

Veiligheidseffecten van rijtaakondersteunende systemen

Bijlage bij het convenant van de ADAS Alliantie

R-2019-14

SWOV



Auteurs



Dr. W.P. Vlakveld

Ongevallen **voorkomen**
Letsel **beperken**
Levens **redden**

Documentbeschrijving

Rapportnummer:	R-2019-14
Titel:	Veiligheidseffecten van rijtaakondersteunende systemen
Ondertitel:	Bijlage bij het convenant van de ADAS Alliantie
Auteur(s):	Dr. W.P. Vlakveld
Projectleider:	Dr. W.P. Vlakveld
Projectnummer SWOV:	E19.04.G
Opdrachtgever:	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Projectinhoud:	Deze bijlage is door SWOV opgesteld in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. De ondertekenaars van het convenant zetten zich in om veilig gebruik van ADAS te bevorderen. Het is daarbij van belang dat die ADAS gestimuleerd worden die bijdragen aan de verkeersveiligheid. Op basis van bestaande literatuur is nagegaan of er geavanceerde rijtaakondersteunende systemen zijn die mogelijk een negatief effect hebben op de verkeersveiligheid.
Aantal pagina's:	28
Fotografen:	Paul Voorham (omslag) – Peter de Graaff (portret)
Uitgave:	SWOV, Den Haag, 2019

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

SWOV – Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid

Beuzidenhoutseweg 62, 2594 AW Den Haag – Postbus 93113, 2509 AC Den Haag
070 – 317 33 33 – info@swov.nl – www.swov.nl

 [@swov_nl](https://twitter.com/swov_nl) / [@swov](https://twitter.com/swov)  [linkedin.com/company/swov](https://www.linkedin.com/company/swov)

Samenvatting

Dit overzicht is door SWOV opgesteld in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, als bijlage bij het convenant van de 'ADAS Alliantie', ondertekend op 3 juni 2019. De ondertekenaars van het convenant zetten zich in om veilig gebruik van rijtaakondersteunende systemen (ADAS) te bevorderen. Van belang daarbij is dat die ADAS gestimuleerd worden die bijdragen aan de verkeersveiligheid.

Van 14 geavanceerde rijtaakondersteunende systemen is in de wetenschappelijke literatuur nagegaan wat er bekend is over het **effect op de verkeersveiligheid**. Daarbij is gezocht naar degelijk opgezette onderzoeken waarin het effect op de verkeersveiligheid in de praktijk is gemeten. Geen enkel onderzocht systeem lijkt de verkeersveiligheid ongunstig te beïnvloeden. Wel zijn er indicaties dat het ene systeem meer bijdraagt aan de positieve ontwikkeling van de verkeersveiligheid dan het andere.

Behalve naar het effect op de verkeersveiligheid is ook gekeken naar de **accuraatheid** van de systemen. Dit houdt in dat systemen 1) waarschuwen en/of ingrijpen in alle gevallen waarin er sprake is van een kritieke situatie en 2) geen valse alarmen afgeven of onnodig ingrijpen.

Daarnaast is gekeken naar zogeheten **gedragsadaptatie**. Geavanceerde rijtaakondersteunende systemen kunnen namelijk het gedrag van de bestuurder veranderen. Een bestuurder kan bijvoorbeeld ten onrechte gaan denken dat nu het systeem 'aanstaat', hij of zij zelf niet meer zo goed hoeft op te letten en rustig onder het rijden andere dingen kan gaan doen.

Sommige ADAS functioneren niet in bepaalde omstandigheden. Zo functioneren Lane Departure Warning Systems bij de huidige stand van de techniek alleen goed als ze de belijning kunnen 'zien'. Er is daarom ook nagegaan wat de **randvoorwaarden** zijn waarin de systemen goed functioneren.

Van elke onderzochte ADAS is uiteindelijk een globale indicatie gegeven van het effect op de verkeersveiligheid. Ook is aangegeven hoe rijp het geavanceerde rijtaakondersteunend systeem is om op dit moment al gepromoot te worden. Deze resultaten staan samengevat in de tabel op de volgende pagina.

Stelsel	Informereren/ Waarschuwen/ Overnemen/ Ingrijpen	Accuraatheid	Gedrags- aanpassing	Randvoor- waarden	Effect op verkeers- veiligheid ¹	Timing van promotie ²
Longitudinale controle (snelheid)						
Forward Collision Warning	Waarschuwen	Redelijk	Gering		+/-	Nu
Autonomous Emergency Braking	Ingrijpen	Redelijk	Gering		+	Nu
Combinatie van FCW en AEB	Waarschuwen/ Ingrijpen	Redelijk	Gering		++	Nu
Voetganger-/Fietser-detectie	Waarschuwen	Vermoedelijk nog onvoldoende	Onbekend		Onbekend	Potentieel
Adaptive Cruise Control	Overnemen	Redelijk	Tegenstrijdige resultaten		Tegenstrijdige resultaten	Geen (gericht op comfort)
Intelligent Speed Adaptation	Informereren/ Waarschuwen/ Overnemen	Goed	Gering	Navigatie-systemen met snelheidslimieten; Nauwkeurige plaatsbepaling	+/- + ++ ³	Nu
Laterale controle (sturen en intentie tot koersverandering)						
Lane Departure Warning	Waarschuwen	Redelijk	Gering	Goede belijning	+/-	Nu
Lane Keeping System	Overnemen	Redelijk	Onbekend	Goede belijning	Onbekend	Potentieel
Dodehoekverklapper	Waarschuwen	Redelijk	Gering		+/-	Nu
Gecombineerde longitudinale en laterale controle						
Autopilot	Overnemen	Redelijk	Groot	Goede belijning	Onbekend	Potentieel
Monitoren staat van de bestuurder						
Vermoeidheidsdetector	Waarschuwen	Vermoedelijk nog onvoldoende	Onbekend		Onbekend	Potentieel
Afleidingsdetector	Waarschuwen	Onvoldoende	Onbekend		Onbekend	Potentieel
Alcoholslot	Ingrijpen	Goed	Geen		++	Nu
Ondersteuning bij bijzondere manoeuvres						
Achteruitrijcamera	Waarschuwen	Redelijk	Gering		+/-	Nu

1. gering +/-, redelijk +, groot ++

2. Nu = kan bij huidige stand van de techniek al gepromoot worden; Potentieel = effect op de verkeersveiligheid in de praktijk is onbekend, maar kan bij gebleken effectiviteit een grote bijdrage leveren aan de verkeersveiligheid en vervolgens ook gepromoot worden; Geen = promotie heeft geen prioriteit, omdat het veiligheidseffect (in de praktijk nog onbekend) als tamelijk laag wordt ingeschat.

3. afhankelijk of de ISA informerend, waarschuwend, of in meer of mindere mate ingrijpend is.

Inhoud

1	Wat is ADAS en wat doet ADAS?	8
1.1	ADAS: technologische systemen die bestuurders ondersteunen bij de uitvoering van de rijtaak	8
1.2	Accuraatheid: geeft het systeem een alarm als het moet en geeft het geen valse alarmen?	9
1.3	GEDRAGSADAPTATIE: aanpassing van gedrag bepaalt de netto veiligheidswinst	9
2	Typen onderzoek naar het veiligheidseffect	12
2.1	Opzet A: studies met/zonder ADAS	12
2.2	Opzet B: Field Operational Tests	12
2.3	Opzet C: studies op 'test tracks'	13
2.4	Opzet D: simulatorstudies	13
2.5	Opzet E: schattingen op basis van statistieken	13
3	Typen rijtaakondersteunende systemen	14
3.1	Rijtaakondersteunende systemen voor longitudinale controle (snelheid)	15
3.1.1	Forward Collision Warning (FCW)	15
3.1.2	Autonomous Emergency Braking (AEB)	15
3.1.3	Combinatie van FCW en AEB	16
3.1.4	Voetganger- en/of fietserdetectie	16
3.1.5	Adaptive Cruise Control (ACC)	16
3.1.6	Intelligent Speed Adaptation (ISA)	17
3.2	Rijtaakondersteunende systemen voor laterale controle (sturen)	18
3.2.1	Lane Departure Warning (LDW)	18
3.2.2	Lane Keeping System (LKS)	18
3.2.3	Dodehoekverklippers (Blind spot monitoring)	18
3.3	Gecombineerde longitudinale en laterale controle	19
3.3.1	Autopilot	19
3.4	Systemen die de staat van de bestuurder bewaken/controleren	20
3.4.1	Vermoeidheidsdetectoren	20
3.4.2	Afleidingsdetectoren	20
3.4.3	Alcoholslot	20
3.5	Rijtaakondersteuning bij bijzondere manoeuvres	21
3.5.1	Achteruitrijcamera's	21
4	Indicatie veiligheidseffecten	22

Lijst van afkortingen

Afkorting	Betekenis
ABS	Anti-lock Braking System (Antiblokkeersysteem)
ACC	Adaptive Cruise Control
ADAS	Advanced Driver Assistent System(s)
AEB	Automatic Emergency Braking
ESC	Electronic Stability Control
FCW	Forward Collision Warning
FOT	Field Operational Test
ISA	Intelligent Speed Adaptation
LDW	Lane Departure Warning
LKS	Lane Keeping System
SCE	Safety Critical Event

1 Wat is ADAS en wat doet ADAS?

Dit overzicht is door SWOV opgesteld in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, als bijlage bij het convenant van de ADAS Alliantie, ondertekend op 3 juni 2019. De ondertekenaars van het convenant zetten zich in om veilig gebruik van rijtaakondersteunende systemen (ADAS) te bevorderen. Van belang daarbij is dat die ADAS gestimuleerd worden die bijdragen aan de verkeersveiligheid.

