealiseerd.

Om te kunnen beoordelen of het aanbeveling verdient om de toepassing van anti-ongevalsystemen vanuit verkeersveiligheidsoverwegingen in vrachtauto's te stimuleren dan wel te verplichten, is nader onderzoek gewenst. Dit kan zich allereerst richten op een diepgaandere analyse van de nu beschikbare gegevens. Het is ook nodig andere wegtypen dan autosnelwegen in dit onderzoek te betrekken omdat ook op die wegtypen mogelijke veiligheidswinst geboekt kan worden.

Summary

Road safety effects of Anti-Crash Systems; Estimation of the effects on crashes on motorways involving lorries

Commissioned by Connekt, an independent network of companies and authorities that works on the sustainable improvement of mobility in the Netherlands, SWOV made an estimation of the road safety effects of Anti-Crash Systems (ACS) for lorries on motorways in the Netherlands. The in-vehicle systems that were considered are the systems that were tested in a large-scale Field Operational Test (FOT) within the Ministry of Transport's FileProof programme. The aim of this test is to establish what contribution anti-crash systems can make to the prevention of crashes or (serious) injury and thus reduce traffic jams c.q. lost vehicle hours. This report only discusses the prevention of crashes.

The following systems were tested in the FOT and are investigated in this report:

- *Headway Monitoring and Warning/Forward Collision Warning (HMW/FCW)*. These systems give an auditory warning when the headway distance to a preceding vehicle becomes too small or the approach speed is too high; they are aimed at the prevention of rear-end collisions.
- *Advanced Cruise Control (ACC)*. ACC maintains a previously set driving speed which is automatically reduced when the headway distance is lower than a preset value. This system aims at increasing the driving comfort, but is assumed to also prevent rear-end collisions.
- *Lane Departure Warning Assist (LDWA)*. This system gives a signal when a preset distance from a line marking is exceeded or approached too fast. LDWA is intended to prevent single vehicle crashes in which a vehicle goes off the road.
- *Directional Control (DC)*. This system continuously compares the steering angle and the individual wheel velocities and brakes per wheel if it deviates from the correct value. DC can prevent a vehicle going into a skid or can limit its consequences.
- *Black Box FeedBack (BBFB)*. This system informs the driver about his driving behaviour, with the intended result that he improves this behaviour. In principle, this has an effect on all crash types if it is successful.

The results from the literature study, interviews, surveys and (behaviour) measurements that were carried out by the project organization (Connekt/ITS Netherlands, TNO and Buck Consultants International) were used as a basis for this SWOV study. Occasionally some additional information was used. SWOV carried out an independent crash analysis using the data files that are in SWOV's possession. We tried to give a qualitative, and whenever possible, a quantitative estimate for each system by relating the knowledge from literature, the behaviour measurements, and the crash analysis. Given that the practical test was limited to motorways in the Netherlands, SWOV also applied this limitation.

When it is installed in all lorries, the Directional Control system is estimated to save 1 fatality and 5-8 in-patients per year on motorways in the Netherlands. Advanced Cruise Control is likely to have a positive road safety effect; this can, however, not be quantified on the basis of the information that is available at present. On the basis of the literature, the other systems (HMW/FCW, LDWA en BBFB) are expected to have a positive behaviour effect, but this was not supported by the measurements in the practical test. Based on the measurements, literature, and discussions, this report has formulated hypotheses that could be tested in further studies. This may lead to adaptations of the anti-crash systems which could result in (measurable) safety effects.

Further study is required for a recommendation to stimulate or oblige the installation of anti-crash systems in all lorries. This can first be in the form of an in-depth analysis of the available data. Road types other than motorways also must be included in the study as further safety benefits may also be realized on those other road types.

Inhoud

1. Inleiding	9
1.1. Achtergrond	9
1.2. Doel	9
1.3. Vraagstelling en aanpak	9
2. De Anti-Ongevalsysteem	11
2.1. Longitudinale controle: Advanced Cruise Control (ACC) en Headway Monitoring (HWM)/Forward Collision Warning (FCW)	11
2.2. Laterale controle: Lane Departure Warning Assist (LDWA)	12
2.3. Black Box FeedBack (BBFB)	12
2.4. Directional Control (DC)	13
3. Resultaten uit de AOS-proef	14
3.1. Opzet Field Operational Test (FOT)	14
3.2. Gemeten gedragsveranderingen	15
4. Ongevallenanalyse	17
4.1. Aandeel autosnelwegen (ASW) en vrachtauto's	17
4.2. Aard van het ongeval	19
4.3. Oriëntatie aan de hand van processen-verbaal	21
5. Mogelijke effecten van AOS op verkeersveiligheid	23
5.1. Methode	23
5.2. Longitudinale controle: Advanced Cruise Control en Headway Monitoring en Forward Collision Warning	24
5.3. Laterale controle: Lane Departure Warning	25
5.4. Directional Control	25
5.5. Black Box FeedBack	26
6. Conclusies en aanbevelingen	28
6.1. Conclusies over mogelijk effect	28
6.2. Aanbevelingen voor nader onderzoek	29
Literatuur	30

1. Inleiding

1.1. Achtergrond

Teneinde met kortetermijnmaatregelen de filedruk op autosnelwegen te verminderen, is in het programma FileProof van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat onder andere de Field Operational Test (FOT) Anti-Ongevalsystemen (AOS) voor vrachtauto's opgenomen (de 'AOS-proef'). Dit project is uitgevoerd door een consortium en geleid door Connekt. De SWOV neemt deel aan de klankbordgroep. Een wezenlijk onderdeel van de AOS-proef is het bepalen van de effecten van de diverse in-voertuigsystemen op de verkeersveiligheid. Dit onderdeel is door TNO uitgevoerd. In opdracht van het consortium heeft de SWOV een *aanvullende* analyse en effectschatting gedaan; dit rapport geeft de uitkomsten daarvan weer. Dit rapport bevat geen second opinion over het werk van het consortium, in dit geval TNO. Om dit rapport zelfstandig leesbaar te maken is informatie uit andere AOS-rapporten overgenomen.

De SWOV heeft deze opdracht in korte tijd moeten uitvoeren, hetgeen een aantal beperkingen noodzakelijk maakte. We beschouwen alleen de autosnelwegen (ASW), alleen de systemen die in de FOT zijn onderzocht, en gaan uit van de resultaten van de proef zoals die begin juli 2009 (in concept) bekend waren. Er heeft geen controle op die resultaten plaatsgevonden, hooguit globaal. Naast de resultaten uit de AOS-proef vormt de reeds uitgevoerde literatuurstudie van TNO de basis voor deze analyse. De SWOV heeft deze literatuur op een enkel punt nog aangevuld. Een deel van het uitgangsmateriaal betreft dus niet-openbare concepten in het kader van de AOS-proef. Deze zijn vanaf september 2009 definitief en openbaar, maar kunnen in de tussentijd kleine veranderingen hebben ondergaan.

1.2. Doel

Deze analyse van de SWOV heeft als doel om een schatting te geven van de verkeersveiligheidseffecten van anti-ongevalsystemen in vrachtauto's op autosnelwegen. Deze effecten op de verkeersveiligheid worden zo veel mogelijk uitgedrukt in aantallen te besparen verkeersdoden en ziekenhuisgewonden.

1.3. Vraagstelling en aanpak

De SWOV heeft zich voor dit doel vijf onderzoeksvragen gesteld. Deze vragen zijn hieronder geformuleerd, alsmede de aanpak om ze te beantwoorden. De antwoorden zijn vervolgen te vinden in de *Hoofdstukken 2 t/m 6*.

1. Wat is de theoretische werking en effectiviteit van de AOS?

Het antwoord op deze vraag volgt uit een beknopte literatuurstudie van TNO plus enkele aanvullingen.

De resultaten hiervan – een beschrijving van de onderzochte anti-ongevalsystemen inclusief de te verwachten effecten op verkeersveiligheid – zijn weergegeven in *Hoofdstuk 2*.

2. Welke gedragseffecten van de AOS komen in de proef naar voren?

Voor de beantwoording van deze vraag is gebruikgemaakt van de gegevens uit het concept van de *Eindrapportage AOS* (8 juli 2009).

Hoofdstuk 3 beschrijft de opzet van de AOS-proef, en de gedragsveranderingen die daarin zijn geconstateerd, zoals afstand houden of gereden snelheid.

