UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

School voor Mobiliteitswetenschappen

master in de mobiliteitswetenschappen

Masterthesis

Binnen de lijntjes kleuren met Lane Keeping Systemen: Het verkennen van de grenzen van het Operational Design Domain van Lane Keeping Systemen in bochten

Marco van der Linde

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de mobiliteitswetenschappen, afstudeerrichting verkeersveiligheid

PROMOTOR :
Prof. dr. Tom BRIJS

COPROMOTOR :
dr. Veerle ROSS

2019
2020

UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be
Universiteit Hasselt
Campus Hasselt:
Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt
Campus Diepenbeek:
Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

School voor Mobiliteitswetenschappen

master in de mobiliteitswetenschappen

Masterthesis

Binnen de lijntjes kleuren met Lane Keeping Systemen: Het verkennen van de grenzen van het Operational Design Domain van Lane Keeping Systemen in bochten

Marco van der Linde

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de mobiliteitswetenschappen, afstudeerrichting verkeersveiligheid

PROMOTOR :
Prof. dr. Tom BRIJS

COPROMOTOR :
dr. Veerle ROSS

Binnen de lijntjes kleuren met Lane Keeping Systemen

Het verkennen van de grenzen van het Operational Design Domain van Lane Keeping Systemen in bochten.

Colofon

Document	Masterproef 3085+3086
Datum	13 januari 2020

Student	**Marco VAN DER LINDE** *(1747055)* m.vanderlinde@student.uhasselt.be marco.van.der.linde@rhdhv.com
Studie	**Master in de Mobiliteitswetenschappen** Afstudeerrichting: Verkeersveiligheid

Promotor	prof.dr. Tom BRIJS	tom.brijs@uhasselt.be
Copromotor	dr. Veerle ROSS	veerle.ross@uhasselt.be
Externe supervisor	ir. Peter MORSINK	peter.morsink@rhdhv.com

Universiteit Hasselt
School voor Mobiliteitswetenschappen
Campus Diepenbeek
Agoralaan, Gebouw D
3590 Diepenbeek, België

Royal HaskoningDHV
HaskoningDHV Nederland BV
Transport & Planning
Laan 1914, nr.35
3818 EX Amersfoort, Nederland

“Jedes erreichte Ziel ist wieder Anfang einer neuen Laufbahn, und so ins Unendliche.”

Arthur Schopenhauer, Duits filosoof (1788-1860)

VOORWOORD

Lectori salutem,

U hebt nu mijn masterthesis voor u. In deze thesis presenteer ik u de resultaten van mijn afstudeeronderzoek naar het verkennen van het *Operational Design Domain* van *Lane Keeping Systemen* in bochten. Voertuigautomatisering is een thema wat mij erg interesseert, zeker in combinatie met de *human factors* die het enorme potentieel van ADAS beïnvloeden. Om een veilig ADAS-gebruik te faciliteren is het eerst nodig om in kaart te brengen wat de systeemgrenzen van ADAS nu eigenlijk zijn. Daaraan hoop ik met mijn thesis nu een bescheiden bijdrage te leveren. Ik hoop dat u mijn werk met plezier en interesse zult lezen.

Omdat je het '*enhancen'* van de '*society'* niet alleen maar '*together'* doet, wil ik graag een aantal personen bedanken voor hun bijdrage aan het proces dat geleid heeft tot deze thesis. Allereerst Peter Morsink, die mij in zowel de bachelor- als masterfase onder zijn auspiciën in staat stelde om bij Royal HaskoningDHV aan mooie en interessante onderwerpen te werken. Nog niet zo lang geleden had ik het niet eens durven dromen om ooit nog een universiteit van binnenuit te mogen meemaken, maar mede dankzij Peters inzet in het begin van mijn studentencarrière begon ik die optie toch als een mogelijkheid te zien. Mijn UHasselt (co)promotoren prof.dr. Tom Brijs en dr. Veerle Ross wil ik bedanken voor hun geduld met mij, maar bovenal voor het aanwenden van hun eigen expertise en vakkennis en het stellen van kritische vragen, waardoor ik gestimuleerd werd om zelf beter naar mijn werk te kijken. Ook richt ik graag een woordje van dank aan mijn overige UHasselt docenten en studiegenoten, voor het verder vergroten van mijn interesse in en enthousiasme voor ons mooie vakgebied. Collega's Evert, Pieter, Mark, Shubham en Rémy hebben de tijd en moeite genomen om mij gevraagd en ongevraagd van advies en inspiratie te voorzien en mij te betrekken in hun eigen projecten. En *last, but not least*: mijn ouders, die gedurende mijn gehele studieperiode op allerlei diverse manieren ervoor hebben gezorgd dat ik mijn studieactiviteiten kon ontplooien, ongeacht de uitdagingen die dat voor hen opleverde.

Met deze thesis hoop ik een lange en roerige maar minstens zo interessante periode af te sluiten, alvorens mij (voor de tweede maal) onder te dompelen in het werkzame leven. Lang, omdat ik na bijna zeven jaar en voor de tweede keer in mijn leven kan zeggen dat mijn studentencarrière nu écht een keer voorbij is. Roerig, omdat het telkens opnieuw leveren van dat ene stapje extra soms best uitputtend was, maar ook omdat mijn eerdere routekeuze mij niet bleek te brengen wat ik er ooit van verwachtte en ik het roer dus omgooide. Het combineren van mijn privé- en studentenleven ging niet altijd van harte, waardoor ik mijn eigen interne *'obstacle avoidance system'* soms handmatig moest (laten) bijsturen om zelf binnen de lijntjes te kunnen blijven kleuren. Tijdens mijn weg omhoog heb ik gelukkig wel veel interessante mensen mogen ontmoeten die mij inspireerden en stimuleerden om continue te streven naar persoonlijke ontwikkeling. Er gingen deuren open op plekken waarvan ik nooit had gedacht er ooit te geraken en ook durf ik te stellen zowel vakinhoudelijk als op persoonlijk vlak veel geleerd te hebben. Nu deze eindstreep eindelijk in zicht is en er een nieuwe levensfase te wachten staat waar ik al lang naar heb uitgekeken, durf ik te concluderen dat ik met gepaste trots kan en mag terugblikken op deze lange, roerige maar bovenal interessante periode. Blij dat het achter de rug is, maar ook blij dat ik de kans kreeg om deze weg in te slaan!

Per aspera ad astra. Ubi volentia est, via est.
Op naar de toekomst!

Marco van der Linde
Hasselt, België – 13 januari 2020

ABSTRACT

Today, more and more passenger cars are equiped with Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) to assist drivers with their driving tasks. One of these systems is the Lane Keeping System (LKS). These driver aid systems operate within the scope of the Operational Design Domain (ODD), which specifies the conditions under which the driver aid system (or a component of it) is designed to function properly. However, drivers are unfamiliar with the limits of this ODD. A discrepancy between driver expectations about the ODD and the actual ODD limits might lead to potential traffic safety issues. This research is designed to explore the lower and upper limits of Lane Keeping Systems when driving in curves and to measure LKS performance to assess Lane Keeping capability when driving on a curve. A literature review and interviews were used to assess the information quality about the ODD. A Field Operational Test (FOT) was designed to test LKS performance in curves with different radii. Three SAE level 2 vehicles were used for testing. Results suggest that drivers are unlikely to be aware of the ODD limits of their LKS equipped vehicle. The FOT results show that LKS capabilities of the test vehicles used were not capable to drive around most of the curves selected with speeds 10-30 km/h lower than the local speed limit. This suggests that ODD limits of LKS equiped cars are reached earlier than what would be desirable. Therefore, road design standards which are considered to be safe for manual driving might not be safe (enough) for automated driving. Results also suggest that a (large) MLP offset before entering the curve might have a negative impact on the LKS capabilities to succesfully stay within the lane boundaries. A lower curve speed seems to have positive impacts on MLP and SDLP values. A solid lane marker on the outside of the curve might also have positive impact on the lane keeping capabilities of LKS equiped vehicles compared to a dashed lane marker. Because of several practical limitations, this research lacks enough test runs. It is therefore recommended that future research will be directed in such a manner that the before mentioned results are investigated more thoroughly.

SAMENVATTING

Steeds meer voertuigen beschikken over steeds geavanceerdere technologie om de bestuurder te assisteren bij de uitvoering van de rijtaak. De drijvende kracht hierachter is de potentie die dergelijke voertuigtechnologie heeft om het aantal verkeersongevallen te verminderen. Nieuwe regelgeving van de EU zal het aandeel voertuigen met deze technologie alleen nog maar meer opdrijven in de komende jaren. Een van deze rijhulpassistentiesystemen is rijstrookassistentie (LKS). Het betreft een hulpmiddel dat de bestuurder helpt om het voertuig binnen de grenzen van de rijstrook te houden.

Voertuigfabrikanten definiëren het gebruiksgebied (het *Operational Design Domain*, ODD) waarbinnen een rijhulpsysteem zoals LKS bedoeld is om gebruikt te worden. De werking van het systeem, alsmede de beperkingen ervan, worden niet eenduidig toegelicht aan de eindgebruiker. Zo is het bijvoorbeeld niet duidelijk wanneer een bocht 'te scherp' is om een correcte werking van het LKS te kunnen garanderen. Onbekendheid met het Operational Design Domain (ODD) en een discrepantie tussen de perceptie van LKS-capaciteiten en de werkelijke LKS-capaciteiten maakt dat er potentieel gevaarlijke situaties kunnen ontstaan wanneer autobestuurders rondrijden met een ingeschakeld LKS in hun voertuig.

Dit beperkte inzicht in de grenzen van het ODD maakt dat het voor zowel wegbeheerders als autobestuurders erg moeilijk kan zijn om in te schatten wanneer het LKS nu wel of niet behoort te werken. De verkeersveiligheid is erbij gebaat als er inzicht komt in de grenzen van het ODD. Een dergelijk inzicht kan de wegbeheerder in staat stellen om haar bochtenareaal te scannen op suboptimale situaties, ter allocatie van eventuele maatregelen. De wegbeheerder kan zo met kennis over het ODD directe invloed uitoefenen op de transition of control, mocht de verkeerssituatie daarom vragen.

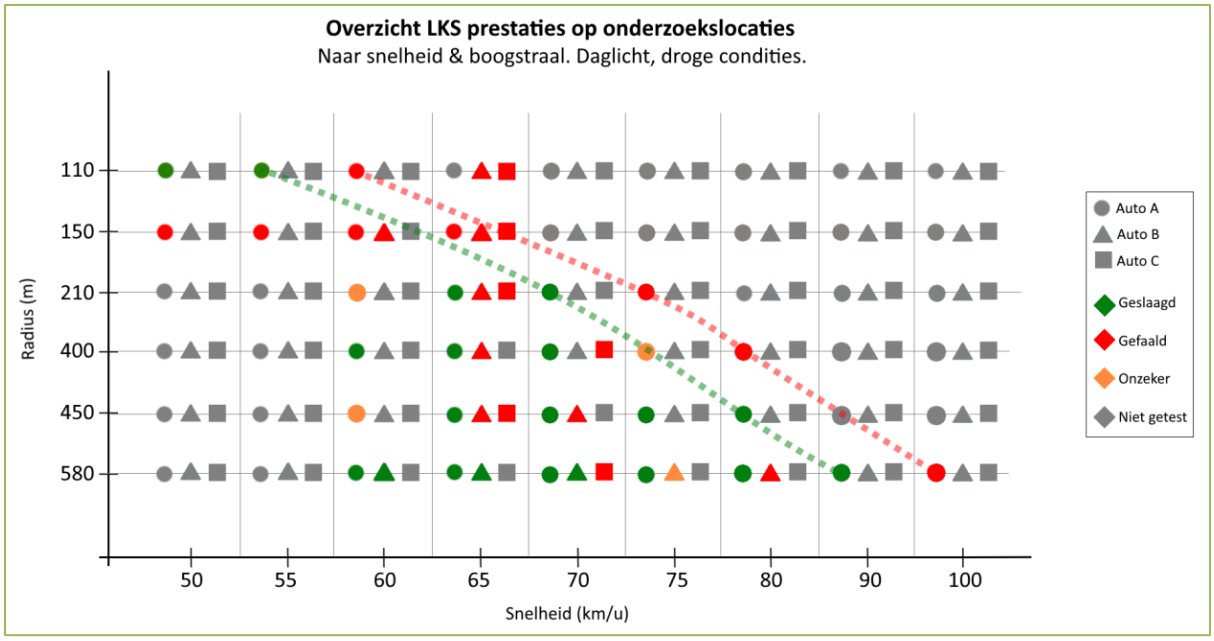
Dit onderzoek richt zich daarom op het achterhalen van informatie om de wegbeheerder te helpen met het lokaliseren van suboptimale bochtcondities, die een veilige werking van het LKS in de weg staan. Met het voorliggende onderzoek wordt daarom een verkenning gedaan naar (de grenzen van) het Operational Design Domain van Lane Keeping Systemen in bochten.

Dit onderzoek maakt daarvoor onder meer gebruik van een serie Field Operational Tests (veldtests), waarbij geïnstrumenteerde voertuigen worden ingezet om de prestaties van het LKS in een diverse selectie bochten te meten. Er wordt stapsgewijs gezocht naar waar de grens van het ODD zich bevindt. Door deze verkenning te gaan vergelijken met diverse veiligheidsindicatoren, wordt er getracht een bijdrage te leveren aan het veiliger maken van het bochtenareaal voor dit type voertuigtechnologie.

Eerst is er echter gekeken naar de capaciteiten en beperkingen van de rijstrookassistentie, volgens de informatie die de automobilist redelijkerwijs tot zich kan nemen via de gebruikershandleiding en via de autodealer. Het blijkt dat van een automobilist op basis van de informatie in de gebruikershandleiding en de uitleg die de autodealer verstrekt niet verwacht kan worden dat de automobilist een eenduidig beeld heeft van de ODD-grenzen. Gebruikershandleidingen en dealer-informatie bieden slechts beperkt informatie over wanneer ODD-grenzen bereikt worden.

Er wordt de automobilist echter ook geen informatie aangeboden over de actuele kennislacunes, terwijl die kennis er wel voor kan zorgen dat de automobilist zich bewuster is van de onzekerheden rondom een rijhulpsysteem. Er wordt hierom aanbevolen om autodealers deze kennis bij te brengen, zodat zij beter in staat zijn om de klant van betere informatie te voorzien. Daarnaast kan de informatie over deze kennislacunes ook worden geïmplementeerd in de gebruikershandleidingen.

De veldtests hebben geleid tot een eerste aanzet om de relatie tussen de boogstraal en de rijsnelheid te visualiseren. Figuur 1 toont deze visualisatie. Deze visualisatie is echter gebaseerd op een beperkt aantal veldtesten en moet idealiter worden aangevuld met meer veldtesten.



Figuur 1: Visualisatie van LKS prestaties per voertuig naar snelheid & boogstraal (daglicht, droog).

Tijdens de veldtesten bleek in ieder geval duidelijk dat geen van de gebruikte testvoertuigen in staat is geweest om op de geselecteerde testlocaties met het LKS de bocht te rijden met de maximaal toegestane snelheid (op eentje na). Daaruit kan geconcludeerd worden dat de compatibiliteit tussen het LKS van het voertuig en het wegontwerp nog niet op hetzelfde niveau ligt als de compatibiliteit tussen de menselijke bestuurder en het wegontwerp. Wegontwerp dat vandaag de dag als 'veilig' geclassificeerd wordt voor gebruik door de menselijke autobestuurder is niet persé 'veilig' voor het LKS. De onderzoeksresultaten suggereren dat de ODD-grens van het best presterende testvoertuig in het voorliggende onderzoek lager lijkt te liggen dan wat er is toegestaan.

Verder laten de diverse gemeten prestatie-indicatoren een beeld zien waaruit blijkt dat het LKS van de voertuigen beter presteren bij lagere rijsnelheden. Dat ligt in lijn met de gevisualiseerde relatie tussen snelheid en boogstraal. Voertuigen blijken stabieler en netter te rijden met het LKS bij een lagere snelheid. Daarnaast bleek de gemiddelde laterale positie van het voertuig ten opzichte van het rijstrookmidden voorafgaand aan de bocht mogelijk van invloed te zijn op de mate waarin het LKS in staat is om succesvol een bocht te nemen.

Ook bleek dat bij een doorgetrokken markeringsconfiguratie in de buitenbocht het LKS beter in staat was om de bocht te nemen; de afwijking ten opzichte van het rijstrookmidden en het slingergedrag namen beide af. In lijn met Amerikaans onderzoek lijkt het voorliggende onderzoek ook aan te tonen dat het maken van meer en kleinere stuuringrepen zich doorvertaald in betere LKS prestaties.

Naast de aanbeveling ten aanzien van de informatievoorziening rondom het ODD van LKS worden er de nodige aanbevelingen gedaan op het gebied van wenselijke vervolgonderzoeken. Met name door praktische uitdagingen is het aantal veldtesten waaruit geput kan worden in het voorliggende onderzoek beperkt. Een grotere hoeveelheid aan bruikbare veldtesten is nodig om de genoemde resultaten nauwkeuriger in kaart brengen.

LIJST MET AFKORTINGEN

Afkorting/jargon	Betekenis
ACC	Advanced Cruise Control
ADAS	Advanced Driver Assistance System(s)
ADS	Automated Driving System(s)
DDT	Dynamic Driving Task
DTLE	Distance To Lane Edge
LC(S)	Lane Centering (System)
LDP	Lane Departure Prevention
LDW(S)	Lane Departure Warning (System)
LK(A)(S)	Lane Keeping (Assistance) (System(s))
LKS	Lane Keeping System(s)
LS(S)	Lane Steering (System)
MLP	Mean Lateral Position
ODD	Operational Design Domain
OEDR	Object and Event Detection and Response
OEM(s)	Original Equipment Manufacturer(s)
SAE	Society of Automotive Engineers
SDLP	Standaard Deviatie van de Laterale Positie
SVLD ongeval	Single-Vehicle Lane Departure ongeval
Vetergang	Jargon voor slingergedrag

LIJST MET FIGUREN

Figuur 1: Visualisatie van LKS prestaties per voertuig naar snelheid & boogstraal (daglicht, droog)..... 8
Figuur 2: Elke situatie buiten het ODD zorgt voor een onderbreking in het rijden met rijhulpsystemen, dat bij elke onderbreking leidt tot een overdracht van de voertuigbesturing tussen bestuurder en voertuig (Alkim, 2017). 25
Figuur 3: Het onderzoeksproces..... 33
Figuur 4: De overlappende relatie tussen mens, voertuig en infrastructuur..... 35
Figuur 5: Rijstrookassistentiesystemen werken met behulp van één of meerdere camera's die de rijstrookmarkering voor het voertuig detecteren (illustraties via MyCarDoesWhat.org (2019)). 38
Figuur 6: Illustraties van het ELK systeem (Euro NCAP, 2018b). 40
Figuur 7: Illustratie van het LKA systeem (Euro NCAP, 2018b). 40
Figuur 8: In een bocht kan de rijstrookmarkering mogelijk niet (goed) worden waargenomen (illustratie via MyCarDoesWhat.org (2019)). 41
Figuur 9: Formule voor het berekenen van de minimale boogstraal op gebiedsontsluitingswegen (CROW, 2018a). 42
Figuur 10: Overzicht van de verschillende niveau's van voertuigautomatisering en de veranderende rol die de bestuurder daarbij heeft (SAE International, 2018)..... 45
Figuur 11: Een visuele weergave van de waarden welke gemeten of berekend worden (bron: eigen bewerking)..... 50
Figuur 12: Het zwartwit geblokte kalibratiebord. 54
Figuur 13: Voor elke testrit is, per onderzoekslocatie en -tijdstip, een meetlat als overlay-raster over het beeldmateriaal geplaatst. Bovenstaand voorbeeld toont ook dat de positie van het wiel verschoven is van de verticale zwarte nullijn, waardoor ook de positie van het wiel geregistreerd moest worden om te corrigeren voor deze afwijking. 54
Figuur 14: Schermafdruk van een (fictieve) dataset. 56
Figuur 15: De 1e knik (links) en 2e knik (rechts). Beelden via Cyclomedia..... 62
Figuur 16: Verbindingsboog A28>A27 bij knooppunt Rijnsweerd. Beeld via Cyclomedia. 63
Figuur 17: Afrit Rijnsweerd (A27>A28). Beeld via Cyclomedia..... 64
Figuur 18: De bochten in de N226..... 64
Figuur 19: Bocht Woudenberg (rechts) en bocht Leusden (links). Beelden via Cyclomedia. 64
Figuur 20: Tijdens regenachtige condities was de beeldkwaliteit matig tot slecht. 66
Figuur 21: De vier Lane Keep Assist tests van de Euro NCAP (2019c) met onderbroken en doorgetrokken markeringen. 75
Figuur 22: Verschillende meetfrequenties van één dataset. 79
Figuur 23: Een overzicht van de veldtestresultaten bij daglicht en duister, 1e knik Hoevelaken. 82
Figuur 24: Een overzicht van de veldtestresultaten bij daglicht en duister, 2e knik Hoevelaken..... 82
Figuur 25: Een overzicht van de veldtestresultaten bij daglicht en duister, Tunnel Rijnsweerd. 84
Figuur 26: Een camera kan tijdelijk verblind zijn bij snel wisselende lichtsterktes (rijdvolgorde: v.l.n.r.). 84
Figuur 27: Een overzicht van de veldtestresultaten bij daglicht en duister, Leusden-Zuid. 85
Figuur 28: Een overzicht van de veldtestresultaten bij daglicht en duister, Woudenberg. 86
Figuur 29: Overzicht LKS prestaties per voertuig naar snelheid & boogstraal (daglicht, droog). 87
Figuur 30: Overzicht LKS prestaties per voertuig naar snelheid & boogstraal (duisternis, droog). 88

Figuur 31: Overzicht LKS prestaties per voertuig naar snelheid & boogstraal (daglicht, droog). 97
Figuur 32: Niet haaks meten. 107
Figuur 33: Camera bevestigd aan voertuig (links) en het beeld dat daaruit volgt (rechts), hier getoond inclusief de later toegevoegde meetlat. 124
Figuur 34: Het gebruikte kalibratiebord (links) en de video-opname daarvan door de camera aan de flank (rechts)..... 125
Figuur 35: Voorbeeld van dashboard opnames. 125

LIJST MET TABELLEN

Tabel 1: Onderscheid tussen diverse vormen van rijstrookassistentietechnologie..... 24
Tabel 2: Advies voor de onder- en bovengrens voor de kwaliteit van langsmarkering (Austroads Ltd., 2019)..... 39
Tabel 3: Minimale horizontale boogstraal niet-hoofdbanen in relatie tot de verkanting (Rijkswaterstaat, 2019)..... 43
Tabel 4: Berekenen en interpreteren van de K-factor (CROW, 2017)..... 43
Tabel 5: Definities van de woorden assistentie, automatisch en autonoom (Encyclo.nl, 2019). 47
Tabel 6: Indicatoren die gemeten of berekend worden. 51
Tabel 7: Onder- en bovengrenzen voor kwalitatieve beoordeling van LKS prestaties (Reddy, 2019).. 51
Tabel 8: Voorbeeld van synchronisatie linker- en rechter camerabeeld. 52
Tabel 9: De gebruikte testvoertuigen..... 60
Tabel 10: Informatie over het ODD van LKS van twee testvoertuigen, zoals beschreven in de bijbehorende handleiding. 67
Tabel 11: Informatie over het ODD van LKS van andere SAE-2 voertuigen, zoals beschreven in de bijbehorende handleiding. 69
Tabel 12: Grenswaarden voor de maximale laterale acceleratie (United Nations, 2018). 76
Tabel 13: K-factoren locatie Rijnsweerd, o.b.v. twee meetlussen vóór de bocht. 78
Tabel 14: K-factoren locatie Hoevelaken. 78
Tabel 15: De LKS prestaties van de drie voertuigen op rechte wegvakken. 80
Tabel 16: De waarden behorende tot de momenten waarop het LKS niet (goed) werkte of overruled werd (Hoevelaken). 83
Tabel 17: De waarden behorende tot de momenten waarop het LKS niet (goed) werkte of overruled werd (Rijnsweerd). 85
Tabel 18: De waarden behorende tot de momenten waarop het LKS niet (goed) werkte of overruled werd (Leusden-Zuid)..... 86
Tabel 19: De waarden behorende tot de momenten waarop het LKS niet (goed) werkte of overruled werd (Woudenberg). 87
Tabel 20: Gehaalde en niet-gehaalde snelheden en K-factoren. 89
Tabel 21: De invloed van de MLP voorafgaand aan het insturen. 90
Tabel 22: Vergelijking tussen twee bochten met doorgetrokken of onderbroken markering in de buitenbocht. 91
Tabel 23: LKS prestaties bij diverse rijsnelheden. 93
Tabel 24: Meetapparatuur op de mobiele telefoon. 123

Tabel 25: Gemiddelde gereden snelheid per uur van 2019-08-01 00:00:00 tot 2019-08-31 23:59:59 op weekdagen inclusief feestdagen (NDW, 2019). 127
Tabel 26: Gemiddelde gereden snelheid per uur van 2019-08-01 00:00:00 tot 2019-08-31 23:59:59 op weekdagen inclusief feestdagen (NDW, 2019). 128
Tabel 27: De LKS prestaties van de drie voertuigen bij daglicht, 1e knik Hoevelaken..... 133
Tabel 28: De LKS prestaties van de drie voertuigen bij duisternis, 1e knik Hoevelaken..... 133
Tabel 29: De LKS prestaties van de drie voertuigen bij daglicht, 2e knik Hoevelaken..... 134
Tabel 30: De LKS prestaties van de drie voertuigen bij duisternis, 2e knik Hoevelaken..... 134
Tabel 31: De LKS prestaties van de drie voertuigen bij daglicht, Tunnel Rijsweerd. 135
Tabel 32: De LKS prestaties van de drie voertuigen bij duisternis, Tunnel Rijnsweerd. 135
Tabel 33: De LKS prestaties van de drie voertuigen bij daglicht, Leusden-Zuid..... 136
Tabel 34: De LKS prestaties van de drie voertuigen bij duisternis, Leusden-Zuid..... 137
Tabel 35: De LKS prestaties van de drie voertuigen bij daglicht, Woudenberg. 137
Tabel 36: De LKS prestaties van de drie voertuigen bij duisternis, Woudenberg. 138

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD 3
ABSTRACT 5
SAMENVATTING 7
LIJST MET AFKORTINGEN 11
LIJST MET FIGUREN 13
LIJST MET TABELLEN 14

1 INTRODUCTIE 23
1.1 Inleiding 23
1.2 Probleemcontext 25
1.2.1 Onduidelijkheid over het ODD 25
1.2.2 Rijstrookassistentie in bochten 27
1.2.3 Voertuigveiligheidstesten 28
1.3 Kennislacune 29
1.4 Onderzoeksrelevantie 30
1.5 Onderzoekskader 31
1.6 Doel- en vraagstelling 32
1.6.1 Doel van het onderzoek 32
1.6.2 Onderzoeksvragen 32
1.7 Onderzoeksdesign 33

2 THEORETISCH KADER 35
2.1 LKS en de verkeersveiligheid 35
2.2 LKS en het voertuig 37
2.2.1 Soorten LKS 37
2.2.2 Werking van LKS 38
2.2.3 Tekortkomingen van LKS 39
2.3 LKS en de infrastructuur 41
2.3.1 Ontwerpelementen in bogen 41
2.3.2 K-factor 43
2.4 LKS en de bestuurder 44
2.4.1 De veranderende rol van de bestuurder 45

2.4.2 Verwachtingen en vertrouwen ... 46
2.4.3 Faciliteren van een veilige transition of control ... 48

3 ONDERZOEKSAANPAK ... 49
3.1 Onderzoeksgegevens ... 49
3.1.1 Dataverzameling ... 49
3.1.2 Dataverwerking ... 53
3.2 Onderzoeksdeel A: Deskresearch ... 57
3.2.1 Informatievoorziening over ODD ... 57
3.2.2 Snelheidsgegevens onderzoekslocaties ... 58
3.3 Onderzoeksdeel B: Veldtesten ... 59
3.3.1 Onderzoeksmethodiek: Field Operational Tests ... 59
3.3.2 Beschrijving testvoertuigen ... 60
3.3.3 Beschrijving onderzoekslocaties ... 62
3.3.4 Beschrijving onderzoekscondities ... 65

4 RESULTATEN DEEL A: DESKRESEARCH ... 67
4.1 Quick-scan gebruikershandleidingen ... 67
4.1.1 Informatie over LKS uit gebruikershandleidingen ... 67
4.1.2 Resumerend ... 70
4.2 Interviews met merkdealers ... 70
4.2.1 Vraag & aanbod: informatie rondom ADAS ... 71
4.2.2 Gebruikerstraining: verschillende instructievormen ... 72
4.2.3 Verkoperstraining: ADAS-kennis bij de merkdealer ... 73
4.2.4 Resumerend ... 73
4.3 Voertuigveiligheidstests & VN regelgeving ... 74
4.3.1 Voertuigveiligheidstests ... 74
4.3.2 VN regelgeving ... 75
4.3.3 Resumerend ... 76
4.4 K-factoren onderzoekslocaties ... 76

5 RESULTATEN DEEL B: FIELD OPERATIONAL TESTS 79
5.1 Meetfrequentie 79
5.2 LKS prestaties: nulmeting 80
5.3 LKS prestaties: onderzoekslocaties 81
5.3.1 Hoevelaken 82
5.3.2 Rijnsweerd 83
5.3.3 Leusden-Zuid 85
5.3.4 Woudenberg 86
5.4 LKS prestaties: snelheid & boogstraal 87
5.5 LKS prestaties: K-factor 89
5.6 LKS prestaties: instuurmoment 89
5.7 LKS prestaties: markeringsconfiguratie 90
5.8 LKS prestaties: snelheidsreductie 92
5.9 Resumerend 93

6 CONCLUSIE & AANBEVELINGEN 95
6.1 Vraagbeantwoording 95
6.1.1 Hoofdvraag 95
6.1.2 Deelvraag 1: Informatie over het ODD 95
6.1.3 Deelvraag 2: Wanneer is een bocht te scherp? 96
6.1.4 Deelvraag 3: Voertuigveiligheidstests & regelgeving 99
6.2 Conclusie 100
6.3 Aanbevelingen 102
6.3.1 Aanbevelingen voortkomend uit onderzoeksresultaten 102
6.3.2 Aanbevelingen ten aanzien van onderzoeksrichtingen 103
6.3.3 Aanbevelingen ten aanzien van onderzoeksmethoden 103

7 DISCUSSIE 105
7.1 Discussie 105
7.1.1 Verschil tussen wettelijke eisen en voertuigcapaciteiten 105
7.1.2 Interdisciplinaire samenwerking 105
7.2 Limitaties 106
7.2.1 Generaliseerbaarheid op landelijk bochtenareaal 106
7.2.2 Imperfecties t.a.v. dataverzameling en correcties daarvoor 106

BIBLIOGRAFIE **109**

BIJLAGEN **119**

Bijlage 1: Logboek tijdens veldtests 119

Bijlage 2: Instructies tijdens veldtests 121

Bijlage 3: Voertuiginstrumentatie 123

Bijlage 4: K-factoren onderzoekslocaties 127

Bijlage 5: SPSS output: Meetfrequentie 131

Bijlage 6: Tabellen LKS prestatie indicatoren 133

Bijlage 7: Tabellen invloed MLP op insturen 139

Bijlage 8: SPSS output: markeringsconfiguratie 141

Bijlage 9: SPSS output: snelheidsreductie 143

Auto A / Dag / Hoevelaken / 2e knik / 70 vs. 90 km/u 143

Auto A / Dag / Rijnsweerd / Tunnel / 70 vs. 80 km/u 143

Auto B / Nacht / Hoevelaken / 2e knik / 70 vs. 80 km/u 143

1 INTRODUCTIE

1.1 Inleiding

Steeds meer voertuigen op ons wegennet zijn tegenwoordig uitgerust met allerlei slimme technologieën die het autorijden op een zekere manier veiliger, gemakkelijker, efficiënter en/of comfortabeler moeten maken. Daarvoor worden diverse delen van de rijtaak die de autobestuurder dient uit te voeren deels overgenomen en uitgevoerd door het voertuig. Een voorbeeld hiervan is de rijstrookassistent die het voertuig binnen de rijstrookmarkering houdt zodra het voertuig de rijstrook (onbedoeld) dreigt te verlaten. Een grote drijvende kracht achter de ontwikkeling van rijtaakondersteunende systemen zijn de grote aantallen verkeersongevallen, waarvan verkeersexperts stellen dat de invloed van de mens vrijwel altijd een rol speelt bij het ontstaan van verkeersongevallen. Het Amerikaanse NHTSA stelt dat deze menselijke betrokkenheid bij 94% van de ongevallen een rol heeft gespeeld (NHTSA, 2015), terwijl Duitse statistieken uitgaan van meer dan 98% (Statistisches Bundesamt, 2018). Over het algemeen wordt aangenomen dat het automatiseren van de voertuigbesturing tot minder verkeersongevallen zal leiden, omdat een machine zelf geen fouten kan maken. Een machine wordt niet moe, maakt geen inschattingsfouten en kent geen emoties. Ironisch genoeg is de mens wel een beperkende factor van een machine, omdat een machine eerst bepaalde taken aangeleerd moet krijgen. Ook bepaalt de mens hoe, waar en wanneer een machine wordt ingezet en kan de mens de capaciteiten van een machine incorrect inschatten (Bainbridge, 1983; Parasuraman & Riley, 1997). Het idee van *'zichzelf besturende'* auto's is bepaald niet nieuwerwets. Midden jaren '20 van de vorige eeuw was de Amerikaan Houdina voor het eerst bezig met een zelfsturend voertuig, of iets wat daarop moest lijken tenminste. Het ging om een op afstand radiografisch bestuurbare auto, met de bestuurder in een volgauto (KIVI, 2018). De technologische ontwikkeling heeft echter niet stilgestaan en ondertussen krijgt de automobilist bij steeds meer delen van de rijtaak een zekere mate van ondersteuning. Enkele voorbeelden van rijtaakassistentie in voertuigen die in de loop der jaren zijn geïntroduceerd zijn onder andere:

- Het antiblokkeersysteem (ABS[1]);
- Het navigatiesysteem;
- *Blind spot monitoring* (BSM[2]);
- *Adaptive cruise control* (ACC[3]) en;
- *Lane keeping (assistance) systems* (LK(A)S[4]).