De centrale vraag in deze bijlage is of er geavanceerde rijtaakondersteunende systemen zijn die mogelijk een negatief effect hebben op de verkeersveiligheid. Dit is nagegaan aan de hand van bestaande literatuur.

1.1 ADAS: technologische systemen die bestuurders ondersteunen bij de uitvoering van de rijtaak

ADAS staat voor Advanced Driver Assistent Systems. Deze systemen helpen de menselijke bestuurder van een voertuig bij de uitvoering van zijn of haar rijtaak. Ze kunnen de bestuurder *informer*en of *waarschuwen*, de rijtaak gedeeltelijk van de bestuurder *overnemen*, en/of *ingrijpen* bij kritieke situaties.

Een voorbeeld van een systeem dat *informeert*, is een navigatiesysteem dat permanent aangeeft wat de maximumsnelheid is van de weg waarop men rijdt. Een systeem dat een alarmsignaal geeft (visueel, auditief, haptisch) indien de bestuurder is afgeleid, is een voorbeeld van een systeem dat *waarschuwt*. Een systeem dat een *deel van de rijtaak overneemt*, verlaagt bijvoorbeeld automatisch de snelheid zodat men niet te dicht achter een voorligger komt te rijden, zoals bij Adaptive Cruise Control (ACC). Een systeem dat automatisch hard afremt om een botsing te voorkomen, zoals bij Automatic Emergency Braking (AEB), is een systeem dat *ingrijpt* bij kritieke situaties. Combinaties van rijtaakondersteunende systemen zijn ook mogelijk. Het systeem waarschuwt dan bijvoorbeeld eerst, zoals bij Forward Collision Warning (FCW), en als de bestuurder dan niet op die waarschuwing reageert, voert het voertuig een noodstop uit, zoals bij AEB.

ADAS zijn er niet alleen voor bedoeld om het autorijden veiliger te maken, maar ook om het voor de bestuurder comfortabeler te maken. Sommige ADAS zijn meer gericht op de veiligheid, zoals systemen die ingrijpen in noodsituaties en andere ADAS zijn meer gericht op het comfort, zoals systemen die de rijtaak voor een deel overnemen. Bij dit laatste kan onder andere gedacht worden aan ACC.

Systemen die alleen ingrijpen bij kritieke situaties, zoals Electronic Stability Control (ESC), staan vaak permanent aan. De bestuurder merkt er onder het 'gewone' rijden niets van. Systemen die de rijtaak deels overnemen, zoals ACC of systemen die de auto automatisch in het midden van de rijstrook houden (Lane Keeping Systems: LKS), moeten door de bestuurder worden aangezet. De bestuurder ervaart dan tijdens het rijden dat het systeem aanstaat. Lang niet alle bestuurders zetten de aanwezige ADAS aan tijdens het rijden. Een onderzoek onder 1.355 zakelijke rijders (Harms & Dekker, 2017) liet zien dat – hoewel de auto's ermee waren uitgerust – ACC, Lane

Departure Warning (LDW) en FCW, maar weinig werden gebruikt. Een belangrijke reden daarvoor is dat mensen niet weten dat die ADAS in hun voertuig zit.

Van systemen die alleen waarschuwen in noodsituaties (bijvoorbeeld als de bestuurder in slaap dreigt te vallen), merkt de bestuurder onder het gewone rijden ook niets. Het komt echter wel soms voor dat de bestuurder deze ADAS bij iedere rit weer moet aanzetten. Systemen die alleen continu informeren, staan meestal automatisch aan. Bij sommige van de ADAS die automatisch aanstaan, is het wel mogelijk om deze uit te zetten.

Ook een gebrek aan vertrouwen is een belangrijke reden dat bestuurders bepaalde ADAS niet aanzetten. Volgens Kidd et al. (2017) bleek onder andere dat het vertrouwen in dodehoekverklippers groot was en dat deze systemen ook vaak werden aangezet, maar het vertrouwen in LDW was laag. De bestuurders gaven aan dat ze het vertrouwen in LDW hadden verloren door de vele valse alarmen. Hierdoor leidde naar hun zeggen LDW te veel af.

1.2 Accuraatheid: geeft het systeem een alarm als het moet en geeft het geen valse alarmen?

Van alle systemen, maar vooral van systemen die waarschuwen en/of ingrijpen, is het belangrijk dat ze accuraat zijn. Dit wil zeggen dat de *sensitiviteit* en de *specificiteit* hoog moeten zijn. Een systeem is sensitief indien het geen enkele situatie mist waarin er daadwerkelijk gewaarschuwd of ingegrepen moet worden. Een voertuig dat is uitgerust met AEB en dat toch op een voorligger botst, heeft dus een AEB met een (te) lage sensitiviteit. Echter, het systeem moet ook weer niet waarschuwen en/of ingrijpen wanneer er feitelijk niets aan de hand is. Dit betekent dat het systeem ook specifiek moet zijn: het mag geen valse alarmen geven en niet onnodig ingrijpen. Een voorbeeld van onnodig ingrijpen is een AEB die hard remt wanneer het voertuig een nauwe tunnel inrijdt.

De accuraatheid van een bepaalde ADAS kan van automerk tot automerk verschillen. Ook binnen een automerk kan de accuraatheid van een bepaalde ADAS tussen verschillende modellen, en binnen een model van modeljaar tot modeljaar verschillen. Zo is het denkbaar dat een oudere versie van een Lane Keeping System minder goed functioneert dan een nieuwere versie van dit systeem. De accuraatheid is ook mede afhankelijk van aspecten buiten het voertuig. Lane Keeping Systems en Lane Departure Warning Systems hebben wegbelijning nodig om af te lezen wat de laterale positie van het voertuig is. Indien deze belijning ontbreekt of wanneer deze is weggesleten, kunnen deze systemen niet de laterale positie van het voertuig bepalen.

1.3 Gedragsadaptatie: aanpassing van gedrag bepaalt de netto veiligheidswinst

Vaak wordt aangegeven dat de mens een grote rol speelt bij het ontstaan van verkeersongevallen. Daarmee bedoelt men dat bestuurders in een ongevalssituatie terecht komen doordat ze zaken verkeerd inschatten, al dan niet bewust risico's nemen, al dan niet bewust overtredingen begaan, afgeleid zijn, achter het stuur wegdommelen, onder invloed van psychoactieve stoffen verkeren, et cetera. De redenatie is dan dat ADAS die ongevallen kunnen voorkomen, omdat systemen op basis van informatietechnologie zich wel altijd aan de aan hen opgegeven verkeersregels houden, niet afgeleid raken, niet vermoeid raken, niet onder de invloed van alcohol verkeren en geen risico's nemen.

Dit is natuurlijk waar, maar ook automatische systemen doen het niet altijd in alle omstandigheden goed, omdat hun sensitiviteit en specificiteit beperkt zijn. Hierdoor moeten 'bestuurders' toch permanent blijven opletten wanneer ze in voertuigen met rijtaakondersteuning rijden: voertuigen met niveau 0, niveau 1 en niveau 2 van automatisering (zie *Tabel 1*).

Tabel 1 Samenvatting van de niveaus van voertuigautomatisering zoals deze is onderscheiden door de Society of Automotive Engineers (SAE_International, 2016).