3. Wat zijn de belangrijkste toedrachten en factoren bij ongevallen met vrachtauto's op autosnelwegen in Nederland?

Voor beantwoording van deze vraag is een analyse uitgevoerd van bij de SWOV (openbaar) beschikbare ongevallendata en een korte oriëntatie op (vertrouwelijke) processen-verbaal.

De analyse is met name gebaseerd op de registratie van ongevallen door de politie; de resultaten hiervan worden in *Hoofdstuk 4* behandeld.

4. Welke verkeersveiligheidseffecten mogen van AOS verwacht worden?

Door de informatie uit de literatuur (vraag 1) en de opgetreden gedragseffecten (vraag 2) te spiegelen aan de toedrachten en factoren (vraag 3) wordt per AOS kwalitatief of kwantitatief aangegeven wat de effecten op veiligheid kunnen zijn (*Hoofdstuk 5*).

5. Welke conclusies en aanbevelingen zijn te geven?

Door de effecten per AOS op te tellen wordt een totaaleffect geschat. Uit aanwezige SWOV-kennis en de informatie (opzet, resultaten) die beschikbaar was uit de AOS-proef, worden aanbevelingen voor nadere analyse gegeven. Tevens wordt aangegeven wat vermoedelijke beperkingen zijn van de proef ten aanzien van het daarvoor gestelde doel (*Hoofdstuk 6*).

2. De Anti-Ongevalsystemen

In de AOS-proef zijn verschillende anti-ongevalsystemen getest. Dit hoofdstuk geeft een korte beschrijving van de geteste systemen, evenals van de effecten op de verkeersveiligheid die op grond van de literatuur te verwachten zijn. Waar mogelijk worden deze effecten betrokken op vrachtauto's en autosnelwegen. Uiteraard zegt niet iedere studie evenveel over het te verwachten effect. In het algemeen geldt dat ongevallenstudies het meest waardevol zijn, onder voorwaarde dat er al voldoende voertuigen op de weg uitgerust zijn met het bestudeerde AOS. In *Hoofdstuk 5* wordt dieper ingegaan op de te verwachten effecten van AOS in Nederland. Daarbij wordt af en toe wat meer ingezoomd op een studie uit de literatuur. Dit geldt vooral voor de eIMPACT-studie (Malone et al., 2008), die gerichte schattingen voor de grootte van de effecten geeft.

2.1. Longitudinale controle: Advanced Cruise Control (ACC) en Headway Monitoring (HWM)/Forward Collision Warning (FCW)

Bij een ACC stelt de bestuurder een gewenste vaste snelheid in – zoals bij cruisecontrol – en ook een gewenste volg(tijd)afstand. Wanneer de afstand tot de voorganger onder de ingestelde waarde komt neemt het voertuig gas terug of remt het (licht). Bij HWM is geen cruisecontrol aanwezig en wordt visueel en/of auditief gewaarschuwd bij een te kleine afstand. Soms wordt de time-to-collision (TTC) ingesteld; dat is de tijd die het duurt totdat bij de op dat moment gereden snelheid een botsing zal optreden. Wanneer de TTC onder de ingestelde drempelwaarde komt wordt een (auditief en/of visueel) signaal gegeven. Dat systeem wordt Forward Collision Warning (FCW) genoemd.

Met deze systemen voor 'longitudinale controle' zijn diverse veldtesten en simulatorstudies uitgevoerd. Omdat er nog maar weinig (vracht)auto's met ACC zijn, is een zinvolle ongevallenstudie niet mogelijk. De verschillende onderzoeken laten zeer verschillende effecten zien. Behalve met verschillen in kwaliteit van de studies zal dit ongetwijfeld te maken hebben met de verschillen in instelling (volgtijd en volgafstand) en terugkoppeling (auditief, visueel, remmen en dergelijke). Instelling en terugkoppeling maken in ieder geval uit voor de mate van acceptatie door gebruikers.

Op (relatief) rustige autosnelwegen wordt van deze systemen in de literatuur doorgaans een positief effect verwacht. De grootte van dat effect zal afhangen van de systeemkenmerken en het gebruik ervan. Hoe die afhankelijkheid is, is niet (goed) bekend. Een belangrijke reden daarvoor is dat de relatie tussen volgtijd (of TTC) en verkeersveiligheid (ongevals- of letselkans) niet bekend is. Dus ook al is bekend hoe het gedrag verandert, dan nog kan de link naar veiligheid niet kwantitatief worden gelegd. Op drukke wegen – en zeker op het onderliggend wegennet – wordt ACC doorgaans afgeraden.

In de literatuur over HWM en FCW valt op dat de geteste systemen onder veel verschillende namen optreden en – wezenlijker – verschillende functionaliteiten hebben. Over HWM lijkt in de literatuurstudie van TNO slechts één studie te zijn aangetroffen (Maltz & Shinar, 2004; in De Goede

et al., 2009a). Daaruit bleek weliswaar dat het percentage korte volgtijden (< 2 s) bijna halveerde, maar ook dat 'false alarms' leidden tot inadequate acties. FCW is meestal onderzocht in combinatie met andere systemen, zoals ACC. Dat alles maakt het lastig om een effect voor HWM of FCW uit de literatuur te schatten. Wel blijkt dat de acceptatie van het systeem sterk afhangt van de gebruiker en de instelling van het systeem.

2.2. Laterale controle: Lane Departure Warning Assist (LDWA)

Bij een Lane Departure Warning Assist (LDWA) wordt de afstand tot de kantbelijning gemeten en wordt een signaal gegeven wanneer deze te snel (time-to-line crossing, TLC) en/of te dicht genaderd wordt. Dit signaal kan haptisch ('tik' in het stuur), auditief (ook links en rechts) of visueel zijn. Net als bij de systemen uit de vorige paragraaf kunnen bij LDWA verschillende criteria voor het geven van een signaal ingesteld worden, en kan dat signaal op verschillende niveaus gegeven worden.

Ook voor het onderzoek naar LDWA geldt dat er onvoldoende voertuigen met dat systeem op de weg zijn om op basis van (vermeden) ongevallen iets over de effectiviteit te kunnen zeggen. Wel zijn er tamelijk veel veldtesten en simulatorstudies uitgevoerd, zeker ook naar de acceptatie van LDWA.

Doorgaans wordt in de literatuur een positief effect verwacht op autosnelwegen. Daarbij zijn er geen specifieke aanwijzingen over de invloed van verkeersdrukke daarop. Dit verwachte effect is gebaseerd op een lager aantal lijnoverschrijdingen en soms een verhoogde alertheid of frequenter gebruik van de richtingaanwijzer. Helaas geldt ook hier dat het verband tussen bijvoorbeeld TLC en/of alertheid en verkeersveiligheid onbekend is. Ook is de relatie tussen veranderd gedrag (TLC, daadwerkelijke lijnoverschrijdingen) en de systeemkenmerken of -instellingen, onvoldoende bekend.

2.3. Black Box FeedBack (BBFB)

Van een black box bestaan er grosso modo twee typen: systemen die vlak voor en na een ongeval (of ander 'event') gegevens opslaan (crash recorders) en systemen die dit gedurende de rit doen (trip recorders). Door een terugkoppeling over het vertoonde gedrag aan de bestuurder te geven en gewenst/ongewenst gedrag te belonen/straffen, wordt het gedrag beïnvloed. Ook voor black boxes geldt dat de systemen nogal kunnen verschillen. Ze kunnen gedrag beïnvloeden waarvan redelijk goed bekend is hoe dat kwantitatief gerelateerd is aan verkeersveiligheid, met name geldt dat voor snelheidsgedrag.

Van black boxes wordt doorgaans een positief effect op veiligheid gemeten, zeker ook bij professionele chauffeurs, en ze worden dan ook vaak door werkgevers gebruikt. Voor black boxes zijn wel ongevallenstudies uitgevoerd waarbij het effect op basis van vermeden ongevallen is bepaald. Voor vrachtauto's is dit gebeurd in het SAMOVAR-project (Wouters & Bos, 1997). Daarbij is een effect van 20% minder ongevallen gevonden, vermoedelijk toe te schrijven aan het gegeven dat chauffeurs wisten dat hun gedrag werd geobserveerd en ze daarom dat gedrag aanpasten. De beloning of straf (prikkel) blijkt ook belangrijk te zijn belangrijk. Een grootschalig experiment in Duitsland bij particulieren liet geen enkel effect van een black box zien.

Deze uitkomst was 'logisch', aangezien aan de deelnemers vooraf werd gemeld dat de registratie van hun gedrag geen enkele consequentie zou hebben. Een punt van aandacht is de meerwaarde van een black box in de huidige transportwereld. Er is immers al veel over het rijgedrag van de chauffeur bij de werkgever bekend.