Systemen waarbij de autobestuurder de primaire hoofdbestuurder van het voertuig is, maar daarbij ondersteund wordt door hulpsystemen aan boord van het voertuig worden gedefinieerd als *Advanced Driver Assistance Systems* (ADAS), oftewel: rijhulpsystemen (United Nations, 2018). De lijst van ADAS die tegenwoordig op auto's te vinden zijn is vandaag de dag al vrij lang (ANWB, 2018). Men verwacht dat het aandeel personenauto's met ADAS alleen nog maar zal stijgen (Frost & Sullivan, 2018). Het merendeel van de voertuigautomatisering bestaat voornamelijk uit elektronische hulpmiddelen, die in een aantal gevallen ook de mogelijkheid hebben om in te grijpen in de fysieke besturing van het voertuig. Met de komst van *adaptive cruise control* en *lane keeping systemen* komt de 'zelfrijdende auto'

[1] ABS: systeem dat het blokkeren van de wielen tijdens hard remmen voorkomt.
[2] BSM: systeem dat waarschuwt voor verkeersdeelnemers die zich in de dode hoek bevinden.
[3] ACC: systeem dat de snelheid en volgafstand automatisch aanpast aan de voorligger.
[4] LK(A)S: systemen die de bestuurder helpen om het voertuig tussen de rijstrookmarkering te houden.

ineens een stuk dichterbij. Immers, een voertuig dat over deze systemen beschikt is in staat om zowel de longitudinale (accelereren & decelereren) en laterale (sturen) voertuigbewegingen uit te voeren.

Rijstrookassistentiesystemen

Een van die ADAS-soorten zijn de rijstrookassistentiesystemen. Deze technologie is bedoeld om ervoor te zorgen dat bestuurders geholpen worden bij het behouden van een veilige positie in de rijstrook. De systemen maken daarbij gebruik van passieve infrastructuurelementen (United Nations, 2018). Dit is ter voorkoming van ongevallen waarbij er sprake is van het (onbedoeld) verlaten van de rijstrook. Er bestaan verschillende varianten van deze rijstrookassistentietechnologie, waarbij het verschil vooral zit in de wijze waarop het de bestuurder assisteert bij de rijtaak. Sommige systemen geven alleen een waarschuwing zodra het voertuig de rijstrook dreigt te verlaten, zonder dat de bestuurder de richtingwijzer gebruikt. Andere systemen zijn in staat om zelf in te grijpen in de besturing van het voertuig en kunnen daardoor het voertuig actief bijsturen en tussen de wegmarkering houden. Er zijn veel benamingen en afkortingen in gebruik die deze rijstrookassistentietechnologie beschrijven. In deze thesis wordt het volgende onderscheid gemaakt (Tabel 1):

Tabel 1: Onderscheid tussen diverse vormen van rijstrookassistentietechnologie.

LK(A)S: Lane Keeping (Assistance) Systems Overkoepelende term voor voertuigtechnologie dat de bestuurder assisteert om het voertuig binnen de rijstrookmarkering te houden		
Waarschuwende systemen	**(Bij)sturende systemen**	
LDW: Lane Departure Warning Detecteert het onbedoeld verlaten van de rijstrook en geeft een waarschuwing aan de bestuurder	*LS: Lane Steering* Detecteert het onbedoeld verlaten van de rijstrook en stuurt het voertuig actief weg van de rijstrookmarkering	*LC: Lane Centering* Detecteert de positie in de rijstrook en stuurt het voertuig actief en continue naar het midden van de rijstrook

De ongevalstypen waarop deze technologie gericht is, zijn enkelvoudige (berm)ongevallen en meervoudige zijdelingse en frontale botsingen. Deze ongevalstypen kunnen namelijk veroorzaakt worden door het (onbedoeld) verlaten van de rijstrook. Het zijn ook ongevalstypen die tot ernstig letsel kunnen leiden. Volgens het Amerikaanse IIHS[5] zorgt LDW voor een 11% reductie van de genoemde ongevalstypen en een 21% reductie van letselongevallen van dezelfde ongevalstypen (IIHS & HLDI, 2019). In Nederland voorspelt de BOVAG[6] een marktpenetratie van met LKA uitgeruste nieuw verkochte personenauto's van 68% in 2025 en 80% in 2030, waar dit in 2018 nog 13% en in 2016 nog 0% was. Dit resulteert in ongeveer drie miljoen auto's met LKA in 2030, aldus de BOVAG (2019). Volgens de brancheorganisatie moet de Nederlandse automobielsector – afhankelijk van het scenario (laag, realistisch, hoog) – rekening houden met respectievelijk 3%, 4% en 6% minder schadeherstelvolume in 2030 (t.o.v. 2018) als gevolg van LKA (BOVAG, 2019).

Er zijn echter ook signalen die erop wijzen dat er juist meer schade wordt gereden met ADAS-voertuigen, schades die bovendien ook nog eens duurder uitvallen doordat het gaat om relatief nieuwe wagens en duurdere technologie aan boord (o.a.: AutoRAI, 2018). De rijstrookassistentietechnologie blijkt een van de rijhulpsystemen te zijn waar 'iets vreemds' mee aan de hand lijkt te zijn: mensen schakelen deze systemen uit (IIHS, 2016; IIHS, 2017) en vertrouwen er minder op dan bijvoorbeeld op een ACC (Kidd, Cicchino, Reagan, & Kerfoot, 2017). Wat is er aan de hand met de rijstrookassistentie? In de volgende Paragraaf wordt enige context geboden over de te onderzoeken problematiek.

[5] IIHS is een Amerikaans onderzoeksinstituut en doet o.a. onderzoek naar verkeersveiligheid en test de botsveiligheid van voertuigen.
[6] BOVAG: BOnd Van Automobielhandelaren en Garagehouders

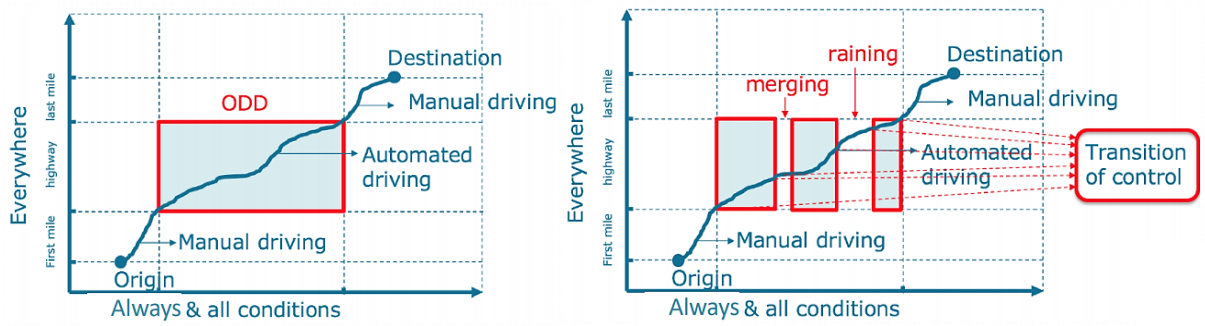
1.2 Probleemcontext

1.2.1 Onduidelijkheid over het ODD

Het *Operational Design Domain* (ODD) van een rijhulpsysteem, zoals LKS, kan worden omschreven als het soort situatie(s) waarin het systeem zou moeten werken zoals het bedoeld is, volgens de voertuig- of systeemfabrikant (OEM). Het ODD van gelijkaardige rijhulpsystemen kan per automerk en zelfs per modeltype verschillen. Volgens een vrij vertaalde definitie van de Society of Automotive Engineers (SAE) zou het Operational Design Domain als volgt moeten worden omschreven:

> *"Het ODD omvat alle condities waaronder het rijhulpsysteem (of onderdeel daarvan) is ontworpen om correct te functioneren, inclusief (maar niet beperkt tot) restricties ten aanzien van weersinvloeden, geografische kenmerken en tijdstippen en/of de aan- of afwezigheid van bepaalde verkeers- of wegkenmerken." (SAE International, 2018)*

Het voertuig informeert de bestuurder over de actuele status van het rijhulpsysteem (aan/uit, wel/geen herkenning van markering, etc.). Zodoende 'vertelt' het voertuig of de actuele situatie binnen de grenzen van het rijhulpsysteem vallen[7]. Het is de taak van de bestuurder om, naast de directe verkeersomgeving, ook de status van het rijhulpsysteem te monitoren. Zo weet de bestuurder immers of het systeem hem assisteert of dat de bestuurder voor de desbetreffende rijtaak niet op hulp hoeft te rekenen. Elke keer dat het voertuig zich in een situatie bevindt waarin het zich geen raad weet met de situatie (bijvoorbeeld doordat het geen rijstrookmarkering detecteert) vindt er een zogeheten *transition of control* plaats (Alkim, 2017); de bestuurder neemt de rijtaak weer over van het rijhulpsysteem. Wanneer de situatie het weer toelaat (de verkeerssituatie bevindt zich binnen het ODD) kan de bestuurder ervoor kiezen om de rijtaak weer over te laten aan het rijhulpsysteem; ook dan vindt er een overdracht van de controle plaats. Dit is geïllustreerd in Figuur 2. Het probleem hierbij is echter dat het voor autobestuurders niet duidelijk is wat de grenzen van het ODD zijn, dit kan leiden tot discrepanties in hetgeen de bestuurder verwacht van het voertuig en dat waartoe het voertuig daadwerkelijk in staat is (o.a.: Bhusari, 2018). Als het vooraf duidelijk zou kunnen zijn wanneer een rijhulpsysteem wel en niet adequaat kan werken, zou dat een positieve ontwikkeling kunnen zijn om rijhulpsystemen op een veilige en correcte wijze te gebruiken.



Figuur 2: Elke situatie buiten het ODD zorgt voor een onderbreking in het rijden met rijhulpsystemen, dat bij elke onderbreking leidt tot een overdracht van de voertuigbesturing tussen bestuurder en voertuig (Alkim, 2017).

[7] In deze thesis wordt verder gesproken over situaties die zich 'binnen' of 'buiten' het ODD bevinden.

Het is dus van belang dat er duidelijkheid bestaat over de grenzen van het ODD van een rijhulpsysteem zoals LKS: wanneer werkt het wel en wanneer niet? Dit inzicht is ook waardevol voor de wegbeheerder. Aangezien een LKS alleen werkt als het de grenzen van een rijstrook kan detecteren, is er een directe relatie tussen het voertuig(systeem) en de weginfrastructuur. Wegbeheerders merken op dat het aandeel 'slimme voertuigen' dat over ADAS beschikt de komende jaren alleen maar toeneemt, van 9% in 2017 naar 82% in 2030 (Frost & Sullivan, 2018). Een groei dat wellicht versterkt wordt doordat het Europees Parlement onlangs besloten heeft dat alle nieuw verkochte personenauto's vanaf 2022 verplicht bepaalde ADAS aan boord moeten hebben, waaronder een rijstrookassistent (European Commission, 2019). Er ontstaat bij de wegbeheerder dus een wens om meer inzicht te krijgen in de mate van areaalgeschiktheid voor dit type voertuigen.

De gewenste inzichten in de grenzen van het ODD blijken echter niet in afdoende mate beschikbaar te zijn. Eerder bleek al dat bezitters van een 'slimme auto' vaak onvoldoende geïnstrueerd zijn over de werking van de geautomatiseerde functies op hun auto en de eventuele beperkingen van het systeem (Klem & Gorter, 2016; Connecting Mobility, 2017). De ongekende populariteit van de Tesla Model 3 in Nederland is wat dat betreft een nieuw dieptepunt; duizenden auto's met geavanceerde ADAS aan boord worden afgeleverd zonder een degelijke instructie (Algemeen Dagblad, 2019). Dit kan leiden tot een onjuist gebruik van de systemen. Ook biedt de gebruikershandleiding van voertuigen niet veel ondersteuning. Uit eigen observaties van handleidingen van Subaru (2018) en Ford blijkt dat de rijstrookassistentie mogelijk niet (goed) werkt in bepaalde situaties, zoals bij sneeuwval of een scherpe bocht. Wat dan precies een scherpe bocht is, is niet gedefinieerd. Ook Tesla heeft geen duidelijke beschrijving van de capaciteiten en beperkingen van haar rijhulpsystemen in de handleiding opgenomen (Bhusari, 2018). Dit gebrek aan kennis over het ODD houdt in dat zowel autobestuurders als wegbeheerders geen (volledig) inzicht hebben in de capaciteiten en beperkingen van rijhulpsystemen en hierdoor niet kunnen weten in welke situaties de systemen naar behoren functioneren. Autobestuurders en wegbeheerders zullen hierom proefondervindelijk moeten vaststellen wat rijhulpsystemen wel en niet kunnen. Een verkeerde inschatting of een moment van onoplettendheid kan in potentie leiden tot zeer gevaarlijke situaties.

De rijstrookassistentie levert hierbij interessante bevindingen op. Zo bleek dat bestuurders deze hulpsystemen vaker uitzetten dan andere vormen van ADAS (IIHS, 2016; IIHS, 2017; Reagan et al., 2018), waarschijnlijk omdat men minder vertrouwen heeft in een rijstrookhulp dan in een andere ADAS (Kidd et al., 2017). Dit effect werd vooral waargenomen bij LKS die zelf kunnen (bij)sturen, testpersonen hadden meer vertrouwen in LDW (Kidd et al., 2017). Dat lagere vertrouwen in (bij)sturende rijstrookassistentie zou verklaard kunnen worden door de mate van (waargenomen) rijcomfort van de stuuringrepen (IIHS, 2018a; Kidd & Reagan, 2019); rijstrookassistentiesystemen zouden te sterk of abrupt ingrijpen, wat de bestuurder het gevoel geeft dat het systeem de situatie niet machtig is. Hoe eerder een systeem ingrijpt, hoe groter de kans op kleinere, minder abrupte ingrepen en een groter vertrouwen in het systeem (IIHS, 2018a).

Dat lagere vertrouwen in rijstrookassistentie is op zich goed, omdat de bestuurder zodoende niet blind vertrouwd op het systeem en zelf de controle over het voertuig neemt; precies wat ook de bedoeling is van een hulpsysteem. Het uitzetten van het LKS is echter ongewenst, omdat het correct gebruiken van LKS gezien wordt als een manier om het aantal ongevallen te verminderen. Het omgekeerde is helaas ook waar, sommige bestuurders vertrouwen te veel op hun voertuigsysteem en verwachten

(vaak onterecht) dat hun voertuig wel de benodigde capaciteiten heeft. Een redelijk schokkend voorbeeld hiervan is de Autopilot Buddy[8], een apparaatje dat verkocht wordt als een '*nag reduction device*' om Tesla's Autopilot te misleiden door het te laten denken dat de bestuurder netjes de handen aan het stuur heeft. Zo schakelt het systeem zichzelf niet uit en kunnen er kilometerslange trips worden afgelegd zonder tussenkomst van de bestuurder. Dit zijn twee voorbeelden van uitersten, waarbij er in beide gevallen sprake is van een onvoldoende kennisniveau bij de bestuurder over het ODD van de rijstrookassistentie. Dit suggereert dat er een discrepantie bestaat tussen de verwachtingen die de bestuurder heeft over het ODD en de werkelijke ODD-capaciteiten op de weg. Zo heeft Bhusari (2018) vastgesteld dat 77% van zijn testpersonen in een veldtest met een Tesla dachten dat het rijden langs een weefvak (met blokmarkering) ter hoogte van een afrit op de autosnelweg binnen het ODD viel, terwijl het in werkelijkheid niet duidelijk kon worden vastgesteld of deze situatie wel of niet binnen het ODD valt. 82% van de testpersonen in dit onderzoek gaven aan dat het rijden in de stad, zonder aanwezige wegmarkering, wel binnen het ODD viel terwijl dit in werkelijkheid niet het geval is. De Autosteer-functie presteerde in deze situaties slechter dan in situaties die zich wel binnen het ODD bevinden, wat aangeeft dat hetgeen de bestuurder verwacht niet overeenkomt met datgene waartoe het voertuig in staat is (Bhusari, 2018). De verkeersveiligheid is er dus bij gebaat als autobestuurders geholpen kunnen worden bij het maken van betere inschattingen van de capaciteiten en beperkingen van rijhulpsystemen.

1.2.2 Rijstrookassistentie in bochten

De constatering dat een rijstrookassistentie mogelijk niet of niet goed werkt in een scherpe bocht, zonder dat in het ODD gedefinieerd wordt wat dan precies een scherpe bocht is, is ook een zeer relevant aandachtspunt voor de wegbeheerder. Eerder Amerikaans onderzoek toonde aan dat de kans op een dodelijk ongeval in een bocht 1,5 tot vier keer groter is dan op een recht wegvak (Alexei, Randy, & Nicholas, 2005), wat aangeeft dat aandacht voor veiligheid in bochten van groot belang is. Volgens Calvi (2015) zijn 60-70% van de dodelijke ongevallen in bochten eenzijdige ongevallen doordat het voertuig van de weg geraakt. Calvi wijt dit aan een ongepaste snelheid en laterale positie (Calvi, 2015). Er is tot dusver echter nog weinig onderzoek uitgevoerd naar de prestaties van LKS in bochten, de meeste studies richtten zich voornamelijk op rechtstanden en/of het wel of niet herkennen van de markering (Klem & Gorter, 2016; Droogsma & Klem, 2017; Droogsma et al., 2017; Gorter et al., 2019; Reddy, 2019). In verkennende praktijktesten bleek echter dat voertuigen met ingeschakelde LKS moeite kunnen hebben met het handhaven van een veilige laterale positie in bochten, dat potentieel gevaar oplevert (Droogsma & Klem, 2017; Prins, Voskuil, Van der Linde, & Morsink, 2019). Ook Amerikaans onderzoek naar LKS prestaties op bochtige wegen resulteerde in de constatering dat niet alle voertuigen in veldtests in staat zijn om binnen de markering te blijven (IIHS, 2018b).

Vanwege de gebrekkige ongevalsregistratie in Nederland is het lastig om een nauwkeurig beeld te schetsen van het aantal auto-ongevallen in bochten (SWOV, 2019a; SWOV, 2019b). Het is daarnaast ook onbekend of een gecrasht voertuig over een rijstrookassistent beschikte en of dat was geactiveerd ten tijde van het ongeval. Het is hierom lastig om een effect van LKS op de Nederlandse wegen vast te stellen en dit te differentiëren naar ongevallen op rechte en gebogen wegvakken. Er wordt echter wel aangenomen dat LKS meer moeite heeft met het veilig bedwingen van een bocht dan dat dit het geval is op een rechtstand. Dit heeft deels te maken met het feit dat er sowieso al een stuuringreep nodig is

[8] https://www.autopilotbuddy.com/

om het verloop van de weg te kunnen blijven volgen en deels door beperkingen van technische aard, zoals de karakteristieken van de camera(instellingen) en de achterliggende algoritmes. Dit zouden mogelijke factoren kunnen zijn die een optimale werking van LKS in bochten kunnen inperken. Mogelijk, omdat niet bekend is hoever een voertuig voor zich uit en naast zich kijkt, wat voor type camera is gebruikt, hoe het achterliggende algoritme werkt en omdat de positionering van de camera in het voertuig per voertuigmodel kan verschillen. Veel van deze technische specificaties zal een OEM niet graag willen delen, vanwege commerciële belangen. Dit maakt dat het ingewikkeld is om de rijprestaties van LKS (en vooral de grenzen daarvan) op basis van technische gegevens alleen te baseren.

De wegbeheerder heeft geen interesse in die commerciële belangen, maar heeft wel een belang bij een verbeterd inzicht in de geschiktheid van haar (bochten)areaal voor voertuigen die zijn voorzien van rijstrookassistentie. Deze kennis kan de wegbeheerder gebruiken om de zogeheten mate van 'road-readiness' voor dit type voertuigen te bepalen. Het is voor een wegbeheerder dus belangrijk om te weten wat de grenzen van het ODD zijn, voor elk ADAS type. In het geval van rijstrookassistentie in bochten kan kennis over het maximaal haalbare de wegbeheerder helpen om te bepalen bij welke bochten in haar areaal er sprake is van een suboptimale situatie en waarbij een eventuele maatregel wenselijk geacht wordt. Hierbij moet er gedacht worden aan maatregelen die ervoor zorgen dat het bedwingen van de bocht met ingeschakelde LKS wel veilig kan verlopen. Een voorbeeld hiervan is het geven van een lokale adviessnelheid. In combinatie met andere rijhulpsystemen (specifiek: ACC, ISA[9], digital maps en/of verkeersbordherkenning) kan het voertuig in een 'gevaarlijke' bocht de bestuurder op tijd en adequaat informeren of zelf het rijgedrag aanpassen aan de naderende situatie. Het is hierom noodzakelijk om te bepalen waar eventuele maatregelen gewenst zijn.

1.2.3 Voertuigveiligheidstesten

Het testen van voertuigen en voertuigsystemen kan inzicht verschaffen in de mate van bescherming dat het voertuig biedt aan de inzittenden, zowel ten aanzien van ongevalspreventie als het beperken van de gevolgen van een ongeval. Het *European New Car Assessment Program* (Euro NCAP) is hier een bekend voorbeeld van. Na het afronden van een testprogramma wordt het geteste voertuig een score toegekend op basis van een vijfpunts schaal (Euro NCAP, 2019a; Euro NCAP, 2019b). Hoe hoger de score, hoe veiliger het voertuig geacht wordt te zijn ten opzichte van gelijkwaardige voertuigen in dezelfde voertuigcategorie. Deze score zou de consument moeten helpen om te bepalen wat het veiligste voertuig is dat in die voertuigcategorie te verkrijgen valt. Zo tracht de Euro NCAP bij te dragen aan de aanschaf van steeds veiligere voertuigen. Hiermee kan de Euro NCAP ook druk uitoefenen op autofabrikanten om hun voertuigen steeds veiliger te maken (Van Ratingen, et al., 2016). Een voertuig dat een slechtere score ontvangt dan de concurrentie kan immers als minder aantrekkelijk beschouwd worden door de consument.

Naast het testen van de botsveiligheid van voertuigen test de Euro NCAP tegenwoordig ook voertuigsystemen die bedoeld zijn om ongevallen te voorkomen (Euro NCAP, 2018a). Deze ongevalspreventiesystemen schaart de Euro NCAP onder de noemer 'Safety Assist' (SA), waarbij een van de categorieën specifiek ingaat op 'Lane Support Systems' (LSS). Een voertuig dat geen SA-veiligheidssystemen heeft, kan tegenwoordig bij de Euro NCAP niet meer de hoogste score behalen. Op een afgesloten en geconditioneerde testomgeving worden voertuigen met LSS onderworpen aan een serie tests volgens een

[9] ISA: Intelligente SnelheidsAssistentie: systeem dat de bestuurder ondersteunt om een gepaste snelheid aan te houden.

strikt testprotocol (Euro NCAP, 2019c; Euro NCAP, 2019d). Vanwege de constante condities en de hoge mate van reproduceerbaarheid zijn deze tests zeer geschikt om voertuigen onderling met elkaar te vergelijken. De tests zijn echter niet optimaal geschikt om de testresultaten door te vertalen naar voertuigprestaties in praktijksituaties. Dit komt onder andere door infrastructurele en omgevingsverschillen tussen de testomgeving en de openbare weg. Het testprotocol is er immers op gericht om zo ideaal mogelijke testcondities te creëren: droog, een lage of geen windsnelheid, geen vallende bladeren, et cetera (Euro NCAP, 2019c; Euro NCAP, 2019d). De eisen die overheden stellen aan voertuigveiligheid worden vastgelegd in reglementen welke in VN verband zijn aangenomen. Ook hierin worden soortgelijke gestandaardiseerde testcondities voorgeschreven (United Nations, 2013). Daarnaast is ook vastgelegd dat het rijstrookassistentiesysteem bij een stuuringreep geen laterale versnelling mag veroorzaken van 3 m/s^2 of hoger (United Nations, 2018).

Het is hierdoor aannemelijk dat de grenzen van het ODD van rijstrookassistentiesystemen op de openbare weg eerder bereikt worden dan dat dit het geval is in de testomgeving. Er kan dan sprake zijn van een discrepantie tussen de verwachtingen die de autoconsument heeft van een goed beoordeelde LKS en de werkelijke capaciteiten van het LKS in verkeerssituaties die niet gelijk zijn aan die van de Euro NCAP testprocedure. Het is bovendien zeer aannemelijk dat het merendeel van de autobestuurders geen adequaat inzicht heeft in de details van deze testprocedure. Dit kan eraan bijdragen dat de gemiddelde autobestuurder ook niet in staat *kan* zijn om de mogelijke discrepantie tussen zijn verwachtingen en de werkelijke capaciteiten van het LKS in te schatten.

1.3 Kennislacune

De constatering dat LKS mogelijk niet of niet goed functioneert in scherpe bochten zonder dat duidelijk is wat dan precies een scherpe bocht is, is zeker in combinatie met het verschil in verwachtingen over de systeemcapaciteiten en de werkelijke systeemcapaciteiten een potentieel zeer gevaarlijke situatie.

Zowel wegbeheerders als autobestuurders zijn momenteel niet op de hoogte van de ondergrens van het ODD van *lane keeping systemen* in relatie tot de bochtscherpte. Er is hierom meer inzicht nodig in de ondergrens van het ODD, zodat de wegbeheerder weet waar deze kennis ingezet moet worden om zowel de bestuurder alsook het voertuig te attenderen op een mogelijk gevaarlijke situatie.

Het is daarnaast ook van belang om een vergelijking te maken tussen de ODD grenswaarden van LKS op de openbare weg en in een geconditioneerde testomgeving. Momenteel is er geen inzicht in de eventuele verschillen hiertussen en welke lessen daaruit getrokken kunnen worden. Het verkrijgen van meer inzicht hierin zou kunnen bijdragen aan het verbeteren van testprocedures in voertuigveiligheidstesten.

1.4 Onderzoeksrelevantie

Maatschappelijke relevantie

Dit onderzoek richt zich op de mate van verkeersveiligheid van voertuigen met ingeschakelde LKS in bochten en hoe de verkeersveiligheid ervan te verbeteren is. Behalve potentieel persoonlijk leed en emotionele schade zal een verbeterde verkeersveiligheid ook maatschappelijke kosten besparen. Omdat de maatschappelijke kosten die verkeersongevallen met zich meebrengen (13 à 15 miljard euro per jaar, 2% van het bruto nationaal product) vele malen hoger zijn dan de kosten die files (2 à 3 miljard euro) en milieuschade door verkeer (5 miljard euro) met zich meebrengen (SWOV, 2017), loont het ook financieel gezien de moeite om het verkeer veiliger te maken. Het kan namelijk voorkomen dat een kleine daling van het aantal ongevallen al tot zeer omvangrijke monetaire besparingen kan leiden. Daarnaast kan een veiligere en betrouwbaardere werking van LKS en ADAS in het algemeen tot een hogere gebruikersacceptatie leiden, wat kan helpen bij de aanschaf van deels geautomatiseerde voertuigen en het ook daadwerkelijk op een correcte manier gebruiken van de aanwezige ADAS in het voertuig.

Vakinhoudelijke relevantie

Hoewel de maatschappelijke relevantie al genoeg reden geeft tot uitvoering van deze studie, kan er ook op vakinhoudelijk gebied worden bijgedragen aan het verkleinen van de geconstateerde kennislacunes.