Niveau	Mate van automatisering	Omschrijving
Niveau 0	Geen automatisering	De bestuurder heeft gedurende de hele rit het voertuig zelf onder controle, maar kan daarbij wel ondersteund worden door bijvoorbeeld systemen die waarschuwen voor naderende botsingen of door ABS.
Niveau 1	Rijtaakondersteuning	Bepaalde aspecten van de rijtaak kunnen gedeeltelijk overgenomen worden, zoals bij ACC en bij LKS. Van de bestuurder wordt echter verwacht dat deze de volledige controle behoudt. De systemen dienen onmiddellijk 'overruled' te kunnen worden door de bestuurder.
Niveau 2	Gedeeltelijke rijtaakautomatisering	Het voertuig kan op bepaalde momenten en bepaalde locaties autonoom rijden doordat het voertuig zowel de longitudinale als de laterale controle heeft overgenomen (door bijvoorbeeld een koppeling tussen ACC en LKS). De bestuurder dient tijdens dit autonoom rijden echter wel het functioneren van het systeem en de verkeersomgeving permanent te bewaken. De bestuurder moet onmiddellijk de volledig controle van het systeem kunnen overnemen.
Niveau 3	Conditioneel automatisch rijden	Het voertuig kan op bepaalde plaatsen en onder bepaalde condities de hele dynamische rijtaak zonder hulp van de bestuurder uitvoeren. Als het voertuig op de 'automatische piloot' rijdt en het systeem vraagt de bestuurder om de rijtaak over te nemen, moet de bestuurder dit snel kunnen doen. Dit vereist dat de bestuurder 'in the loop' moet blijven wanneer het voertuig op de 'automatische piloot' rijdt.
Niveau 4	Hoog geautomatiseerd rijden	Het voertuig kan op de meeste plaatsen en de meeste momenten de volledige dynamische rijtaak uitvoeren. Het automatische systeem kent een 'fall-back'-optie als het primaire systeem faalt. De bestuurder hoeft daardoor de rijtaak niet over te nemen indien 'op de automatische piloot' gereden wordt. Er zijn echter vooraf bekende gebieden waar het systeem niet functioneert en waar dus de bestuurder de rijtaak wel dient over te nemen.
Niveau 5	Volledig autonoom rijden	Het systeem kan op alle plaatsen en onder alle omstandigheden de rijtaak zelfstandig uitvoeren. De 'bestuurder' is passagier geworden en hoeft nergens meer in te grijpen.

Uit onderzoek is gebleken dat bestuurders in hoog geautomatiseerde auto's er moeite mee hebben om voortdurend te blijven opletten, en dat ze geneigd zijn andere dingen te gaan doen onder het rijden, ook wanneer hun verteld is dat de ADAS in hun auto niet 100% betrouwbaar is (bijvoorbeeld Carsten et al., 2012). Zelfs wanneer bestuurders in zo'n geval géén andere dingen gaan doen en waarschuwingen krijgen wanneer ze niet opletten, verliezen ze toch de aandacht voor wat er om hen heen in het verkeer gebeurt. In een Zweeds onderzoek bleek bijvoorbeeld dat na een half uur rijden in een hoog geautomatiseerde auto, 28% van de deelnemers tegen een geparkeerde opblaasauto botste, ondanks het feit dat ze de handen aan het stuur hielden en ze gewaarschuwd werden wanneer ze van de weg af keken (Victor et al., 2018). Ook dient bedacht te worden dat door automatisering bestuurders geleidelijk aan vaardigheden verliezen en dat ze dan niet meer goed zelf kunnen handelen in de enkele situaties waarin dat wel nodig is, omdat de ADAS faalt.

Als het gaat om de veiligheidswinst van ADAS-systemen, is er dus sprake van een saldo: enerzijds voorkomen ADAS ongevallen en anderzijds ontstaan er ook weer nieuwe aanleidingen voor ongevallen door ADAS. Veiligheidswinst is er dus alleen als het aantal ongevallen dat door ADAS voorkomen wordt, groter is dan het aantal ongevallen dat erdoor ontstaat. Die nieuwe ongevallen ontstaan onder andere door:

- een afname van situatiebewustzijn; doordat men minder op het verkeer gaat letten weet men niet wat er om hen heen gebeurt en waar dat in de volgende seconden toe kan leiden (Endsley & Kaber, 1999);
- een te lage taakbelasting, waardoor men andere dingen gaat doen of zich minder concentreert op de rijtaak;
- een teveel aan vertrouwen in ADAS, waardoor men niet meer controleert of het systeem goed functioneert (Hergeth et al., 2016); en
- 'mode confusion': doordat men zich vergist in de stand waarin het systeem staat (bijvoorbeeld 'uit' in plaats van 'aan'), houdt men er op een onjuiste manier rekening mee (Endsley, 2017).

Al deze oorzaken worden samengevat onder de noemer gedragsadaptatie. Door de gedragsadaptatie van de bestuurder is het netto veiligheidseffect van ADAS altijd lager dan men technisch gezien zou verwachten. Er is echter doorgaans geen sprake van risico-homeostase (Wilde, 1982). Bij homeostase zou het zo zijn dat alle veiligheidswinst van een bepaalde ADAS ongedaan wordt gemaakt door onveilig gedrag van de bestuurder vanwege die ADAS. Meestal blijft er wel een netto-veiligheidseffect van een rijtaakondersteunend systeem over. Hoe groot dat netto-effect is, verschilt van systeem tot systeem.

Ook kan het zijn dat er bij een bepaalde ADAS van automerk X wel een netto positief effect op de verkeersveiligheid overblijft, maar dat van dezelfde ADAS bij van automerk Y geen netto positief verkeersveiligheidseffect overblijft (bijvoorbeeld Cicchino, 2018a). Vaak is niet bekend wat het afzonderlijke effect van gedragsadaptatie bij een bepaalde vorm van ADAS is. Wel wordt het effect van gedragsadaptatie automatisch meegenomen bij onderzoeken naar het effect op ongevallen van ADAS in de praktijk.

2 Typen onderzoek naar het veiligheidseffect

Het effect van ADAS is alleen met 100% zekerheid vast te stellen door zogenoemde 'randomized controlled trials' uit te voeren in het werkelijke verkeer met geregistreerde ongevallen als afhankelijke variabele. Bij dergelijke onderzoeken wordt random toegewezen wie in het onderzoek in een voertuig van een bepaald type met een bepaalde ADAS rijdt en wie in een voertuig van dat type zonder die bepaalde ADAS rijdt. Dit is in de praktijk vrijwel onmogelijk om te organiseren. Randomized controlled trials over bepaalde ADAS zijn dan ook niet aangetroffen in de literatuur.

Het onderzoek dat wel is aangetroffen onderscheiden we in dit overzicht naar onderzoeksopzet. Afhankelijk van validiteit en betrouwbaarheid van de studieopzet, hanteren we de volgende indeling A t/m E (2.1 t/m 2.5). In dit rapport is ernaar gestreefd om zo veel mogelijk gebruik te maken van studies met de hoogste validiteit en betrouwbaarheid: opzet A of B.

2.1 Opzet A: studies met/zonder ADAS

De op-een-na-beste onderzoeksopzet wat betreft validiteit en betrouwbaarheid, en heel indicatief, zijn studies waarbij de ongevalsbetrokkenheid van voertuigen van hetzelfde model en type met en zonder een bepaalde ADAS met elkaar vergeleken worden. Een klein nadeel van deze methode is dat van die auto's niet bekend is hoeveel ze hebben gereden en dat aangenomen moet worden dat de auto's met die ADAS en zonder die ADAS evenveel rijden. Ook is er bij deze studies sprake van 'self selection bias'. Dit betekent dat autokopers zelf bepalen of ze een auto met of zonder die ADAS kopen. Het zou kunnen dat een bepaald type bestuurder voor een auto met die ADAS kiest en een ander type bestuurder voor een auto zonder die ADAS. Verschillen in ongevalsbetrokkenheid kunnen dan veroorzaakt zijn door die ADAS, maar ook door de verschillen in persoonlijkheid. Recentelijk zijn er veel studies in wetenschappelijke tijdschriften verschenen waarin het effect van een bepaalde ADAS op deze manier in de praktijk is onderzocht.

2.2 Opzet B: Field Operational Tests

Ook goed, maar kwalitatief net iets minder wat betreft validiteit dan de onderzoeken naar ongevallen in de praktijk, zijn de 'Field Operational Tests' (FOT's). Hierbij gaat het om geïnstrumenteerde auto's (geïnstrumenteerd met camera's en meetapparatuur) die rijden in het werkelijke verkeer en waarbij de bestuurder het voertuig gebruikt zoals hij of zij dat altijd doet. FOT's zijn naturalistic driving-studies met als verschil dat er in het voertuig een bepaalde ADAS zit. In deze studies is automatisch het effect van de accuraatheid van de ADAS en dat van gedragsadaptatie verdisconteerd. Een nadeel is echter dat vanwege de kleine steekproef en de korte looptijd van dergelijk onderzoek (die samenhangen met de kosten) geen ongevallen geregistreerd worden, maar bijna-ongevallen. Dit zijn de zogenaamde Safety Critical Events (SCE). SCE's blijken echter niet altijd goede voorspellers te zijn van echte ongevallen (Guo et al., 2010).

2.3 Opzet C: studies op ‘test tracks’

Weer iets minder wat betreft de validiteit, maar wel goed wat betreft de betrouwbaarheid, zijn de resultaten van studies met voertuigen op een ‘test track’ (een van het openbaar verkeer afgesloten circuit of weggedeelte). Het gaat dan om de echte rijtaakondersteunende systemen in echte auto’s. De steekproef is echter meestal klein en ook hier gaat het niet om daadwerkelijke ongevallen, maar om SCE’s. Daarnaast kan het gedrag van de bestuurder op een test track afwijken van het gedrag in de werkelijkheid.

2.4 Opzet D: simulatorstudies

Nog weer wat minder valide, maar wel goed wat betreft betrouwbaarheid, zijn simulatorstudies. Resultaten uit simulatoronderzoek zijn niet zonder meer te vertalen naar de werkelijkheid. Het rijgedrag in de rijsimulator komt niet altijd exact overeen met het rijgedrag op de weg. Dit is onder andere afhankelijk van de rijsimulator en de gesimuleerde omgeving. De ADAS in de rijsimulator functioneert wat betreft sensitiviteit en specificiteit ook meestal niet precies zoals de ADAS in een werkelijke auto. In de resultaten van simulatorstudies is wel enigszins het effect van gedragsadaptatie verdisconteerd.