Over de invloed van de aard van de terugkoppeling of de omvang van de prikkel is veel minder bekend. Een studie uit Israël laat zien dat terugkoppeling een tijdelijk, positief effect kan hebben.

2.4. Directional Control (DC)

Directional Control meet de stuurhoek, de gereden snelheid en de draaisnelheid van de wielen. Bij een juiste koers staan deze drie grootheden in een zekere relatie tot elkaar; een afwijking van deze relatie betekent dat het voertuig slipt. Aangezien de juiste relatie bekend is, kan Directional Control bij een afwijking het voertuig – binnen zekere grenzen – corrigeren door de wielen individueel (of separaat linker- en rechterzijde) te remmen. Bij personenwagens is dit systeem bekend als Electronic Stability Control (ESC), bij vrachtauto's heet dit Directional Control. Onduidelijk is in hoeverre ESC en DC in effect verschillen, wel is aannemelijk dat de situatie met een trekker en oplegger verschilt van die met een enkel voertuig zoals een personenauto. In de AOS-proef is ook gebruikgemaakt van één testvoertuig met een combinatie van DC en Roll-Over Control (ROC). Bij ROC wordt uit dezelfde metingen als van DC berekend wanneer het voertuig gaat kantelen.

ESC heeft in betrekkelijk korte tijd de markt veroverd. Dat heeft het mogelijk gemaakt het effect op veiligheid in de praktijk te bepalen, gebaseerd op vermeden ongevallen. Over dit soort ongevallenstudies zijn inmiddels ook goede literatuuroverzichten verschenen.

De ongevallenstudies laten een groot effect van ESC op enkelvoudige, dodelijke ongevallen zien, met name op gladde wegen en bij voertuigen met een hoog zwaartepunt, vooral SUV's. Voor letselongevallen is het effect aanmerkelijk minder. Dit laatste is te begrijpen als je bedenkt dat ESC vooral effect heeft op de (bots)snelheid. Een ongeval voorkómen lukt alleen maar als de afwijking van het voertuig binnen het regelbereik van de ESC ligt, maar ESC vermindert in de meeste, wellicht alle, gevallen de botssnelheid. En van snelheid is bekend dat dit een groter effect op ernstiger (of dodelijk) letsel heeft.

Als DC even effectief is als ESC dan heeft het een substantieel effect (-20% tot -40%) op ten minste de enkelvoudige ongevallen.

3. Resultaten uit de AOS-proef

3.1. Opzet Field Operational Test (FOT)

De Field Operational Test (FOT) bestond grofweg uit drie subprojecten: SP1 t/m SP3. Het eerste, SP1, bestond uit een groep van 1.266 voertuigen, grofweg in drie gelijke groepen voertuigen verdeeld: uitgerust (retrofit) met LDWA, met FCW/HWM (fabrikant: MobilEye) en een referentiegroep. Het subproject SP2 bestond uit 425 voertuigen, ongeveer gelijk verdeeld over een groep met BBFB, met FCW/HWM+LDWA en een referentiegroep. SP3 omvatte 340 vrachtauto's waarin door de voertuigfabrikant (OEM) LDWA (106, deels ook retrofit), DC (42) of ACC (128) is ingebouwd, en een referentiegroep van 64 voertuigen. Alle tankwagens (217) die in de AOS-proef meededen zijn in deze derde groep opgenomen. Naast deze drie subprojecten is er één testvoertuig met een combinatie van DC en Roll-Over Control (ROC) uitgezet bij transportbedrijven.

In *Tabel 1* staan de aantallen chauffeurs opgenomen die meededen in de drie subprojecten van de AOS-proef. Deze aantallen kunnen verschillen van de bovenstaande aantallen omdat het daar over voertuigen gaat.

Anti-Ongevalssysteem	SP 1	SP 2	SP 3
FCW/HWM (MobilEye, retrofit)	420		
FCW/HWM+LDWA (MobilEye, retrofit)		186	
LDWA (MobilEye, retrofit)	439		100
LDWA (OEM, af-fabriek)			54
BBFB		236	
ACC			160
DC			76
Referentie	411	234	86
Totaal	1.270	656	476

Tabel 1. *Chauffeurs verdeeld over subprojecten en anti-ongevalsystemen.*

Van de MobilEye zijn de instellingen vast, dat betekent dat in SP1 de AOS altijd aan hebben gestaan, de referentiegroep uiteraard uitgesloten. Bij SP2 en SP3 is de mate van gebruik niet helder. Sommige AOS konden uitgeschakeld worden en het is niet bijgehouden wanneer of hoe vaak het systeem stond ingeschakeld. Voor het onderzoek is dit een groot nadeel.

De groepen voertuigen met AOS in de test zijn te klein om op basis van (vermeden) ongevallen uitspraken over de effectiviteit mogelijk te maken. Wel zijn afstanden, waarschuwingen, snelheden en dergelijke bijgehouden, waardoor relevant gedrag dat is gerelateerd aan de AOS kan worden bepaald. In het *Eindrapport AOS* (concept 8 juli 2009) zijn de meetresultaten gegeven per systeem en per snelheidslimiet (80, 100, 120 km/uur).

Naast dit soort objectieve metingen zijn in de AOS-proef interviews, enquêtes en dergelijke uitgevoerd onder bestuurders. Deze kunnen een indicatie geven van de mate van acceptatie en van de waardering voor de systemen. Het is niet te bepalen wat dit soort resultaten (van interviews en dergelijke) zeggen over de objectieve verkeersveiligheid.

3.2. Gemeten gedragsveranderingen

Vrijwel alle AOS hebben een beoogde functionele werking via beïnvloeding van het gedrag. Het gaat daarbij om afstand houden (gemiddelde volgtijd, percentage volgtijden < 1 s), snelheid (gemiddelde, variatie) en koers houden (aantal 'lane departure'-waarschuwingen).

DC is het enige systeem dat geen directe invloed heeft op het gedrag, maar autonoom ingrijpt wanneer een vrachtauto slipt of dreigt te kantelen. Uit de tests op een proefbaan is gebleken dat het systeem functioneel werkt en dat de DC eerder ingrijpt dan de ROC (Roll-Over Control). De test met ROC leert dat het kantelrisico zelden de kritische grens benadert, laat staan overschrijdt. Dat is conform verwachting, een ongeval komt per voertuig immers zelden voor.

In *Tabel 2* is samengevat welke effecten op de gedragsvariabelen zijn gevonden in de AOS-proef. Alleen significante effecten zijn weergegeven.

Gedrag	DC/ROC	ACC	LDWA	FCW/HWM	BBFB
Gemiddelde volgtijd		+6%			
Volgtijd < 1 s		-3,2%	+5,9%		
Gemiddelde snelheid	-2%				
Variatie in snelheid	-14%				-24% / +5%
LD-waarschuwingen		-35%	-30% / -62%		

Tabel 2. Gedragseffecten van AOS zoals gevonden in de FOT (alle significant).

Hoewel van DC/ROC geen direct effect op gedrag te verwachten is, wordt wel een geringe afname in snelheid en een behoorlijke afname in variatie van de snelheid gemeten. De onderzoekers (*Eindrapportage AOS*, concept 8 juli 2009) geven aan dat het laatste te gering is om een effect te kunnen berekenen. Bovendien zijn in deze groep veel tankwagens vertegenwoordigd, wat door de onderzoekers als mogelijke verklaring wordt gegeven. Kennelijk wordt verondersteld dat in tankwagens met een homogener snelheid wordt gereden, omdat een lading vloeistof zich nu eenmaal anders gedraagt dan vaste lading. Onduidelijk is waarom dat niet als verklaring voor de relatief geringe 2% afname in gemiddelde snelheid geldt. Vanwege de kennelijke bias in de steekproef is de onverwachte snelheidsverandering niet doorgerekend in de effecten op verkeersveiligheid (zie *Hoofdstuk 5*).

Bij ACC is er een verwacht effect op gemiddelde en korte volgtijd gevonden. Verrassend is een forse verlaging van de 'alarm rate' voor 'lane departures' (aantal LD-waarschuwingen per tijdseenheid). Een hypothese is dat ACC de rijtaak verlicht: het is met ACC eenvoudiger om afstand te houden, waardoor er meer aandacht naar koers houden kan uitgaan. Dit is in lijn met de

positieve mening van chauffeurs over ACC (zie H.4 van de *Eindrapportage AOS*, concept 8 juli 2009).