Hoewel het vrij ingewikkeld kan zijn om als autobestuurder in te schatten wanneer een bocht te scherp is en daarmee buiten het ODD valt, kan dit onderzoek er wel toe bijdragen dat de wegbeheerder deze kennis kan inzetten om haar bochtenareaal waar nodig aan te passen. De wegbeheerder heeft hiermee een directe invloed op zowel de LKS-prestaties in de bocht alsook op de *transition of control* voor de bocht. Zo kan het voertuig informatie uit de omgeving halen en op basis daarvan het rijgedrag aanpassen (als het ook over andere ADAS zoals ISA en bordherkenning beschikt) of deze informatie met de bestuurder delen zodat hij de controle over kan nemen. In beide gevallen is er sprake van een situatie waarbij het voertuig de bestuurder attendeert op de naderende bocht. Het is dan minder noodzakelijk om de bestuurder de absolute grenzen van het ODD bij te brengen; de bestuurder hoeft dan alleen nog maar te begrijpen waarom die aanpassing in het rijgedrag nodig is. Hiervoor is een zekere mate van kennisoverdracht en argumentatie nodig dat bijvoorbeeld ook kan worden meegenomen in de rijopleidingen. Bijvoorbeeld in relatie tot de educatie over verkeersinzicht en gevaarherkenning en het koppelen daarvan aan de bediening en interactie met het voertuigsysteem. De wegbeheerder kan, samen met kaartenleveranciers zoals HERE en TomTom, het verkregen inzicht ook gebruiken bij het maken en updaten van digitale wegenkaarten. Dergelijke kaarten kunnen door voertuigen worden gebruikt om de bestuurder te informeren/waarschuwen of om de voertuigen zelf het rijgedrag hierop aan te laten passen.

Kennis omtrent de situaties waarin de limiet van een voertuigsysteem bereikt wordt is ook zeer relevant voor de automobielindustrie. Deze inzichten kan OEM's helpen bij het identificeren van de technische verbeterpunten van hun voertuigen en voertuigsystemen. Het vergaren van deze kennis kan tevens bijdragen aan het verder aanscherpen van voertuigveiligheidstesten, die op hun beurt de OEM's stimuleren om hun voertuigen steeds veiliger te maken.

1.5 Onderzoekskader

Binnen dit onderzoek wordt uitgegaan van bochten waarbij de aanwezige rijstrookmarkering voor zover mogelijk de meest gewenste situatie biedt. Dit houdt in dat de aanwezige rijstrookmarkering conform de richtlijn en van een goede kwaliteit moet zijn, zonder dat deze besmeurd is door vuil of begroeiing of op een andere manier verminderd zichtbaar is dan zoals bedoeld is. Hiervoor is gekozen omdat dit onderzoek niet als doel heeft om te onderzoeken wat de zichtbaarheid van markering beïnvloedt. Door uit te gaan van een goede markeringskwaliteit kan de focus van het onderzoek worden verschoven naar de invloed van het LKS op de (rij)prestaties van het voertuig in een bocht.

Omdat rijstrookassistentiesystemen oorspronkelijk bedoeld zijn voor gebruik op de autosnelweg, zal dit onderzoek zich deels richten op bogen op autosnelwegen. Omdat Bhusari (2018) tot de conclusie kwam dat er sprake is van een discrepantie tussen de gepercipieerde voorstelling van het ODD en het werkelijke ODD, zal het voorliggende onderzoek zich richten op bogen waarover niet direct duidelijkheid bestaat of deze zich binnen of buiten het ODD bevinden. Dit omdat hier een hogere noodzaak is om de bestuurder en/of het voertuig te attenderen op de naderende 'gevaarlijke' situatie. Vanwege het bestaan van de discrepantie tussen het gepercipieerde en het werkelijke ODD wordt er ook gekeken naar bochten op andere stroomwegen (80 km/u). Deels omdat weggebruikers ook hier het LKS kunnen inschakelen, deels omdat de eerder genoemde ongevalstypen ook relatief vaak voorkomen op deze provinciale wegen en deels vanuit de gedachte dat een wegbeheerder rekening moet houden met worst-case scenario's.

Het soort LKS dat in deze studie onderzocht wordt is de rijstrookhulp die behalve het geven van waarschuwingen ook in staat is om de richting van het voertuig te beïnvloeden. Dit betreft zowel de *Lane Steering* (LS) variant als de *Lane Centering* (LC) variant van *lane keeping systems*, conform de omschrijving in Tabel 1. Hiervoor is gekozen om aan te sluiten bij de testprotocollen van de Euro NCAP, die ertoe resulteren dat voertuigen die slechts over LDW beschikken niet in staat zijn om hoge testscores te behalen. Voor de Euro NCAP tests moet de LC-functionaliteit echter uitgeschakeld zijn (Euro NCAP, 2019c), omdat men van mening is dat *lane centering* een rijhulpsysteem is dat gericht is op rijcomfort in plaats van op veiligheid (Schram, 2019). In dit onderzoek wordt lane centering echter wel meegenomen, enerzijds omdat dit type LKS er immers ook voor kan zorgen dat het onbedoeld verlaten van de rijstrook wordt tegengegaan. Anderzijds is het zeer aannemelijk dat een bestuurder deze hulpsystemen inschakelt als het comfortverhogend zou zijn, waardoor het juist relevant is om wel de verkeersveiligheidsaspecten ervan te onderzoeken.

Verder wordt er in deze studie uitgegaan van voertuigen die beschikken over meerdere rijhulpsystemen, waar het LKS er één van is. Deze keuze is gemaakt omdat de nieuwe EU-regelgeving erop aanstuurt dat dit het soort voertuig is wat over een paar jaar de nieuwe standaard is bij alle nieuwe autoverkopen. Dit maakt dat de testvoertuigen ook relevant blijven voor de nabije toekomst. Wegens praktische overwegingen hebben testvoertuigen die naast LKS ook over een (adaptieve) cruise control beschikken de voorkeur.

1.6 Doel- en vraagstelling

1.6.1 Doel van het onderzoek

Onderzoeksdoelstelling

Het onderzoek heeft als doel om een bijdrage te leveren aan het vergroten van het inzicht in de capaciteiten van *lane keeping systems* in bochten, door te onderzoeken waar de ondergrens van het ODD zich bevindt in relatie tot de bochtscherpte. De overkoepelende doelstelling is om met de nieuwe inzichten input te kunnen leveren aan wegbeheerders waarmee zij kunnen bepalen of en waar er maatregelen genomen moeten worden ter vergroting van de verkeersveilige werking en gebruik van deze voertuigsystemen.

Een tweede doelstelling is om met het onderzoek nieuwe inzichten te verschaffen over verschillen tussen de werking van LKS in een testomgeving en op de openbare weg, waarmee voertuigveiligheidstesten mogelijk verbeterd kunnen worden. De overkoepelende doelstelling hiervan is het stimuleren van zowel de productie als de aanschaf van steeds veiliger wordende voertuigen.

Bedrijfsdoelstelling

Dit onderzoek is een vervolg op eerdere studies die binnen het advies- en ingenieursbureau Royal HaskoningDHV zijn uitgevoerd op het gebied van *lane keeping systemen* en ADAS in het algemeen. RHDHV fungeert in deze studie als externe opdrachtgever en heeft als zodanig een commercieel belang bij de onderzoeksresultaten, daar deze gebruikt worden voor het adviseren van wegbeheerders en andere betrokken partijen op het gebied van infrastructurele implicaties van auto's die voorzien zijn van ADAS.

1.6.2 Onderzoeksvragen

Om met dit onderzoek een bijdrage te leveren aan het verhogen van de verkeersveiligheid van met LKS uitgeruste auto's dient de beschreven kennislacune verkleind te worden door inzicht te vergaren over de grens van het ODD in relatie tot de bochtscherpte. Om de doelstellingen van dit onderzoek te bereiken wordt ernaar gestreefd om de onderstaande hoofdonderzoeksvraag te beantwoorden. Het antwoord hierop wordt gevormd door de individuele deelvragen te beantwoorden.

1.6.2.1 Hoofdonderzoeksvraag

Waar liggen de grenswaarden van het Operational Design Domain van Lane Keeping Systemen in relatie tot de bochtscherpte op Rijkswegen en provinciale wegen in Nederland?

1.6.2.2 Deelvragen

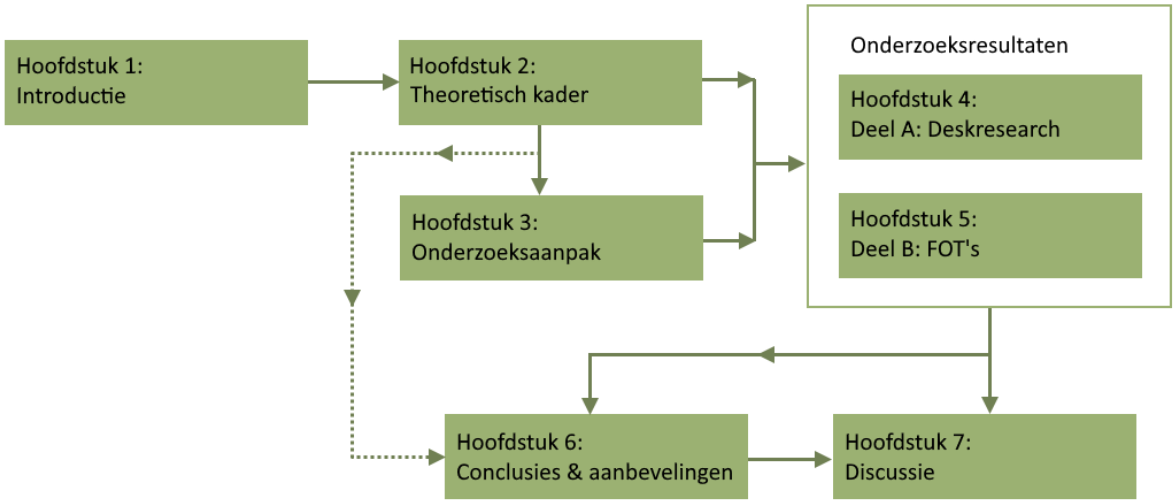
1. **Hoe en waar zou het LKS van een voertuig correct moeten functioneren, volgens de beschrijving van het ODD?**
   - **a)** Welke informatie verstrekken voertuigfabrikanten of -leveranciers aan hun klanten over de werking en beperkingen van de rijstrookassistentie in scherpe bochten en hoe wordt deze informatie overgedragen?

2. **Wanneer is een bocht te scherp voor een LKS om het voertuig binnen de rijstrookgrenzen te houden?**
   a) Bij welke rijsnelheid en boogstraal is het LKS niet meer in staat om het voertuig binnen de rijstrookgrenzen te houden?
   b) Welke verschillen bestaan er ten aanzien van de ODD grenswaarden tussen diverse voertuigen en voertuigsystemen?
   c) Veranderen de grenswaarden van het ODD van LKS bij verschillen tussen dag & nacht en droog & regen, en zo ja, hoe veranderen deze grenswaarden dan?
   d) Waar bevinden zich eventuele discrepanties tussen de ODD grenswaarden en de ontwerprichtlijn(en)?

3. **In hoeverre komen de gevonden ODD grenswaarden op de openbare weg overeen met de ODD grenswaarden zoals deze tijdens voertuigveiligheidstests op een geconditioneerd testterrein worden vastgesteld?**
   a) Hoe voert de Euro NCAP haar Lane Support Systems tests uit en welke wettelijke eisen worden er gesteld aan de rijstrookassistentiesystemen?
   b) Waardoor worden eventuele verschillen in de ODD grenswaarden op de openbare weg en de testomgeving mogelijk veroorzaakt?
   c) Welke lessen kunnen er getrokken worden ten aanzien van het verbeteren van de Euro NCAP *Lane Support Systems* voertuigveiligheidstesten?

1.7 Onderzoeksdesign

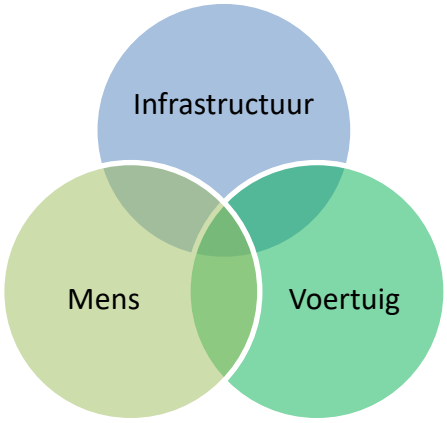
De onderzoeksvragen worden beantwoord door een onderzoek bestaande uit twee delen (A en B). Deel A betreft een deskresearch. Deel B betreft een veldtest op de openbare weg. De onderzoeksstappen worden in Hoofdstuk 2 voorafgegaan door een overzicht van relevante bevindingen uit literatuurstukken. In Hoofdstuk 3 worden de gekozen methoden nader toegelicht. Figuur 3 toont het gehele onderzoeksproces.



Figuur 3: Het onderzoeksproces.

2 THEORETISCH KADER

De gemeenschappelijke eigenschap die elk Lane Keeping Systeem heeft is dat het voertuig technologie aan boord heeft om de laterale positie van het voertuig ten opzichte van de rijstrookgrenzen te detecteren. Vrijwel elk voertuig doet dit met behulp van een of meerdere camera's en de bijbehorende beeldherkenningssoftware. Dit betekent dat het van belang is dat het voertuig de markering goed kan 'zien'; er is dus een relatie tussen het voertuig en de infrastructuur. Uit diverse studies (Klem & Gorter, 2016; Droogsma & Klem, 2017; Droogsma et al., 2017; Gorter et al., 2019; Reddy, 2019; Prins, Voskuil, Van der Linde, & Morsink, 2019) is al gebleken in welke situaties een voertuig moeite kan hebben met het herkennen van de rijstrookmarkering (zoals regen, sneeuw of vuil). Dit houdt in dat er ook een relatie is tussen de autobestuurder en de infrastructuur en tussen autobestuurder en voertuig. De autobestuurder moet immers wegsituaties herkennen waarvan hij weet dat het voertuig niet in staat is om de naderende situatie veilig te bedwingen. Tegelijkertijd moet het voertuig op een heldere en eenduidige wijze de bestuurder informeren over de werking en de grenzen van het rijhulpsysteem. Figuur 4 illustreert deze relatie tussen het voertuig, de infrastructuur en de mens. Vanwege deze onderling overlappende relaties focust dit Hoofdstuk zich dan ook op het geven van een literatuuroverzicht over de link tussen rijstrookassistentietechnologie en deze drie aandachtsgebieden. Dit Hoofdstuk start echter met een literatuuroverzicht van de effecten die rijstrookassistentie heeft op de verkeersveiligheid.



Figuur 4: De overlappende relatie tussen mens, voertuig en infrastructuur.

2.1 LKS en de verkeersveiligheid

Rijstrookassistentietechnologie is technologie in een voertuig dat de bestuurder assisteert bij het behouden van een veilige positie in de rijstrook. Het is primair bedoeld als veiligheidsmaatregel, omdat het verlaten van de rijstrook kan leiden tot ongevallen. Men kan in de berm belanden, de controle kwijtraken en ergens tegenop botsen. Of men kan op de naastgelegen rijstrook belanden, alwaar frontale en zijdelingse botsingen met andere verkeersdeelnemers kunnen plaatsvinden. In beide gevallen kan de ongevalsernst vrij hoog zijn. In de afgelopen jaren zijn er steeds meer voertuigen met deze technologie aan boord voor een steeds groter publiek bereikbaar geworden en het aandeel voertuigen met deze technologie gaat alleen nog maar stijgen de komende jaren (Frost & Sullivan, 2018). Welke gevolgen heeft dat op de mate van verkeersveiligheid?

In Nederland worden verkeersongevallen bijgehouden in de BRON en STAR ongevalsregistratiesystemen. Echter is er al jaren sprake van een (te) lage registratiegraad, waardoor er geen adequaat zicht is op de werkelijke verkeers(on)veiligheid (SWOV, 2019b). Daarnaast is de kwaliteit (qua compleetheid en nauwkeurigheid) van deze ongevalsregistratiesystemen ook niet iets om trots op te zijn. Een ongeval wordt bijvoorbeeld geregistreerd op wegvakniveau of op segmenten van 100 meter. Het is dan moeilijker om vast te stellen of het ongeval bijvoorbeeld in een bocht heeft plaatsgevonden (SWOV, 2019a). De vindplaats van een gecrasht voertuig hoeft immers niet persé gelijk te zijn aan de plaats van het ongeval. Ook wordt niet vastgesteld of een voertuig bepaalde rijhulpsystemen heeft en of deze

gebruikt werden in de momenten voor het ongeval. Door de nieuwe EU-regels moeten auto's vanaf 2022 wel een datarecorder hebben (European Commission, 2019), waardoor een deel van deze problemen wellicht opgelost worden. Vanwege de gebrekkige ongevallenregistratie in Nederland is het interessant om te kijken naar de verzekeringsbranche en de automobielsector. Ongevallen die niet (goed) worden geregistreerd door de hulpdiensten worden wellicht wel gemeld bij de verzekeraar, in verband met schadeclaims. Ook de automobiel- en de schadeherstelsector kan inzicht verschaffen over veiligheidseffecten van ADAS. Nu er steeds meer voertuigen met deze technologie rondrijden verwacht de BOVAG een daling in het aantal voertuigen dat haar leden voor reparatie in de garage zullen terugzien. De BOVAG becijferde dat vier typen rijtaakondersteuning gezamenlijk zullen zorgen voor een schadereductie van 23%, in het meest realistische scenario (BOVAG, 2019). Volgens datzelfde scenario zou rijstrookassistentie alleen tot 4% minder schadeherstelvolume moeten leiden (BOVAG, 2019). Verder stelt de BOVAG dat het percentage verder oploopt zodra het Europees Parlement de vernieuwde '*General Safety Regulation*' heeft goedgekeurd (BOVAG, 2019) omdat dan vanaf 2022 alle nieuwe auto's verplicht over een aantal rijhulpsystemen moet beschikken, waaronder een rijstrookassistent. Deze nieuwe regelgeving is inmiddels goedgekeurd (European Commission, 2019).

Diverse verzekeraars geloven in de potentie van rijstrookassistentie en andere vormen van ADAS met betrekking tot het verlagen van het aantal ongevallen en daarmee het aantal schadeclaims. Dit uit zich in goedkopere premies voor eigenaren van een voertuig dat beschikt over één of meerdere hulpsystemen (o.a.: AG Insurance, 2015; AXA Belgium, 2019). *"Omdat steeds meer rijtaken worden overgelaten aan voertuigsystemen zou een verzekeraar niet meer alleen naar de bestuurder moeten kijken bij het bepalen van de premie, maar ook steeds meer naar wat voor voertuig hij rijdt"* aldus onderzoeksbureau Swiss Re Group (2018b). Nog niet alle verzekeraars bieden deze kortingen aan, omdat er nog veel vraagtekens te plaatsen zijn bij het effect van ADAS op het aantal en de hoogte van schadeclaims (The Guardian, 2016; FleetNews, 2017; AutoRAI, 2018; Swiss Re Group, 2018a; Insurance Times, 2019). Er zijn dan ook cijfers waaruit blijkt dat bestuurders van voertuigen met ADAS juist vaker schade rijden dan bestuurders in auto's die dat niet hebben (AutoRAI, 2018). Die schade is dan vaak ook nog duurder, vanwege de duurdere techniek aan boord van het relatief nieuwe voertuig. De constatering dat bestuurders (delen van) hun ADAS uitschakelen omdat men het als onprettig ervaart (IIHS, 2016; IIHS, 2018a) maakt dan ook dat het verstandiger zou zijn om als verzekeraar te kijken naar het soort ADAS en de mate van gebruik ervan, wanneer de voorwaarden voor premiekortingen worden geformuleerd. Het aanbieden van premiekortingen op basis van het bezit van een bepaald type ADAS dat in de praktijk wordt uitgeschakeld heeft immers weinig nut.

Ook buitenlandse studies lijken bewijs te leveren voor een daling in het aantal ongevallen. Zo concludeerde het Amerikaanse *Insurance Institute for Highway Safety* (IIHS) al in 2011 dat *lane departure warning/prevention* systemen de potentie hebben om 179.000 ongevallen per jaar te voorkomen of te verzachten in Amerika (Jermakian, 2011). Sternlund et al. (2017) concludeerden dat Volvo's met LDW/LKA minder frequent voorkwamen in de Zweedse ongevallenstatistieken dan Volvo's zonder deze techniek. Een latere IIHS-studie toonde aan dat het aantal door de politie gerapporteerde ongevallen (eenzijdige, zijdelingse en frontale aanrijdingen) lager uitvalt indien het voertuig over een LDW-systeem beschikt (Cicchino, 2018). Een recente studie aan de Universiteit van Alabama van Penmetsa et al. (2019) toont aan dat 2,7% van de zogenaamde *'single-vehicle lane departure'* (SVLD) ongevallen[10]

[10] SVLD-ongevallen: eenzijdige ongevallen door het verlaten van de rijstrook, bijv. van de weg af geraken.

in 2020 voorkomen kunnen worden als 8,5% van het wagenpark over een *lane departure prevention* (LDP) systeem beschikt dat een effectiviteit van 20% heeft. Hoe hoger de effectiviteit van de rijstrook-assistentie, hoe groter de afname in deze SVLD-ongevallen. Bij een effectiviteit van 100% in 2045 zouden 66,5% van dit type ongevallen voorkomen kunnen worden, volgens Penmetsa et al. (2019). Het nadeel van de studies van Jermakian (2011), de BOVAG (2019) en Penmetsa en collega's (2019) is echter dat het schattingen op basis van statistieken betreffen. Volgens een recent SWOV[11] rapport is dit type onderzoek het minst valide, omdat mogelijke effecten van een gebrekkige sensitiviteit en specificiteit en een eventuele gedragsadaptatie niet worden meegenomen (Vlakveld, 2019). Volgens Vlakveld zijn studies waarbij er gekeken is naar verschillen in de ongevalsbetrokkenheid van voertuigen met en zonder ADAS, zoals Sternlund et al. (2017) en Cicchino (2018) deden, beter om veiligheidseffecten vast te stellen. Een nadeel van deze laatstgenoemde studiemethodiek is dat het niet bekend is of de voertuigen met en zonder ADAS evenveel kilometers gereden hebben en dat er sprake kan zijn van persoonlijke verschillen tussen de desbetreffende bestuurders (Vlakveld, 2019). De aanwezigheid van een systeem betekent immers niet dat het ook aan stond of dat het op correcte wijze gebruikt werd. De eerstvolgende beste onderzoeksmethodiek is dan ook, volgens Vlakveld (2019), het uitvoeren van Field Operational Tests (FOTs). Hierbij wordt de mate van veiligheid benaderd door te meten hoe een voertuigsysteem in de praktijk functioneert en presteert.

2.2 LKS en het voertuig

Wat is LKS? En hoe werkt het eigenlijk? Wat kan LKS niet? Dat zijn vragen die deze Paragraaf tracht te beantwoorden. Zoals in de inleiding (en Tabel 1) werd beschreven is LK(A)S een containerbegrip voor alle rijhulpsystemen die de bestuurder op enige wijze assisteren bij het behouden van een veilige positie van het voertuig binnen de rijstrookgrenzen. De technologie aan boord van het voertuig detecteert de grens van de rijstrook. Als de boordcomputer(s) op de achtergrond zich realiseren dat het voertuig over deze grens heen dreigt te gaan (zonder dat de bestuurder gebruik maakt van de richtingaanwijzer) zal het LKS de bestuurder assisteren bij het herstellen van een veilige marge tot de rijstrookgrens.

2.2.1 Soorten LKS

Die assistentie kan plaatsvinden door middel van het geven van een waarschuwing of door middel van fysiek in te grijpen in de besturing van het voertuig. Die waarschuwing kan visueel (bijv. knipperende lampjes), auditief (bijv. alarmsignaal) of haptisch (bijv. trilling in het stuur) zijn. Combinatiewaarschuwingen zijn ook mogelijk. Systemen die waarschuwen bij het (ongewenst) verlaten van de rijstrook wordt door de meeste automerken *'Lane Departure Warning'* (LDW) genoemd. Daarnaast zijn er ook systemen die fysiek kunnen ingrijpen in de besturing van het voertuig. Deze werken op dezelfde wijze als LDW systemen, maar in plaats van alleen te waarschuwen kunnen deze systemen ook het voertuig van richting doen veranderen. Hierbij zijn er vele namen in gebruik bij de verschillende automerken (Harms & Dekker, 2017; Thatcham Research, 2017; Thatcham Research, 2018), daarom wordt er in deze masterproef een onderscheid gemaakt op grond van hetgeen het systeem werkelijk doet: *'Lane Steering´* (LS) en *'Lane Centering'* (LC). De eerste variant (LS) hanteert een afwachtende houding, waarbij het pas stuurt zodra het voertuig over de rijstrookgrens dreigt te rijden. Het stuurt het voertuig dan weg van de rijstrookgrens. De auto zal dan continue heen en weer bewegen tussen de linker- en rechter markering (Droogsma et al., 2017). De tweede variant (LC) tracht het voertuig continue in het

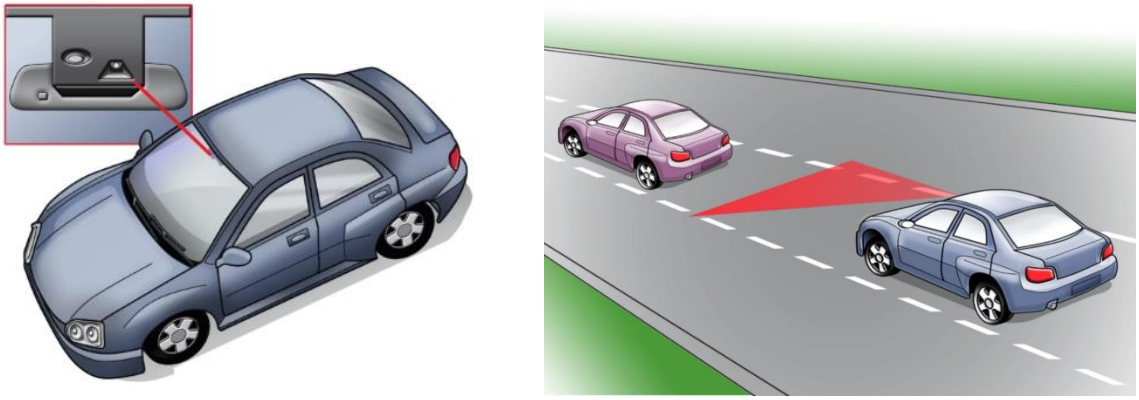
[11] SWOV: Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid

midden van de rijstrook te houden. De wijze waarop een LS of LC de richting van het voertuig verandert kan ook verschillen. Meestal zal er sprake zijn van een systeem dat de stuurinrichting van het voertuig kan bedienen. Er zijn echter ook voertuigfabrikanten, zoals Mercedes-Benz, die door middel van een eenzijdige remingreep op het binnenste (achter)wiel het voertuig van richting laten veranderen (Mercedes-Benz, 2019).

2.2.2 Werking van LKS

Er moet dus technologie in het voertuig ingebouwd worden die de grenzen van de rijstrook kan detecteren. Bosch is een van de fabrikanten van deze technologie, dat door veel automerken wereldwijd gebruikt wordt. Op haar website geeft het merk aan dat het werkt aan het verbeteren van haar technologie, met als ultiem doel dat het voertuig dezelfde vaardigheden heeft als een menselijke bestuurder (Bosch, 2019b). Het voertuig moet in de eerste plaats haar omgeving kunnen waarnemen en interpreteren ('sensing'). Dat vereist goede sensortechnologie. Ten tweede moet het voertuig die informatie kunnen verwerken en plannen wat ermee gedaan moet worden ('nadenken'). Hiervoor is rekenkracht van computers nodig, die algoritmes gebruiken om te bepalen wat er in situatie 'X' moet gebeuren. Ten slotte moet het voertuig in staat zijn om het 'bedachte' plan uit te gaan voeren (acteren). Dat vereist een mechanische en/of softwarematige controle over de voertuigbesturing.

Voor het waarnemen van de omgeving maken de systemen van Bosch gebruik van een videocamera om de rijstrookmarkering te detecteren (Figuur 5). Dat gebeurt met behulp van *'video image processing'*, dat op zoek gaat naar contrastverschillen tussen het wegdek en de markering (Bosch, 2019a). Bosch geeft aan dat haar technologie tot wel vier rijstroken kan herkennen en dat het ook blijft werken als de rijstrookmarkering aan een zijde van het voertuig tijdelijk niet waargenomen kan worden. Het systeem volgt dan de markering aan de andere zijde die nog wel aanwezig (en dus te detecteren) is (Bosch, 2019a).



Figuur 5: Rijstrookassistentiesystemen werken met behulp van één of meerdere camera's die de rijstrookmarkering voor het voertuig detecteren (illustraties via MyCarDoesWhat.org (2019)).

2.2.3 Tekortkomingen van LKS

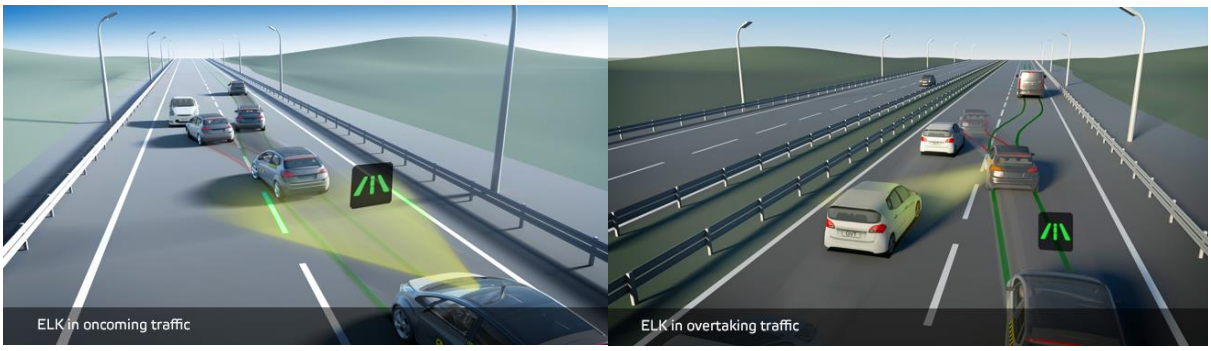
2.2.3.1 Algemene tekortkomingen

Omdat LKS net als een menselijke bestuurder de grenzen van de rijstrook visueel moet detecteren is het van belang dat de rijstrookgrens goed zichtbaar is. Als de weers- en omgevingscondities veranderen kan dat leiden tot een verminderde zichtbaarheid. In tegenstelling tot mensen is het LKS (nog) niet in staat om het verloop van de weg te herkennen in bepaalde condities. Zo is bij studies in Nederland gevonden dat de zichtbaarheid van de markering 's nachts beter is dan overdag (Klem & Gorter, 2016; Gorter et al., 2019). Doordat het donker is wordt het contrast tussen het donkerkleurige wegdek en de witte markering (dat bovendien extra opvalt in het licht van de koplampen) uitvergroot. Dit effect werd negatief beïnvloed door de aanwezigheid van straatverlichting; de witte markering krijgt hierdoor een geeloranje gloed waardoor het contrastverschil met het wegdek minder wordt. Een studie van 3M toonde positieve effecten op het gebied van contrastdetectie van het aanbrengen van een zwarte markering direct naast de witte markering (Clear et al., 2018). Australisch onderzoek resulteerde in een advies met betrekking tot de kwaliteit van de markering (zie Tabel 2), dat met een onder- en bovengrens aangeeft of de markeringskwaliteit voldoende wordt geacht om een goede werking van relevante ADAS te faciliteren (Austroads Ltd., 2019). Versleten of vervuilde markering bleek ook te resulteren in minder betrouwbare detectie, net als de spiegelende werking van een laagje regenwater, verblinding door fel tegenlicht (Klem & Gorter, 2016; Gorter et al., 2019) of schaduw van bomen (Klem & Gorter, 2016). De meeste LKS systemen werken daarnaast ook pas vanaf een bepaalde rijsnelheid. Zo activeert het LKS van de VW e-Golf pas bij ≥65 km/u (Gorter et al., 2019) en die van een Mercedes bij ≥60 km/u (Mercedes-Benz, 2019).