2.5 Opzet E: schattingen op basis van statistieken

Het minst valide zijn schattingen op basis van statistieken over ongevallen. Het gaat dan om studies waarin op basis van ongevallen een schatting gemaakt wordt van het potentiële effect van een bepaalde ADAS. De redenering is dan bijvoorbeeld dat ‘X%’ van de ongevallen kop-staartbotsingen zijn. De desbetreffende ADAS is ontwikkeld om dit type ongevallen te voorkomen en bij een penetratiegraad van ‘Y%’ (het aandeel van het totaal aantal voertuigen dat over dit systeem beschikt), betekent dit een reductie van ‘Z’ kop-staartbotsingen. Bij deze schattingen worden de mogelijke effecten van een gebrekkige sensitiviteit en specificiteit en een eventuele gedragsadaptatie niet meegenomen. Van dergelijke studies wordt vooral gebruikgemaakt bij ADAS die nog maar net op de markt zijn of die nog in ontwikkeling zijn.

3 Typen rijtaakondersteunende systemen

Er zijn waarschijnlijk tientallen verschillende ADAS. Bij elke autofabrikant werken de rijtaakondersteunde systemen net weer even anders en ze heten ook vaak net even anders. De Amerikaanse National Safety Council heeft in samenwerking met de universiteit van Iowa een website ontwikkeld met onafhankelijke informatie over de werking van de 38 meest voorkomende geavanceerde rijtaakondersteunende systemen. Deze website heet 'My Car Does What?' (<https://mycardoeswhat.org>). Op deze website staat van elke ADAS kort aangegeven wat het systeem doet, maar ook wat het niet doet en waar de bestuurder dus op moet letten. Om dit duidelijk te maken staat voor bijna elk van de 38 ADAS een filmpje op die website.

In dit document bespreken we een selectie van die 38 systemen. Niet alle 38 ADAS waarvan de werking op deze website wordt uitgelegd, zijn direct bedoeld om de verkeersveiligheid te verbeteren, zoals automatische inparkeersystemen die vooral comfort bieden. Ook staan er ADAS genoemd die al in alle nieuwe auto's zitten, zoals ABS en ESC, en die daarom voor het convenant van de ADAS Alliantie niet relevant zijn als het gaat om het bevorderen van de aanschaf daarvan.

Het Europees Parlement heeft overeenstemming bereikt over systemen waarmee nieuw ontworpen automodellen vanaf mei 2022 en alle nieuw geregistreerde modellen vanaf 2024 dienen te zijn uitgerust.¹ Niet alle systemen die verplicht worden gesteld, worden besproken in deze bijlage. De redenen zijn dat ze óf niet als 'advanced' mogen worden beschouwd óf de rijtaak niet ondersteunen. Zo zal bij een fel knipperend remlicht – Emergency Brake Light Display of EBLD – een bestuurder in een achterliggend voertuig eerder reageren dan bij een gewoon remlicht indien de voorligger hard remt (Berg et al., 2007), maar dit systeem kan niet als 'advanced' worden beschouwd. Een voorbeeld van een systeem dat wel als 'advanced' mag worden beschouwd, maar dat de bestuurder niet ondersteunt bij de uitvoering van de rijtaak, is de Event (Accident) Data Recorder (black box). Een dergelijk systeem is nuttig bij het analyseren van de toedracht van ongevallen en mogelijk noopt het de bestuurder ook om voorzichtiger te rijden, maar het ondersteunt de bestuurder niet bij de uitvoering van de rijtaak.

In het vervolg van dit rapport geven we een kort overzicht van 14 ADAS, eventuele gedragsadaptatie daaraan, en het (mogelijk) verkeersveiligheidseffect ervan. Alleen ADAS die primair bedoeld zijn om de verkeersveiligheid te verbeteren zijn besproken, aangevuld met enkele ADAS die meer gericht zijn op comfort, maar toch ook impact kunnen hebben op de verkeersveiligheid, zoals ACC en de 'autopilot'. Voor het overzicht hebben we de ADAS ingedeeld naar het aspect van de rijtaak dat ze ondersteunen:

- ADAS voor de *longitudinale controle van het voertuig* (3.1).
Dit zijn systemen die op enigerlei wijze de snelheid reguleren, met name ACC, AEB, Intelligent Speed Adaptation (ISA) en FCW. Systemen die specifiek zijn bedoeld om kwetsbare



1. Voor een overzicht van deze systemen, zie <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/34588>

verkeersdeelnemers te detecteren en daarvoor te waarschuwen en/of automatisch af te remmen in kritieke situaties, vallen daar ook onder. Er zijn echter nog geen studies uitgevoerd naar het effect van voetganger- en fietserdetectiesystemen op ongevallen in het echte verkeer (AAA, 2019).

- **ADAS voor de laterale controle van het voertuig (3.2).**
Dit zijn systemen die op enigerlei wijze helpen bij het koers houden en het wisselen van rijstrook, met name Lane Departure Warning (LDW), Lane Keeping System (LKS) en dodehoekverklippers bij wisseling van rijstrook en rechts afslaan.
- **ADAS voor gecombineerde longitudinale en laterale controle van het voertuig (3.3).**
Een voorbeeld is de 'autopilot' van onder andere Tesla, die eenvoudige vormen van automatisch rijden op autosnelwegen mogelijk maakt, waarbij wel verondersteld wordt dat de bestuurder permanent blijft opletten en de handen aan het stuur houdt, ook al stuurt hij niet zelf. Het is dus geen echte autopilot.
- **ADAS die de staat van de bestuurder monitort (3.4).**
Dit zijn systemen die voorafgaand aan en tijdens het rijden monitoren of de bestuurder mentaal in staat is om te rijden. Voorbeelden van dergelijke systemen zijn het alcoholslot, vermoeidheidsdetectiesystemen, en afleidingsdetectiesystemen.
- **ADAS voor bijzondere verrichtingen (3.5).**
Dit zijn systemen die de bestuurder helpen bij het uitvoeren van bijzondere manoeuvres, zoals achteruitrijcamera's.

3.1 Rijtaakondersteunende systemen voor longitudinale controle (snelheid)

3.1.1 Forward Collision Warning (FCW)

FCW waarschuwt de bestuurder door middel van een alarm dat een langzamer rijdende voorligger of een stilstaand object te dicht wordt genaderd. Het systeem waarschuwt, maar de auto remt niet automatisch af. Het systeem kan falen wanneer de sensor is vervuild. In dat geval kan het voorkomen dat FCW geen alarm geeft, terwijl dat wel had moeten. Ook kan het voorkomen dat FCW een alarm geeft, terwijl dat niet had moeten (Hubele & Kennedy, 2018).

FCW leidt soms ook tot gedragsadaptatie bij de bestuurders in de vorm van minder oplettendheid, doordat ze te veel op het systeem gaan vertrouwen (Maltz & Shinar, 2007). Desondanks lijkt FCW het aantal kop-staartbotsingen te reduceren (Cicchino, 2017a). Wel verschilt het effect van automerk tot automerk en zijn er automerken waarbij FCW geen reductie van het aantal kop-staartbotsingen lijkt op te leveren. Volgens de laatste gegevens van het onafhankelijke Amerikaanse Insurance Institute for Highway Safety, Highway Loss Data Institute (IIHS/HLDI) leidt FCW tot een reductie van 20% in het aantal letselongevallen als gevolg van kop-staartbotsingen, over alle automerken tezamen en als elke auto voorzien is van deze ADAS (IIHS, 2019). Dit is gebaseerd op onderzoek waarin ongevallen van hetzelfde type auto met en zonder FCW met elkaar zijn vergeleken (Opzet A).

3.1.2 Autonomous Emergency Braking (AEB)

AEB is vergelijkbaar met FCW, maar in plaats van te waarschuwen, grijpt het systeem in en voert het een noodstop uit. Een botsing kan niet altijd voorkomen worden, maar door het harde remmen zal de impact van die botsing wel afnemen. Het kan echter gebeuren dat door de noodstop een achterliggend voertuig op het eigen voertuig botst. Ook kan AEB falen; in de handleidingen staan

situaties geschetst waarin het systeem denkt dat er een object is en gaat remmen. Ook kan het zijn dat er door vervuiling van de sensor niet geremd wordt terwijl dat wel had moeten.

De mate waarin gedragsadaptatie optreedt bij rijden met AEB lijkt nog niet te zijn onderzocht. Doordat het systeem alleen ingrijpt in heel kritische situaties en men er tijdens het 'gewone' rijden niets van merkt, zal de gedragsadaptatie vermoedelijk klein zijn.