LDWA doet voor het primair beoogde doel, koers houden, wat verwacht mag worden. Er is echter een groot verschil tussen de groep met LDWA die achteraf is gemonteerd (retrofit, MobilEye: -30%) en die door de fabrikant (af-fabriek, OEM: -62%). Dat kan met de verschillende instellingen van de betreffende LDWA-systemen te maken hebben. Er is ook een negatief effect op korte volgtijden: +5,9%, en wel bij de 'af-fabrikant'-groep. Parallel aan de hypothese bij ACC, geldt hier wellicht dat de LDWA de rijtaak verzwaart doordat de aandacht wordt verlegd naar het minimaliseren van het aantal LD-waarschuwingen, waardoor de volgtaak slechter wordt uitgevoerd. Bij de retrofit (MobilEye) groep is de LDWA mogelijk minder gevoelig afgesteld, waardoor minder afleiding optreedt en dientengevolge de volgtaak – naar verhouding – beter wordt uitgevoerd. Uiteraard is ook dit slechts een hypothese. Deze is echter wel in lijn met de niet zo positieve mening van chauffeurs over LDWA (H.4 van de *Eindrapportage AOS*, concept 8 juli 2009).

Opvallend is dat HWM/FCW geen effecten laat zien op gedrag. Uit § 4.4.1 van de *Eindrapportage AOS* (concept 8 juli 2009) kan worden opgemaakt dat het systeem waarschuwt bij een volgtijd < 2 s, exact hetzelfde als in de studie van Maltz & Shinar (2004; in De Goede et al., 2009a). Zij vonden bijna een halvering van het aandeel korte volgtijden in een simulatorstudie met (vermoedelijk) particuliere proefpersonen. Zowel die studie als de AOS-proef maakt melding van regelmatig vals alarm, waardoor het systeem als minder betrouwbaar wordt gezien. Bovendien ervaren de chauffeurs de instelling in de AOS-proef als erg strak (*Eindrapportage AOS*, concept 8 juli 2009), een indicatie dat de waarschuwing niet (altijd) zal worden opgevolgd.

4. Ongevallenanalyse

In dit hoofdstuk worden gegevens geanalyseerd uit BRON, Bestand geRegistreerde Ongevallen in Nederland, waarin de door de politie geregistreerde ongevallen en slachtoffers zijn opgenomen. De politie registreert echter niet alle ongevallen en slachtoffers. De registratiegraad varieert per jaar en is de laatste jaren rond 90% voor de verkeersdoden, en tussen 50-55% voor ziekenhuisgewonden.

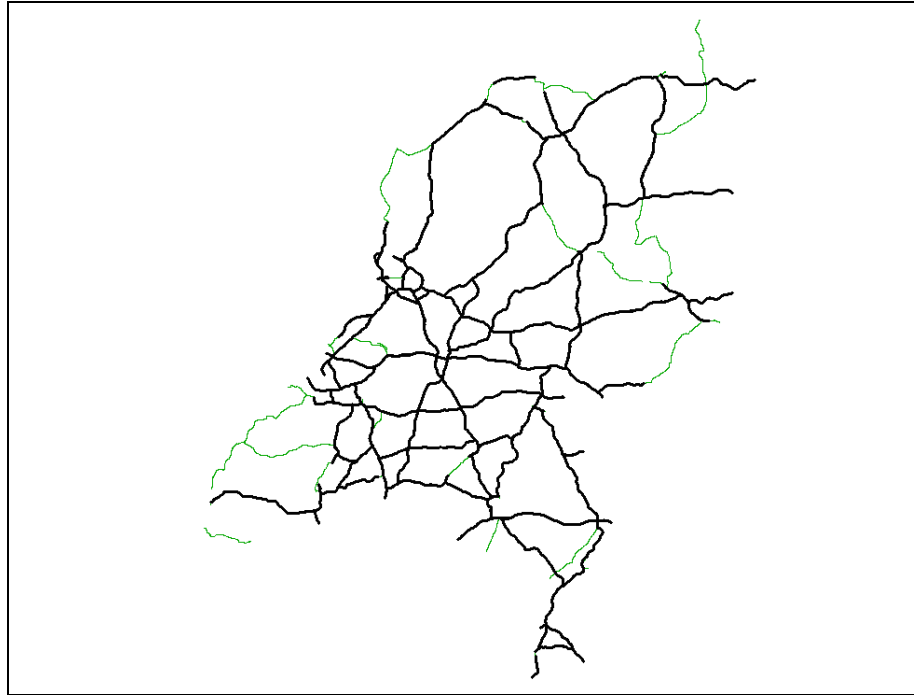
In de registratie zit een bias. Zo zijn ongevallen op autosnelwegen (ASW) goed geregistreerd; binnen de kom is dat aanmerkelijk lager. Iets soortgelijks geldt voor voertuigen. Ongevallen met motorvoertuigen, zeker vrachtauto's, worden tamelijk goed geregistreerd; wanneer alleen fietsers betrokken zijn is de registratiegraad laag. Voor licht letsel en uitsluitend materiële schade (UMS) is de registratiegraad zo laag en onbekend (bias) dat SWOV aanbeveelt deze gegevens niet in analyses te betrekken. Omdat ook voor ongevallen met weinig of geen letsel geldt dat zowel die met vrachtauto's als die op ASW relatief goed geregistreerd worden, is in dit hoofdstuk toch naar deze categorieën gekeken. Met name UMS-ongevallen zijn van invloed op voertuigverliesuren, wat belangrijk is voor de 'doorstromingsdoelstelling' van het AOS-project.

Tussen 2003 en 2004 is het aantal verkeersdoden in Nederland fors gedaald, een daling die nog niet helemaal is verklaard. Vanwege deze daling is in dit hoofdstuk alleen naar de vijfjarige periode 2004-2008 gekeken. Waar 'jaarlijks' of 'gemiddeld' staat betreft het dus de gemiddelden over 2004 t/m 2008.

4.1. Aandeel autosnelwegen (ASW) en vrachtauto's

Gemiddeld waren in het Nederlandse verkeer 810 werkelijke doden te betreuren bij 686 geregistreerde dodelijke ongevallen in 2004-2008. Deze aantallen verschillen omdat de politie niet alles registreert en er per ongeval meer dan één dode kan vallen. Bij zo'n 15% van alle dodelijke ongevallen is een vrachtauto betrokken (> 3.500 kg, inclusief trekkers met of zonder oplegger). Voor ziekenhuisgewonden ligt de vrachtautobetrokkenheid tussen 5 en 6%, hetgeen vanwege de relatief goede registratie van vrachtauto-ongevallen, een overschatting is van de werkelijkheid. Ongevallen met vrachtauto's zijn daarmee ernstiger dan gemiddeld, hetgeen vanwege hun grote massa en omvang niet verwonderlijk is (SWOV, 2008; Van Kampen, 1999).

Het blijkt lastig om precies te achterhalen welke ongevallen tot ASW-ongevallen gerekend mogen worden. In BRON wordt namelijk niet aangegeven of een ongeval op een autosnelweg heeft plaatsgevonden. Door de ongevallen te koppelen aan de 'actuele wegenlijst' (BRON is reeds aan het Nationaal Wegenbestand NWB gekoppeld) is het mogelijk om de ASW-ongevallen te selecteren; alle ASW zijn namelijk rijkswegen, dat wil zeggen in het beheer bij Rijkswaterstaat. Het Rijk heeft echter ook niet-ASW in beheer. In *Afbeelding 1* is dat geïllustreerd.



Afbeelding 1. Het Nederlandse rijkswegennet, met de ASW als vette zwarte lijnen.

Bij koppeling aan de actuele wegenlijst blijkt bijvoorbeeld dat op de wegvakken van Rijkswegen jaarlijks 30 dodelijke ongevallen plaatsvinden waar vrachtauto's bij zijn betrokken. Alleen voor ASW zijn dat er 25 (zie Tabel 3); dat is een derde van alle dodelijke ongevallen op ASW, en betekent ongeveer 3% van het totale verkeersonveiligheidsprobleem in Nederland.

Op ASW-kruisingen vinden weinig ongevallen met vrachtauto's plaats, namelijk in de orde van 1% van de ongeveer 3.000 wegvakongevallen per jaar. Dit is met name omdat kruisingen met ASW altijd ongelijkvloers zijn.