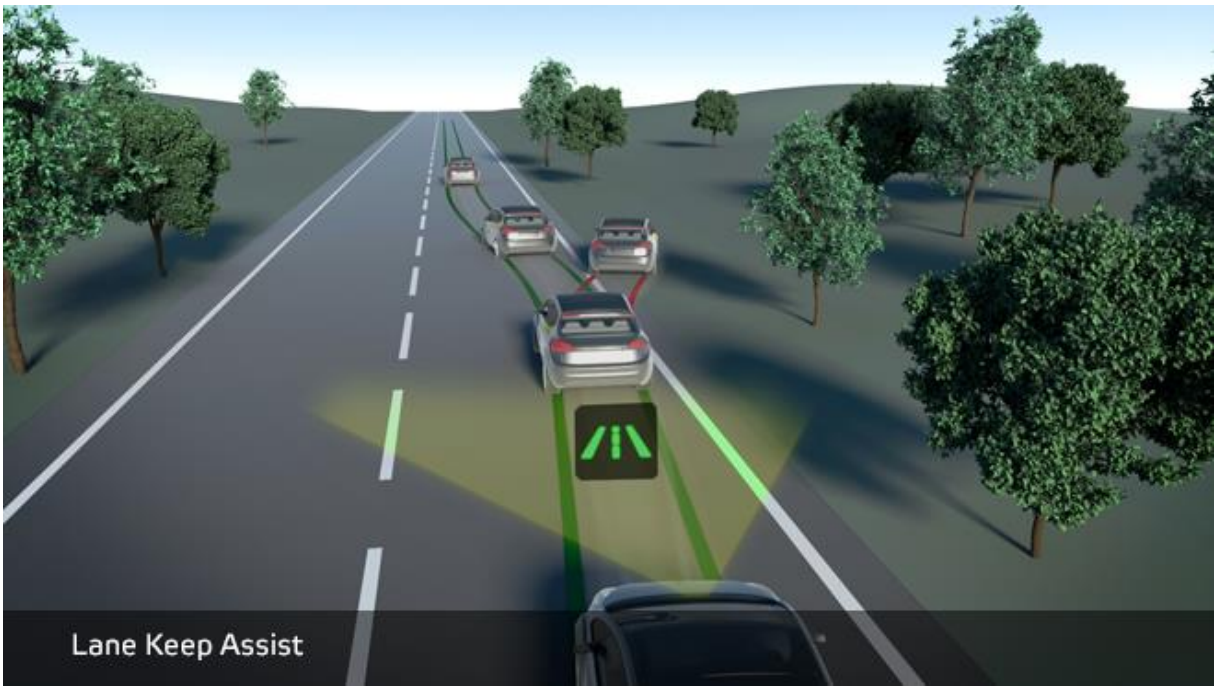
Tabel 2: Advies voor de onder- en bovengrens voor de kwaliteit van langsmarkering (Austroads Ltd., 2019).

Aspect of line quality		Lower threshold		Upper threshold	
Line width	Infrastructure quality below this level is unlikely to be suitable	100 mm	Infrastructure quality may be suitable	150 mm	Infrastructure quality above this level is very likely to be suitable
Luminance contrast ratio (daytime, dry)		2:1		3:1	
Retro-reflectivity – dry		100 mcd/lx/m^2		150 mcd/lx/m^2	
Retro-reflectivity – wet		50 mcd/lx/m^2		75 mcd/lx/m^2	

Daarnaast kunnen volgens de definiëring van de VN rijstrookassistentiesytemen onder twee categorieën vallen, namelijk systemen die bedoeld zijn voor *"Corrective Steering Functions"* (CSF) en *"Emergency Steering Functions"* (ESF) (United Nations, 2018). De ESF is bedoeld om in te grijpen zodra het voertuig dreigt te botsen met een ander voertuig, bijvoorbeeld. Bij de Euro NCAP noemt men deze systemen *"Emergency Lane Keeping"* (ELK) en dit is geïllustreerd in Figuur 6. Deze systemen kunnen en mogen abrupter ingrijpen dan de CSF, welke 'slechts' bedoeld is om te assisteren bij het behouden van een veilige koers in de rijstrook. CSF systemen worden bij de Euro NCAP *"Lane Keep Assist"* (LKA) genoemd (Figuur 7). Conform Tabel 1 en het Onderzoekskader (Paragraaf 1.5) richt dit onderzoek zich op de *Corrective Steering Functions* (CSF).



Figuur 6: Illustraties van het ELK systeem (Euro NCAP, 2018b).



Figuur 7: Illustratie van het LKA systeem (Euro NCAP, 2018b).

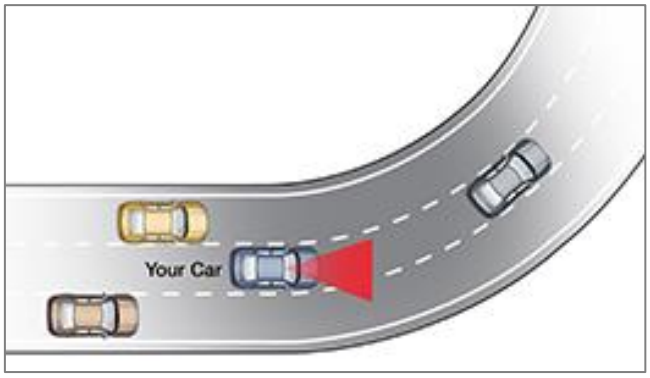
Het vroeg herkennen van en acteren op een naderende bocht kan voordelen opleveren. Een IIHS studie ging in op LKS prestaties op zowel rechte als gebogen wegvakken, alwaar de testrijder het voertuig bewust op de markering liet afrijden. Met vier voertuigen werd zo gekeken of er sprake was van een overschrijding van de markering. De onderzoekers vonden grote verschillen tussen de vier testvoertuigen en concludeerden dat tijdige en subtiele stuuringrepen succesvoller zijn in het behouden van een veilige(re) positie in de rijstrook (IIHS, 2018a). IIHS stelt hierbij ook dat dit een mogelijk effect heeft op de mate waarin een bestuurder vertrouwen heeft in het LKS. Wat voor soort bochten er geselecteerd waren voor deze tests werd niet gespecificeerd. De mate waarin de stuuringreep gedaan wordt kan dus wellicht dienen als een indicator van de mate waarin het LKS in staat is om een bocht succesvol te ronden.

2.2.3.2 Tekortkomingen bij het nemen van bochten

De tekortkomingen van LKS die specifiek voor bochten van belang zijn, zijn vooral van een technische aard. Zo kijkt de camera op een bepaalde afstand vóór het voertuig naar de markering wat in combinatie met de rijsnelheid zorgt voor een zeer korte ‘nadenktijd’ voor de computer om te bepalen dat er gestuurd moet worden. Een voertuig dat met een snelheid van 80 km/u (22,22 m/s) rijdt is al binnen

0,225 seconden vijf meter verder. Een camera die op vijf meter voor het voertuig naar de markering kijkt, heeft dus maar 0,225 sec. de tijd om een verandering van richting te herkennen, te berekenen wat het moet doen en de besturing te bedienen. Bij hogere snelheden wordt dit probleem groter. Op een rechtstand is dat probleem minder ernstig, omdat er niet van richting verandert hoeft te worden. De camera verder vooruit laten kijken kan een oplossing zijn, maar maakt het herkennen van contrastverschillen weer moeilijker. Hoe ver een voertuig vooruit kijkt is niet bekend.

Daarnaast is het camerastandpunt zelf gefixeerd in het voertuig en dus draait de camera niet mee met de kijkrichting in bochten. In een bocht lijkt het daarom dat de markering in de binnenbocht 'verdwijnt' (het buigt af, het valt mogelijk buiten het zichtsveld van de camera) terwijl de markering in de buitenbocht sneller genaderd lijkt te worden. MyCarDoesWhat.org[12] heeft dat goed geïllustreerd in Figuur 8. Het laat zich raden dat dit effect sterker wordt naarmate de bochtscherpte toeneemt. Wanneer dit gecombineerd wordt met de beperkte tijd die het LKS heeft om te reageren, is het aannemelijk dat een bocht met onderbroken markering in de buitenbocht kan resulteren in het initieel niet detecteren van de markering, maar juist de 'gaten' tussen de markering.



Figuur 8: In een bocht kan de rijstrookmarkering mogelijk niet (goed) worden waargenomen (illustratie via MyCarDoesWhat.org (2019)).

2.3 LKS en de infrastructuur

Behalve de rijstrookmarkering zijn er nog meer infrastructurele kenmerken die bijdragen aan het wel of niet (veilig) kunnen berijden van een bocht. Deze Paragraaf gaat daarom in op enkele ontwerpelementen die de wegontwerper tot zijn beschikking heeft bij het ontwerpen van een bocht.

2.3.1 Ontwerpelementen in bogen

Bij de vraag 'wanneer is een bocht te scherp?' speelt meer mee dan alleen maar de boogstraal van een bocht. De bochtscherpte wordt namelijk beïnvloedt door andere ontwerpelementen, waaronder de ontwerpsnelheid, de verkanting, de booglengte, de zwaartekrachtsversnelling, de wrijvingscoëfficiënt, allerlei zichtafstanden en zelfs esthetische aspecten (CROW, 2018a). Een algemene vuistregel is dat de wegontwerper in eerste instantie uitgaat van een bepaalde gewenste ontwerpsnelheid, waarna elementen als de boogstraal en verkanting daarop aangepast worden (CROW, 2018a). Het kan echter voorkomen dat restricties met betrekking tot de ruimtelijke inpassing van een weg zullen leiden tot aanpassingen van de ontwerpelementen in de bocht. Als er een scherpe(re) bocht aangelegd moet

[12] Een initiatief van het Amerikaanse National Safety Council en de Universiteit van Iowa om bestuurders bekend te maken met ADAS, hun werking en hun beperkingen.

worden, dan kan de ontwerper ervoor kiezen om bijvoorbeeld de ontwerpsnelheid te verlagen, of om extra positieve verkanting aan te leggen in de bocht.

In Nederland worden wegen doorgaans ontworpen met de inachtneming van de geldende richtlijnen. Voor autosnelwegen is er de Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen (ROA) en voor de provinciale wegen wordt de online kennismodule Wegontwerp bubeko[13] met HWO[14] gehanteerd, dat stamt uit 2013 en is voor het laatst in eind 2018 bijgewerkt. Er is er een voor gebiedsontsluitingswegen (CROW, 2018a) en een voor regionale stroomwegen (CROW, 2018b) en ook voor andere typen wegen. Deze richtlijnen bieden de ontwerper houvast bij het definiëren van de ontwerpelementen.

2.3.1.1 Horizontaal alignement bochten in provinciale wegen

Ten aanzien van de bochtscherpte is de (minimale) dimensionering van de bocht afhankelijk van het gewenste comfort en voertuigdynamische aspecten. De berijdbaarheid van de boog wordt voor gebiedsontsluitingswegen berekend door middel van de formule in Figuur 9 (CROW, 2018a). De ontwerprichtlijn verstrekt standaardwaarden voor wat betreft de wrijvingscoëfficiënt, afhankelijk van de snelheid op een nat wegdek. Bij een ontwerpsnelheid van 80 km/u en f_z=0,14572 resulteert deze formule in een minimale boogstraal van 346m, 295m en 257m bij een verkantingspercentage van respectievelijk 0%, 2,5% en 5%. De richtlijn ontraadt overigens het toepassen van boogstralen kleiner dan r_h=400m, omdat hierbij de kans op ongevallen 'aanmerkelijk toeneemt' (CROW, 2018a).

Berijdbaarheid van de boog
De dynamische relatie tussen boogstraal, snelheid, wrijving en verkanting is weergegeven in de volgende formule:

$$r_h \geq \frac{\left(\frac{v_0}{3,6}\right)^2}{\left(f_z + \frac{i}{100}\right)g} = \frac{v_0^2}{127\left(f_z + \frac{i}{100}\right)}$$

r_h = de straal van de horizontale boog (m)
v_o = de ontwerpsnelheid (km/h)
g = de versnelling van de zwaartekracht (9,81 m/s2)
f_z = de zijdelingse wrijvingscoëfficiënt
i = de verkanting (%)

Figuur 9: Formule voor het berekenen van de minimale boogstraal op gebiedsontsluitingswegen (CROW, 2018a).

2.3.1.2 Horizontaal alignement verbindingsboog op autosnelwegen

Ten aanzien van de minimale boogstraal op autosnelwegen wordt in de ontwerprichtlijn onderscheid gemaakt tussen wegvakken die tot de hoofdbaan behoren en wegvakken die gekenmerkt worden als zijnde een niet-hoofdbaan. Een verbindingsweg wordt als een 'niet-hoofdbaan' gedefinieerd:

> *Verbindingsweg: een rijbaan, niet zijnde een hoofdbaan, rangeerbaan of parallelbaan, die in een knooppunt of bij niet-samenkomende wegen de verbinding vormt tussen twee rijbanen. (Rijkswaterstaat, 2019)*

Deze definitie maakt dat er andere eisen gesteld worden aan de geometrische kenmerken van de verbindingsboog ten opzichte van een bocht in de hoofdbaan. De ontwerprichtlijnen ten aanzien van de minimale boogstraal voor dit type bochten staan weergegeven in Tabel 3 (Rijkswaterstaat, 2019):

[13] Bubeko: Buiten de bebouwde kom
[14] HWO: Handboek WegOntwerp

Tabel 3: Minimale horizontale boogstraal niet-hoofdbanen in relatie tot de verkanting (Rijkswaterstaat, 2019).

Situatie	Minimale boogstraal per ontwerpsnelheid voor niet-hoofdbanen			
	120 km/u*	90 km/u	70 km/u	50 km/u
Tegenverkanting	4000 m.	2000 m.	800 m.	300 m.
2,5% verkanting	1500 m.	700 m.	350 m.	n.v.t.**
3,0% verkanting	1350 m.	630 m.	315 m.	n.v.t.**
3,5% verkanting	1200 m.	560 m.	n.v.t.**	n.v.t.**
4,0% verkanting	1050 m.	490 m.	n.v.t.**	n.v.t.**
4,5% verkanting	900 m.	420 m.	n.v.t.**	n.v.t.**
5,0% verkanting	750 m.	350 m.	180 m.	85 m.
5,5% verkanting		340 m.	175 m.	85 m.
6,0% verkanting		330 m.	170 m.	85 m.
6,5% verkanting			165 m.	80 m.
7,0% verkanting			160 m.	80 m.

** Ontwerpsnelheid 120 km/u alleen van toepassing op parallelbanen met groot aandeel lange-afstandsverkeer die daardoor een belangrijke rol in het netwerk vervullen.*
*** Voor bogen met een straal kleiner dan 300 m geldt een minimale verkanting van 5,0%. Dus een straal van bijvoorbeeld 225 meter heeft minimaal 5% verkanting.*

2.3.1.3 Overeenkomstigheid ontwerprichtlijn en het ODD van LKS

Aangezien de grenzen van het ODD van LKS in relatie tot de bochtscherpte niet duidelijk inzichtelijk zijn, roept dit de vraag op of de ontwerprichtlijnen een veiligheidsniveau bieden dat toereikend genoeg is om ook toepasbaar te blijven voor voertuigen met deze technologie. Als een bocht wel voldoet aan de minimale ontwerpeisen conform de richtlijn terwijl diezelfde bocht alsnog 'buiten' het ODD van het LKS valt, dan is dat relevante veiligheidsinformatie voor de wegbeheerder. Deze informatie dient dan op enigerlei wijze kenbaar gemaakt te worden, zodat een bestuurder en/of voertuig op deze informatie adequaat kan acteren.

2.3.2 K-factor

Een manier om de mate van geschiktheid van een boog voor een voertuig met LKS aan te duiden is mogelijk de zogenaamde K-factor. Deze K-factor gaat in op het eventuele verschil in gereden snelheid voor en in de boog. Het kan namelijk zo zijn dat de snelheid voor de boog hoger ligt dan in de boog, aldus de CROW (2017), dat hierbij verwijst naar een relatie-onderzoek tussen ongevallen en bogen, maar dit onderzoek is niet teruggevonden in de referentielijst. Op basis van dat relatie-onderzoek zegt de CROW de zogenaamde K-factor te hebben bepaald. Deze K-factor geeft de verhouding aan tussen de snelheid vóór en ín de bocht. In Tabel 4 is weergegeven hoe de K-factor wordt berekend en welke classificatie eraan gekoppeld is.

Tabel 4: Berekenen en interpreteren van de K-factor (CROW, 2017).

Formule K-factor	CROW classificatie	
$K = \frac{Snelheid\ in\ de\ boog}{Snelheid\ voor\ de\ boog}$	1,0 – 0,8	Veilig
	0,8 – 0,6	Redelijk veilig
	0,6 – 0,4	Gevaarlijk
	< 0,4	Zeer gevaarlijk

De CROW gebruikt in haar Handboek Wegontwerp de zogenaamde K-factor als een soort indicator om aan te duiden of er aanvullende maatregelen genomen moeten worden om een veilige verkeersafwikkeling in de horizontale boog te bewerkstelligen. *"Naar gelang de K-factor kleiner is, moeten (meer) compenserende maatregelen worden getroffen, met name gericht op snelheidsreductie voor de boog"*

aldus de richtlijn (CROW, 2017). Hoe kleiner de K-factor, hoe groter het verschil tussen de snelheid voor en in de boog, waaruit valt af te leiden dat automobilisten in de bocht snelheid terugnemen ten opzichte van de rechtstand daaraan voorafgaand. In bogen met een hoge K-factor ervaren automobilisten klaarblijkelijk geen noodzaak om de snelheid te reduceren. Dit kan hierom een mogelijke indicator zijn om het verschil tussen flauwe en scherpe bogen aan te duiden.

Morsink & Gorter (2019) constateerden echter dat de CROW geen ondergrens voorschrijft en het dus laat bij bovenstaande classificaties. Op de hoofdrijbaan van Rijkswegen schrijft de ROA een minimale K-factor=1 voor, terwijl op verbindingsbogen een K-factor van <0,6 geaccepteerd wordt (Morsink & Gorter, 2019). Door het afspreken van een ondergrens voor de K-factor kan er bij het ontwerpen van wegen gezorgd worden voor boogstralen die flauw genoeg zijn om binnen het ODD van het LKS te vallen. Het verbetervoorstel wat hiervoor is gedefinieerd, is het vaststellen van een minimale K-factor van 0,8. Dit advies is echter gebaseerd op de classificatie 'veilig' in Tabel 4, bij gebrek aan nader onderzoek om die ondergrens beter te kunnen onderbouwen (Morsink & Gorter, 2019). Het is niet bekend of een bocht met een K-factor >0,8 inderdaad 'veilig' bereden kan worden met een LKS. Er is dus behoefte aan een vergelijking tussen de snelheid waarmee het LKS een bocht kan bedwingen en de K-factor van die bocht. Zo kan getracht worden om een onderbouwing te formuleren voor het vaststellen van een bepaalde minimum waarde voor de K-factor.

2.4 LKS en de bestuurder

Volgens een wereldwijde studie van de Euro NCAP denkt 70% van de bevraagde automobilisten dat het vandaag de dag al mogelijk is om een auto te kopen die zelfrijdend is (Euro NCAP, 2018a). Volgens het Amerikaanse Consumer Reports vertrouwt 65% van de voertuigeigenaren erop dat hun LDW/LKA systeem in alle gevallen zal werken (Consumer Reports, 2019). Toch bleek uit de voorgaande Paragrafen dat het helemaal niet zo vanzelfsprekend is dat rijstrookassistentie het altijd en overal goed zal doen. Een alerte bestuurder is dan ook nog steeds te allen tijde hard nodig (Euro NCAP, 2018a).

Een aanbieder van rijtrainingen constateerde dat eigenaren van ADAS-voertuigen veelal met dezelfde vragen rondlopen, zelfs geruime tijd na de inbezitname van het voertuig. Dit gaat vaak ook over vrij essentiële zaken, bijvoorbeeld of een voertuig wel of niet remt voor een rood verkeerslicht en of de eigen remlichten wel aangaan (Prodrive Academy, 2019a). Dit is exemplarisch voor het beperkte inzicht dat bestuurders hebben in de (on)mogelijkheden van hun voertuig. De rijtrainer stelt dan ook vast dat er een aantal negatieve gevolgen bestaan van onvoldoende ADAS-kennis waaronder het onjuist gebruik van ADAS, dat juist tot meer onveiligheid kan leiden (Prodrive Academy, 2019a).

Verder waarschuwt men voor de risico's van het gebruiken van deze assistentiesystemen in situaties waarvoor deze niet bedoeld zijn en dat voertuigfabrikanten er verschillende benaderingen op nahouden wat betreft de mate van assistentie die het geeft aan de bestuurder (Euro NCAP, 2018a). Alle kennis en waarschuwingen ten spijt, het lijkt er dus sterk op dat de bestuurders nog steeds geholpen moeten (blijven) worden bij het correct uitvoeren van zijn rijtaken.

2.4.1 De veranderende rol van de bestuurder

Voertuigen worden steeds gecompliceerder. Het LKS en andere ADAS kunnen de bestuurder ondersteuning bieden, maar hebben ook beperkingen die moeilijk te bevatten zijn voor de bestuurder (IIHS, 2019b). Volgens de *Society of Automotive Engineers* (SAE) verschuift de taakverdeling tussen bestuurder en voertuig naarmate het niveau van automatisering toeneemt (SAE International, 2018). Voor elk van de zes niveaus van voertuigautomatisering heeft SAE beschreven wie/wat voor welke taak wanneer verantwoordelijk is (Figuur 10). De voertuigen die vandaag verkrijgbaar zijn, vallen in de SAE level 2 categorie volgens deze definiëring.

Level	Name	Narrative definition	DDT		DDT fallback	ODD
			Sustained lateral and longitudinal vehicle motion control	OEDR		
Driver performs part or all of the *DDT*						
0	No Driving Automation	The performance by the *driver* of the entire *DDT*, even when enhanced by *active safety systems*.	*Driver*	*Driver*	*Driver*	n/a
1	Driver Assistance	The *sustained* and *ODD*-specific execution by a *driving automation system* of either the *lateral* or the *longitudinal vehicle motion control* subtask of the DDT (but not both simultaneously) with the expectation that the *driver* performs the remainder of the *DDT*.	*Driver* and *System*	*Driver*	*Driver*	Limited
2	Partial Driving Automation	The *sustained* and *ODD*-specific execution by a *driving automation system* of both the *lateral* and *longitudinal vehicle motion control* subtasks of the *DDT* with the expectation that the *driver* completes the *OEDR* subtask and *supervises* the *driving automation system*.	***System***	*Driver*	*Driver*	Limited
ADS ("*System*") performs the entire *DDT* (while engaged)						
3	Conditional Driving Automation	The *sustained* and *ODD*-specific performance by an *ADS* of the entire DDT with the expectation that the *DDT fallback-ready user* is *receptive* to *ADS*-issued *requests to intervene*, as well as to *DDT performance-relevant system failures* in other *vehicle* systems, and will respond appropriately.	*System*	***System***	*Fallback-ready user (becomes the driver during fallback)*	Limited
4	High Driving Automation	The *sustained* and *ODD*-specific performance by an *ADS* of the entire *DDT* and *DDT fallback* without any expectation that a *user* will respond to a *request to intervene*.	*System*	*System*	***System***	Limited
5	Full Driving Automation	The *sustained* and unconditional (i.e., not *ODD*-specific) performance by an *ADS* of the entire *DDT* and *DDT fallback* without any expectation that a *user* will respond to a *request to intervene*.	*System*	*System*	*System*	**Unlimited**

Figuur 10: Overzicht van de verschillende niveau's van voertuigautomatisering en de veranderende rol die de bestuurder daarbij heeft (SAE International, 2018).

Hierbij is er sprake van een gedeeltelijke verantwoordelijkheid tussen voertuig en bestuurder over de Dynamic Driving Task (DDT). Het voertuig voert de longitudinale en laterale bewegingen uit, terwijl de bestuurder verantwoordelijk is voor het monitoren van het systeem en de verkeerssituatie (*Object & Event Detection and Response*, OEDR). Als het systeem een situatie tegenkomt die buiten het ODD valt dan wordt de DDT in zijn geheel overgedragen aan de bestuurder. De nieuwe rol die de bestuurder erbij heeft gekregen in het voertuig betreft dus een monitorende rol (Prodrive Academy, 2019b), waarbij de bestuurder een link moet leggen tussen de voertuigcapaciteiten enerzijds en de verkeerssituatie waar hij zich in bevindt anderzijds.

Het blijkt dat mensen helemaal niet goed zijn in de uitvoering van die rol (Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2019); een passief monitorende rol als 'supervisor' van het voertuig is extreem saai en slaapverwekkend (Heikoop, 2017). Heikoop ontdekte in zijn promotieonderzoek dat bestuurders vermoeidheidsverschijnselen begonnen te vertonen tijdens een rit met een actieve Tesla Autopilot. De hartslag en oogbewegingen vertraagden hierbij (Heikoop, 2017). Vogelpohl et al. (2019) waren nog iets stelliger: "Bestuurders zijn niet in staat om voor langere tijd alert te blijven tijdens het rijden met rijhulpsystemen, zonder blootstelling aan niet-verkeersgerelateerde taken." Ook zij hadden ontdekt dat reactietijden afnamen, dat ogen gesloten werden en dat al na 15-35 minuten rijden het gezicht vermoeidheidsverschijnselen vertoonde (Vogelpohl et al., 2019). Het helpen van de bestuurder bij het uitvoeren van zijn rijtaken wordt dus bemoeilijkt door deze veranderende rol van de bestuurder (Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2019).

Naarmate de automatisering in het voertuig toeneemt, worden er andere capaciteiten van de bestuurder verwacht. Zo blijkt uit Heikoop et al. (2019) dat, wanneer bestuurders bepaalde taken overdragen aan het voertuig, het rijvaardigheidsniveau en de kennis van verkeersregels in een snel tempo minder belangrijk wordt naarmate de automatisering toeneemt. Tegelijkertijd wordt er wel meer kennis gevraagd van de bestuurder over de werking en bediening van het systeem. Helemaal correct is deze bevinding niet, omdat bestuurders van voertuigen tot en met SAE level 3 geacht worden in staat te zijn om de controle van het voertuig te allen tijde te kunnen overnemen (SAE International, 2018), waarvoor de rijvaardigheid en kennis van verkeersregels op het 'oude' niveau gehandhaafd moet blijven. Gecombineerd met de toename in kennis over voertuigbediening kan er geconcludeerd worden dat de taak van de bestuurder er alleen maar lastiger op is geworden tot dusver.

2.4.2 Verwachtingen en vertrouwen

Vertrouwen in de voertuigtechnologie is een belangrijke voorwaarde voor het gebruik ervan (Muir & Moray, 1996; Parasuraman & Riley, 1997). Vertrouwen is echter ook een erg ingewikkeld aspect van het ADAS gebruik. Te veel vertrouwen kan immers leiden tot het denken dat het voertuig wel in staat is om een verkeerssituatie op te lossen, terwijl dat niet het geval is. Te weinig vertrouwen kan het überhaupt gebruiken van ADAS tegenwerken (Kidd et al., 2017). Een studie van Körber en collega's (2017) toonde aan dat deelnemers die een hoog vertrouwen zeiden te hebben in een ADAS minder vaak naar de verkeersomgeving keken.

Ook bleek dat het aanbieden van informatie, bedoeld om het vertrouwen te vergroten, resulteerde in een langere gemiddelde tijd om de controle weer terug over te nemen van het voertuig en dat de minimale TTC-waarde[15] korter werd (Körber et al., 2017). Een teveel aan vertrouwen in een voertuigsysteem kan resulteren in een vals gevoel van veiligheid, wat weer resulteert in een lager uitgevallen risicoperceptie (Vlakveld, 2015). Een potentieel gevaarlijke situatie dus, aangezien de bestuurder nog wel geacht wordt om te allen tijde in staat te zijn om de rijtaak over te nemen.

Assistentie, Automatisering , Autonomie & perceptie

De verwachtingen die iemand heeft over een LKS kan een rol spelen bij de mate van vertrouwen die de persoon heeft over datzelfde LKS (Bhusari, 2018). Verwachtingen worden mede bepaald door (eerdere) ervaringen, maar ook door een stukje beeldvorming. Zo bleek uit diverse studies dat de naamgeving van voertuigassistentietechnologie meespeelt bij het creëren van (onjuiste) verwachtingen over de desbetreffende technologie (Abraham et al., 2016; Harms & Dekker, 2017; Thatcham Research, 2017; Thatcham Research, 2018; Teoh, 2019). Het initiële mentale beeld dat bestuurders hebben voor gebruik van een bepaald systeem, kan van invloed zijn op de wijze waarop zij leren het systeem te gebruiken (Kazi, Stanton, Walker, & Young, 2007). Nees (2018) ontdekte dat de systeemnaam 'Autopilot' niet significant verschilde van termen als 'autonoom', 'zelfrijdend' of 'high automation', met betrekking tot hoe respondenten de mate van verantwoordelijkheden van de rijtaak toewezen tussen het voertuig en de menselijke bestuurder. Deze termen werden hoger ingeschat dan dat het geval was bij systeemnamen als 'Pilot Assist', 'Copilot' en 'Driver assistance' (Nees, 2018). Een grote Amerikaanse telefonische enquête wees uit dat de naam van het systeem beïnvloedt hoe men denkt over de werking van het systeem. Het sterkste effect werd waargenomen bij de naam 'Autopilot' van Tesla; een naam die suggereert dat het voertuig op de automatische piloot van A naar B kan rijden (Teoh, 2019).

Auto's leveren al veel vormen van *assistentie*, maar dat mag niet verward worden met *automatisering* of *autonomie*. Deze drie termen betekenen elk iets wezenlijk anders, zoals staat weergegeven in tabel 5 (Encyclo.nl, 2019). Kijkend naar de diversiteit in naamgeving van rijhulpsystemen en hoe fabrikanten en diverse media erover communiceren, blijkt dat er op grote schaal van elk van de drie termen gebruik gemaakt wordt. Afgaand op de bevinding dat verwachtingen van bestuurders over ADAS mede worden bepaald door hoe het genoemd wordt, kan er worden geconcludeerd dat het de autobestuurder moeilijker gemaakt wordt om ADAS correct te *kunnen* begrijpen. Zowel in Nederland als in Vlaanderen pleiten samenwerkingsverbanden van diverse partijen er dan ook o.a. voor om benamingen, symbolen en functionaliteiten van ADAS zoveel mogelijk uniform te maken en het correct gebruik van ADAS te stimuleren (ADAS Community, 2019; ADAS Alliantie, 2019).