Uit onderzoek waarin de ongevalsbetrokkenheid van dezelfde automodellen met en zonder AEB met elkaar vergeleken is (Opzet A), blijkt dat AEB tot minder kop-staartbotsingen leidt (Cicchino, 2017a; Fildes et al., 2015). Volgens een systematisch literatuuronderzoek kan dit tot een afname van 43% van de kop-staartbotsingen met letsel leiden, als elke auto voorzien zou zijn van deze ADAS (Yue et al., 2018).

3.1.3 Combinatie van FCW en AEB

Dit gecombineerde systeem waarschuwt eerst bij het naderen van een veel langzamer rijdende voorligger of stilstaand object en als de bestuurder niet reageert, voert het systeem alsnog een noodstop uit. Bij dit systeem kunnen zich dezelfde fouten voordoen als bij FCW en AEB. Ook voor dit gecombineerde systeem zijn geen studies gevonden over gedragsadaptatie.

Vergelijkend onderzoek naar de ongevalsbetrokkenheid van auto's van hetzelfde merk die wel en niet zijn uitgerust met dit gecombineerde systeem (Opzet A), laat zien dat het aantal kop-staartbotsingen door dit systeem sterk afneemt (Cicchino, 2019). Hier staat tegenover dat er wel weer iets meer auto's zijn die op de auto botsen die de noodstop uitvoert. Volgens de laatste gegevens van IIHS/HLDI neemt door dit gecombineerde systeem het percentage kop-staartbotsingen in het totaal aantal letselongevallen af met 56%, wanneer elke auto voorzien zou zijn van deze ADAS.

3.1.4 Voetganger- en/of fietserdetectie

Dit zijn systemen die voetgangers en/of fietsers detecteren die gezien hun koers met de auto kunnen botsen. Na detectie kan er alleen een waarschuwing volgen, maar het kan ook zijn dat het systeem een noodstop uitvoert en/of uitwijkt om een botsing te voorkomen. Deze ADAS kunnen van grote waarde worden voor de verkeersveiligheid, omdat ze gericht zijn op het voorkomen van ongevallen met kwetsbare verkeerdeelnemers.

Hoewel systemen voor de detectie van voetgangers en – in veel mindere mate – voor fietsers al op de markt zijn, is er geen onderzoek gevonden naar de effecten van deze systemen in de praktijk. Dit is waarschijnlijk omdat ze nog maar kort op de markt zijn en ook nog volop in ontwikkeling zijn.

Omdat het om complexe systemen gaat, waarbij voetgangers en fietsers op flinke afstand herkend moeten worden en er een voorspelling gemaakt moet worden hoe ze gaan bewegen, mogen bestuurders er beslist nog niet op vertrouwen dat de systemen altijd en in alle omstandigheden waarschuwen en/of ingrijpen.

3.1.5 Adaptive Cruise Control (ACC)

Wanneer ACC is ingeschakeld wordt niet alleen een vooraf ingestelde snelheid aangehouden (Cruise Control), maar wordt ook automatisch snelheid teruggenomen indien een langzamer rijdende voorligger te dicht wordt genaderd. ACC is al een betrekkelijk oude ADAS die in 1995 voor het eerst in personenauto's is geïntroduceerd. Door met ACC te rijden neemt de taakbelasting voor de bestuurder licht af, maar neemt ook de neiging toe om onder het rijden andere activiteiten te ondernemen, zoals telefoneren (De Winter et al., 2014). Of bestuurders onder het rijden andere dingen gaan doen en of ze ACC ook daadwerkelijk gebruiken, hangt onder andere af van hun leeftijd (Wu & Boyle, 2015). Zo waren oudere bestuurders minder geneigd om ACC te gebruiken en zouden ze bij aanschaf van een nieuwe auto een auto nemen zonder ACC.

Er zijn studies die aantonen dat er duidelijk gedragsadaptatie optreedt wanneer bestuurders met ACC rijden (Hoedemaeker & Brookhuis, 1998; Rudin-Brown & Parker, 2004) en er zijn studies waaruit blijkt dat er niet of nauwelijks gedragsaanpassing is wanneer met ACC gereden wordt (o.a. Bianchi Piccinini et al., 2014).

ACC is in de eerste plaats een comfortstelsel. Of ACC ook bijdraagt aan de verkeersveiligheid, is niet duidelijk. Uit simulatoronderzoek (Opzet D) blijkt dat de gemiddelde snelheid iets lager ligt wanneer gereden wordt met ACC dan wanneer zonder ACC wordt gereden (Vollrath, Schleicher & Gelau, 2011). Uit dezelfde studie blijkt daarnaast dat de volgtijden gemiddeld iets korter zijn dan wanneer zonder ACC gereden wordt. Van ACC is bekend dat er situaties zijn waarin het systeem niet reageert zoals een menselijke bestuurder zou doen. Zo kan de auto versnellen indien de voorligger een bocht maakt.

Er zijn geen studies gevonden waarin de ongevalsbetrokkenheid van dezelfde autotypes met en zonder ACC met elkaar vergeleken zijn. Op basis van het aantal kop-staartbotsingen en de werking van ACC schatten Vaa, Assum & Elvik (2014) – een hypothetische studie (Opzet E) waarin geen rekening is gehouden met de accuraatheid van het systeem en met mogelijke gedragsadaptatie – dat ACC bijdraagt aan de verkeersveiligheid. Hynd et al. (2015) komen in een omvangrijke studie over de kosteneffectiviteit van ADAS tot de conclusie dat ACC niet kosteneffectief is wanneer het gaat over verkeersveiligheid.

3.1.6 Intelligent Speed Adaptation (ISA)

ISA is een systeem waarbij de snelheid van het voertuig vergeleken wordt met de snelheidslimiet van de weg waarover het voertuig rijdt. Er bestaat ook een dynamische vorm van ISA. In dat geval wordt er een vergelijking gemaakt tussen de actuele snelheid en de gewenste snelheid in verband met de omstandigheden (bijvoorbeeld de gewenste snelheid rond scholen). ISA kan informeren (door bijvoorbeeld op het navigatiesysteem continu aan te geven wat de snelheidslimiet is van de weg waarover men rijdt), waarschuwen (door de bestuurder te alarmeren wanneer de snelheidslimiet overschreden wordt) en ingrijpen. Bij ingrijpen wordt het in meer of mindere mate onmogelijk gemaakt dat sneller gereden wordt dan de limiet. Er is sprake van 'in mindere mate ingrijpen' als ISA gemakkelijk te 'overrulen' is door extra kracht op het gaspedaal uit te oefenen. ISA is moeilijker te overrulen wanneer er op een knop gedrukt dient te worden om ISA tijdelijk uit te schakelen.

Omdat veel ongevallen ontstaan doordat er te hard gereden wordt (SWOV, 2016), wordt geschat dat ISA in theorie een grote bijdrage kan leveren aan de verkeersveiligheid. Die bijdrage is hoger naarmate de ISA dwingender is (Carsten & Tate, 2005). Uit FOT's (Opzet B) blijkt dat door ISA de gemiddelde snelheid afneemt en dat de spreiding in snelheden ook kleiner wordt (onder anderen Lai & Carsten, 2012). Young et al. (2010) vonden in een simulatorstudie (Opzet D) dat een variant van ISA waarbij het systeem overruled kon worden door extra hard op het gaspedaal te drukken, niet tot gedragsadaptatie leidde. De bestuurders gingen bijvoorbeeld niet dichterbij de voorligger rijden en bleven alert. Daarentegen vonden Warner & Åberg (2008) dat het positieve effect op het snelheidsgedrag geleidelijk aan uitdoofde; het ging daarbij om een FOT (Opzet B) met een vorm van ISA die de bestuurder alleen waarschuwde wanneer deze te hard reed.

Er is slechts één studie gevonden waarin is nagegaan of ISA ook effect heeft op het ongevalsrisico (Várhelyi et al., 2004). Daarbij ging het om een voor- en na-studie met Opzet B (FOT) en een vorm van ISA waarbij de bestuurder harder dan de snelheidslimiet kon rijden door extra hard op het gaspedaal te drukken. Het bleek dat bij gebruik van deze vorm van ISA het zelfgerapporteerde ongevalsrisico sterk afnam.

Voorwaarden voor het goed functioneren van ISA zijn een goede elektronische kaart waarin de juiste snelheidslimieten staan en een nauwkeurig plaatsbepalingssysteem. GPS doet het bijvoorbeeld minder goed wanneer er hoge gebouwen in de omgeving van de weg staan.

3.2 Rijtaakondersteunende systemen voor laterale controle (sturen)

3.2.1 Lane Departure Warning (LDW)

LDW waarschuwt de bestuurder als deze onbedoeld, dat wil zeggen zonder richting aan te geven, de rijstrook aan de linker- of rechterzijde dreigt te overschrijden. Bij de huidige systemen is het voor het goed functioneren van LDW essentieel dat er duidelijke en consequente belijning is. Wanneer dat niet het geval is, functioneert LDW lang niet altijd goed.