	2004	2005	2006	2007	2008	Totaal
Dodelijk gewond	26	24	27	23	22	122
Ziekenhuisopname	121	126	114	130	103	594
Spoedeisende hulp	116	134	119	136	120	625
Lichtgewond	71	77	50	56	43	297
UMS	2.718	2.761	2.771	2.750	2.210	13.210
Totaal	3.052	3.122	3.081	3.095	2.498	14.848

Tabel 3. Ongevallen van verschillende ernst op ASW-wegvakken met betrokkenheid van vrachtauto's.

Betrokkenheid van een vrachtauto wil (uiteeraard) niet zeggen dat de vrachtauto de veroorzaker van het ongeval was, voor zover er überhaupt sprake kan zijn van één veroorzaker. Ter illustratie: van de 122 dodelijke ongevallen met betrokkenheid van een vrachtauto op ASW van 2004-2008, werd de

vrachtauto in 56 gevallen als 1^e botser ('veroorzaker') geregistreerd, 53 maal was hij 2^e botser en 13 maal geen van beide, maar wel betrokken.

Bij een botsing met een vrachtwagen is de vrachtautochauffeur meestal niet het (ernstigste) slachtoffer. De verhouding is bij dit soort ongevallen ongeveer 1 op 12, dus 1 dodelijk gewonde vrachtauto-inzittende op 11 verkeersdoden buiten de vrachtauto. Op ASW ligt deze verhouding echter anders, ongeveer 1 op 5, omdat op ASW (kwetsbare) fietsers, voetgangers, brom- en snorfietsen ontbreken. Jaarlijks overlijden ongeveer 10 inzittenden van een vrachtauto, waarvan 4 op ASW.

4.2. Aard van het ongeval

Niet alle AOS zijn primair bedoeld om de verkeersveiligheid te verbeteren. Zo wordt een ACC (ook) als comfortstelsel verkocht en kan een BBFB de bedoeling hebben om het brandstofverbruik omlaag te brengen. Vaak is er echter een primair ongevalstype te herleiden waarop deze systemen het meeste effect beogen te sorteren. Zo mag van een LDWA verwacht worden dat die vooral enkelvoudige ongevallen zal voorkomen, terwijl een HWM/FCW gericht is op kop-staartongevallen. In andere gevallen zal een systeem op vrijwel alle ongevallen een effect hebben; dat geldt bijvoorbeeld voor systemen die de snelheid en alertheid beïnvloeden. In *Tabel 4* is daarom het aantal ongevallen met vrachtauto's op ASW uitgesplitst naar de aard van het ongeval. Deze informatie zal in *Hoofdstuk 5* worden gebruikt om per systeem een schatting van het effect op veiligheid te maken.

Ernst	Aard ongeval	Totaal 2004-2008	Percentage	Ernst	Aard ongeval	Totaal 2004-2008	Percentage
Dodelijk	Voetganger	3	2%	Lichtgewond	Voetganger	1	0%
	Parkeren	7	6%		Parkeren	6	2%
	Vast voorwerp	15	12%		Dier	1	0%
	Los voorwerp	1	1%		Vast voorwerp	24	8%
	Frontaal	6	5%		Los voorwerp	1	0%
	Flank	21	17%		Frontaal	8	3%
	Kop-staart	67	55%		Flank	90	30%
	Eenzijdig	2	2%		Kop-staart	149	50%
	<i>Subtotaal</i>	<i>122</i>	<i>100%</i>		Eenzijdig	15	5%
Ziekenhuis	Voetganger	5	1%	Niet bekend	2	1%	
	Parkeren	15	3%	<i>Subtotaal</i>	<i>297</i>	<i>100%</i>	
	Dier	2	0%	UMS	Voetganger	6	0%
	Vast voorwerp	71	12%		Parkeren	36	0%
	Los voorwerp	1	0%		Dier	48	0%
	Frontaal	18	3%		Vast voorwerp	1.177	9%
	Flank	119	20%		Los voorwerp	134	1%
	Kop-staart	328	55%		Frontaal	433	3%
	Eenzijdig	35	6%		Flank	5.144	39%
<i>Subtotaal</i>	<i>594</i>	<i>100%</i>	Kop-staart		4.375	33%	
SEH	Voetganger	2	0%		Eenzijdig	1.762	13%
	Parkeren	7	1%	Niet bekend	95	1%	
	Vast voorwerp	55	9%	<i>Subtotaal</i>	<i>13.210</i>	<i>100%</i>	
	Frontaal	17	3%	Eindtotaal		14.848	
	Flank	168	27%				
	Kop-staart	339	54%				
	Eenzijdig	34	5%				
	Niet bekend	3	0%				
	<i>Subtotaal</i>	<i>625</i>	<i>100%</i>				

Tabel 4. Aard van de ongevallen op ASW met betrokkenheid van een vrachtauto.

Tabel 4 laat zien dat de ernstige ongevallen (dodelijk, ziekenhuis) voor ruim de helft kop-staartbotsingen zijn. Dit aandeel neemt af tot een derde bij UMS-ongevallen 'ten faveure' van met name flankongevallen, die blijkbaar doorgaans minder ernstig aflopen. Eenzijdige ongevallen kennen slechts één betrokkene, die geen object raakt. Enkelvoudige ongevallen zijn wellicht relevanter, namelijk de som van eenzijdige ongevallen en ongevallen waarbij een vast of los voorwerp wordt geraakt. Het aandeel enkelvoudige ongevallen loopt op van 15% tot 23% bij afnemende ongevals ernst.

Nu kan het zo zijn dat een AOS alleen effect heeft op ongevallen waar de vrachtauto 'veroorzaker' van is. Overigens is het lastig om altijd juist in te

schatten wie de veroorzaker was, ook voor de politie die de ongevallen heeft geregistreerd. Een HWM/FCW zal een kop-staartbotsing wellicht kunnen voorkomen als de vrachtauto op een voorganger rijdt. Wanneer de vrachtauto van achter wordt aangereden zal een HWM/FCW geen effect kunnen sorteren. Een LDWA kan mogelijk een ongeval voorkomen waarbij de vrachtauto uit koers raakt en de flank van een ander voertuig raakt. Ook hier geldt dat LDWA alleen werkzaam kan zijn als de vrachtauto 'veroorzaker' is. Het is daarom van belang om voor ten minste de flank- en kop-staartongevallen de betrokkenheid van de vrachtauto als 1^e botser ('veroorzaker') te kennen.

Ernst	Aard ongeval	Totaal 2004-2008	Percentage
Dodelijk	Flank	5	4%
	Kop-staart	27	22%
Ziekenhuis	Flank	56	9%
	Kop-staart	112	19%
SEH	Flank	93	15%
	Kop-staart	167	27%
Lichtgewond	Flank	51	17%
	Kop-staart	82	28%
UMS	Flank	2.968	22%
	Kop-staart	2.396	18%

Tabel 5. Aard van de ongevallen op ASW met betrokkenheid van een vrachtauto als 1^e botser.

De percentages in *Tabel 5* zijn betrokken op alle typen ongevallen van de betreffende ernstgraad met vrachtauto's op ASW, dus ook die waar de vrachtauto geen 1^e botser is. In ongeveer de helft van de ernstige ongevallen is de vrachtauto 1^e botser, bij UMS is dat aandeel hoger (niet getoond in tabel). De reden is dat meervoudige ongevallen met vrachtauto's relatief ernstig zijn; enkelvoudige ongevallen kennen vaker alleen materiële schade of licht letsel. Bij een enkelvoudig ongeval is de vrachtauto uiteraard altijd 1^e botser.

4.3. Oriëntatie aan de hand van processen-verbaal

Voor een indruk van de toedracht van ongevallen met vrachtauto's op ASW, zijn van achttien dodelijke ongevallen in 2008 de registratiesets bekeken. Dit is uiteraard een te klein aantal om representatief te zijn, wel geven ze een idee van wat er bij een dergelijk ongeval zoal kan gebeuren.

In zeven van de achttien gevallen is beoordeeld dat een AOS mogelijk een ongeval of ernstig letsel had kunnen voorkomen. Het verloop van die ongevallen en de mogelijke invloed van AOS worden hieronder beschreven.

1. Rechter rijstrook is afgezet voor werkzaamheden, hetgeen te laat wordt opgemerkt door vrachtautochauffeur. Deze rijdt tegen de kopse kant van de geleiderail, waarna de vrachtauto ondersteboven op de rechter rijstrook komt. De chauffeur van de vrachtauto overlijdt.

Een HWM/FCW/ACC had wellicht tot eerder remmen en lichter letsel kunnen leiden.