Tabel 5: Definities van de woorden assistentie, automatisch en autonoom (Encyclo.nl, 2019).

Term	Definitie
Assistentie	Het verlenen van hulp. Bijstand. Dienstverlening. Helpen.
Automatisch	Niet bestuurd door de hand van de mens. Vanzelfgaand.
Autonoom	Op zichzelf staand. Niet gecontroleerd door het bewustzijn.

[15] TTC: Time To Collision

2.4.3 Faciliteren van een veilige transition of control

Dus, de aandacht voor de rijtaak neemt af naarmate de voertuigautomatisering toeneemt en er is ook sprake van een discrepantie tussen de gepercipieerde en de werkelijke capaciteiten van het voertuig. Daarbij zijn de grenzen van die capaciteit (het ODD) ook niet duidelijk in beeld. Dat houdt in dat de bestuurder geholpen moet worden om tijdig en adequaat de controle over te nemen wanneer de situatie daarom vraagt. Dit noemt men de *'transition of control'* (TOC), ofwel de overdracht van controle.

Er is al veel onderzoek naar de TOC gedaan, wereldwijd. Bijvoorbeeld naar de tijd die nodig is voor de bestuurder om weer een volledig omgevingsbewustzijn te genereren. Er blijkt een verschil te zijn tussen geplande en ongeplande (acute) TOC's (Vlakveld, 2015). Bestuurders zullen zich minder bewust zijn van de verkeersomgeving tijdens het rijden met rijhulpsystemen (Heikoop, 2017; Vogelpohl et al., 2019), een bewustzijn dat zich ook niet zomaar hersteld naar het 'normale' niveau nadat de overdracht van voertuig naar bestuurder heeft plaatsgevonden (Vlakveld, 2015). Het blijkt dat zowel de longitudinale en laterale voertuigcontrole geaffecteerd is na de overdracht van controle (Merat et al., 2014; Vlakveld, 2015). Wanneer de TOC voorspelbaarder was, bleek dat de aandacht dat bestuurders hadden voor de actuele verkeerssituatie hoger en stabieler was (Merat et al., 2014). Het kostte bestuurders 35-40 seconden om de laterale voertuigcontrole te stabiliseren na de overdracht (Merat et al., 2014). Volgens Melcher et al. (2015) blijkt 10 seconden voor al hun testpersonen voldoende te zijn om de rijtaak 'comfortabel' over te nemen. Melcher en collega's pleiten voor het geven van TOC-meldingen op een vast tijdstip vóórdat de TOC uitgevoerd moet zijn, omdat bleek dat bestuurders rustiger reageren als men weet dat er genoeg tijd is om de TOC uit te voeren (Melcher et al., 2015).

Het geven van deze 'pre-alerts' resulteert in meer kijkbewegingen naar de wegomgeving (van der Heiden, Iqbal, & Janssen, 2017), mogelijk resulterend in een beter omgevingsbewustzijn. De gepercipieerde urgentie van de waarschuwing lijkt invloed te hebben op hoe snel iemand tot actie overgaat (van der Heiden, Iqbal, & Janssen, 2017). In een simulatoronderzoek concluderen Ebnali et al. (2019) dat het geven van video- en simulatortraining gunstige effecten teweeg brengt bij het ontwikkelen van een beter gecalibreerd mentaal model en vertrouwen in het conditioneel geautomatiseerd rijden. Onder meer de tijd die nodig was om een TOC uit te voeren en het slingerend rijgedrag verbeterden (Ebnali et al., 2019).

Voor elke geslaagde TOC is het echter primair van belang dat het bekend is wanneer een situatie zich 'binnen' of 'buiten' het ODD bevindt. Pas als dat bekend is kan er vooraf adequaat voor gewaarschuwd worden. Het helpen van zowel bestuurder als voertuig bij het herkennen van een situatie 'buiten' het ODD is hierom van groot belang.

3 ONDERZOEKSAANPAK

Dit onderzoek is onderverdeeld in twee delen (A en B). Het eerste deel (Deel A, Paragraaf 3.2) betreft een deskresearch. Het tweede deel (Deel B, Paragraaf 3.3) betreft een *Field Operational Test* op een aantal locaties op de openbare weg. Dit Hoofdstuk zal per deel een nadere toelichting geven. Eerst volgt er in Paragraaf 3.1 een beschrijving van het soort gegevens dat nodig is om de onderzoeksvragen te beantwoorden en hoe deze gegevens vergaard zijn.

3.1 Onderzoeksgegevens

3.1.1 Dataverzameling

3.1.1.1 Informatie over het ODD

Voor het beantwoorden van de **eerste deelvraag** over waar en wanneer het LKS correct zou moeten functioneren volgens de beschrijving van het ODD, zijn er twee onderzoeksstappen genomen. Ten eerste is er een quick-scan analyse gemaakt van de gebruikershandleidingen van twee van de geselecteerde testvoertuigen en van twee soortgelijke voertuigen. Hierbij is er specifiek gelet op vermeldingen over het bedoelde gebruiksgebied van het LKS en wanneer er mogelijke haperingen of weigeringen kunnen ontstaan in de werking van het LKS. Paragraaf 3.2.1.1 gaat nader in op hoe de informatie in deze onderzoeksstap ingewonnen werd.

Ten tweede zijn er een aantal dealerbedrijven gevraagd om uit te leggen welke informatie zij geven aan hun clientèle met betrekking tot het ODD van LKS en ADAS in het algemeen en op welke manier zij deze informatie overdragen. Immers, een onjuist of onvolledig beeld van bedrijven in de automobielsector kan leiden tot onjuiste of onvolledige instructie naar hun cliëntèle (Prodrive Academy, 2019a). De benadering van deze bedrijven geschiedde fysiek (locatiebezoek) middels semi-gestructureerde interviews. Er zijn autodealers van meerdere voertuigmerken benaderd, waarbij er specifiek gelet is op het bezoeken van dealerbedrijven van zowel het goedkopere als het 'premium' segment. Paragraaf 3.2.1.2 gaat nader in op hoe de informatie in deze onderzoeksstap ingewonnen werd.

3.1.1.2 Informatie over technische eisen en testprocedures

Voor het (deels) beantwoorden van de **derde deelvraag** over hoe voertuigveiligheidstests worden uitgevoerd en welke (wettelijke) technische eisen er gesteld worden aan de LKS technologie is er gebruik gemaakt van een deskresearch. Daarbij zijn de testprotocollen van de Euro NCAP en relevante documentatie van de Verenigde Naties bestudeerd. Hierbij is specifiek gelet op methoden om prestaties te meten en de voorwaarden waaraan een LKS moet voldoen om een goedkeuring te krijgen.

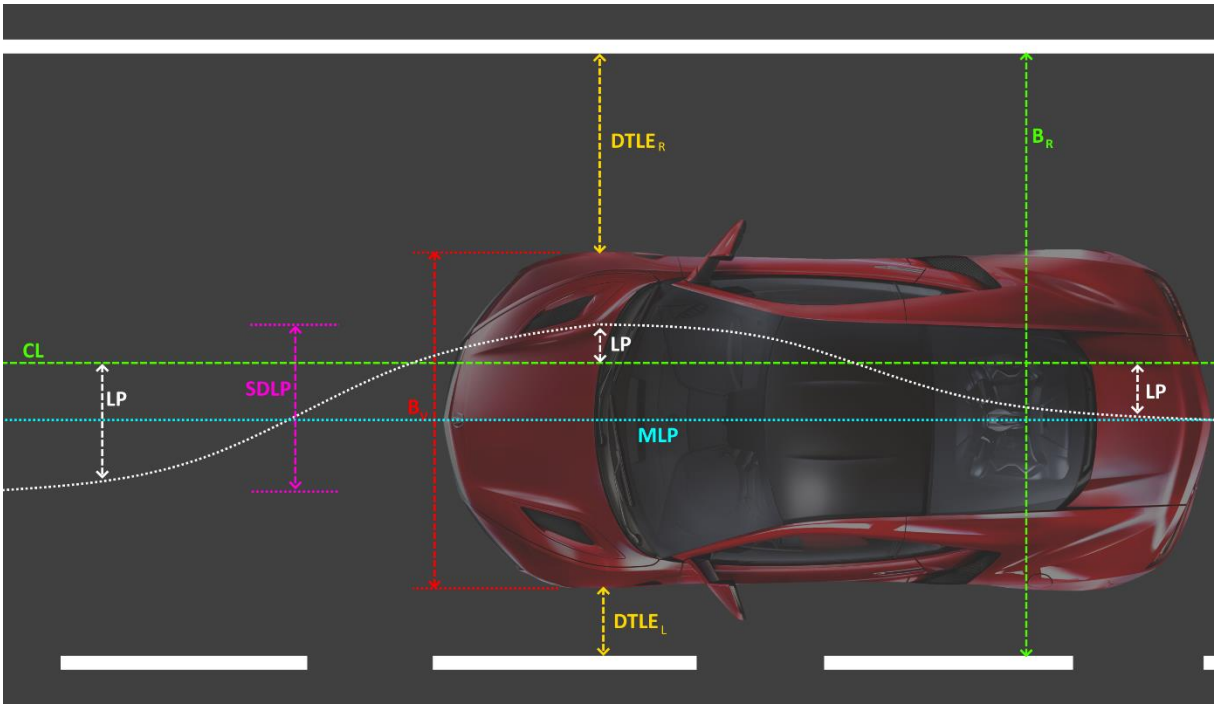
3.1.1.3 Laterale positiebepaling

De veldtesten zijn bedoeld om te achterhalen wanneer het LKS niet meer in staat is om het voertuig binnen de rijstrookgrenzen te houden (**deelvraag 2**). Dit houdt in dat er informatie verzameld moet worden over de laterale positie van het voertuig ten opzichte van de rijstrookmarkering. Hiermee kan namelijk worden achterhaald hoe het LKS presteert ten aanzien van het behouden van een veilige laterale positie in de rijstrook en kan ook worden achterhaald of het voertuig over de rijstrookbegrenzing heen heeft gereden.

Door aan beide zijden van het voertuig een camera te bevestigen (conform Bijlage 3) dat zowel de markering als het voorwiel in beeld heeft, kan gemeten worden wat de afstand tot de markering is ($DTLE_{R/L}$). Het overschrijden van de markering wordt hiermee ook waargenomen. Door dit aan weerszijden te doen en de breedte van het voertuig (B_V) erbij op te tellen kan de rijstrookbreedte bepaald (B_R) worden. Met deze informatie kan berekend worden in hoeverre de laterale positie (LP) afwijkt van de middenlijn (CL). Hierbij betekent LP=0 dat het middelpunt van de vooras van het voertuig in het midden van de rijstrook reed.

Door deze gegevens over een langere afstand te verzamelen (door per video meerdere meetpunten per seconde te nemen) kan ook berekend worden wat de gemiddelde laterale positie (MLP) en de vetergang van het voertuig is (SDLP). Zo kan tevens het aantal malen dat het voertuig van richting verandert (NODC) worden geregistreerd. Deze laatste drie waarden zijn relevante indicatoren van hoe goed de prestaties van het LKS zijn, deze waarden geven namelijk aan of het voertuig een veilige positie in de rijstrook aanneemt (in het midden) en hoe netjes het voertuig dit doet (grootte en frequentie van het slingergedrag).

Daarnaast kan er ook worden berekend wat de naderingssnelheid tot de markering is en met welke laterale versnelling de stuuringrepen worden uitgevoerd. Figuur 11 toont een schematische weergave van de wijze waarop de laterale positiebepaling gedaan wordt. Tabel 6 toont de gemeten en berekende indicatoren.



Figuur 11: Een visuele weergave van de waarden welke gemeten of berekend worden (bron: eigen bewerking).

Tabel 6: Indicatoren die gemeten of berekend worden.

Indicator		Beschrijving
$DTLE_R$ $DTLE_L$	Distance To Lane Edge (rechts/links)	Afstand (cm) tussen de buitenkant van de band en de binnenste rand van de rijstrookmarkering. Afhankelijk van de verwerkingsmethode (zie 3.1.2) wordt deze indicator tussen de 1 tot 30 keer per seconde gemeten.
B_V	Breedte voertuig	Afstand (cm) tussen de buitenkant van de linkerband tot de buitenkant van de rechterband.
B_R	Breedte rijstrook	Breedte voertuig + $DTLE_L$ + $DTLE_R$
CL	Center line (middellijn)	Breedte rijstrook gedeeld door 2.
LP	Laterale Positie	De laterale afwijking (in cm) t.o.v. de CL, berekend met dezelfde frequentie als DTLE.
MLP	Mean Lateral Position	De gemiddelde laterale positie, berekend over alle LP-datapunten.
SDLP	Standaard Deviatie van de Laterale Positie	De standaardafwijking van de LP, berekend over alle LP-datapunten.
NODC	Number Of Direction Changes	Het aantal keer dat het voertuig een stuuringreep doet. Afgeleide van wijziging van een negatieve naar een positieve naderingssnelheid (of vice versa). Wordt afgezet tegen de lengte van de bocht, bijv.: NODC per 100m.
$V_{APPROACH}$	Naderingssnelheid tot de markering	Laterale snelheid (in m/s), afgeleid uit de afgelegde laterale afstand tussen twee meetpunten. Meetpunten zijn T_{CROSS} of T_{STEER} en het meetpunt dat daarvoor is geregistreerd, bijv. $T_{CROSS-1}$.
T_{CROSS}	Tijdstip/datapunt van overschrijden rijstrookmarkering. Gelijk aan DTLE=0.	
T_{STEER}	Tijdstip/datapunt van ingreep door LKS of bestuurder.	

3.1.1.4 LKS Prestatie-indicatoren & bandbreedtes

Om iets te kunnen zeggen over hoe goed een voertuig met LKS in staat is om binnen de rijstrookgrenzen te blijven rijden, wordt er naast het wel/niet overschrijden van de markering vooral gekeken naar de MLP- en SDLP-waarden. Hoe dichter de MLP-waarde bij MLP=0 ligt, hoe kleiner de afwijking van het voertuig is ten opzichte van het rijstrookmidden. Het voertuig rijdt dan netjes in het midden van de rijstrook. De SDLP-waarde geeft de mate van koersvastheid van het voertuig aan. Hoe hoger de SDLP-waarde, hoe meer het voertuig slingert in de rijstrook (het voertuig heeft dan een grote 'vetergang'). Hoe kleiner de MLP- en SDLP-waarden zijn, hoe beter het voertuig in staat is om binnen de rijstrook te blijven.

Om te kunnen beoordelen of een bepaalde MLP- of SDLP-waarde wel of niet 'goed' is, wordt er gebruik gemaakt van bandbreedtes. Op deze wijze kan er onderscheid gemaakt worden tussen een LKS dat goed, gemiddeld of slecht presteert. Er wordt hiervoor gekeken naar de studie van Reddy (2019) waarin onder- en bovengrenzen zijn geformuleerd (Tabel 7) om de LKS prestaties kwalitatief te kunnen beoordelen. Reddy (2019) heeft deze waarden bepaald door te kijken naar bestaand onderzoek en richtlijnen (SAE International, 2015; Sayer et al., 2010; Green et al., 2004) waarin dergelijke bandbreedtes zijn gebruikt om het rijgedrag van menselijke bestuurders te kunnen beoordelen.

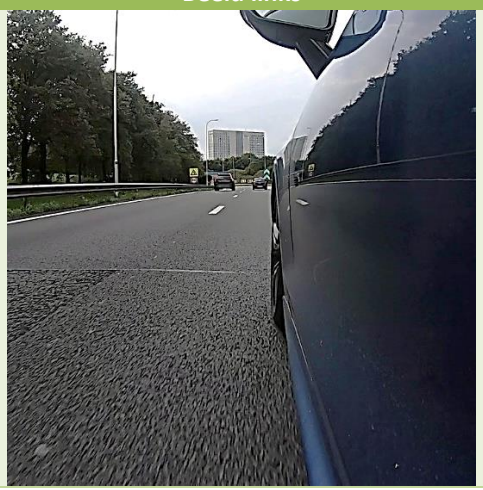
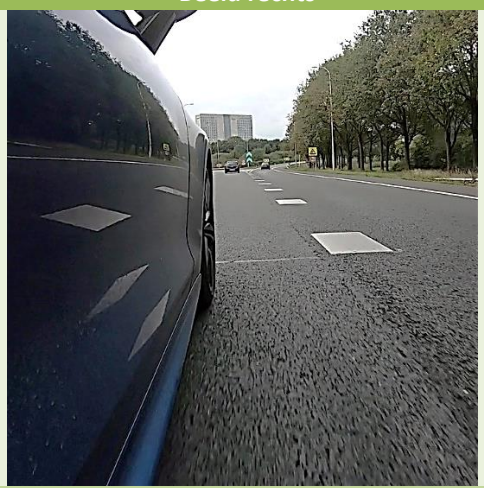
Tabel 7: Onder- en bovengrenzen voor kwalitatieve beoordeling van LKS prestaties (Reddy, 2019).

Indicator	High performance	Medium performance	Low performance
MLP	**≤ 10 cm**	**> 10 cm, ≤ 20 cm**	**> 20 cm**
SDLP	**≤ 0.3 m**	**> 0.3 m, ≤ 0.5 m**	**> 0.5 m**

3.1.1.5 Synchronisatie van linker- en rechter camerabeeld

Om de videobeelden aan de linker- en rechterzijde van het voertuig op een gelijk moment te laten starten is in het videofragment van één van de beide camera's handmatig gezocht naar een vast herkenningspunt, zoals een lasnaad op het wegdek of een portaal waar onderdoor wordt gereden. Datzelfde moment is vervolgens ook opgezocht in het videofragment aan de andere zijde van het voertuig. Het eventuele verschil in framenummers is vervolgens gebruikt om de meetgegevens met elkaar te synchroniseren. Tabel 8 toont hiervan een voorbeeld: het gaat hier om een verschil van twee frames, ofwel een verschil van 0,067 seconden ((1sec./30fps)*2=0,067sec.) dat 'rechtgetrokken' moest worden.

Tabel 8: Voorbeeld van synchronisatie linker- en rechter camerabeeld.

	Beeld links	Beeld rechts
Frame		
Referentie	Lasnaad op wegdek	Lasnaad op wegdek
Bestandsnaam	AutoX-Dag-XXXXX-XX-L-00010	AutoX-Dag-XXXXX-XX-R-00012
Framenummer	00010	00012
Synchronisatie	Meetgegevens Links en Rechts zodanig verticaal verschuiven zodat L-00010 op gelijke hoogte komt te liggen met R-00012.	

3.1.1.6 Ondersteunende data

Om gebeurtenissen tijdens de tests te kunnen verklaren, is er diverse ondersteunende data verzameld. Zo is het dashboard gefilmd, zodanig dat de actuele status van het LKS vastgelegd werd. Deze informatie is gebruikt om achteraf te kunnen bepalen of het LKS was ingeschakeld en of het de markering herkend heeft. Daarnaast is tijdens de tests een logboek bijgehouden, waarin werd genoteerd of er sprake is geweest van een ingreep door de bestuurder en wat de omgevingscondities waren. Ten slotte werd er gebruik gemaakt van een GPS logger.

De GPS logger leverde een bestand op met GPS coördinaten, datum, tijd, aantal verbonden satellieten en de nauwkeurigheid in meters, per seconde. Deze coördinaten kunnen als punten ingeladen worden op een GIS-kaart. Zodoende kon voor elke testrit worden nagegaan op welk tijdstip er op welke locatie is gereden. Deze informatie diende als backup om achteraf de juiste momenten in de videobeelden terug te kunnen vinden.

De videobeelden, het logboek en de GPS logger werden allen voorzien van dezelfde datum- en tijdsinstellingen. De telefoon en laptop worden gesynchroniseerd via internetverbinding conform de tijdzone voor Amsterdam (CEST (UTC+2)). Op 27 oktober 2019 ging de wintertijd in en werd de tijdzone CET

(UTC+1) gebruikt. Het logboek gebruikte de tijdsinstellingen van de laptop. De GPS logger gebruikte de tijdsinstellingen van de telefoon. De camera's namen voor vertrek enkele seconden beeldmateriaal op, alwaar een telefoonscherm de website www.time.is (actuele tijd van atoomklok) toonde. Hierdoor kon worden uitgerekend op welk specifiek moment de ene video gelijk loopt met de andere video en kon dit moment worden voorzien van diverse annotaties.

3.1.1.7 GDPR compliance

Tijdens dit onderzoek zijn diverse gegevens verzameld waarop zogenaamde 'persoonlijke informatie' (PI) is vastgelegd, bijvoorbeeld de kentekenplaten die zichtbaar zijn op de videobeelden. Hiertoe is, conform de GDPR wetgeving, in samenspraak met de bedrijfsjuristen binnen RHDHV een zogeheten *Data Protection and Privacy Impact Assessment* opgesteld. Hierin is onder meer vastgelegd dat de verzamelde gegevens uitsluitend voor het voorliggende onderzoek gebruikt worden en dat na afronding van het onderzoek de gegevens waarin de PI zich bevindt wordt verwijderd.

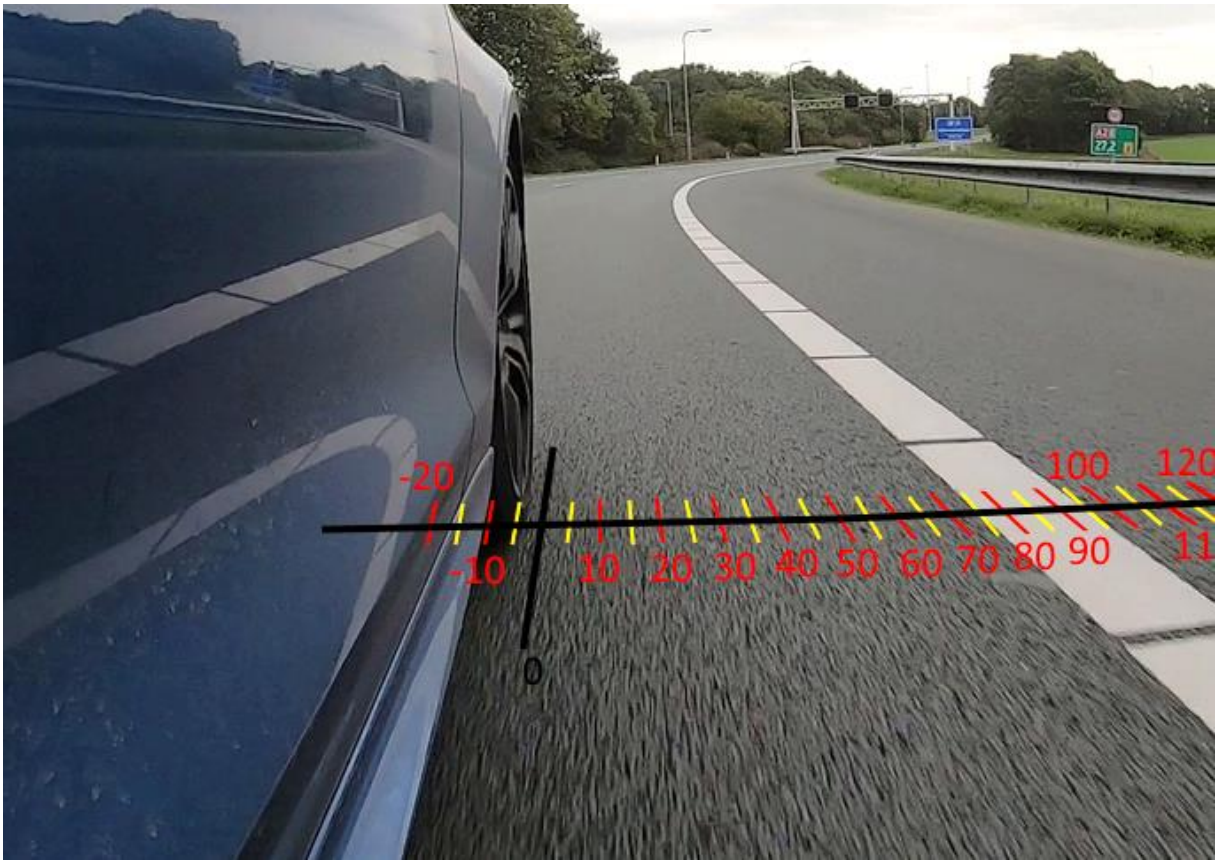
3.1.2 Dataverwerking

Na het verzamelen van de videobeelden zijn deze verwerkt in korte fragmenten, waarop alleen de onderzoekslocatie(s) in beeld is. Afhankelijk van de lengte van de bocht en de rijsnelheid duren de video's ongeveer tien tot vijftig seconden lang. Voor het verwerken van de videobeelden tot bruikbare datasets zijn twee mogelijke werkwijzen gedefinieerd in Masterproef deel 1 (het Plan van Aanpak). Optie 1 is het gebruik van een automatische beeldherkenningssoftware, optie 2 is het handmatig verwerken van de beelden. Hierbij genoot optie 1 de voorkeur, vanwege het geautomatiseerd kunnen verwerken van veel beeldmateriaal. Wegens onvoorziene vertragingen tijdens de veldtesten en technische uitdagingen met betrekking tot de kalibratie van de software is er echter gekozen om de handmatige verwerkingsmethode te gebruiken. Binnen RHDHV zal de automatische verwerkingsmethode alsnog worden ingezet in een later stadium, in het kader van een intern ontwikkelingsproces. De resultaten uit het voorliggende onderzoek zullen daarbij gebruikt worden ter validatie. Voor het voorliggende onderzoek echter was het achteraf bezien tijdsefficiënter om de verwerking handmatig uit te voeren. Hiertoe zijn de onderstaande verwerkingsstappen uitgevoerd:

1. Videomateriaal opknippen in korte, bruikbare fragmenten
2. Omzetten van bewegend videobeeld naar losse afbeeldingen per frame
3. Creëren van overlay-rasters per kalibratiemoment
4. Losse frames voorzien van overlay-raster
5. Bepalen van meetfrequentie
6. Registreren van afstand tot markering & positie van het wiel
7. Synchroniseren meetgegevens van linker- en rechter camera
8. Berekenen van LKS prestatie-indicatoren

Om afstanden te kunnen meten zijn per kalibratiemoment overlay-rasters gemaakt (**stap 3**), bestaande uit een meetlat zoals weergegeven in Figuur 13. De meetlat is ingetekend op basis van het beeldmateriaal van elk calibratiemoment dat is gemaakt voor aanvang van elke testrit, per onderzoekslocatie. Hiervoor is een zwartwit geblokt bord van 100x100 centimeter gefabriceerd (Figuur 12). De meetlat bestaat uit een positieve en negatieve schaal. Het is namelijk gebleken dat er sprake kan zijn van een bewegende kijkhoek van de camera tijdens het nemen van bochten. Door de G-kracht bleek de camera namelijk te bewegen ten opzichte van het voertuig. Hierdoor was de positie van het wiel ten opzichte van de meetlat soms verschoven, wat invloed heeft op de te meten afstand tot de markering. Door tevens de positie van het wiel te registreren op dezelfde meetlat als waarmee de afstand tot de markering werd geregistreerd, kon hiervoor gecorrigeerd worden. Na het creëren van de overlay-rasters zijn deze middels een fotobewerkingsprogramma samengevoegd met de losse afbeeldingen van elke testrit, zodat het beeld in Figuur 13 ontstaat (**stap 4**).

Figuur 12: Het zwartwit geblokte kalibratiebord.



Figuur 13: Voor elke testrit is, per onderzoekslocatie en -tijdstip, een meetlat als overlay-raster over het beeldmateriaal geplaatst. Bovenstaand voorbeeld toont ook dat de positie van het wiel verschoven is van de verticale zwarte nullijn, waardoor ook de positie van het wiel geregistreerd moest worden om te corrigeren voor deze afwijking.

Voorbeeld:
Van het bovenstaande voorbeeld in Figuur 13 is een afstand tot de markering geregistreerd van 75 centimeter en een wielpositie van -5 centimeter. Dit is vervolgens omgerekend naar een totale afstand tussen wiel en markering van 80 centimeter. Hiermee is het bewegen van het camerabeeld ten opzichte van het voertuig gecorrigeerd.

Voordat het registreren van de afstand tot de markering en de positie van het wiel kon worden gestart, is eerst bepaald met welke meetfrequentie dit uitgevoerd zou worden (**stap 5**). Er bestaan immers 30 afbeeldingen voor elke seconde videobeeld, wat maakt dat het verwerken van de videobeelden tot bruikbare gegevens een arbeidsintensief proces zou worden. Echter, een (te) lage meetfrequentie leidt tot een grote(re) onnauwkeurigheid van de uiteindelijke onderzoeksdata. Hierom is een analyse uitgevoerd om een onderbouwd besluit te kunnen nemen over de te kiezen meetfrequentie. De werkwijze en resultaten van deze analyse is te lezen in Paragraaf 5.1. Hierna kon per testrit het meten van afstanden (**stap 6**) beginnen. Nadat stap 6 was voltooid zijn de gegevens die voortkwamen uit het linker- en rechter camerabeeld per testrit met elkaar gesynchroniseerd (**stap 7**), zoals is beschreven in Paragraaf 3.1.1.5.