Er zijn twee LDW-studies waarin de ongevalsbetrokkenheid van automodellen met en zonder LDW met elkaar vergeleken zijn (Opzet A; Cicchino, 2018b; Spicer et al., 2018). In de resultaten van dergelijke studies zijn de effecten van een gebrekkige sensitiviteit en specificiteit plus de effecten van mogelijke gedragsadaptatie, automatisch verdisconteerd. Volgens de studie van Cicchino (2018b) is er een afname van 21% in de ongevallen met letsel die voorkomen kunnen worden door LDW, zoals van de weg af raken, botsingen waarbij de lange zijden van voertuigen elkaar raken en frontale botsingen.

3.2.2 Lane Keeping System (LKS)

LKS is vergelijkbaar met LDW, maar in plaats van te waarschuwen bij koersafwijking binnen de rijstrook, wordt de auto automatisch weer naar het midden van de rijstrook gestuurd. De bestuurder dient bij LKS wel de handen aan het stuur te houden en op het verkeer te blijven letten. Ook voor LKS geldt dat voor een betrouwbaar functioneren de belijning consequent en duidelijk dient te zijn.

Uit simulatoronderzoek (Opzet D) blijkt dat bestuurders door LKS minder op het verkeer gaan letten en onder het rijden andere dingen gaan doen (Miller & Boyle, 2019). Ook uit een literatuurstudie kwam naar voren dat bestuurders andere activiteiten gaan ondernemen als LKS is ingeschakeld (de Winter et al., 2014). Er is geen studie gevonden waarin het effect op verkeersveiligheid van LKS in de praktijk is onderzocht.

3.2.3 Dodehoekverklippers (Blind spot monitoring)

Dodehoekverklippers waarschuwen de bestuurder als er zich een voertuig in de dode hoek bevindt, meestal wanneer de bestuurder van rijstrook wil wisselen en daartoe richting aangeeft (om bijvoorbeeld een voorligger in te halen). Het is bekend dat door vuil op de sensoren, voertuigen niet meer worden opgemerkt. Ook zijn er dodehoekverklippers die moeite hebben om kleinere voertuigen, zoals motoren, te detecteren. Dodehoekverklippers zijn daarom een hulpmiddel en ontslaan de bestuurder niet van de plicht om bij geplande manoeuvres zelf in de dode hoek te kijken.

Het is mogelijk dat bestuurders toch te veel gaan vertrouwen op de dodehoekverklipper waardoor gedragsadaptatie ontstaat. Hoewel het niet werd geconstateerd, gaven de deelnemers in een FOT (Opzet B) aan dat ze zoveel vertrouwen hadden gekregen in de dodehoekverklipper dat ze op den duur mogelijk niet meer in de dode hoek zouden gaan kijken (Várhelyi, Kaufmann & Persson, 2015).

Er bestaan studies waarin de ongevalsbetrokkenheid van dezelfde automodellen met en zonder dodehoekverklipper met elkaar zijn vergeleken (Opzet A; Cicchino, 2018a; Spicer et al., 2018). Uit deze studies blijkt dat dodehoekverklippers letselongevallen bij rijbaanwisseling met ongeveer 20% reduceren.

3.3 Gecombineerde longitudinale en laterale controle

3.3.1 Autopilot

Bij een 'autopilot' wordt ACC gecombineerd met LKS, waarbij het in een enkel geval ook mogelijk is dat het voertuig een langzaam rijdende voorligger kan inhalen. Tesla heeft aan dit systeem de naam autopilot gegeven, maar deze benaming is feitelijk onjuist. Weliswaar stuurt de bestuurder niet actief en reguleert hij ook niet actief de snelheid, maar van de bestuurder wordt wel verwacht dat deze zijn handen aan het stuur houdt en zijn voeten op de pedalen. Vanwege de nog gebrekkige sensitiviteit en specificiteit van dit systeem, dient de bestuurder op elk moment snel de controle te kunnen overnemen. Volgens een concept-wetstekst van de staat Californië mogen auto's in advertenties niet aangeprezen worden als 'voorzien van autopilot', omdat daar ten onrechte de suggestie mee gewekt wordt dat het om een autonoom voertuig gaat waarbij het systeem de rijtaak van de bestuurder in zijn geheel heeft overgenomen.²

Uit interviews met bestuurders van een Tesla met autopilot is gebleken dat ze zoveel op het systeem vertrouwden dat ze andere activiteiten gingen ontplooiën tijdens het rijden met de autopilot aan (Lin, Ma & Zhang, 2018). Endsley (2017) bemerkte bij haarzelf dat haar situatiebewustzijn iets afnam wanneer ze met de autopilot aan reed. Er zijn geen studies gevonden waarin de ongevalsbetrokkenheid met en zonder autopilot met elkaar is vergeleken.

In Zweden reden bestuurders in een auto over een test track van enkele kilometers lang (Opzet C), waarbij zowel de longitudinale als laterale controle door het voertuig was overgenomen (Victor et al., 2018). Daarbij moesten de bestuurders, hoewel ze niet meer zelf stuurden, hun handen aan het stuur houden en ging er een alarm af indien zij voor langere tijd niet op de weg keken. Desondanks botste 28% van de bestuurders in een in scene gezette situatie tegen een deels op de weg geparkeerde auto. Die auto was een opblaasauto. Dit duidt erop dat bestuurders moeite hebben zich op het verkeer te concentreren wanneer de autopilot aanstaat.

Door de National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) uit de Verenigde Staten is een rapport opgesteld over een dodelijk ongeval met een Tesla waarbij de autopilot aan stond (Habib, 2017). In dat verslag is ook een grafiek opgenomen waarin het aantal ongevallen met een Tesla model S en een Tesla model M staat aangegeven per miljoen mijl, vóór en ná de software-update waardoor er gereden kon worden met autopilot. Vóór de update waren er 1,3 ongevallen per miljoen mijl en na de update waren er 0,8 ongevallen per miljoen mijl. Hieruit mag overigens beslist **niet** geconcludeerd worden dat de autopilot zorgt voor minder ongevallen. In de eerste plaats gaat het om een voor- en nameting zonder controlegroep. Doordat bij een dergelijk onderzoeksdesign geen rekening gehouden kan worden met versturende variabelen, dient men heel voorzichtig te zijn met de interpretatie van de resultaten (Elvik, 2002). In de tweede plaats is enkele maanden voor de update waardoor de autopilot mogelijk werd, een update verschenen waardoor de auto's over AEB gingen beschikken. Het is goed mogelijk dat het lagere ongevalsrisico na de introductie van de autopilot hoofdzakelijk veroorzaakt is door de AEB.

Geconcludeerd dient te worden dat niet bekend is welk effect de autopilot heeft op de verkeersveiligheid in het werkelijke verkeer.



² Department of Motorvehicles (2016). [Express Terms, Title 13, Division 1, Chapter 1, Article 3.7 – Autonomous Vehicles](#). Draft 30 September 2016, Department of Motorvehicles, State of California, USA, p.35.

3.4 Systemen die de staat van de bestuurder bewaken/controleren

3.4.1 Vermoeidheidsdetectoren

Vermoeidheidsdetectoren constateren of de bestuurder tekenen van vermoeidheid vertoont en geven een alarm af wanneer dit het geval is. De sensoren waarmee deze tekenen van vermoeidheid worden geregistreerd, kunnen verschillend zijn. Vaak gaat het om systemen die veranderingen in stuurbewegingen meten en/of het slingergedrag van de auto meten. Er zijn ook systemen die oogbewegingen meten (eyetrackers) of meten of het ooglid langzaam naar beneden zakt (PERCLOS). Bij de meest geavanceerde systemen gaat het om sensoren waarbij gelijktijdig meerdere kenmerken gemeten worden. De vermoeidheidsdetectoren worden geleidelijk aan steeds beter. Een probleem was en is deels nog de beperkte specificiteit en sensitiviteit. Dit wil zeggen dat het systeem niet altijd waarschuwt wanneer er sprake is van vermoeidheid en dat het soms waarschuwt terwijl er niets aan de hand is.

Het zou kunnen dat bestuurders 'op vermoeidheidsdetectoren gaan rijden'. Dat wil zeggen dat ze door blijven rijden tot aan een alarm, hoewel ze zich al vermoeid voelen. Er zijn geen studies gevonden waaruit deze gedragsadaptatie is gebleken. Uit een recente FOT (Opzet B) waarbij vermoeidheid werd gedetecteerd met behulp van een 'remote eye tracker', bleek dat door het rijden met dit systeem het aantal vermoeidheidsalarmen afnam (Fitzharris et al., 2017). Bestuurders trachtten dus te voorkomen dat het detectiesysteem een alarm zou geven.

Er zijn geen studies gevonden waarin het effect van het rijden met een vermoeidheidsdetector op ongevalsbetrokkenheid is onderzocht.

3.4.2 Afleidingsdetectoren

Afleidingsdetectoren meten of de bestuurder zijn ogen niet te lang van de weg heeft afgewend. Indien een bepaalde drempelwaarde van 'van de weg af kijken' is geconstateerd, gaat er een alarm af. Deze systemen zijn nog volop in ontwikkeling (bijvoorbeeld Cabrall et al., 2016). Vooral de sensitiviteit en specificiteit van deze systemen dient nog verbeterd te worden.