2. Een vrachtauto remt vanwege file. Daarachter rijdt een bestelbus, waar een andere vrachtauto achterop rijdt. De chauffeur van de bestelbus overlijdt.
Een HWM/FCW/ACC had wellicht tot eerder remmen en lichter letsel kunnen leiden.
3. Om onduidelijke redenen rijdt een vrachtauto tegen de linker geleiderail. De vrachtauto kantelt en de chauffeur overlijdt.
Wellicht had een LDWA geholpen koers te houden.
4. Een auto met caravan moet remmen. Daarachter rijden twee vrachtauto's, waarvan de achterste niet tijdig remt. De chauffeur van de personenauto overlijdt.
Een HWM/FCW/ACC had wellicht tot eerder remmen en lichter letsel kunnen leiden.
5. Een vrachtauto neemt de afslag naar een tankstation, raakt in de berm en kantelt. De chauffeur overlijdt.
Mogelijk had LDWA of DC het ongeval kunnen voorkomen.
6. Een vrachtauto raakt om onduidelijke redenen in de geleiderail. De chauffeur overlijdt.
Mogelijk had LDWA of DC het ongeval kunnen voorkomen.
7. Bij het in- en uitvoegen van meerdere voertuigen raakt een personenauto een vrachtauto. Er ontstaat een ongeval waarbij een personenauto tegen de geleiderail tot stilstand komt en de chauffeur overlijdt.
De gang van zaken is complex, hetgeen de beoordeling speculatief maakt. Maar wellicht had een LDWA het in- en uitvoegen kunnen vergemakkelijken.

De overige elf ongevallen hadden een verloop dat waarschijnlijk niet beslissend beïnvloed had kunnen worden door AOS in de vrachtauto. Een personenauto reed achterop een vrachtwagen; een motor reed te snel, waardoor hij slipte en onder een vrachtwagen kwam, en dergelijke.

5. Mogelijke effecten van AOS op verkeersveiligheid

In dit hoofdstuk worden de informatie over de systemen, de in de literatuur aangetroffen effecten op verkeersveiligheid, de meetresultaten van de AOS-proef en de uitkomsten van de ongevallenstudie, bij elkaar gebracht. Per systeem levert dit een beredeneerde schatting voor het effect van AOS op de verkeersveiligheid.

Enquêtes, interviews en dergelijke, die ook tot de resultaten van de AOS-proef behoren, zijn bij de effectschatting in dit rapport niet gebruikt. Deze onderzoeksresultaten geven een beeld van de mening van gebruikers, bestuurders, stakeholders en dergelijken. Zo'n beeld is niet te vertalen naar effecten op verkeersveiligheid in termen van vermeden ongevallen of slachtoffers. Wel is het waardevol om bijvoorbeeld het draagvlak of het te verwachten gebruik in te schatten.

Literatuurstudies leveren vaak een algemene verwachting van een effect, of een gemiddeld reductiepercentage van ongevallen. In dit hoofdstuk is rekening gehouden met de bijzondere groep waar het hier om gaat: vrachtauto's op autosnelwegen. Dit betekent dat ongevallen met fietsers of frontale botsingen veel minder relevant zijn. Waar mogelijk is gebruik gemaakt van kennis over ongevallen op ASW en met vrachtauto's.

5.1. Methode

De AOS, behalve DC, kunnen werkzaam zijn omdat ze het gedrag van de chauffeur veranderen: beter afstand houden (ACC, HWM/FCW), beter koers houden (LDWA), gelijkmatiger snelheid aanhouden (BBFB). Daarom zijn gemeten gedragsveranderingen in principe het meest waardevol. Ze zeggen het meest over het voorkómen of beperken van de gevolgen van de relevante ongevallen: vrachtauto's op ASW. Zo zal beter afstand houden naar verwachting effect sorteren op kop-staartbotsingen met de vrachtauto als 1^e botser ('kop'). We weten hoeveel kop-staartongevallen er zijn (A) en als we weten welk aandeel (B) bijvoorbeeld een HWM/FCW kan voorkomen kunnen we uitrekenen hoeveel ongevallen dit geteste systeem kan voorkómen in de toekomst ($A*B$).

Een groot nadeel van deze methode is echter dat van veel van de gevonden gedragsveranderingen niet duidelijk is tot welk aandeel verbetering in ongevallen deze kunnen leiden. Snelheid is relatief eenvoudig te meten en dat is in ongevallenstudies dan ook op grote schaal gebeurd. De gemeten snelheden (gemiddelde, verdeling) zijn afgezet tegen ongevallenfrequenties en daaruit is een verband tussen snelheid (gedrag) en ongevallen op te maken, bijvoorbeeld de formules van Nilsson. De afstand tot de voorganger of de laterale positie, is echter veel lastiger op grote schaal te meten; daarom zijn ongevallenstudies als bij snelheid dan ook niet uitgevoerd. Onderzoek met rijssimulators of (beperkte) veldtesten (zie *Hoofdstuk 2*) geven wel een indicatie van de richting van het verband (positief/negatief) en de grootte, maar zijn onvoldoende valide en betrouwbaar om een kwantitatieve schatting te rechtvaardigen. Een veel gebruikte aanvulling op rijssimulatoronderzoek, veldtesten, dieptestudies en dergelijke, is om experts op systematische wijze een schatting te laten maken van het effect, zoals bij

de eIMPACT-methode (Malone et al., 2008). Of en wanneer een dergelijke methode tot juiste schattingen leidt (valide is) is niet bekend, noch of de methode betrouwbaar is (komen andere experts tot andere schattingen?).

In dit hoofdstuk is een verkeersveiligheidseffect verondersteld als van een gedragsverandering (redelijke) consensus in de literatuur bestaat over het te verwachten effect op veiligheid. Daarbij is gekeken naar de kwaliteit van de literatuur en de onderliggende studies. Aan (grootschalige) ongevallestudies wordt de meeste waarde toegekend. Alleen in *Paragraaf 5.4* hebben we het verkeersveiligheidseffect kunnen kwantificeren.

5.2. Longitudinale controle: Advanced Cruise Control en Headway Monitoring en Forward Collision Warning

HWM en FCW grijpen niet zelf in maar kunnen alleen effect sorteren via het gedrag van de chauffeur. Die gedragswijzigingen zijn niet gebleken en daarom is vanuit de AOS-proefresultaten geen effect op veiligheid aan te nemen.

Van ACC is niet bekend welk deel van de tijd deze daadwerkelijk aanstond. De gevonden gedragsveranderingen zijn dan ook een gevolg van het bezit van ACC en bestaan uit 6% toename van de gemiddelde volgtijd en 3,2% afname van korte volgtijden (< 1 s), beide gunstig voor de veiligheid. Er zijn geen goede studies bekend waarin deze gedragseffecten kwantitatief aan (vermeden) ongevallen of slachtoffers gekoppeld worden. Uit de literatuur wordt wel geconcludeerd dat een ACC met name op rustige ASW een gunstig effect kan hebben. Bij eIMPACT (Malone et al., 2008) is geschat dat ACC maar liefst 45% van alle dodelijke kop-staartongevallen kan voorkomen en 30% van de letselongevallen van dat type. Als basis is daarvoor een studie van Alkim et al. (2006; in Malone et al., 2008) genomen. In deze studie werd een afname in korte volgtijden gevonden van 70%, 50% of 30% (bij resp. 'free flow', 'busy traffic' en 'congestion'), zij het dat daar niet 1 s maar 0,7 s als grens voor korte volgtijd is aangehouden. Het is logisch dat ACC meer effect op de kortste volgtijden zal hebben, maar het verschil tussen 3,2% (AOS) en circa 50% (Alkim et al.) is wel erg groot. Uit de eIMPACT studie valt op te maken dat de ACC niet altijd werd gebruikt, 50% tijdens free flow, 35% als het druk was en 8% bij files. Vermoedelijk heeft de 45% dus betrekking op gebruik en niet op bezit, zoals bij de AOS-proef.

Een kenmerkend verschil tussen ACC en HWM/FCW is dat ACC zelf ingrijpt. Ook als de chauffeur geen actie onderneemt zal de botssnelheid dus lager liggen en daarmee is sowieso enig effect te verwachten. Dit effect is, gezien het belang van snelheid voor met name ernstige ongevallen, groter voor dodelijke ongevallen dan bijvoorbeeld UMS-ongevallen. Een ander verschil is dat HWM/FCW een auditieve waarschuwing geeft, bij ACC is dit fysiek: de chauffeur bemerkt een vertraging. In het algemeen wordt gevonden dat fysieke signalen een groter effect op gedrag sorteren.