Hierna werd het mogelijk om de gewenste indicatoren te berekenen (**stap 8**). Op basis van de afstand tot de linker en rechter rijstrookmarkering ($DTLE_L$/$DTLE_R$) en de voertuigbreedte (B_V) werd de rijstrookbreedte (B_R) uitgerekend. Op basis daarvan is de laterale positie (LP), de gemiddelde laterale positie (MLP) en de standaardafwijking daarvan (SDLP) berekend. Het berekenen van de laterale positie wordt gedaan middels de onderstaande formules. Een positieve waarde als uitkomst van de rechter formule betekent dat het voertuig zich rechts van het rijstrookmidden bevindt, bij een negatieve waarde is dat links van het rijstrookmidden. Dit is exact omgekeerd bij de linker formule. Is de uitkomst exact LP=0 dan betekent dit dat het midden van het voertuig exact midden in de rijstrook heeft gereden.

$$LP = \frac{B_R}{2} - \frac{B_V}{2} - DTLE_L \quad \text{en/of} \quad LP = \frac{B_R}{2} - \frac{B_V}{2} - DTLE_R$$

Beide formules worden gebruikt, omdat het kan voorkomen dat er (bijv. ter hoogte van een onderbroken markering) aan een zijde van het voertuig geen correcte meting gedaan kan worden. In dat geval wordt de waarde van de andere voertuigzijde gebruikt. Als deze incorrecte metingen in de dataset voorkomen dan zal dat resulteren in een grote afwijkende waarde ten opzichte van de omringende datapunten. Deze incorrecte meetwaarden zijn uit de dataset verwijderd, om geen invloed uit te oefenen op de MLP en SDLP indicatoren. De SDLP wordt berekend met behulp van de onderstaande formule.

$$SDLP = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_{i-}\bar{x})^2}$$

Omdat bekend is hoeveel tijd er tussen twee datapunten zit, kan worden uitgerekend met welke naderingssnelheid het voertuig op de markering af rijdt. Dit is namelijk het verschil in laterale afstand afgezet tegen de tijd tussen de twee datapunten. Een negatieve naderingssnelheid suggereert dat het voertuig van de markering weg rijdt. Vanzelfsprekend is deze waarde aan de andere zijde van het voertuig dan positief (rijdt naar de markering toe). Op basis van de naderingssnelheid en het tijdsverschil

kan ook de laterale versnelling in m/s^2 worden uitgerekend, welke van belang is om te vergelijken met de grenswaarden zoals de VN heeft vastgesteld (zie Paragraaf 4.3.2, Tabel 12). De laterale versnelling wordt met behulp van onderstaande formule verkregen. Figuur 14 toont hoe de gegevens zijn verwerkt in datasets, gesorteerd per auto, meetmoment en onderzoekslocatie.

$$Laterale\ versnelling\ (m/s^2) = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

DTLE-L	Voertuig-breedte	DTLE-R	Rijstrook-breedte	LP (o.b.v. DTLE-L) 1,60	LP (o.b.v. DTLE-R) -1,60	Lat.speed m/s 0,60	Verschil m/s 0,04	Lat.versn. m/s^2	Vehicle in control	Reden voor ingreep
100	200	100	400	0	0				JA	
100	200	100	400	0	0	0,00			JA	
102	200	98	400	-2	2	0,20	0,20	2,00	JA	
100	200	100	400	0	0	0,20	0,00	0,00	JA	
100	200	100	400	0	0	0,00	-0,20	-2,00	JA	
105	200	95	400	-5	5	0,50	0,50	5,00	NEE	LKS switch-off
102	200	98	400	-2	2	0,30	-0,20	-2,00	NEE	
103	200	97	400	-3	3	0,10	-0,20	-2,00	NEE	
108	200	92	400	-8	8	0,50	0,40	4,00	NEE	
105	200	95	400	-5	5	0,30	-0,20	-2,00	NEE	
100	200	100	400	0	0	0,50	0,20	2,00	NEE	
96	200	104	400	4	-4	0,40	-0,10	-1,00	NEE	
90	200	110	400	10	-10	0,60	0,20	2,00	NEE	
85	200	115	400	15	-15	0,50	-0,10	-1,00	NEE	
80	200	120	400	20	-20	0,50	0,00	0,00	NEE	

Figuur 14: Schermafdruk van een (fictieve) dataset.

Hierboven staan 15 meetpunten weergegeven. Doordat elke 0,1 seconde een meting werd geregistreerd (zie Paragraaf 5.1) simuleert de bovenstaande fictieve dataset dus 1,5 seconden aan rijtijd. Aangezien de rijsnelheid ook bekend is, kan ook de afgelegde afstand berekend worden. In het geval van 80 km/u wordt er in 1,5 seconden 33,33 meter afgelegd ((1,5*(80/3,6))=33,33). Na het invoeren van de beide DTLE-waarden en de voertuigbreedte is de rijstrookbreedte ook bekend. Met deze informatie kan de laterale positie (LP) worden uitgerekend. De linker- en rechter LP zijn tegenovergesteld van elkaar positief danwel negatief. Het verschil in lateraal afgelegde afstand tussen twee metingen afgezet tegen de tijd tussen twee metingen levert de laterale snelheid op. De kolom ernaast bevat het verschil tussen twee snelheden. Elke keer dat dit verschil verandert van positief naar negatief of vice versa wordt geïnterpreteerd als een richtingsverandering (NODC). In het bovenstaande voorbeeld is NODC=10. Hiernaast staat de laterale versnelling weergegeven. De kolom "*Vehicle in control*" geeft aan of het voertuig ten tijde van dat meetpunt aan het sturen was, of dat de bestuurder zelf het stuur overnam. Daarnaast wordt genoteerd wat de reden was voor de eventuele *transition of control*. Hiertoe zijn de volgende mogelijkheden gedefinieerd:

- **LKS switch-off**: De status van het LKS verandert van actief naar standby.
- **Lane crossing**: Het LKS blijft actief maar slaagt er niet in het voertuig binnen de rijstrookmarkering te houden.
- **Driver judgement**: De bestuurder ziet zich genoodzaakt het LKS te overrulen en in te grijpen.

3.2 Onderzoeksdeel A: Deskresearch

3.2.1 Informatievoorziening over ODD

Voor het beantwoorden van de eerste deelvraag wordt er gezocht naar het soort informatie dat importeurs en dealers verschaffen aan hun klanten over het ODD van het LKS van hun voertuig en de manier waarop deze informatieoverdracht plaatsvindt. Deze informatie is van belang om vast te kunnen stellen wanneer het LKS zou moeten werken, zodat na de veldtests een eventueel verschil tussen het beoogde gebruiksgebied en -condities en de werkelijke prestaties inzichtelijk gemaakt kan worden.

3.2.1.1 Quick-scan gebruikershandleidingen

Deze onderzoeksstap begint dan ook met het uitvoeren van een quick-scan van de gebruikershandleidingen van de testvoertuigen, zoals beschreven in Paragraaf 3.1. Hierbij wordt er gezocht naar alle informatie die specifiek ingaat op het bedienen van het LKS en hoe, waar en wanneer het LKS volgens de fabrikant ingezet zou moeten worden. De onderstaande opsomming toont de informatie waarnaar in de gebruikershandleidingen is gezocht:

1. Snelheidsbereik:
    a. Activatiesnelheid
    b. Deactivatiesnelheid
    c. Max. gebruikssnelheid
2. Het bedoelde gebruiksgebied:
    a. Wegcategorie
    b. Wegprofiel
    c. Omgevingscondities
3. Invloedsfactoren:
    a. Omgevingscondities
    b. Werking i.c.m. andere ADAS
4. Waarschuwingen:
    a. Algemeen
    b. T.a.v. bochten
5. Werking indien binnen ODD
6. Overige relevante informatie

Aan de hand van deze punten zou een voertuigkoper – mits hij/zij de handleiding aandachtig leest – een beeld kunnen vormen over wat het LKS wel/niet kan en wanneer en waar het LKS wel/niet ingezet zou kunnen worden. Hoe goed dat gevormde beeld van het ODD aansluit bij de werkelijkheid hangt uiteraard af van hoe accuraat en volledig de informatie is en hoe begrijpelijk deze wordt aangeboden.

3.2.1.2 Semi-gestructureerde interviews met merkdealers

Om te toetsen in hoeverre een merkdealer informatie over het ODD van het LKS verstrekt aan haar klanten, zijn tijdens locatiebezoeken een aantal dealerbedrijven op een semi-gestructureerde wijze bevraagd naar de informatievoorziening die zij aanbieden. Door naar een autoboulevard te gaan alwaar meerdere merken naast elkaar zijn gevestigd kon ter plekke worden besloten welke dealerbedrijven bezocht werden. Er zijn dealerbedrijven bezocht die voertuigen in het goedkopere segment leveren en er zijn dealerbedrijven bezocht die het zogenaamde ‘premium’ segment bedienen.

Omdat de interviews enerzijds bruikbare informatie moeten opleveren en anderzijds bij voorkeur zo organisch mogelijk moeten verlopen, is ervoor gekozen om semi-gestructureerde interviews te houden. Het idee daarachter is dat er van tevoren wel wordt nagedacht over vragen en de gewenste opbrengst, maar dat het verloop van het gesprek leidend is bij het bepalen van welke vragen wel/niet gesteld worden en met welke intonatie dat gedaan wordt. Hierbij is inspiratie opgedaan in het handboek van Roose & Meuleman (2017) ten aanzien van interviewstructuren, vraagstelling en het vertalen van het gesproken woord naar geschreven tekst.

Bij aanvang van het gesprek is de reden van het bezoek bewust algemeen ingeleid; in plaats van te vermelden dat het gaat om een onderzoek naar LKS in bochten werd de merkdealer verteld dat het onderzoek zich richt op de *'informatievoorziening die men als klant ontvangt over rijhulpsystemen zo-als de adaptieve cruise control en de rijstrookassistentie'*. Met de onderstaande gespreksthema's is een algemeen inzicht verkregen in de wijze waarop de merkdealer informatie en uitleg geeft over rijhulp-systemen aan de klant. Waar van toepassing is tijdens het doorvragen gericht naar informatie en uitleg gevraagd over de rijstrookassistentie in bochten. Ook is tijdens de gesprekken een beeld ontstaan over het al dan niet aanpassen van de informatievoorziening aan het soort klant dat de showroom binnen komt lopen. Tijdens het gesprek stuurde de interviewer de conversatie richting de onderstaande ge-spreksthema's, die zijn gebaseerd op de bevindingen uit de literatuurstudie:

1. Of en wanneer men informatie aan een klant aanbiedt
2. Verschillende vormen van instructie
3. Kennis van en training met diverse ADAS bij de merkdealer zelf
4. Of en hoe de systeembeperkingen uitgelegd/gedemonstreerd worden

De gespreksthema's waren met andere notities in een notitieboekje voorhanden tijdens het gesprek, waarin af en toe extra notities bij werden geschreven tijdens het interview. Met de voice-recorder van de telefoon zijn de gesprekken opgenomen om in een later stadium te verwerken. Conform de GDPR verklaring worden deze audiobestanden verwijderd na afronding van het voorliggende onderzoek.

3.2.2 Snelheidsgegevens onderzoekslocaties

Voor het berekenen van de K-factoren op de onderzoekslocaties kan er volgens Vos (2019) gebruik gemaakt worden van de ontwerpsnelheid, de gereden snelheid, of een combinatie daarvan. Wegens het niet tijdig kunnen verkrijgen van de weggeometrische gegevens (incl. de ontwerpsnelheid) van de onderzoekslocaties, is er gekozen om de K-factoren op basis van de gereden snelheden te berekenen. Via het Open Data portaal van de NDW (2019) is voor de onderzoekslocaties te Hoevelaken en Rijns-weerd snelheidsdata ingezameld. Voor de onderzoekslocaties te Leusden was deze informatie niet be-schikbaar.

Er is snelheidsdata ingewonnen van de maand augustus 2019, waarbij de gemiddelde snelheid per uur van de dag staat weergegeven. Dat gemiddelde is gebaseerd op de metingen van alle 31 dagen in augustus 2019. Er is gekozen voor de maand augustus omdat het een vakantiemaand betreft. Hierbij werd aangenomen dat het relatief rustig zou zijn op de weg waardoor er een groter gedeelte van elke dag op de '*freeflow*'-snelheid gereden zou kunnen worden, zodat files zo min mogelijk invloed hebben op de gemiddelde snelheden. Het Open Data portaal bevat de data van meetlussen vóór, in en na de bocht. Op basis daarvan konden de K-factoren berekend worden. In Paragraaf 4.4 zijn de snelheidsge-gevens nader uitgewerkt.

3.3 Onderzoeksdeel B: Veldtesten

Omdat deze studie erop gericht is om te achterhalen waar de grenzen van het ODD liggen van LKS in relatie tot het rijden van bochten, betekent het dat er in de praktijk gezocht moest worden naar het moment dat het LKS niet meer in staat is om het voertuig binnen de rijstrookgrenzen te houden. Hiervoor zijn veldtesten uitgevoerd op diverse locaties op de openbare weg, met meerdere testvoertuigen. De hierna volgende Paragrafen lichten de gehanteerde methode nader toe.

3.3.1 Onderzoeksmethodiek: Field Operational Tests

Er is gekozen om de praktijktesten op te zetten als zogeheten *Field Operational Tests* (FOT). Hierbij wordt een testvoertuig voorzien van meetinstrumenten waarna een bepaalde test wordt uitgevoerd. Deze methode wordt veel gebruikt om voertuigsystemen te evalueren (SWOV, 2012). De FOT moet niet verward worden met een *naturalistic driving* studie, waarbij er sprake is van een bestuurder die voor een langere periode zonder verdere instructies zijn/haar natuurlijke rijgedrag vertoont. In het geval van een FOT is er sprake van een gestructureerde testprocedure (SWOV, 2012).

Er is gekozen om FOT's te gebruiken, omdat uit Vlakveld (2019) bleek dat FOT's de op één na beste onderzoeksmethode is om effecten van ADAS vast te stellen. De beste manier is om een analyse te maken van de ongevalsbetrokkenheid van hetzelfde type en model voertuig, waarbij de aan- of afwezigheid van een ADAS de variabele factor is. Helaas is de ongevalsregistratie in Nederland niet gedetailleerd genoeg om vast te stellen of het voertuig over LKS beschikte, of het aanstond en of het invloed had op de oorzaak van een crash. Daarnaast zegt een dergelijke analyse niet veel over de relatie met de infrastructuur. Het is daarom van belang om LKS in de praktijk te gaan testen tijdens veldtests. Het uitvoeren van veldtests kan worden gedaan op een afgesloten testterrein of op de openbare weg. Volgens Vlakveld zijn studies op testbanen net iets minder valide dan FOT's op de openbare weg, omdat dit altijd een nagebootste werkelijkheid betreft. Testbaanstudies scoren wel goed qua betrouwbaarheid, vooral vanwege de reproduceerbaarheid van de tests. FOT's bestuderen geen ongevallen maar veiligheidsindicatoren zoals benoemd in Paragraaf 3.1.

Andere onderzoeksmethoden om ADAS effecten in kaart te brengen zijn simulatorstudies of statistische studies. Deze methoden scoren nog wat minder goed qua validiteit (Vlakveld, 2019). Het nadeel van simulatorstudies is dat het bijzonder moeilijk is om de mate van realisme op een vergelijkbaar niveau te krijgen van echte rijtesten. Een rijstrookassistent (of een andere ADAS) kan wel worden gesimuleerd, maar dat dient te gebeuren op basis van aannames van de onderzoeker over het ODD van het gesimuleerde rijhulpsysteem. Een voertuigfabrikant zal namelijk niet de technische specificaties en achterliggende algoritmes van haar automatiseringstechnologie willen vrijgeven wegens commerciële en juridische belangen. Het simuleren van voertuigautomatisering kan hierom wel nuttig blijken voor het onderzoeken van de interactie tussen het rijhulpsysteem en de bestuurder, bijvoorbeeld, maar niet om de voertuigprestaties zelf te meten. Om deze redenen is besloten dat het meten van de beschreven indicatoren in Paragraaf 3.1 tijdens FOT's de meest gewenste onderzoeksvorm is voor deze masterproef.

Opzet & procedure van de Field Operational Tests

Tijdens de veldtests is er op de onderzoekslocaties (Paragraaf 3.3.3) getest met meerdere testvoertuigen (Paragraaf 3.3.2), waarbij de voertuigen zijn voorzien van apparatuur om de nodige gegevens te verzamelen. De voertuiginstrumentatie en zaken relevant voor de kalibratie staan beschreven in Bijlage 3. De wijze waarop de veldtests zijn uitgevoerd geschiedde volgens de instructies welke zijn weergegeven in Bijlage 2, waarbij ook speciaal aandacht is geschonken aan het veilig uitvoeren van de veldtests. Tijdens de veldtests bediende de passagier een laptop met daarop een logboek, zoals weergegeven in Bijlage 1.

3.3.2 Beschrijving testvoertuigen

Zoals beschreven in Paragraaf 1.5 zijn voor dit onderzoek voertuigen gebruikt die naast LKS ook over andere vormen van ADAS beschikten. Uit praktische overwegingen zijn er voertuigen gebruikt die ook over een (adaptieve) cruise control beschikken, voor het handhaven van een constante snelheid tijdens de veldtests. Enerzijds zijn er voertuigen geselecteerd die gelden als 'volumeauto's', wat inhoudt dat dit type voertuig een groot aandeel van de markt bedient. Dit maakt het desbetreffende voertuig relevant voor een groot deel van het Nederlandse wagenpark. Deze voertuigen hebben een vanafprijs (en catalogusprijs) onder de €50.000, wat hen in het Nederlandse belastingklimaat interessant maakt voor de leasemarkt. Anderzijds is er een voertuig geselecteerd waarvan ofwel het autojournaille, ofwel het automerk zelf, ofwel de publieke opinie beweert dat het een voertuig uit het zogenaamde 'premium' segment betreft. Het geteste voertuig heeft een vanafprijs welke ook onder de €50.000 ligt, maar in de geteste uitvoering valt de cataloguswaarde hoger uit. Desalniettemin is ook dit voertuig geliefd bij de zakelijke rijders.

Binnen het eigen wagenpark van RHDHV zijn een **Volkswagen Golf GTE** en een **Hyundai Kona Electric** beschikbaar gevonden. Beide voertuigen beschikken over een *lane steering* (LS) systeem. Daarnaast is er via een externe partner een **Volvo S60 T4** verkregen, welke beschikt over een *lane centering* (LC) systeem. Nadere informatie over deze voertuigen is hieronder te vinden in Tabel 9.

Tabel 9: De gebruikte testvoertuigen.

Automerk	Hyundai
Model	Kona
Uitvoering	Electric
Bouwjaar	09-2018
Brandstof	Elektrisch
Transmissie	Automaat
Catalogusprijs*	€44.910,-
LKS type (LS/LC)	LS
LKS werking	Stuuringreep
Beschikbaarheid (A)CC	Ja, ACC
Beschikbaarheid voertuig	RHDHV

(Tabel wordt vervolgd op de volgende pagina.)

Automerk	Volvo
Model	S60
Uitvoering	R-Design T4
Bouwjaar	07-2019
Brandstof	Benzine
Transmissie	Automaat
Catalogusprijs*	€ 63.579,-
LKS type (LS/LC)	LC
LKS werking	Stuuringreep
Beschikbaarheid (A)CC	Ja, ACC
Beschikbaarheid voertuig	Extern

Automerk	Volkswagen
Model	Golf
Uitvoering	GTE
Bouwjaar	12-2015
Brandstof	Hybride
Transmissie	Automaat
Catalogusprijs*	€ 46.436,-
LKS type (LS/LC)	LS
LKS werking	Stuuringreep
Beschikbaarheid (A)CC	Ja, ACC
Beschikbaarheid voertuig	RHDHV

** Catalogusprijs: Dit is de voertuigprijs, vermeerderd met BPM en BTW.*

Geselecteerde maar niet gebruikte voertuigen

Oorspronkelijk was het ten tijde van het schrijven van het plan van aanpak nog de bedoeling om veldtests uit te voeren met een Tesla Model 3 en een Mercedes E-klasse, welke ook beide beschikken over een *lane centering* (LC) systeem. De Mercedes werd interessant bevonden omdat het op een andere wijze stuuringrepen doet, namelijk door het binnenste achterwiel af te remmen in plaats van aan het stuurwiel zelf te draaien (Mercedes-Benz, 2019). De Tesla heeft onlangs in de geüpdatete testcyclus van de Euro NCAP de allerhoogste score ooit gehaald in de categorie “Safety Assist” (94%) met een 4/4 score op het onderdeel “Lane Support Systems” (Euro NCAP, 2019e). Ten tijde van het uitvoeren van de veldtests bleek het echter lastig te zijn om de Mercedes en Tesla tijdig tot de beschikking te kunnen krijgen. Het wel kunnen verkrijgen van de Volvo heeft er desondanks toch nog voor gezorgd dat er wel veldtests uitgevoerd konden worden met een *lane-centering* (LC) systeem.

Anonimisering van onderzoeksresultaten

Bij het presenteren van de onderzoeksresultaten in deze masterproef zullen waar mogelijk de voertuigen niet bij naam genoemd worden, maar zal aan elk voertuig een willekeurige letter toegekend worden (Auto A t/m C). De onderzoeksdata en de rapportage bevatten hierdoor geen resultaten die direct te herleiden zijn naar een specifiek voertuig. Alleen het onderzoeksteam weet welk voertuig achter welke letter schuilgaat. Zodoende is het moeilijker te achterhalen welk automerk minder goed of juist beter presteert dan de concurrent. Dit onderzoek is er immers niet op gericht om het ene automerk te

benadelen of te promoten ten opzichte van het andere merk. Desondanks is het voor de oplettende lezer wel mogelijk om één of meerdere testvoertuigen te identificeren.

3.3.3 Beschrijving onderzoekslocaties

Deze Paragraaf beschrijft de gebruikte onderzoekslocaties alwaar de veldtests hebben plaatsgevonden. Er worden enkele kenmerken van deze locaties gepresenteerd en er wordt een toelichting gegeven op de reden(en) waarom een specifieke locatie is geselecteerd voor dit onderzoek. Ook wordt er ingegaan op enkele wijzigingen die doorgevoerd zijn ten opzichte van het Plan van Aanpak ten tijde van Masterproef Deel 1 (MP1).

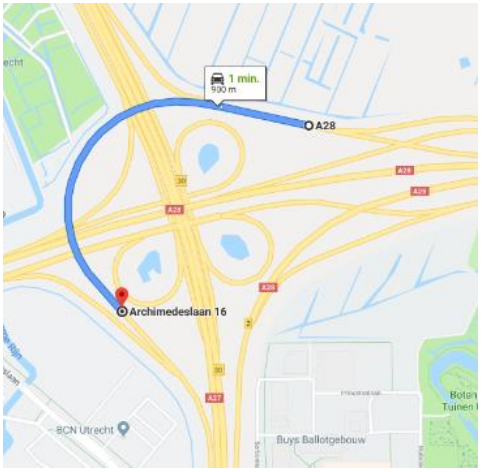
3.3.3.1 Onderzoekslocaties op autosnelwegen

Knooppunt Hoevelaken

Knooppunt Hoevelaken, bij Amersfoort, verbindt de A1 met de A28. Verkeer vanuit Utrecht richting Almelo neemt op knooppunt Hoevelaken de verbindingsboog rechtsaf van de A28 naar de A1. Deze bocht bestaat uit twee kleinere knikken met een ~150 meter lang recht wegvak er tussenin. De boogstraal van de 1^{e} knik bedraagt 400 meter, de 2^{e} knik is met 580 meter minder scherp. De booglengte bedraagt 255 en 180 meter voor de 1^{e} en 2^{e} knik respectievelijk. De onderzoeksresultaten zullen voor de 1^{e} en 2^{e} knik apart worden beschreven. Hoewel knooppunt Hoevelaken gepland staat om ingrijpend verbouwd te worden, is deze locatie uitgekozen omdat dit type knooppunt ook op veel andere plekken in Nederland (en daarbuiten) voorkomt. De maximum snelheidslimiet in deze bocht (en ook de wegvakken ervoor en erna) is 100 km/u.

Figuur 15: De 1^{e} knik (links) en 2^{e} knik (rechts). Beelden via Cyclomedia.

Knooppunt Rijnsweerd



De eerste onderzoekslocatie bij knooppunt Rijnsweerd, bij Utrecht, verbindt de A28 met de A27. Verkeer vanuit Amersfoort richting Eindhoven/Breda neemt op knooppunt Rijnsweerd de verbindingsboog linksaf van de A28 naar de A27. Rijkswaterstaat heeft in deze bocht een maximum snelheidslimiet ingesteld van 80 km/u. Dit is 20 km/u lager dan het traject voorafgaand aan deze bocht. Het verkeer rijdt hierbij onder de A27 door, waardoor er mogelijk verschil optreedt in de lichtintensiteit die men waarneemt bij de onderdoorgang van de A27. Deze bocht is geselecteerd omdat het een relatief scherpe bocht is, waarbij RWS het noodzakelijk acht om de snelheidslimiet ter plaatse te verlagen. De boogstraal van deze bocht is ongeveer 450 meter en is 630 meter in lengte. Ook hier gaat het om een knooppunt dat op veel andere plekken voor kan komen.

Figuur 16: Verbindingsboog A28>A27 bij knooppunt Rijnsweerd. Beeld via Cyclomedia.

De tweede onderzoekslocatie bij knooppunt Rijnsweerd is een afrit van de A27 die men kan nemen om via de A28 rechtstreeks de stad Utrecht in te rijden. Dit type verbindingsboog is een veelvoorkomende bocht op knooppunten en is geselecteerd vanwege de krappe boogstraal (~150 meter). Hier is geen sprake van bebording dat wijst op een verlaagde snelheidslimiet ten opzichte van de hoofdrijbaan, echter roept het wegbeeld zelf wel op tot een langzamer rijgedrag. De lengte van de boog is 390 meter.

Figuur 17: Afrit Rijnsweerd (A27>A28). Beeld via Cyclomedia.

3.3.3.2 Onderzoekslocaties op provinciale weg

Figuur 18: De bochten in de N226.

Voor de veldtests op een provinciale weg zijn tussen de plaatsen Leusden en Woudenberg twee bochten geselecteerd in de N226. Beide bochten worden voorafgegaan door een recht wegvak alwaar de maximum snelheidslimiet 80 km/u bedraagt. Deze provinciale weg (GOW type II) is vergelijkbaar met veel provinciale wegen in het land. De meest noordelijke bocht op Figuur 18 wordt in dit onderzoek “Leusden” genoemd, de meest zuidelijke bocht “Woudenberg”. Dit naar de dichtstbijzijnde plaats. De bocht Leusden werd in zuidelijke rijrichting bereden (linksaf), bocht Woudenberg werd in noordelijke rijrichting bereden (linksaf). Voorafgaand aan beide bochten word het aanrijdende verkeer met bebording geattendeerd op het naderen van de bocht. Met name bocht Leusden is relatief scherp, ook bij handmatig sturen dient er enige inspanning geleverd te worden om zonder snelheidsverlaging de bocht te nemen. Bocht Woudenberg kan door de menselijke bestuurder zonder snelheidsaanpassing relatief eenvoudig gereden worden. De boogstraal van bocht Leusden bedraagt 110 meter en de boogstraal van bocht Woudenberg bedraagt 210 meter. De booglengte is respectievelijk 150 en 180 meter.

Figuur 19: Bocht Woudenberg (rechts) en bocht Leusden (links). Beelden via Cyclomedia.

3.3.3.3 Wijzigingen t.o.v. Masterproef Deel 1

Omdat deze studie erop gericht is om te achterhalen waar de grenzen van het ODD liggen van LKS in relatie tot het rijden van bochten, betekent dat in de praktijk dat er tijdens de veldtest gezocht is naar het moment dat het LKS niet meer in staat is om het voertuig binnen de rijstrookgrenzen te houden. Om veiligheidsredenen is het daarom wenselijk om een testbaan te gebruiken, alwaar de testcondities gecontroleerd kunnen worden. De grotere obstakelvrije ruimte (bijv. uitloopzones) en de afwezigheid van verkeer maakt dat eventuele veiligheidsrisico's tot een minimum beperkt worden. Een gecontroleerde testomgeving stelt de onderzoeker in staat om zonder de risico's die het dagelijkse verkeer met zich meebrengt de capaciteiten en werking van de testvoertuigen te verkennen. Daarnaast is het gebruik van een gecontroleerde testomgeving bij uitstek geschikt om testscenario's herhaaldelijk uit te voeren onder gelijke condities. Bij aanvang van Masterproef Deel 1 (MP1) werd de onderzoeker gewezen op de mogelijkheid om toegang tot een gecontroleerde testomgeving te verkrijgen. Tijdens de verdediging van MP1 was echter reeds besloten om hier geen gebruik van te maken wegens het niet tijdig kunnen verkrijgen van die toegang en enkele andere praktische beperkingen. Conform het alternatieve plan zoals beschreven in MP1 zijn de veldtesten op de openbare weg daarom uitgebreid met extra metingen in diverse omgevingscondities (zie ook Paragraaf 3.3.4).

Enkele onderzoekslocaties zijn ten opzichte van MP1 ook gewijzigd. Er zijn soortgelijke onderzoekslocaties gezocht die dichter bij elkaar in de buurt liggen, allen in de regio Amersfoort-Utrecht, om zodoende tijdsefficiënter te werk te kunnen gaan. Hiertoe is besloten om beter in staat te kunnen zijn om meerdere veldtests op één dag te kunnen uitvoeren, zodat het gemakkelijker werd om de omgevingscondities en de autobeschikbaarheid op elkaar te kunnen afstemmen. Bovendien kon hierdoor de complete route ook op één acculading worden afgelegd zonder de Hyundai tussentijds te hoeven opladen. Daarnaast zijn de nieuwe onderzoekslocaties ook geselecteerd op de aanwezigheid van straatverlichting, omdat de exterieurcamera's tijdens nachtelijke veldtests de markering naast het voertuig slecht konden waarnemen. De koplampen van de auto schijnen immers niet naast het voertuig en het aanbrengen van extra exterieurverlichting aan de zijkant van het voertuig is niet legaal toegestaan. Naast de fysieke afstand waren de in MP1 geselecteerde bochten in de N331, N334 en N795 ook niet verlicht, waardoor deze uiteindelijk toch niet geschikt werden bevonden voor dit onderzoek.

3.3.4 Beschrijving onderzoekscondities

In oktober en november 2019 zijn veldtesten uitgevoerd op de beschreven locaties. Door het niet kunnen testen op een gecontroleerd testterrein is conform MP1 besloten om de veldtesten op de openbare weg uit te breiden met extra tests in meerdere omgevingscondities. De basisconditie waarin de veldtests worden uitgevoerd ligt in lijn met de testprocedures zoals de Euro NCAP en de VN deze beschrijven; overdag bij droog weer (Euro NCAP, 2019d; United Nations, 2018). Daarnaast zijn de veldtests in deze masterproef ook bij duisternis uitgevoerd.

Beide lichtsterktes dienden daarnaast volgens het Plan van Aanpak (MP1) ook in regenachtige condities getest te worden. Uit de literatuurstudie bleek namelijk dat de werking van LKS kan variëren door het verschil tussen daglicht en duister of door droog en nat weer. Vanuit de gedachte dat een wegbeheerder altijd rekening moet houden met worst-case scenario's, is het relevant om de grenzen van het ODD ook onder deze condities te onderzoeken. De testprocedures van de Euro NCAP en de VN vinden niet plaats bij deze omgevingscondities, terwijl de automobilist wel onder dergelijke suboptimale

condities met deze systemen op de weg rondrijdt. Testen onder deze omgevingscondities is dan dus ook zeer relevant. Echter bleek aan het begin van de veldtests al vlot dat het verkrijgen van goede data tijdens regenachtige condities erg ingewikkeld zou blijken. Het bleek namelijk dat de exterieurcamera's geen goede beelden konden maken, doordat het water niet van de lens af ging. Dit ondanks de genomen voorzorgsmaatregelen: de camera's waren onder een lichte hoek gemonteerd, zodat de rijwind het regenwater weg zou blazen. Dit bleek niet te werken, met Figuur 20 als resultaat. Hierom is besloten om de veldtests bij regenachtige condities achterwege te laten, met het oog op de tijdsrestricties en de (on)beschikbaarheid van de testvoertuigen.

Figuur 20: Tijdens regenachtige condities was de beeldkwaliteit matig tot slecht.

De testritten zijn veelal uitgevoerd op woensdagen en vrijdagen. In Nederland gelden met name de dinsdag en donderdag als maatgevende dagen voor verkeersonderzoeken, omdat dit doorgaans de twee drukste dagen van de week zijn. Door te kiezen voor de woensdag en vrijdag is getracht om zoveel mogelijk drukte te vermijden tijdens de veldtests, aangezien de aanwezigheid van het overige verkeer de voortgang van de veldtests kan vertragen. Op een testdag werd er rond 9:00 uur gestart met het voorbereiden en bevestigen van alle apparatuur, zodat er rond 10:30 kon worden begonnen met de eerste ritten. Doorgaans waren de veldtests dan rond 14:30 afgerond, waardoor de spitsperiode omzeilt werd. De veldtests die 's avonds werden uitgevoerd vonden op dezelfde dag plaats als de veldtests bij daglicht, om zo waar mogelijk de camera-apparatuur te laten zitten en zo een kalibratiemoment uit te sparen. De avondritten werden rond 19:00 uur aangevangen en duurden doorgaans tot 21:30 uur. Voor aanvang van de veldtests werd eerst de actuele file-informatie gecontroleerd, om eventueel de onderzoekslocaties in een andere volgorde af te werken en zo alsnog verkeersdrukte te mijden.