Er zijn geen studies gevonden waarin het effect op ongevalsbetrokkenheid is onderzocht. Doordat bij veel ongevallen afleiding vermoedelijk een rol speelt, kan de verkeersveiligheid sterk verbeteren als bestuurders rijden met een accuraat afleidingsdetectiesysteem en daarbij de waarschuwingen van dat systeem trachten te voorkomen.

3.4.3 Alcoholslot

Bij een alcoholslot moet de bestuurder, net als bij controle door de politie, uitademen in een alcoholmeter. Wanneer een te hoog alcoholgehalte wordt gemeten kan de auto niet worden gestart. Ter controle moet vervolgens ook tijdens het rijden regelmatig 'geblazen' worden. Alcoholsloten worden in enkele landen gebruikt om te voorkomen dat mensen met een alcoholprobleem gaan rijden terwijl ze onder invloed zijn. Door alcoholsloten neemt het rijden onder invloed bij mensen met een alcoholprobleem af (zie voor een overzicht SWOV, 2018). Wanneer het alcoholslot verwijderd wordt, vallen de meeste mensen weer snel in hun oude patroon. Door het alcoholslot te combineren met een intensief trainingsprogramma kan dit voorkomen worden.

Het alcoholslot wordt meestal gebruikt om het rijden onder invloed bij mensen met een alcoholprobleem tegen te gaan. Er zijn echter ook enkele voorbeelden van bedrijven die hun voertuigen voorzien van een alcoholslot.

Er zijn geen studies gevonden waarin het effect van alcoholsloten in het verkeer is onderzocht. Doordat echter een substantieel aandeel van de verkeersongevallen alcoholgerelateerd is, en alcoholsloten het rijden onder invloed van alcohol effectief tegengaan (zie voor een overzicht SWOV, 2018), bevorderen alcoholsloten de verkeersveiligheid.

3.5 Rijtaakondersteuning bij bijzondere manoeuvres

3.5.1 Achteruitrijcamera's

Achteruitrijcamera's zijn vanaf het voertuig naar achteren gericht en geven het beeld weer op het dashboard. Meestal is het beeld gekoppeld aan parkeersensoren. Parkeersensoren geven aan hoe dicht een bepaald object is genaderd. Achteruitrijcamera's helpen bestuurders objecten achter de auto te ontdekken wanneer achterwaarts gereden wordt (bijvoorbeeld bij het inparkeren of de weg op rijden vanuit een uitrit). Er zijn automodellen te koop waarbij de 'intelligente' achteruitrijcamera bij het achteruitrijden (uit een uitrit bijvoorbeeld) niet alleen waarschuwt voor objecten direct achter de auto, maar ook voor naderend kruisend verkeer op de weg.

Uit onderzoek op basis van gegevens van verzekeringsmaatschappijen waarin de ongevals-betrokkenheid van automodellen van hetzelfde type met en zonder achteruitrijcamera met elkaar zijn vergeleken (Opzet A), blijkt dat een achteruitrijcamera zonder koppeling met een parkeersensor botsingen bij het achteruitrijden met 17% vermindert. Wanneer de achteruitrij-camera wel gekoppeld is aan een parkeersensor, is dit zelfs 78%. Systemen die tijdens het achteruitrijden ook waarschuwen voor kruisend verkeer hebben een nog iets groter effect (Cicchino, 2017b). Zoals reeds eerder vermeld, dient bij dergelijke studies rekening gehouden te worden dat de resultaten mogelijk vertekend zijn door zelfselectie en door verschillen in expositie. Bij het achteruitrijden gaat het vaak om ongevallen met uitsluitend materiële schade. Er zitten echter ook ernstige ongevallen bij, bijvoorbeeld wanneer iemand anders op hetzelfde moment achter het voertuig langs loopt.

4 Indicatie veiligheidseffecten

In *Tabel 2* staan indicaties van het verkeersveiligheidseffect van alle in deze bijlage besproken ADAS en van het nut om gebruik hiervan te promoten. Deze indicaties konden niet gegeven worden zonder interpretatie. Van veel van de onderzochte ADAS is namelijk niet bekend wat de accuraatheid van het systeem over alle automerken tezamen is. Ook is van veel ADAS niet bekend in hoeverre ze tot gedragsadaptatie leiden. Indien uit ongevalstatistieken is gebleken dat automodellen die wel met een bepaalde ADAS zijn uitgerust bij minder ongevallen zijn betrokken dan dezelfde automodellen zonder die ADAS (Onderzoeksopzet A), is geconcludeerd dat de accuraatheid redelijk moet zijn en de gedragsaanpassing gering.

Bij de indicatie van het effect op de verkeersveiligheid is gekeken naar het type ernstige ongevallen dat door de desbetreffende ADAS wordt voorkomen, hoe vaak dat soort ongevallen gebeuren en de gebleken effectiviteit van die ADAS. Een ADAS kan dus een groot effect op de verkeersveiligheid hebben, ook al is de effectiviteit tamelijk gering. Volgens hetzelfde principe kan een ADAS een tamelijk gering effect op de verkeersveiligheid hebben, ook al is de effectiviteit van het systeem groot. Dit laatste is het geval wanneer de betreffende ADAS ongevallen tegengaat die weinig voorkomen en waarvan de afloop meestal niet al te ernstig is.

In de meest rechter kolom van de tabel staat een inschatting over de timing van de promotie van de desbetreffende ADAS vanuit het oogpunt van verkeersveiligheid. Daarbij worden drie categorieën onderscheiden:

- Deze ADAS is **nu** geschikt om te promoten, bij de huidige stand van de techniek.
- Deze ADAS zal de verkeersveiligheid sterk verbeteren, maar is nog in ontwikkeling en het effect in de praktijk dient nog aangetoond te worden. Pas daarna – en afhankelijk daarvan – is het nuttig om het betreffende systeem te promoten. De timing van deze rijtaakondersteunende systemen wordt aangeduid met het woord **potentieel**.
- Het veiligheidseffect van deze ADAS dient in de praktijk nog aangetoond te worden, maar de effecten op de verkeersveiligheid worden tamelijk laag ingeschat, waardoor promotie vanuit verkeersveiligheidsoptiek **geen** prioriteit heeft.

In een enkel geval wordt de gekozen categorie toegelicht.

Systeem	Informereren/ Waarschuwen/ Overnemen/ Ingrijpen	Accuraatheid	Gedrags- aanpassing	Randvoor- waarden	Effect op verkeers- veiligheid ¹	Timing van promotie ²
Longitudinale controle (snelheid)						
Forward Collision Warning	Waarschuwen	Redelijk	Gering		+/-	Nu
Autonomous Emergency Braking	Ingrijpen	Redelijk	Gering		+	Nu
Combinatie van FCW en AEB	Waarschuwen/ Ingrijpen	Redelijk	Gering		++	Nu
Voetganger-/Fietser-detectie	Waarschuwen	Vermoedelijk nog onvoldoende	Onbekend		Onbekend	Potentieel
Adaptive Cruise Control	Overnemen	Redelijk	Tegenstrijdige resultaten		Tegenstrijdige resultaten	Geen (gericht op comfort)
Intelligent Speed Adaptation	Informereren/ Waarschuwen/ Overnemen	Goed	Gering	Navigatie-systemen met snelheidslimieten; Nauwkeurige plaatsbepaling	+/- + ++ ³	Nu
Laterale controle (sturen en intentie tot koersverandering)						
Lane Departure Warning	Waarschuwen	Redelijk	Gering	Goede belijning	+/-	Nu
Lane Keeping System	Overnemen	Redelijk	Onbekend	Goede belijning	Onbekend	Potentieel
Dodehoekverklipper	Waarschuwen	Redelijk	Gering		+/-	Nu
Gecombineerde longitudinale en laterale controle						
Autopilot	Overnemen	Redelijk	Groot	Goede belijning	Onbekend	Potentieel
Monitoren staat van de bestuurder						
Vermoeidheidsdetector	Waarschuwen	Vermoedelijk nog onvoldoende	Onbekend		Onbekend	Potentieel
Afleidingsdetector	Waarschuwen	Onvoldoende	Onbekend		Onbekend	Potentieel
Alcoholslot	Ingrijpen	Goed	Geen		++	Nu
Ondersteuning bij bijzondere manoeuvres						
Achteruitrijcamera	Waarschuwen	Redelijk	Gering		+/-	Nu

1. gering +/-, redelijk +, groot ++

2. Nu = kan bij huidige stand van de techniek al gepromoot worden; Potentieel = effect op de verkeersveiligheid in de praktijk is onbekend, maar kan bij gebleken effectiviteit een grote bijdrage leveren aan de verkeersveiligheid en vervolgens ook gepromoot worden; Geen = promotie heeft geen prioriteit, omdat het veiligheidseffect (in de praktijk nog onbekend) als tamelijk laag wordt ingeschat.

3. afhankelijk of de ISA informerend, waarschuwend, of in meer of mindere mate ingrijpend is.