Een opmerkelijke gedragswijziging is dat het aantal 'lane departure'(LD)-waarschuwingen met maar liefst 35% afneemt terwijl dat geen beoogd effect van een ACC is. Een hypothese is dat het afstand houden een intensieve taak is voor de chauffeur die verlicht wordt door ACC. Daardoor is meer aandacht beschikbaar voor een andere taak: koers houden, resulterend in

een betere uitvoering daarvan. Beter koers houden leidt naar verwachting tot minder enkelvoudige ongevallen.

Al met al mag aangenomen worden dat ACC een gunstig effect heeft op de verkeersveiligheid van vrachtauto's op ASW, dat echter lastig valt te kwantificeren. Omdat ACC zowel op kop-staart- als enkelvoudige ongevallen een effect zal hebben, is het zeker een relevant systeem. Het heeft betrekking op 125 ernstige enkelvoudige ongevallen (*Tabel 4*) en 139 kop-staartbotsingen (*Tabel 5*, vrachtauto 1^e botser), een aandeel van ruim een derde van alle ernstige ongevallen met vrachtauto's op ASW. Voor UMS is dit aandeel wat hoger, circa 40%.

5.3. Laterale controle: Lane Departure Warning

In de eIMPACTstudie (Malone et al., 2008) wordt het effect van LDWA (daar Lane Keeping Support genoemd) op het verkeersdoden en letsels bij flankongevallen ('side-by-side collision') geschat op 20%, voor kop-staartongevallen op 7% en voor enkelvoudige ongevallen op 70%. Deze cijfers worden niet of nauwelijks onderbouwd.

Uit de AOS-proef vinden we een afname van 30% (retrofit) tot 60% ('af-fabriek') van het aantal LD-waarschuwingen. Het grote onderlinge verschil kan met de onderzoeksgroep of de instelling en het gebruik van LDWA te maken hebben. In beide gevallen is de afname gunstig, waarbij het op z'n minst opvallend is dat bij retrofit een lager effect wordt gevonden dan bij ACC (35% minder LD-waarschuwingen, zie *Paragraaf 5.2*).

Ongunstig is het dat een toename van 5,9% korte volgtijden (< 1 s) wordt gevonden in de groep 'af-fabriek', de groep waar het grootste effect op de LD-waarschuwingen (60%) is gemeten. Kop-staartbotsingen zijn voor korte volgtijden het meest relevante ongevalstype en lopen relatief vaak ernstig af. Een hypothese is dat een LDWA leidt tot een verhoging van de taak-belasting waardoor kortere volgtijden optreden.

Al met al is het effect van LDWA op de verkeersveiligheid van vrachtauto's op ASW onduidelijk.

5.4. Directional Control

Bij DC heeft de chauffeur geen invloed op de werking. Gezien dit feit, de verwachte vergelijkbaarheid met ESC en de relatief goede gegevens uit de literatuur over ESC (gebaseerd op ongevallenstudies) mag verwacht worden dat DC een belangrijk positief effect op met name enkelvoudige ongevallen zal hebben. Bij eIMPACT wordt dit effect geschat op 35% voor dodelijke ongevallen en 20% bij letselongevallen (met zowel licht als ernstig gewonden). Men baseert zich bij eIMPACT ook op de ESC-studies. Hoewel ook hier geldt dat verschillende studies met verschillende effecten komen, geldt dat de orde grootte relatief hard is, zeker in vergelijking met de andere anti-ongevalsystemen.

De eIMPACT studie (Malone et al., 2008) schat voor 'side-by-side collisions' geen effect voor DC maar voor 'angle collisions' een effect van 12,5% reductie voor dodelijke ongevallen en 7,5% voor letselongevallen. Het is op voorhand niet helder of flankongevallen als uitsluitend 'side-by-side' of ook als 'angle' gezien moeten worden.

Uit *Tabel 4* volgt dat in de laatste 5 jaar 18 enkelvoudige (vast voorwerp, los voorwerp, eenzijdig) dodelijke ongevallen plaatsvonden met een vrachtauto op de ASW. Gemiddeld waren er van 2004-2008 33 dodelijke ongevallen op Rijkswegen met vrachtauto's. Let wel, het gaat om Rijkswegen (R-nummer), daar zitten ook niet-ASW bij (zie *Afbeelding 1*). Daarbij waren 30 doden onder de tegenpartij en 7 doden in de vrachtauto te betreuren (registratiegraad 2004-2008 is 100%). Dit betekent dat er ongeveer $37/33 = 1,12$ dode per dodelijk ongeval is. Per jaar wordt dan het aantal relevante doden op $18/5 * 1,12 = 4,03$ geschat en met een effectiviteit van 35% uit eIMPACT bespaart dat circa 1,4 dode per jaar. Wanneer 'angle' uit eIMPACT als flankongevallen te zien zijn, komt een vergelijkbare berekening (*Tabel 4* voor waarden) op $21/5 * 1,12 = 4,70$ en met een effectiviteit van 12,5% is dat afgerond 0,6 dode. In totaal wordt dan 2 doden per jaar bespaard.

Voor enkelvoudige ongevallen met minstens één ziekenhuisgewonde waren er 107 op ASW met betrokkenheid van een vrachtauto (*Tabel 4*, totaal 2004-2008). De gemiddelde registratiegraad over 2004-2007 voor ziekenhuisgewonden (in ongevallen met vrachtauto's/bussen) is 89%. Op soortgelijke wijze als bij de doden wordt het aantal ziekenhuisgewonden per ongeval op 1,15 geschat (172/149). Het aantal jaarlijkse, werkelijke ziekenhuisgewonden met vrachtauto's op ASW wordt dan geschat op $107/5 * 1,15/0,89 = 28$. Uit eIMPACT volgt voor letselongevallen een geschatte effectiviteit van 20%. Omdat hier ook licht letsel onder zal vallen wordt nu de effectiviteit voor ziekenhuisgewonden wat hoger geschat, op 25%, en kan DC ongeveer 7 ziekenhuisgewonden per jaar met vrachtauto's op ASW voorkómen. Voor flankongevallen wordt dit (zie *Tabel 4* voor waarden) $119/5 * 1,15/0,89 = 31$. De geschatte effectiviteit uit eIMPACT is 7,5%; voor ziekenhuisgewonden is ook deze iets hoger te schatten, op 10%, en de besparing komt daarmee 3 ziekenhuisgewonden per jaar. In totaal zijn dan met DC 10 ziekenhuisgewonden per jaar te besparen.

Van UMS-ongevallen is niet bekend wat de registratiegraad is, noch hoeveel voertuigen per UMS-ongeval er gemiddeld zijn. In eIMPACT is geen effectiviteit voor UMS-ongevallen gegeven, maar deze zal lager liggen dan voor letselongevallen. Volgens *Tabel 4* zijn er ongeveer 600 enkelvoudige UMS per jaar (23% van alle typen UMS-ongevallen met vrachtauto's op ASW). De onbekende correctie voor de registratiegraad en het aantal beschadigde voertuigen per ongeval leidt tot hogere besparingen, die voor de lagere effectiviteit tot lagere besparingen. Onder de zeer arbitraire aanname dat die effecten elkaar compenseren, kan DC 120 UMS-voertuigen per jaar voorkomen. Er zijn ongeveer 1030 flankongevallen onder UMS. Met dezelfde aannamen volgt een effectiviteit van 7,5% en een besparing van circa 80 UMS. In totaal zijn dan jaarlijks 200 UMS-ongevallen door DC te besparen.

5.5. Black Box FeedBack

Een mogelijk effect van een black box hangt af van:

- de uitgangssituatie: is er al veel over het gedrag bij bijvoorbeeld de werkgever bekend?
- de aard van de terugkoppeling: bijvoorbeeld gereden snelheden of alleen verbruik;

- de gevolgen (prikkel): wordt gewenst gedrag beloond en/of ongewenst gedrag bestraft?