4 RESULTATEN DEEL A: DESKRESEARCH

In dit Hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd van de deskresearch. Er wordt ingegaan op de kennis die een auto-eigenaar redelijkerwijs zou kunnen bezitten door het krijgen van informatie en instructie van de autodealer en datgene wat hij/zij kan weten vanuit de gebruikershandleiding. Ook wordt er ingegaan op voertuigveiligheidstests en VN regelgeving. Het Hoofdstuk eindigt met een Paragraaf over de snelheidsgegevens op de onderzoekslocaties, voortkomend uit de meetlussen, ter berekening van de K-factoren.

4.1 Quick-scan gebruikershandleidingen

Om deelvraag 1 deels te kunnen beantwoorden (over de ODD-kennis die een autobestuurder redelijkerwijs zou kunnen bezitten) wordt in deze Paragraaf ingegaan op de informatie uit de gebruikershandleidingen.

4.1.1 Informatie over LKS uit gebruikershandleidingen

De informatie die staat weergegeven in de onderstaande Tabellen geeft geen oordeel over de voertuigprestaties. De informatie in de onderstaande Tabellen geeft weer welke informatie een auto-eigenaar aangeboden wordt in de bij het voertuig horende gebruikershandleiding om het rijstrookassistentiesysteem te kunnen begrijpen en in welke mate deze informatie eenduidig is.

Tabel 10: Informatie over het ODD van LKS van twee testvoertuigen, zoals beschreven in de bijbehorende handleiding.

	Volkswagen Golf (2019)	**Hyundai Kona** (2018)
	Snelheidsbereik	
Activatiesnelheid	65 km/u	64 km/u
Deactivatiesnelheid	65 km/u	56 km/u
Max. gebruikssnelheid	Niet vermeld	177 km/u
	Bedoeld gebruiksgebied	
Wegcategorie	Autosnelweg & 'goed verharde' provinciale wegen	Niet vermeld
Wegprofiel	Niet vermeld	Niet vermeld
Omgevingscondities waaraan voldaan moet worden	Er wordt indirect gewezen op het feit dat het systeem een goed zichtbare rijstrookbegrenzing nodig heeft.	Beide rijstrookmarkeringen moeten gedetecteerd worden en het voertuig moet daartussen rijden om het systeem te activeren.
	Invloedsfactoren	
Omgevingscondities die LKS werking negatief beïnvloeden	Zonder enige specificatie wat ermee bedoeld wordt: slecht weer, slecht wegdek, rijbaanstructuren of objecten kunnen ten onrechte als rijstrookbegrenzing worden herkend. Bij slechte weers- en wegomstandigheden of wegwerkzaamheden kan het systeem uitschakelen. Geldt ook voor een 'zeer sportieve rijstijl'.	Zonder enige specificatie wat ermee bedoeld wordt: slecht weer, slecht wegdek, scherpe bocht, bij activatie van de richtingaanwijzer, plotselinge remacties, de rijstrook is erg breed of erg smal, bij meerdere markeringen op het wegdek (bijv. bij werkzaamheden), bij detectie van slechts één rijstrookmarkering, een te kleine boogstraal van een bocht, een steile helling of daling, plotselinge stuuringrepen, vervuilde of versleten markering, erg brede of smalle markering, bij tekens op het wegdek, plotselinge verschillen in lichtsterkte, bij reflecterend licht op nat wegdek, fel tegenlicht, bij een te korte volgafstand.
Werking i.c.m. andere ADAS	Niet vermeld	Niet vermeld

	Waarschuwingen	
Algemeen	• *"De rijstrookhulp (Lane Assist) ondersteunt de bestuurder bij het blijven aanhouden van de rijstrook."* • Het systeem kan 'de natuurkundig bepaalde grenzen niet overwinnen' en functioneert alleen 'binnen de systeemgrenzen'. • Onoplettend of onbedoeld gebruik kan tot ongevallen leiden. • Het systeem kan onoplettendheid van de bestuurder niet vervangen. • De verantwoordelijkheid voor het op juiste wijze aanhouden van de rijstrook ligt altijd bij de bestuurder. • Bij vervuiling, afdekking of beschadiging van het cameravenster kan de werking van het systeem nadelig worden beïnvloed.	• Het LKA systeem is geen vervanging voor veilig rijgedrag, maar slechts een gemaksfunctionaliteit. • De bestuurder is verantwoordelijk voor het te allen tijde opnemen van de omgeving en het besturen van het voertuig. • De bestuurder moet niet enkel op het LKA vertrouwen, maar zelf blijven opletten en sturen. • De LKA kan uitschakelen of niet goed werken afhankelijk van wegcondities en omgevingsfactoren. • Als de rijstrookmarkering niet goed herkend kan worden, kan het LKA minder goed werken. • Het systeem moet uitgeschakeld worden indien de bestuurder veelvuldig van richting moet veranderen.
T.a.v. bochten	Niet vermeld	Het systeem kan mogelijk uitschakelen bij: • Het rijden op een bochtige weg • De boogstraal van de bocht is te klein • Het voertuig rijdt door een scherpe bocht
	Werking indien binnen ODD	
	"Met een camera in de voorruit herkent de rijstrookhulp de begrenzingen van een rijstrook. Als de wagen een herkende rijstrookbegrenzing te dicht nadert, waarschuwt het systeem de bestuurder met een corrigerende stuuringreep. De corrigerende stuuringreep kan elk moment worden overstuurd." *"Bij uitblijvende stuuractiviteit roept het systeem de bestuurder met akoestische waarschuwingen en een weergave op het display in het instrumentenpaneel op, het stuurwiel actief over te nemen."*	*"When the system detects the vehicle straying from its lane, it alerts the driver with a visual and audible warning, while applying a slight countersteering torque, to try to prevent the vehicle from moving out of its lane."* Bij het rijden zonder handen aan het stuur zal het systeem een waarschuwing tonen in het display. Wordt dat te lang genegeerd, dan schakelt het systeem zichzelf uit.
	Overigen	
	Na invoer van het kenteken is op de VW website het instructieboekje verkregen. Het online adres doet vermoeden dat het instructieboekje bekeken wordt i.h.k.v. pechsituaties: volkswagen.nl/service/pechhulp/instructieboekje.	De 540 pagina tellende handleiding is van toepassing op alle Hyundai modellen, aldus het titelblad. Het is mogelijk dat niet alle informatie van toepassing is op elke specifieke uitvoering. Dit vraagt om een gedetailleerde voertuigkennis van de autoeigenaar om in te schatten wat wel/niet van toepassing is op het gekochte voertuig. De handleiding bevat wel gesegmenteerde informatie, onderverdeeld in werking, waarschuwingen en beperkingen t.a.v. LKA. De handleiding maakt ook onderscheid tussen LKA en actieve LKA. Laatstgenoemde wordt niet uitgebreid behandeld, er wordt alleen vermeld dat het continue tracht bij te sturen (LC i.p.v. LS).

*Kleurenlegenda: **Duidelijke**, **Matige** of **Slechte** informatievoorziening.*

Tabel 11: Informatie over het ODD van LKS van andere SAE-2 voertuigen, zoals beschreven in de bijbehorende handleiding.

	Toyota Corolla (2019)	**Tesla Model 3** (2019)
	Snelheidsbereik	
Activatiesnelheid	50 km/u	59 km/u (Lane Assist functionaliteit) 30 km/u (Autosteer functionaliteit
Deactivatiesnelheid	Niet vermeld	Niet vermeld
Max. gebruikssnelheid	Niet vermeld. Systeem kan wel melden dat functie niet beschikbaar is bij een te hoge snelheid, maar handleiding specificeert dat niet.	150 km/u (Lane Assist functionaliteit) 150 km/u (Autosteer functionaliteit)
	Bedoeld gebruiksgebied	
Wegcategorie	Autosnelweg	Autosnelwegen en 'expreswegen'
Wegprofiel	Rijstrookbreedte 3-4 meter	Niet vermeld
Omgevingscondities waaraan voldaan moet worden	Er moet een witte of gele lijn worden herkend. Verder moet voldaan worden aan de activatiesnelheid en de rijstrookbreedte. Het systeem activeert niet tijdens het rijden van een scherpe bocht. De richtingaanwijzer wordt niet bedient tijdens activatie.	Er moet een witte of gele lijn worden herkend. Verder moet voldaan worden aan de activatiesnelheid. De richtingaanwijzer wordt niet bedient tijdens activatie.
	Invloedsfactoren	
Omgevingscondities die LKS werking negatief beïnvloeden	• Een rijstrookmarkering aan één zijde laat het voertuig alleen aan die zijde reageren op de markering, niet aan de andere zijde van de rijstrook. • Het voertuig versnelt of vertraagd met een bepaalde hoeveelheid of meer. Het systeem werkt mogelijk niet goed bij: • Glad wegdek • Slecht zichtbare markering door regen, sneeuw, mist, vervuiling, etc. • Wanneer een reservewiel of sneeuwkettingen gemonteerd zijn • Als de banden versleten zijn, of een te lage spanning hebben • Bij gebruik van andere bandenmaten dan gespecificeerd • Er wordt gereden op niet-autosnelwegen • Tijdens het slepen van het voertuig • De rijstrookbreedte is te smal of breed • De volgafstand is te kort Er is sprake van (sterke) zijwind	De prestaties van Autopilot-componenten kunnen door veel factoren worden beïnvloed. Deze factoren omvatten (maar zijn niet beperkt tot): • Slecht zicht (zware regen, sneeuw, mist, enz.) • Fel licht (koplampen van tegenliggers, zonlicht, etc.) • Schade of obstakels • Interferentie of belemmeringen door object(en) die op de auto zijn bevestigd (zoals een fietsenrek) • Belemmering door aanbrengen van teveel lak of zelfklevende voorwerpen (zoals folie, stickers, rubbercoating, enz.) • Smalle of slingerende wegen • Interferentie door andere storende apparatuur • Extreme temperaturen
Werking i.c.m. andere ADAS	De LC functie is gekoppeld aan de ACC. Het systeem kan alleen werken i.c.m. een ingeschakelde VSC[16] en TC[17].	Autosteer maakt gebruik van Traffic Aware Cruise Control om de Model 3 in zijn rijstrook te houden wanneer met een constante, ingestelde snelheid wordt gereden.
	Waarschuwingen	
Algemeen	• De bestuurder is verantwoordelijk voor het te allen tijde opletten van de omgeving en het sturen van het voertuig. • De bestuurder moet niet enkel op het LKA vertrouwen, maar zelf blijven opletten en sturen. • De LKA kan uitschakelen of niet goed werken afhankelijk van wegcondities en omgevingsfactoren.	• Opmerking: Autosteer is een BETA-functie. • Gebruik Autosteer niet in de stad, bij wegwerkzaamheden of plaatsen met fietsers of voetgangers. • Autosteer is een functie waarbij u uw handen moet gebruiken. • Als Autosteer geen wegmarkeringen kan detecteren, wordt de rijstrook bepaald op basis van uw voorligger.

[16] VSC: Vehicel Stability Control: een elektronische stabiliteitscontrole (ook bekend als ESP of ESC)
[17] TC: Tractiecontrole

	• Als de rijstrookmarkering niet goed herkend kan worden, kan het LKA minder goed werken.	Tesla geeft de waarschuwing dat de lijst met beperkingen niet volledig is en dat de bestuurder niet op Autopilot componenten moet vertrouwen. Veilig rijden, alert blijven en het voertuig onder controle hebben is te allen tijde de verantwoordelijkheid van de bestuurder. Tesla wijst erop dat de bestuurder altijd paraat moet zijn om in te grijpen.
T.a.v. bochten	Het systeem werkt mogelijk niet goed bij: • Het rijden van een scherpe bocht • Het rijden op een bochtige weg	Zie hierboven.
	Werking indien binnen ODD	
	"When the system determines that the vehicle might depart from its lane or course, the system provides assistance as necessary by operating the steering wheel in small amounts for a short period of time to keep the vehicle in its lane."	De Rijstrookassistent waarschuwt tegen ongewenst verlaten van de rijstrook door een lichte trilling van het stuur wanneer het voorwiel over een rijstrookmarkering gaat en de richtingaanwijzer uit is.
	Overigen	
	Toyota maakt onderscheid tussen de systemen LTA en LDA, beide werken zowel als een LDW als een LS. Verschillen tussen de systemen worden niet eenduidig aangegeven.	Tesla maakt onderscheid in de standaard Autopilot en een optionele uitbreiding daarvan. De standaardversie heeft een LS functie ("Lane Assist"), de uitgebreide versie kan zichzelf centreren (LC, "Autosteer").

*Kleurenlegenda: **Duidelijke**, **Matige** of **Slechte** informatievoorziening.*

4.1.2 Resumerend

Op basis van de informatie in de gebruikershandleidingen kan worden geconcludeerd dat het lastig is voor een autoeigenaar om een goed beeld te schetsen van het ODD van Lane Keeping Systemen. De handleidingen zijn voor een groot deel gevuld met allerlei waarschuwingen en disclaimers, die vooral bedoeld lijken te zijn om verantwoordelijkheden van de fabrikant over te dragen naar de autobestuurder. Er worden veel verschillende condities omschreven waarin een systeem mogelijk niet of niet goed functioneert, maar wanneer er precies sprake is van zware regenval of een scherpe bocht wordt nergens uitgelegd. Het is wellicht ook niet mogelijk om dat heel precies te formuleren in een eenduidige uitleg. Het is daarom des te belangrijker dat de autobestuurder niet alleen maar gewezen wordt op mogelijke beperkingen, maar vooral ook dat het in veel gevallen niet duidelijk is wanneer die beperkingen zich voordoen. Dat blijkt uit geen van de handleidingen. Als bestuurders zich beseffen dat het onbekend is wanneer het systeem wel/niet werkt (als zij op de hoogte zijn van deze kennislacunes) zijn autobestuurders wellicht ook eerder geneigd om in dergelijke situaties de systemen op een correcte wijze toepassen.

4.2 Interviews met merkdealers

Voor het inventariseren van het soort informatie dat de merkdealer aan haar klanten aanbiedt (onderdeel van deelvraag 1) zijn meerdere dealerbedrijven onaangekondigd bezocht. Met een willekeurige verkoopmedewerker (of: 'productspecialist') van het dealerbedrijf is telkens een semi-gestructureerd interviewgesprek aangeknoopt om een beeld te kunnen vormen van het soort informatie dat de merkdealer aanbiedt en op welke wijze deze informatieoverdracht geschiedt. De bevindingen van de gevoerde gesprekken worden gegroepeerd in de volgende subparagrafen behandeld.

Geïnterviewde merkdealers

In het kader van deze onderzoeksstap zijn dealerbedrijven bezocht van de volgende automerken: Ford, Volvo, Subaru, Toyota, Volkswagen en Audi. Bij gebrek aan een beschikbare verkoopmedewerker werd de onderzoeker door de Volkswagen-dealer doorverwezen naar de Audi-dealer. Hoewel deze twee merken van hetzelfde concern zijn (VAG), is het wel van belang dat elke autodealer juiste instructies geeft aan de klant. Dat kon bij de Volkswagen-dealer dus niet worden achterhaald. Er is ook een BMW dealer benaderd, maar ook daar werd de onderzoeker de deur gewezen omdat er op dat moment geen verkoper beschikbaar was. De exacte dealerbedrijven en/of verkoopmedewerkers welke bezocht/gesproken zijn worden in deze masterproef niet bij naam genoemd, in het kader van de privacy. De bezochte dealerbedrijven zijn op willekeurige basis uitgekozen. Er is echter wel gelet op het feit dat er dealerbedrijven bezocht werden die ofwel het instapsegment ofwel het 'premium' segment bedienen.

4.2.1 Vraag & aanbod: informatie rondom ADAS

4.2.1.1 Wordt er ADAS informatie aangeboden en zo ja, welke informatie is dat?

De geïnterviewde autoverkopers vertelden allemaal individueel van elkaar dat zij (uiteraard) instructies geven aan de klant. Wie wanneer instructie of informatie krijgt wordt in de volgende Paragraaf behandeld. De informatie die de autoverkopers met de klant delen blijkt grotendeels beperkt te blijven tot het uitleggen hoe een bepaalde functionaliteit aan en uit gezet kan worden. Wel vertelden alle geïnterviewde autoverkopers dat zij bij een proefrit de klant een rijhulpsysteem laten gebruiken en daarbij vertellen wat het op dat moment aan het doen is en hoe de klant de actuele status van het systeem kan herkennen. In het geval dat er tijdens een proefrit iets gebeurd waarop het rijhulpsysteem anders reageert dan de klant verwachtte, zegt de autoverkoper uit te leggen waarom dat gebeurde. De informatie die autoverkopers aan hun klanten aanbieden lijkt met name te gaan om bedieningsinformatie en ad hoc informatie. Geen van de geïnterviewde autoverkopers vermelde dat zij hun klanten erop wijzen dat het verstandig is om de gebruikershandleiding te lezen. Deze vraag is ook niet gesteld, omdat de verkopers naar alle waarschijnlijkheid dan een sociaal wenselijk "ja" zullen antwoorden. De Audi-dealer zei zelf vrij beperkt instructie te geven, maar dat dit werd uitbesteed aan externe instructeurs. Daarbij liet deze autohandelaar de naam Prodrive Academy vallen. Navraag leerde dat dit vooral gold als de klant een elektrische auto kocht, om hem/haar te leren hoe er zo efficiënt mogelijk gereden kan worden met een elektrische auto. Uitleg en instructie rondom ADAS zou daar een onderdeel van zijn.

4.2.1.2 Wie krijgt wanneer ADAS informatie?

Zoals vermeld vertelden de geïnterviewde autoverkopers allemaal individueel van elkaar dat zij (uiteraard) instructies geven aan de klant, maar dit bleek vooral zo te zijn wanneer klanten daar specifiek om vroegen. Zo blijkt het voor te komen dat autokopers zonder adequate vorm van instructie de weg op gaan, zoals ook valt te herleiden uit het onderstaande citaat:

"(...) Bij aflevering wordt dit ook door een productspecialist gedaan en er wordt koud in de showroom van alles uitgelegd. Druk hier doe dat, maar geen praktijk. (...) Ik kwam pas 2 weken later achter waar traffic assist zat en hoe het echt werkt."

Aldus een gebruiker op het online platform SlimOnderweg.nl (2019)

Deze persoon heeft dus zelf op basis van een *trial-and-error* methode moeten uitzoeken hoe de voertuigsystemen werken. Wanneer deze persoon onderweg iets aan het uitproberen was zonder op de

hoogte te zijn van de systeemgrenzen kan er een gevaarlijke situatie ontstaan. Dit gebrek aan instructies van de autodealer aan de autokoper komt overeen met eerdere bevindingen uit bijvoorbeeld de studie van Klem & Gorter (2016). Sommige klanten zijn echt geïnteresseerd in de nieuwe techniek, maar andere klanten stellen eerder vragen als *"waar is dit knopje voor?"* of vragen überhaupt niet naar de rijhulpsystemen. De Volvo-dealer vertelde dat er tijdens het verkoopproces en bij aflevering met de klant wordt rondgereden om het een en ander uit te leggen. De Ford, Toyota en Audi verkopers legden uit dat hun klanten erop gewezen worden dat zij daarnaast, na een bepaalde periode rondrijden, uitproberen en wennen aan het voertuig, ook van harte welkom zijn om nog eens terug te komen voor een extra uitleg. Deze klanten zijn dan echter al enige tijd aan het rondrijden geweest en wellicht ook allerlei dingen al zelf uitprobeerden met een beperkte hoeveelheid kennis over de systemen. Dat is een potentieel gevaarlijke situatie. Een mogelijk lichtpuntje hierbij kan zijn dat het aannemelijk is dat als mensen bewust bezig zijn met het uitproberen van hun voertuigsystemen, zij mogelijk ook alert(er) zijn op wat er tijdens dat uitproberen gebeurd. Het wordt echter weer gevaarlijker als de klant het rijhulpsysteem denkt te begrijpen, terwijl het kennisniveau in werkelijkheid nog onvoldoende is. De Ford dealer gaf daarnaast toe dat sommige klanten ook zonder instructie wegrijden, bijvoorbeeld als de klant aangaf niet geïnteresseerd te zijn in de ADAS functies. Als voorbeeld beschreef hij een situatie met een oudere meneer die wel een auto wilde kopen, maar dat hem de technologie aan boord maar ingewikkeld vond en het liever niet wilde gebruiken. Ondanks de wens van deze klant om een systeem niet te willen gebruiken worden voertuigen in het licht van de nieuwe EU-regels wel zo gefabriceerd dat sommige ADAS functies niet uitgezet kunnen worden, of bij elke herstart weer opnieuw activeren (European Commission, 2019). Ook daarvan zou deze klant op de hoogte gebracht moeten worden, maar dat leek de Ford-verkoper zich niet direct te realiseren.

Ook waren er meerdere verkopers die mededeelden dat zij hun gesprek afstemmen op het soort klant dat de showroom komt binnenwandelen. In eerste instantie klinkt dat logisch. Echter, iemand die wordt ingeschat als zijnde 'technisch onderlegd' kreeg van sommige dealers meer 'vrijheid om het zelf uit te zoeken' dan een klant die als zijnde 'a-technisch' wordt ingeschat. En beide situaties zijn onwenselijk: a-technische mensen behoeven uitleg om de systemen überhaupt te begrijpen, terwijl het ook denkbaar is dat mensen met technisch inzicht wellicht instructie moeten krijgen om wat te worden afgeremd. Technische mensen zullen wellicht eerder geneigd zijn om (te) veel op hun voertuigsysteem te vertrouwen.

De onderzoeker heeft ten tijde van een onderhoudsbeurt van het privévoertuig een leenauto van de Subaru-dealer meegekregen, zonder dat hier een instructie van de rijhulpsystemen aan vooraf ging. Hierbij heeft mogelijk wel meegespeeld dat de desbetreffende autodealer kennis heeft van het studiegebied van de onderzoeker. Bij een andere Subaru-dealer heeft de onderzoeker mogen proefrijden in een auto, alwaar wel een instructie aan vooraf ging. In dit specifieke geval was er sprake van een statische en dynamische uitleg alvorens de onderzoeker zelf de autosleutels kreeg. De dealer vertelde daarbij dat hij deze werkwijze bij elke klant toepast.

4.2.2 Gebruikerstraining: verschillende instructievormen

Elk van de geïnterviewde dealers zegt met de klant te gaan proefrijden (dynamische instructie). De Volvo-dealer zei daarbij dat een statische instructie niet goed genoeg was in zijn opinie. Toch is dat ook belangrijk, omdat tijdens een proefrit de tijd of de aandacht niet altijd in voldoende mate aanwezig is om alle informatie op te nemen, de klant is immers druk bezig met het wennen aan een nieuw voertuig.

Uit een recent belevingsonderzoek bleek dat bestuurders die in een onbekend voertuig plaatsnemen soms maar zeer beperkt informatie uit de omgeving meekrijgen (Prins, Voskuil, Van der Linde, & Morsink, 2019). Ten aanzien van de systeembeperkingen lijken de autoverkopers met name diverse aspecten uit te leggen als er zich tijdens de dynamische instructie verkeerssituaties voordoen waarbij de bijbehorende instructie van belang is. De informatie wordt dan ad hoc aangeboden.

4.2.3 Verkoperstraining: ADAS-kennis bij de merkdealer

De verkoopmedewerkers van de Volvo, Toyota, Audi en Ford dealerbedrijven vertelden elk individueel van elkaar dat zijzelf ook enige vorm van training krijgen over de voertuigtechniek die zij moeten verkopen. De dealers krijgen deze trainingen doorgaans op het moment dat er nieuwe automodellen worden geïntroduceerd. Deze 'trainingen' tijdens die modelintroducties blijken vooral gefocust te zijn op het uitleggen van de ADAS bedieningsinstrumenten: waar zit welk knopje en hoe is het allemaal in te stellen? Wanneer er tijdens de modelintroductie ook proefgereden kan worden omvat de instructie ook het rijden met de ADAS functies. Soms wordt er een afgesloten terrein gehuurd voor deze activiteiten. Het laat zich raden dat de testmogelijkheden voor de diverse ADAS functies beperkt zijn op zo'n terrein. Sommige importeurs organiseren ook trainingen op de openbare weg. De Volvo en Audi verkopers wisten te melden dat deze trainingen verzorgd worden door de rij-instructeurs van Prodrive Academy, maar zeiden er niet bij of dit altijd het geval is of dat deze rij-instructeurs incidenteel worden ingeschakeld.

Naarmate de gesprekken in een verder gevorderd stadium belandden en de verkoopmedewerkers meer gedetailleerdere vragen gesteld werden, was men zichtbaar aan het nadenken. In het geval van de rijstrookassistentie vertelden de verkopers van Ford, Toyota, Volvo en Subaru dat het systeem mogelijk minder presteert als er sprake is van (veel) regen of fel tegenlicht. Deze kennis was blijkbaar wel paraat bij deze dealers. De Ford en Toyota verkopers klonken enigszins verbaasd nadat de onderzoeker mededeelde dat de gebruikershandleiding geen duidelijkheid schept over wanneer een bocht wel/niet te scherp is: *"Tja, ik weet ook niet hoe je vooraf weet of een bocht te scherp is."* Elke gesproken autoverkoper meldde vervolgens dat hun klanten geïnstrueerd worden te allen tijde het stuurwiel vast te houden, waarmee zij leken te denken dat daarmee het probleem was opgelost. Het kan echter ook een sociaal wenselijk antwoord zijn geweest, gelet op de wettelijke verplichting om zelf het stuurwiel ter hand te nemen. Gelet op de bevindingen uit Hoofdstuk 1 en 2 is het echter ook niet redelijkerwijs mogelijk voor een autoverkoper om antwoorden op vragen over ODD-grenzen te hebben. Het is daarom des te belangrijker dat de ADAS-kennis van de autoverkoper dan tenminste kennis omvat over de kennislacunes rondom de systeembeperkingen. Dat zou de autoverkoper dan tenminste in staat stellen om een klant te instrueren over de onzekerheden die er nu nog zijn, zodat men daar het rijgedrag op af kan stemmen.

4.2.4 Resumerend

Alle autodealers beweren dat hun klanten geïnformeerd en geïnstrueerd worden over de rijhulpsystemen aan boord van het voertuig. De informatie blijkt echter in eerste instantie beperkt te blijven tot het bedienen van de diverse systemen (aan/uitzetten). Elke autodealer zegt met name te kiezen voor een dynamische instructievorm, tijdens de proefrit, de aflevering, of op beide momenten. Bij sommige dealers wordt men aangeboden om na verloop van tijd nog eens terug te komen bij onduidelijkheden. De dealers leken zich niet te beseffen dat de klant dan al een tijdje heeft rondgereden met die

onduidelijkheid over een functionaliteit van het voertuig. Informatie en instructie lijkt ook selectief te worden aangeboden aan autokopers. Hoewel de autoverkopers zelf geïntroduceerd worden aan nieuwe voertuigmodellen, lijkt het er niet op dat de aangeboden training hen voorzien heeft van inzicht in de kennislacunes rondom de systeembeperkingen van diverse ADAS. Met name dat laatste zou een waardevolle toevoeging kunnen zijn aan het kennisniveau van de autodealer, omdat het een stukje bewustwording zou kunnen creëren dat de autodealer kan overdragen op de autokoper.

Disclaimer: Deze onderzoeksstap tracht aan te kaarten waar de informatievoorziening van autodealers aan autokopers wellicht verbetert kan worden. De beschreven bevindingen zijn niet per definitie in alle gevallen exemplarisch voor alle autodealers in Nederland en ook binnen diverse autodealers van eenzelfde merk kunnen verschillen zijn in de mate van informatie- en instructievoorziening. Deze onderzoeksstap tracht echter een zo goed mogelijk indicatief beeld te schetsen van de gebreken in de informatievoorziening die zouden kunnen optreden bij autodealers.

4.3 Voertuigveiligheidstests & VN regelgeving

In de probleemstelling werd geconstateerd dat het testen van LKS onder gelijke, geconditioneerde omstandigheden ter borging van de onderlinge vergelijkbaarheid van voertuigen tegelijkertijd ook zorgt voor een verslechterde vergelijkbaarheid van LKS prestaties onder variabele omstandigheden zoals een weggebruiker die op de openbare weg tegenkomt. Ten tijde van het opstellen van het plan van aanpak werd de onderzoeker aangeboden om gebruik te maken van Euro NCAP testgegevens, om er een vergelijking mee te maken met de gegevens uit de eigen veldtests. Deze optie is echter afgevallen, waardoor de derde deelvraag met behulp van de bevindingen uit de literatuur getracht zijn te beantwoorden.

4.3.1 Voertuigveiligheidstests

4.3.1.1 Voorwaarden aan de testomgeving

De testomgeving en testprocedure zoals de VN richtlijn en de Euro NCAP testprotocollen dat omschrijven bevatten zeer gestandaardiseerde condities. Zo worden de Euro NCAP tests alleen uitgevoerd bij daglicht (>2000 lux), zonder schaduw van objecten over het testpad, in droge condities, zonder fel tegenlicht van de zon, zonder vallende bladeren of vervuiling op het testterrein. Verder mogen er zich geen onregelmatigheden zoals putdeksels of scheuren in het asfalt binnen een afstand van 3 meter bevinden van het testpad. Het testterrein moet verder zo vlak mogelijk zijn en zelfs het gripniveau van de verharding is gespecificeerd (Euro NCAP, 2019c).