Literatuur

AAA (2019). 2018 Forum on the Impact of Vehicle Technologies and Automation on Vulnerable Road Users and Driver Behavior and Performance: A Summary Report. AAA Foundation for Traffic Safety Washington DC.

Berg, W.P., Berglund, E.D., Strang, A.J. & Baum, M.J. (2007). Attention-capturing properties of high frequency luminance flicker: Implications for brake light conspicuity. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 10, nr. 1, p. 22-32.

Bianchi Piccinini, G.F., Rodrigues, C.M., Leitão, M. & Simões, A. (2014). Driver's behavioral adaptation to Adaptive Cruise Control (ACC): The case of speed and time headway. In: Journal of Safety Research, vol. 49, p. 77.e71-84.

Cabrall, C., Janssen, N., Goncalves, J., Morando, A., et al. (2016). Eye-based driver state monitor of distraction, drowsiness, and cognitive load for transitions of control in automated driving. In: 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). 9-12 Oct. 2016, p. 001981-001982.

Carsten, O., Lai, F.C.H., Barnard, Y., Jamson, A.H., et al. (2012). Control task substitution in semiautomated driving: does it matter what aspects are automated? In: Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, vol. 54, nr. 5, p. 747-761.

Carsten, O. & Tate, F.N. (2005). Intelligent speed adaptation: accident savings and cost-benefit analysis. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 37, nr. 3, p. 407-416.

Cicchino, J.B. (2017a). Effectiveness of forward collision warning and autonomous emergency braking systems in reducing front-to-rear crash rates. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 99, p. 142-152.

Cicchino, J.B. (2017b). Effects of rearview cameras and rear parking sensors on police-reported backing crashes. In: Traffic Injury Prevention, vol. 18, nr. 8, p. 859-865.

Cicchino, J.B. (2018a). Effects of blind spot monitoring systems on police-reported lane-change crashes. In: Traffic Injury Prevention, vol. 19, nr. 6, p. 615-622.

Cicchino, J.B. (2018b). Effects of lane departure warning on police-reported crash rates. In: Journal of Safety Research, vol. 66, p. 61-70.

Cicchino, J.B. (2019). Real-world effects of rear automatic braking and other backing assistance systems. In: Journal of Safety Research, vol. 68, p. 41-47.

Elvik, R. (2002). The importance of confounding in observational before-and-after studies of road safety measures. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 34, nr. 5, p. 631-635.

- Endsley, M.R. (2017).** Autonomous Driving Systems. In: Journal of Cognitive Engineering and Decision Making, vol. 0, nr. 0, p. 1555343417695197.
- Endsley, M.R. & Kaber, D.B. (1999).** Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. In: Ergonomics, vol. 42, nr. 3, p. 462-492.
- Fildes, B., Keall, M., Bos, N., Lie, A., et al. (2015).** Effectiveness of low speed autonomous emergency braking in real-world rear-end crashes. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 81, p. 24-29.
- Fitzharris, M., Liu, S., Stephens, A.N. & Lenné, M.G. (2017).** The relative importance of real-time in-cab and external feedback in managing fatigue in real-world commercial transport operations. In: Traffic Injury Prevention, vol. 18, nr. sup1, p. S71-S78.
- Guo, F., Klauer, S.G., Hankey, J. & Dingus, T. (2010).** Near crashes as crash surrogate for naturalistic driving studies. In: Transportation Research Record, vol. 2147, p. 66-74.
- Habib, K. (2017).** Investigation: PE 16-007. National Highway Traffic Safety Administration NHTSA, Washington DC.
- Harms, I.M. & Dekker, G. (2017).** ADAS: from owner to user; Insights in the conditions for a breakthrough of Advanced Driver Assistance Systems. Connecting Mobility.
- Hergeth, S., Lorenz, L., Vilimek, R. & Krems, J.F. (2016).** Keep your scanners peeled: Gaze behavior as a measure of automation trust during highly automated driving. In: Human Factors, vol. 58, nr. 3, p. 509-519.
- Hoedemaeker, M. & Brookhuis, K.A. (1998).** Behavioural adaptation to driving with an adaptive cruise control (ACC). In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 1, nr. 2, p. 95-106.
- Hubele, N. & Kennedy, K. (2018).** Forward collision warning system impact. In: Traffic Injury Prevention, vol. 19, nr. sup2, p. S78-S83.
- Hynd, D., McCarthy, M., Carroll, J., Seidl, M., et al. (2015).** Benefit and feasibility of a range of new technologies and unregulated measures in the fields of vehicle occupant safety and protection of vulnerable road users. CPR2023. Transport Research Laboratory TRL. Crowthorne, Berkshire.
- IIHS (2019).** [Real-world benefits of crash avoidance technologies](#). Insurance Institute for Highway Safety, Highway Loss Data Institute.
- Kidd, D.G., Cicchino, J.B., Reagan, I.J. & Kerfoot, L.B. (2017).** Driver trust in five driver assistance technologies following real-world use in four production vehicles. In: Traffic Injury Prevention, vol. 18, nr. sup1, p. S44-S50.
- Lai, F. & Carsten, O. (2012).** What benefit does Intelligent Speed Adaptation deliver: A close examination of its effect on vehicle speeds. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 48, p. 4-9.
- Lin, R., Ma, L. & Zhang, W. (2018).** An interview study exploring Tesla drivers' behavioural adaptation. In: Applied Ergonomics, vol. 72, p. 37-47.

Maltz, M. & Shinar, D. (2007). Imperfect in-vehicle collision avoidance warning systems can aid distracted drivers. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 10, nr. 4, p. 345-357.

Miller, E.E. & Boyle, L.N. (2019). Behavioral adaptations to Lane Keeping Systems: Effects of exposure and withdrawal. In: Human Factors, vol. 61, nr. 1, p. 152-164.

Rudin-Brown, C.M. & Parker, H.A. (2004). Behavioural adaptation to adaptive cruise control (ACC): implications for preventive strategies. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 7, nr. 2, p. 59-76.

SAE_International (2016). Surface vehicle recommended practice; Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles. J3016-201609. SAE-international.

Spicer, R., Vahabaghaie, A., Bahouth, G., Drees, L., et al. (2018). Field effectiveness evaluation of advanced driver assistance systems. In: Traffic Injury Prevention, vol. 19, nr. sup2, p. S91-S95.

SWOV (2016). Snelheid en snelheidsmanagement. SWOV-Factsheet, november 2016, SWOV, Den Haag.

SWOV (2018). Rijden onder invloed van alcohol. SWOV-Factsheet, juni 2018, SWOV, Den Haag.

Vaa, T., Assum, T. & Elvik, R. (2014). Driver support systems: Estimating road safety effects at varying levels of implementation. 1304/2014. TØI, Oslo.

Várhelyi, A., Hjälm Dahl, M., Hydén, C. & Draskóczy, M. (2004). Effects of an active accelerator pedal on driver behaviour and traffic safety after long-term use in urban areas. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 36, nr. 5, p. 729-737.

Várhelyi, A., Kaufmann, C. & Persson, A. (2015). User-related assessment of a driver assistance system for continuous support – A field trial. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 30, p. 128-144.

Victor, T.W., Tivesten, E., Gustavsson, P., Johansson, J., et al. (2018). Automation expectation mismatch: Incorrect prediction despite eyes on threat and hands on wheel. In, vol. 60, nr. 8, p. 1095-1116.

Vollrath, M., Schleicher, S. & Gelau, C. (2011). The influence of Cruise Control and Adaptive Cruise Control on driving behaviour – A driving simulator study. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 43, nr. 3, p. 1134-1139.

Warner, H.W. & Åberg, L. (2008). The long-term effects of an ISA speed-warning device on drivers' speeding behaviour. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 11, nr. 2, p. 96-107.

Wilde, G.J.S. (1982). The theory of risk homeostasis: Implications for safety and health. In: Risk Analysis, vol. 2, nr. 4, p. 209-225.

Winter, J.C.F. de, Happee, R., Martens, M.H. & Stanton, N.A. (2014). Effects of adaptive cruise control and highly automated driving on workload and situation awareness: A review of the empirical evidence. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 27, Part B, nr. 0, p. 196-217.

Wu, Y. & Boyle, L.N. (2015). Drivers' engagement level in Adaptive Cruise Control while distracted or impaired. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 33, p. 7-15.

Young, K.L., Regan, M.A., Triggs, T.J., Jontof-Hutter, K., et al. (2010). Intelligent Speed Adaptation—Effects and acceptance by young inexperienced drivers. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 42, nr. 3, p. 935-943.

Yue, L., Abdel-Aty, M., Wu, Y. & Wang, L. (2018). Assessment of the safety benefits of vehicles' advanced driver assistance, connectivity and low level automation systems. In: Accident Analysis & Prevention, vol. 117, p. 55-64.

Ongevallen voorkomen Letsel beperken Levens redden

SWOV

Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid

Postbus 93113

2509 AC Den Haag

Bezuidenhoutseweg 62

070 – 317 33 33

info@swov.nl

www.swov.nl

 [@swov_nl](#) / [@swov](#)

 [linkedin.com/company/swov](https://www.linkedin.com/company/swov)