In de proef is één type BBFB gebruikt die een verschillend effect op gedrag blijkt te hebben bij verschillende groepen vrachtauto's . Kennelijk zijn de uitgangssituatie en/of de prikkel verschillend voor beide groepen. Het gaat om een groep vrachtauto's van één transporteur en een groep gehuurde vrachtauto's. De eerste groep vertoont gewenst gedrag, 24% minder snelheidsvariatie, de tweede groep licht ongewenst gedrag, 5% meer snelheidsvariatie. Men kan beredeneren dat de uitgangssituatie bij de transporteur 'ongunstiger' is (dat wil zeggen minder extra effect zal hebben) omdat de werkgever al gegevens over de chauffeur heeft. Dat is niet het geval bij de verhuurder die over de huurder (relatief) weinig weet. Die redenatie leidt echter tot de conclusie dat de eerste groep minder effect van de BBFB zal ondervinden, terwijl juist meer effect is gemeten. Het gebleken verschil in gedrag zal daarom vermoedelijk afkomstig zijn van de verwachte gevolgen voor de chauffeur van gewenst of ongewenst gedrag; die zullen groter zijn bij de transporteursgroep.

De AOS-proef heeft bevestigd dat een BBFB effect kan hebben op gedrag en daarmee effectief kan zijn in het verbeteren van de verkeersveiligheid. Daarvoor is een goed 'arrangement' noodzakelijk, waarbij uitgangssituatie, gemeten variabelen en prikkel op elkaar afgestemd zijn. Uiteraard bepaalt dat ook het aantal slachtoffers dat bespaard kan worden.

6. Conclusies en aanbevelingen

6.1. Conclusies over mogelijk effect

De basis van dit rapport vormen de gedragsmetingen van de AOS-proef en een ongevalanalyse. Van drie systemen wordt vanwege die resultaten geen effect aangenomen.

Headway Monitoring (HWM) en Forward Collision Warning (FCW) zouden een effect moeten hebben op het gedrag; uit de AOS-proef had dit veranderd gedrag moeten blijken. Een dergelijk effect is echter niet geconstateerd.

Voor Black Box FeedBack (BBFB) geldt dat dit systeem ook via gedrag werkzaam moet zijn. Hier zijn wel effecten gemeten, maar deze blijken te gering te zijn om vertaald te kunnen worden naar effecten op veiligheid. Bovendien bleken ze afhankelijk te zijn van de onderzoeksgroep. Het is denkbaar – zeker omdat in de literatuur grote effecten zijn gevonden – dat een andere vorm van BBFB, gekoppeld aan een andere of een sterkere prikkel voor de chauffeur positief voor verkeersveiligheid zal uitpakken.

Bij Lane Departure Warning Assist (LDWA) zijn tegengestelde gedragsveranderingen aangetroffen: minder Lane Departure-waarschuwingen, maar meer korte volgtijden, althans bij de groep waar het effect op LD-waarschuwingen het grootst was. Het vermoeden bestaat, gebaseerd op terugkoppeling van chauffeurs en werkgevers, dat de instelling van de LDWA als irritant werd ervaren, waardoor de aandacht werd verlegd van 'volgen' (dat daardoor slechter gebeurde) naar 'koers houden' (dat daardoor verbeterde). Het is denkbaar dat een andere instelling van de LDWA leidt tot een minder grote of geen verhoging van de taakbelasting, waardoor een netto veiligheidseffect optreedt. Verder kan een LDWA als surrogaat 'alertheidssysteem' dienst doen, maar daarnaar is in de AOS-proef geen onderzoek verricht.

Van Advanced Cruise Control (ACC) mag aangenomen worden dat het de aantallen slachtoffers vermindert door ongevallen met vrachtauto's op autosnelwegen. Zowel voor kop-staartbotsingen als voor enkelvoudige ongevallen zijn positieve gedragsveranderingen gemeten in de AOS-proef. In hoeverre deze ongevalstypen voorkómen of in gevolgen beperkt kunnen worden is echter niet aan te geven. Omdat kop-staartbotsingen (met als 1^e botser een vrachtauto) en enkelvoudige ongevallen een substantieel deel uitmaken van de ernstige ongevallen, kan ACC een substantieel effect hebben.

Voor Directional Control (DC) is een effect van 1-2 vermeden doden en 7-10 vermeden ziekenhuisgewonden per jaar berekend. Van alle slachtoffers waarop de AOS-proef betrekking heeft, ongeveer 27 doden en 137 ziekenhuisgewonden door ongevallen met vrachtauto's op autosnelwegen, is dit 5-8%.

6.2. Aanbevelingen voor nader onderzoek

In *Paragraaf 3.2* komt naar voren dat een bias in de onderzoeksgroep de gevonden resultaten (deels) kan verklaren. In hoeverre dit de werkelijke verklaring is verdient nader onderzoek.

In deze studie is alleen naar autosnelwegen gekeken, maar de systemen kunnen ook werkzaam zijn op andere wegen, wegen die (nog) belangrijker zijn voor de verkeersveiligheid. Zo wordt van DC ook een positief effect verwacht op het onderliggend wegennet, van ACC niet (Hoetink, 2003). Het is aan te raden om het effect van AOS op het onderliggend wegennet te onderzoeken voordat definitieve voorstellen worden opgesteld voor de introductie van AOS in vrachtauto's.

ACC is een systeem met potentie, maar met het voorliggende materiaal is er geen kwantitatieve schatting van de veiligheidseffecten van ACC mogelijk. Mogelijk kan een betere schatting van vermeden ongevallen en beperking van letsel worden gegeven aan de hand van de botssnelheden die volgen uit gemeten gedragsveranderingen (eerder reageren, zelf remmen van ACC) en kennis uit de literatuur. Verder is het substantiële effect op de laterale positie van vrachtauto's opvallend. De hypothese die dit kan verklaren zou getoetst kunnen worden door de taakbelasting met en zonder ACC in een experiment te meten.

Voor LDWA is het van belang na te gaan of een instelling mogelijk is waarbij de taak niet verzwaaard wordt. Dat zou als gevolg moeten hebben dat geen kortere volgtijden (of waarschuwingen) optreden terwijl wel minder 'lane departure' waarschuwingen optreden. Voor één groep is een dergelijke instelling gevonden, maar het effect op laterale positie bleek geringer dan het (secundaire!) effect van ACC.

Bij BBFB is vooral interessant onder welke condities (instelling, prikkel) het gedrag van chauffeurs wijzigt. Daarover is in aanleg veel bekend uit de literatuur; bovendien worden daar substantiële effecten gerapporteerd. Mogelijk kan samen met transporteurs en chauffeurs een in potentie effectieve black box met voldoende draagvlak onder gebruikers worden ontwikkeld en getest.

Voor DC is het van belang om bij voldoende marktpenetratie, net als bij ESC, ongevallenstudies op basis van vermeden ongevallen uit te voeren.

Voor HWM/FCW is het opvallend dat er geen gedragswijziging is geconstateerd. De systemen adresseren wel een relevant probleem, namelijk kop-staartbotsingen. ACC doet dat ook, en werkt wel, maar kan niet achteraf (retrofit) worden ingebouwd, waardoor ACC niet geschikt is om in alle vrachtauto's te introduceren. Nagegaan kan worden of een andere instelling voor HWM/FCW wel kan leiden tot gewenste gedragsveranderingen.

Literatuur

Connekt, Buck Consultants & TNO (2009). *Eindrapportage AOS*. Concept 8 juli 2009. Connekt kenniscentrum verkeer en vervoer, Delft.

Goede, M. de, Hogema, J. & Hoedemaeker, M. (2009a). *Literatuurstudie effecten AOS op veiligheid*. Concept 13 maart 2009. TNO Human Factors, Soesterberg.

Goede, M. de, Hogema, J. & Hoedemaeker, M. (2009b). *Conceptueel model veiligheidseffecten van AOS*. Concept 9 juli 2009. TNO Human Factors, Soesterberg.

Hoetink, A.E. (2003). *Advanced Cruise Control en verkeersveiligheid. Een literatuurstudie*. R-2003-24. SWOV, Leidschendam.

Kampen, L.T.B. van & Schoon, C.C. (1999). *De veiligheid van vrachtauto's; Een ongevallen- en maatregelenanalyse*. R-99-31. SWOV, Leidschendam.

Malone, K.M. et al. (2008). *Socio-economic impact assessment of stand-alone and co-operative intelligent vehicle safety systems (IVSS) in Europe*. Deliverable D4 of the eIMPACT project (Impact assessment of Intelligent Vehicle Safety Systems). TNO/European Commission, Brussels.

SWOV (2008). *Vracht- en bestelauto's*. SWOV-Factsheet januari 2008. SWOV, Leidschendam.

Wouters, P.I.J. & Bos, J.M.J. (2000). *Traffic accident reduction by monitoring driver behaviour with in-car data recorders*. In: Accident Analysis and Prevention, vol. 32, nr. 5, p. 643-650.