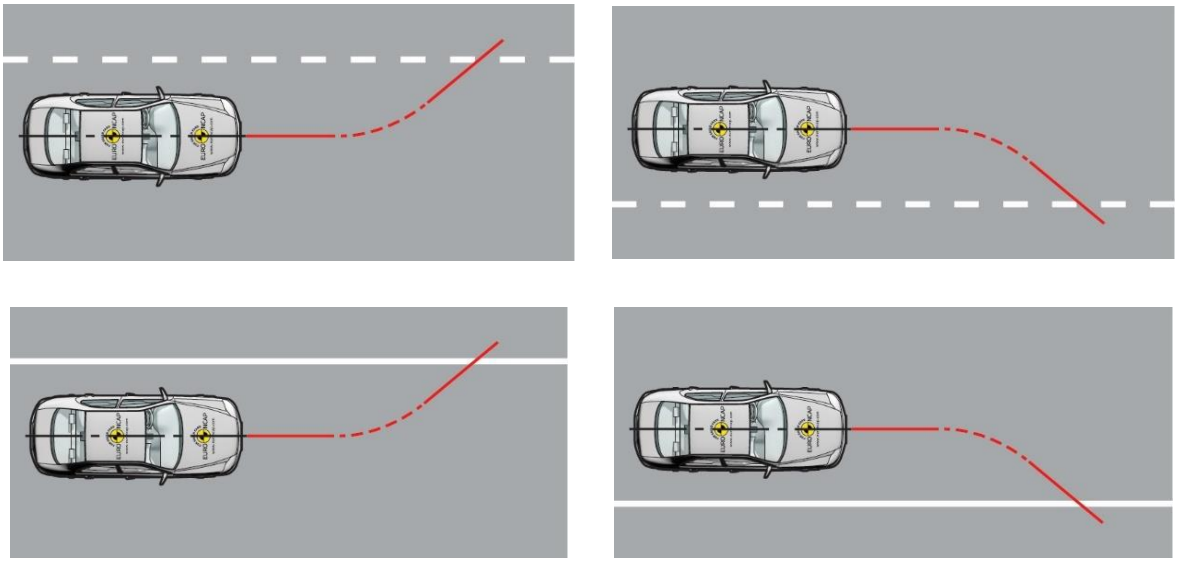
Daarnaast is de rijstrook waarop getest wordt 3,5 tot 3,7 meter breed en is de onderbroken en doorgetrokken markering 10 tot 25 centimeter breed. Er wordt met een snelheid van 72 ±1 km/u getest. Het weer moet zodanig helder zijn dat de zichtafstand minimaal een kilometer bedraagt en de windsnelheid mag maximaal 10 m/s bedragen. De temperatuur moet tussen de 5 en 40 graden celsius zijn. Ook zijn er allerlei eisen aan het testvoertuig, ten aanzien van bandenspanning, massa's en het prepareren van het voertuig (Euro NCAP, 2019c). De testvoorwaarden zijn grotendeels gelijk aan de eisen die gesteld worden in het VN reglement, echter is de VN regelgeving op sommige punten net ietsje minder streng dan de Euro NCAP. Zo mag bijvoorbeeld de testsnelheid afwijken met ±2 km/u (United Nations, 2018).

4.3.1.2 Testprocedure

Op een rechte rijstrook zoals hierboven beschreven wordt de Lane Keep Assist functie van het voertuig getest door deze met een steeds iets oplopende laterale snelheid op de markering af te laten rijden. Aan weerszijden van de rijstrook wordt het LKA getest, zowel bij onderbroken als bij doorgetrokken markeringsconfiguraties (Figuur 21). Na elke poging wordt de laterale snelheid stapsgewijs verhoogd met 0,1 m/s per keer, binnen de range van 0,2 tot 0,5 m/s. Daarbij wordt gespecificeerd dat de MLP voorafgaand aan de stuurbeweging maximaal 5 centimeter mag afwijken van het rijstrookmidden. De test wordt als compleet beschouwd als (Euro NCAP, 2019c):

- Het LKA er niet in slaagt om het voertuig binnen de toegestane overschrijdingsafstand te houden;
- Het LKA er in slaagt om het voertuig binnen de toegestane overschrijdingsafstand te houden, zodanig dat er een maximale laterale positie is bereikt die vervolgens afneemt door het terugbewegen van het voertuig richting het rijstrookmidden.

Deze overschrijdingsafstand betreft de afstand waarmee het voertuig over de rijstrookmarkering rijdt. Het is echter niet duidelijk te achterhalen in de protocollen en regelgeving wat deze maximale afstand dan mag zijn.



Figuur 21: De vier Lane Keep Assist tests van de Euro NCAP (2019c) met onderbroken en doorgetrokken markeringen.

4.3.2 VN regelgeving

In de meest recente revisie (revisie 4) van het VN reglement UNECE-R079 staat vermeld waaraan systemen met betrekking tot de stuurinrichting van voertuigen moeten voldoen. Hierin staat onder andere dat een actief CSF systeem, binnen de grenzen van het ODD, er altijd voor moet zorgen dat het voertuig de markering niet overschrijdt zolang de laterale acceleratie onder de maximale laterale acceleratie blijft die de voertuigfabrikant zelf opgeeft. Die waarde mag met maximaal 0,3 m/s^2 overschreden worden, mits het niet de grenswaarden in Tabel 12 overschrijdt (United Nations, 2018). Deze laterale versnelling wordt gemeten op de plek van het centrale zwaartepunt. Wanneer deze bovengrens van 3,0 m/s^2 overschreden moet worden om de bocht te kunnen ronden, dan mag het systeem deze taak niet uitvoeren. De bestuurder moet boven deze grens zelf sturen. Dit is zo in het reglement

vastgelegd om excessieve stuuringrepen van het systeem te voorkomen, zodat de bestuurder niet te maken krijgt met (onverwachte) forse stuuringrepen (United Nations, 2018).

Tabel 12: Grenswaarden voor de maximale laterale acceleratie (United Nations, 2018).

Speed range	10-60 km/h	>60-100 km/h	>100-130 km/h	>130 km/h
Maximum value for the specified maximum lateral acceleration	3 m/s^2	3 m/s^2	3 m/s^2	3 m/s^2
Minimum value for the specified maximum lateral acceleration	0 m/s^2	0,5 m/s^2	0,8 m/s^2	0,3 m/s^2

4.3.3 Resumerend

Kortom, door al deze eisen te stellen aan de wijze waarop de Lane Keeping Assist prestaties worden getest, zorgen de VN en de Euro NCAP er eigenlijk voor dat haar testresultaten praktisch onvergelijkbaar worden met elke willekeurige verkeerssituatie. De kans dat er een automobilist rondrijdt op een locatie en op een tijdstip waaraan precies aan al deze (en meer) voorwaarden wordt voldaan is vrijwel nihil. Daarnaast komen veel voorwaarden aan het testterrein zelf niet overeen met de infrastructuur zoals deze op de openbare weg te vinden is. Dit is bijvoorbeeld te herleiden uit de eis dat het testterrein zo vlak mogelijk moet zijn, terwijl bochten op de openbare weg vaak ook een bepaald verkantingspercentage kennen. Daarnaast is het testen van voertuigen met een snelheid van 72 km/u op een rijstrookbreedte van >3,5 meter ook niet overeenkomstig met de situatie op de openbare weg. Rijstroken van >3,5 meter zijn doorgaans te vinden op autosnelwegen, alwaar de toegestane snelheden meestal hoger liggen dan 72 km/u. Dit betekent dat de situaties die automobilisten tegenkomen op de openbare weg zwaardere omstandigheden kennen voor een rijstrookassistentiesysteem dan waarmee hun voertuigen getest zijn en een typegoedkeuring hebben gekregen. Het is hierdoor niet ondenkbaar dat de grenzen van het ODD van rijstrookassistentiesystemen op de openbare weg eerder bereikt worden dan dat dit het geval is in de testomgeving. Er kan dan sprake zijn van een discrepantie tussen de verwachtingen die de autoconsument heeft van een goed beoordeelde LKS en de werkelijke capaciteiten van het LKS in verkeerssituaties die niet gelijk zijn aan die van de Euro NCAP testprocedure. Het is bovendien zeer aannemelijk dat het merendeel van de autobestuurders geen adequaat inzicht heeft in de details van deze testprocedure. Dit kan eraan bijdragen dat de gemiddelde autobestuurder ook niet in staat *kan* zijn om de mogelijke discrepantie tussen zijn verwachtingen en de werkelijke capaciteiten van het LKS in te schatten.

4.4 K-factoren onderzoekslocaties

Zoals in de Paragrafen 2.3.2 en 3.2.2 werd geschetst kan de zogenaamde K-factor gebruikt worden als een indicator dat iets tracht te zeggen over de bochtscherpte. Het geeft namelijk weer in hoeverre het verkeer vertraagd voor een bepaalde bocht. Hoe groter die vertraging (hoe lager de K-factor), hoe noodzakelijker de weggebruiker het vindt om te vertragen voor de bocht in kwestie. In bogen met een hoge K-factor ervaren automobilisten klaarblijkelijk geen noodzaak om de snelheid te reduceren. Dit kan hierom een mogelijke indicator zijn om het verschil tussen flauwe en scherpe bogen aan te duiden.

Er is dus behoefte aan een vergelijking tussen de snelheid waarmee het LKS een bocht kan bedwingen en de K-factor van die bocht. Hiervoor moet eerst de K-factor worden berekend voor de onderzoekslocaties. Volgens de auteur van de ROA kan dat op basis van de ontwerpsnelheid, de gereden snelheid, of een combinatie daarvan (Vos, 2019). Data over de gereden snelheid is verkregen voor de beide

onderzoekslocaties te Hoevelaken (1e en 2e knik) en de onderzoekslocatie te Rijnsweerd. Deze snelheidsdata is verkregen uit de meetlussen in het wegdek, op meerdere punten voor, in en na de bochten. De afrit bij Rijnsweerd en de beide locaties op de provinciale weg bevatten geen meetlussen (of verkeerd gelokaliseerde meetlussen), waardoor voor deze locaties geen snelheidsgegevens beschikbaar zijn.

Freeflow snelheid

Om de K-factoren te berekenen is het binnen de context van deze masterproef wenselijk geacht om hierbij de berekening te baseren op deze *freeflow* snelheid, omdat deze snelheid volgens de onderstaande definitie het best het natuurlijke rijgedrag van de automobilist benadert. De gemiddelde snelheid in die toestand zou hierom een goed beeld moeten geven van wat de menselijke autobestuurder een geschikte rijsnelheid vindt in een bepaalde bocht. *Freeflow* kan het best vertaald worden als de situatie waarin er sprake is van een vrije afwikkeling van het verkeer (MinIenM, 2014). Het betekent in de praktijk dat elke automobilist een snelheid kan aanhouden die men wenselijk dan wel acceptabel acht op dat ogenblik, zonder dat er sprake is van afremmende factoren als file of extreem weer. Deze *freeflow*-situaties zullen dus voornamelijk buiten de spitsperioden plaatsvinden.

Waar de vergaarde snelheidsgegevens dit toelaten zijn de berekeningen gemaakt op basis van de gemiddelde snelheden gemeten in de voertuigcategorie <5,6 meter, om zo uitsluitend naar de snelheid van personenauto's te kijken. Waar dit niet voorhanden was, is gebruik gemaakt van de gemiddelde snelheid van alle voertuigen tezamen. Er zijn twee momenten uitgezocht om de *freeflow* snelheid op te baseren, één in de avonduren en één gedurende de dag. De veldtesten zijn immers ook overdag en 's avonds uitgevoerd en het kan zijn dat er overdag en 's avonds verschillen zijn tussen de gemiddelde gereden snelheden. Om hiermee rekening te houden wordt de *freeflow* snelheid bepaald op basis van de gemeten snelheden binnen de onderstaande tijdsintervals:

- Freeflow (avond): van 22:00 t/m 04:59 uur
- Freeflow (dag): van 10:00 t/m 14:59 uur

Locatie Rijnsweerd

Op basis van de snelheidsgegevens (in Bijlage 4) zijn de K-factoren berekend in Tabel 13. Er zijn twee meetlussen gesitueerd in het traject voor de bocht. Het weefvak dat voor de bocht ligt, kent een lagere gemiddelde snelheid dan het wegvak dáárvoor, zo blijkt uit de meetlusgegevens enkele tientallen meters verder stroomopwaarts op de A28. Hierom zijn de K-factoren berekend met de snelheidsgegevens van beide meetlussen apart van elkaar, om na te gaan welke verschillen dit teweeg brengt. Dit alles resulteert in de K-factoren in Tabel 13.

Tabel 13: K-factoren locatie Rijnsweerd, o.b.v. twee meetlussen vóór de bocht.

K-Factoren o.b.v. gemeten snelheden				CROW classificatie
	a) bocht	b) weefvak	K = a / b	
22:00 - 04:59	80,14	89,00	0,900	Veilig
10:00 - 14:59	72,60	74,40	0,976	Veilig
K-Factoren o.b.v. gemeten snelheden				**CROW classificatie**
	a) bocht	c) A28	K = a / c	
22:00 - 04:59	80,14	96,71	0,829	Veilig
10:00 - 14:59	72,60	76,60	0,948	Veilig
K-Factoren o.b.v. max. toegestane snelheid				**CROW classificatie**
	a) bocht	d) voor bocht	K = a / d	
22:00 - 04:59	80	100	0,800	Veilig
10:00 - 14:59	80	100	0,800	Veilig

Locatie Hoevelaken

Op basis van de snelheidsgegevens (in Bijlage 4) zijn de K-factoren berekend in Tabel 14. Er is één meetlus gesitueerd op het rechte wegvak vóór de 1e knik, de tweede meetlus bevindt zich aan het begin van de 1e knik terwijl de derde meetlus zich aan het begin van de 2e knik bevindt.

Tabel 14: K-factoren locatie Hoevelaken.

K-Factoren 1e knik o.b.v. gemeten snelheden				CROW classificatie
	a) 1^{e} knik	b) recht	K = a / b	
22:00 - 04:59	87,71	96,00	0,914	Veilig
10:00 - 14:59	88,40	91,80	0,963	Veilig
K-Factoren 2^{e} knik o.b.v. gemeten snelheden				**CROW classificatie**
	c) 2^{e} knik	d) 1^{e} knik	K = c / d	
22:00 - 04:59	89,57	87,71	1,021	Veilig
10:00 - 14:59	91,20	88,40	1,032	Veilig
K-Factoren o.b.v. max. toegestane snelheid				**CROW classificatie**
	e) bocht	f) voor bocht	K = e / f	
22:00 - 04:59	100	100	1,000	Veilig
10:00 - 14:59	100	100	1,000	Veilig

5 RESULTATEN DEEL B: FIELD OPERATIONAL TESTS

In het vierde kwartaal van 2019 zijn een serie veldtests uitgevoerd met in totaal drie testvoertuigen. Dit hoofdstuk behandeld de resultaten van deze veldtests. Allereerst wordt er in Paragraaf 5.1 een analyse gemaakt van de datakwaliteit bij diverse meetfrequenties, om te kunnen bepalen met welke frequentie er gemeten moest worden om tot de gewenste nauwkeurigheid te kunnen uitkomen. Paragraaf 5.2 gaat in op de LKS prestaties van de voertuigen op twee rechte wegvakken, om een indruk te krijgen van hoe goed de voertuigen presteren als er geen bocht in zicht is. De paragrafen daarna gaan in op de resultaten op de onderzoekslocaties zelf.

5.1 Meetfrequentie

Hoe meer metingen er per seconde worden gedaan, hoe nauwkeuriger de laterale positiebepaling zal zijn. Echter levert een hoge meetfrequentie ook een hoge werklast op met betrekking tot de verwerkingstijd van de verzamelde onderzoeksdata. Bovendien kan het zo zijn dat een minder hoge meetfrequentie alsnog een voldoende mate van nauwkeurigheid oplevert. Hierom is een analyse uitgevoerd om te bepalen met welke frequentie de metingen uitgevoerd zouden worden.

Voor één videofragment[18] is de afstand tot de markering geregistreerd met de hoogst mogelijke meetfrequentie: 30 metingen per seconde beeldmateriaal (één meting elke 0,033 seconde). De videocamera's filmden immers met 30 frames per seconde (fps). Voor elk frame is de afstand tot de markering geregistreerd. Deze data is vervolgens meerdere malen gekopiëerd en naast elkaar in een spreadsheet geplaatst (figuur 22). In deze gekopiëerde kolommen zijn telkens waarden verwijderd, om uiteindelijk een x-aantal waarden per seconde over te houden. Deze bewerking is gedaan voor 30, 20, 15, 10, 5 en 3 metingen per seconde. Deze data is vervolgens in SPSS onder elkaar gezet waarna de gehele dataset eenmaal is gekopiëerd, om de N-waarde te verhogen. Door een enkelvoudige variantieanalyse (one-way ANOVA) uit te voeren is bepaald of de zes frequenties significant van elkaar verschillen. Uit de SPSS-output in Bijlage 5 valt af te leiden dat zowel de gemiddelden als de standaarddeviaties van alle zes meetfrequenties redelijk vergelijkbaar zijn. Uit de Levene's test blijkt dat verschillen in variantie tussen de verschillende meetfrequenties op toeval berusten (p=1.000). De verhouding tussen de variantie tussen en binnen de steekproeven (de F-waarde) is erg klein en allesbehalve significant (F=.001, p=1.000). Uit de Bonferroni-toets blijkt dat eventuele verschillen tussen meetfrequenties onderling ook geen van allen significant zijn: alle waarden zijn p=1.000.

30fps	20fps	15fps	10fps	5fps	3fps
62	62	62	62	62	62
62	62				
59		59			
57	57		57		
55	55	55			
55					
54	54	54	54	54	
50	50				
50		50			
48	48		48		
48	48	48			48
46					
45	45	45	45	45	
45	45				
44		44			
45	45		45		
45	45	45			
45					
45	45	45	45	45	
46	46				

Figuur 22: Verschillende meetfrequenties van één dataset.

[18] Auto A, daglicht, 1e knik Hoevelaken, 70 km/u, rechtercamera.

Dat er geen significante verschillen zijn tussen de diverse meetfrequenties betekent dat het verwerken van het beeldmateriaal met de laagste meetfrequentie (3fps) statistisch gezien niet tot andere resultaten zou moeten leiden dan een verwerking met een hogere frequentie. Dit kan tijdswinst opleveren in het verwerkingsproces.

Er is echter gekozen om niet de laagste meetfrequentie toe te passen, maar om 10 metingen per seconde uit te voeren (één meting per 0,1 seconde). Deze keuze is gemaakt vanwege de afstand die het voertuig aflegt tussen twee meetpunten. Wanneer een voertuig 80 km/u rijdt (22,22 m/s) dan zal het voertuig 7,4 meter hebben afgelegd tussen het ene en het andere meetpunt, als de beeldverwerking uitgevoerd wordt met de laagste meetfrequentie van 3fps. Door deze frequentie op te hogen naar 10fps zal de afgelegde afstand tussen twee meetpunten gereduceerd zijn tot 2,2 meter (bij 80 km/u). De onderzoeker beschouwd de meetfrequentie van 10fps dan ook als nauwkeuriger. Desondanks levert deze meetfrequentie wel een forse werklastreductie op, aangezien slechts éénderde van de maximaal mogelijke meetpunten (10 van de 30fps) verwerkt hoeft te worden.

5.2 LKS prestaties: nulmeting

Alvorens naar de LKS prestaties van de testvoertuigen in bochten te gaan kijken wordt er in deze Paragraaf eerst ingezoomd op de LKS prestaties op rechte wegvakken. Dit is bedoeld als een nulmeting van de rijstrookassistentiesystemen. Voorafgaand aan de onderzoekslocaties te Hoevelaken en Leusden zijn geschikte rechte wegvakken gesitueerd welke met ingeschakelde LKS zijn gereden op de maximum toegestane snelheid. De werkwijze zoals in Hoofdstuk 3 is beschreven is ook toegepast om deze nulmeting uit te voeren. De resultaten staan samengevat weergegeven in Tabel 15.

Tabel 15: De LKS prestaties van de drie voertuigen op rechte wegvakken.

Wegtype & snelheid	Indicator	Daglicht			Duister		
		Auto A	Auto B	Auto C	Auto A	Auto B	Auto C
Provinciale weg 80 km/u (22,22 m/s)	Aantal frames in meting	40	39	40	-	39	46
	Duur meting (s)	12	11,7	12	-	11,7	13,8
	Afstand meting (m)	267	260	267	-	260	307
	MLP (cm, $DTLE_R$)	**3**	**-15**	**-1**	-	**6**	**0**
	SDLP (cm, $DTLE_R$)	**1**	**9**	**11**	-	**6**	**6**
	NODC	23	20	18	-	24	27
	NODC per 100m	8,63	7,69	6,75	-	9,23	8,81
Auto-snelweg 100 km/u (27,78 m/s)	Aantal frames in meting	32	40	35	-	42	40
	Duur meting (s)	9,6	12	10,5	-	12,6	12
	Afstand meting (m)	267	333	292	-	350	333
	MLP (cm, $DTLE_R$)	**2**	**16**	**33**	-	**16**	**7**
	SDLP (cm, $DTLE_R$)	**6**	**2**	**13**	-	**5**	**14**
	NODC	16	20	16	-	23	16
	NODC per 100m	6,00	6,00	5,49	-	6,57	4,80

*Kleurenlegenda: **High**, **Medium** & **Low** performance. Zie Paragraaf 3.1.1.4 voor een toelichting.*

Er is niet met Auto A gereden in de avond onder droge condities, die mogelijkheid deed zich niet voor tijdens de periode waarin dit voertuig beschikbaar was voor dit onderzoek. Bij de ritten bij daglicht is te zien dat Auto A op beide wegvakken licht naar rechts afwijkt van het rijstrookmidden[19]. Bij de andere twee voertuigen is duidelijk een grotere afwijking ten opzichte van het rijstrookmidden te zien. Ook laten Auto's B en C betere prestaties zien in het donker; Auto B met name op de provinciale weg en Auto C kent op beide wegen betere prestaties in het donker. Dit ligt in lijn met eerdere bevindingen uit de literatuur en kan mogelijk verklaard worden door de betere contrastverschillen tussen de witte markering in het licht van de koplampen en het donkerkleurige wegdek.

Op de provinciale weg wordt duidelijk vaker een stuuringreep gedaan, zo laat de NODC zien. Dat kan verklaard worden doordat op de smallere rijstrook eerder een rijstrookmarkering genaderd wordt dan op een bredere rijstrook. Met name in combinatie met een lage SDLP-waarde betekent een hoge NODC/100m dat er kleine, subtiele stuuringrepen worden gedaan door het LKS. Volgens de IIHS is dat positief, aangezien dit bestuurders het vertrouwen zou geven dat het LKS de situatie onder controle heeft. Dit in tegenstelling tot een merkbaar slingergedrag en abrupte ingrepen (IIHS, 2018a).

Ten aanzien van de MLP hebben met name Auto B en C een minder goede prestatie laten zien. Een afwijking van 15 centimeter naar de linkerkant van het rijstrookmidden (Auto B) kan op de provinciale weg betekenen dat de afstand tussen het voertuig en een tegenligger als (te) krap en/of oncomfortabel wordt beschouwd. Eenzelfde afwijking naar rechts is op de autosnelweg doorgaans niet echt een probleem, tenzij men rijdend op de linkerrijstrook een voertuig wil inhalen dat op de rechterrijstrook rijdt. Een gemiddelde afwijking van 33 centimeter naar rechts (Auto C) kan de veiligheidsmarges nog verder verkleinen, zeker wanneer de SDLP ook nog eens 13 centimeter bedraagt. Daar komt bij dat Auto C ook steevast de laagste NODC/100m laat zien, wat in combinatie met de hogere SDLP suggereert dat het slingergedrag van het voertuig relatief groter en abrupter is in vergelijking met de Auto's A en B.

Ondanks dat de meeste MLP- en SDLP-waarden volgens de bandbreedtes de classificatie 'high performance' toebedeeld krijgen en het (letterlijk) om centimeters gaat (33 cm is iets langer dan een A4 papiervel), valt er nog wel wat op de prestaties aan te merken. Met name de combinatie van hoge(re) waarden voor zowel MLP als SDLP is onwenselijk.

5.3 LKS prestaties: onderzoekslocaties

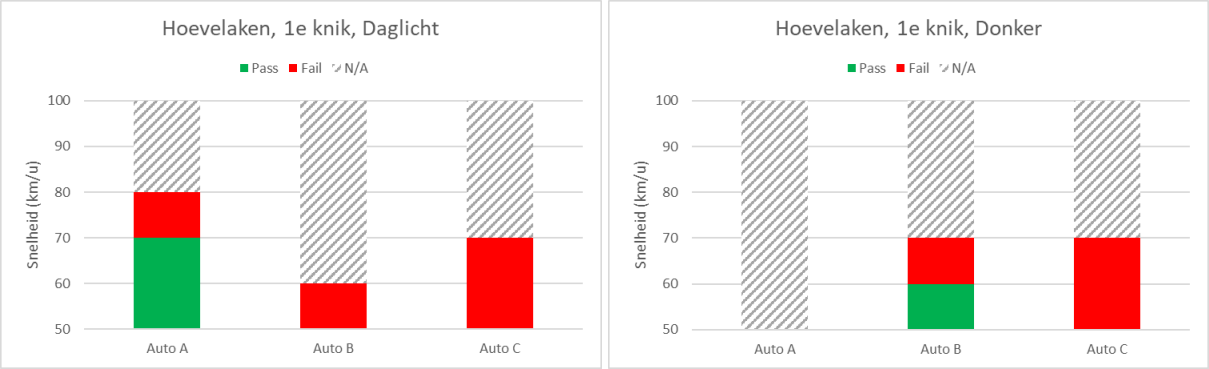
Deze paragraaf zal een overzicht geven van de geslaagde en niet-geslaagde testritten van de drie voertuigen. De getoonde grafieken geven per locatie, per voertuig en per lichtsterkte weer in hoeverre het LKS van het desbetreffende voertuig in staat bleek te zijn om de bocht te kunnen nemen op een bepaalde snelheid zonder de lijn te overschrijden en zonder dat er een ingreep nodig was. Zodoende wordt een globale grens van het ODD geschetst; bij welke snelheid kan het LKS het niet meer zelf? Daarnaast worden er ook tabellen gepresenteerd waarin staat weergegeven bij welke condities het LKS niet in staat was om het voertuig binnen de rijstrookgrenzen te houden en/of wanneer het LKS door de bestuurder werd overruled. Deze informatie staat in een uitgebreidere vorm weergegeven in Bijlage 6. Bijlage 6 toont daarbij ook de condities waarin het LKS wél in staat was om het voertuig in een juiste baan te leiden.

[19] Laterale positie o.b.v. $DTLE_R$: MLP>0 is een afwijking naar rechts, MLP<0 is een afwijking naar links.

5.3.1 Hoevelaken

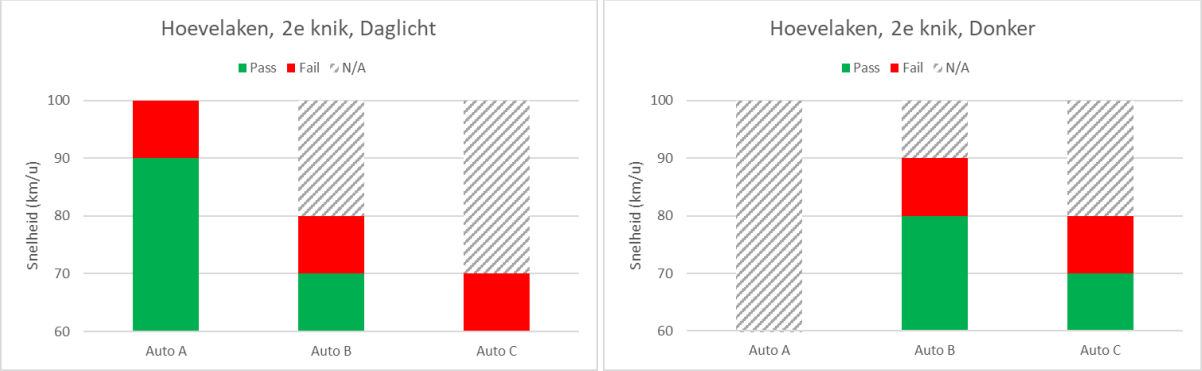
De eerste knik op de locatie Hoevelaken blijkt een lastige bocht te zijn voor de testauto's. Figuur 23 toont een globaal overzicht van waar de grens van de voertuigen ongeveer ligt. Zo is te zien dat het LKS van Auto A in daglichtcondities het voertuig in de bewuste bocht met 70 km/u weet te handhaven. Bij 80 km/u houdt het LKS van Auto A er echter mee op.

Auto B presteert nog minder, 60 km/u is al te veel voor deze auto. Opvallend is dat Auto B die 60 km/u wel kan halen zodra het donker is. Auto C moest vanaf 70 km/u getest worden, omdat de activatie-snelheid van dit voertuig pas bij 65 km/u bereikt wordt. Zowel overdag als 's avonds is deze bocht ook voor Auto C te veel van het goede.



Figuur 23: Een overzicht van de veldtestresultaten bij daglicht en duister, 1e knik Hoevelaken.

In de tweede knik op locatie Hoevelaken deden de drie voertuigen het al een stuk beter. De stuurassistentie van Auto A wist tot en met 90 km/u het voertuig tussen de lijnen te houden. De maximaal toegestane snelheid van 100 km/u was echter te hoog gegrepen. Ook hier is weer te zien dat Auto B beter presteert in het donker, terwijl nu ook Auto C op de laagst mogelijke snelheid de bocht kan halen in het donker.



Figuur 24: Een overzicht van de veldtestresultaten bij daglicht en duister, 2e knik Hoevelaken.

In Tabel 16 staan de LKS prestatie indicatoren weergegeven voor de beide bochten te Hoevelaken, gesorteerd per lichtsterkte en voertuig. De getoonde waarden behoren tot de rijsnelheid waarop het desbetreffende voertuig niet in staat was om zelf binnen de markering te blijven. Wat opvalt is dat de voertuigen alle drie het LKS uitschakelden op enig moment gedurende de manoeuvre (LKS switch-off). Dat kan zijn veroorzaakt door vele invloedsfactoren, zoals het niet (meer) herkennen van de markering, bijvoorbeeld. Opvallend is echter wel dat op het moment dat het LKS in de standby modus ging, de

laterale versnelling in alle gevallen ruim boven de 3,0 m/s^2 ligt, de grens die de VN gesteld heeft. Dat de MLP en SDLP waarden er een stuk minder gunstig uitzien dan in de rechtuit-situatie kan mogelijk verklaard worden door twee aspecten. Enerzijds wordt er meer gestuurd omdat het bochten betreffen, anderzijds nam de bestuurder de rijtaak weer over nadat het LKS ermee ophield. Een plotselinge (handmatige) stuurcorrectie kan daarom ook geleid hebben tot de maximale laterale snelheid en acceleratie.

Tabel 16: De waarden behorende tot de momenten waarop het LKS niet (goed) werkte of overruled werd (Hoevelaken).

Locatie	LKS Prestatie Indicator	Daglicht			Duister		
		A	B	C	A	B	C
Hoevelaken 1e knik	Testsnelheid	80	60	70	-	60	70
	Reden voor falen	LKS Switch-off	LKS Switch-off	LKS Switch-off	-	LKS Switch-off	LKS Switch-off
	Lat.speed @faalmoment	1,6	1,5	0,5	-	0,6	2
	Lat.accel @faalmoment	**6**	**8**	**-6**	-	**-11**	**15**
	Max.Lat.speed	1,9	2,2	2,8	-	2,5	2,6
	Max.Lat.accel	**7**	**13**	**-17**	-	**-15**	**15**
	MLP 1^e 5 metingen	33	-21	11	-	-7	-3
	MLP	**15**	**24**	**17**	-	**20**	**-25**
	SDLP	**33**	**48**	**34**	-	**42**	**43**
	NODC/100m	5	9,78	7,2	-	8,51	8,867
Hoevelaken 2e knik	Testsnelheid	100	80	70	-	90	70
	Reden voor falen	LKS Switch-off	LKS Switch-off	LKS Switch-off	-	LKS Switch-off	LKS Switch-off
	Lat.speed @faalmoment	1,8	1	1	-	1,6	1,8
	Lat.accel @faalmoment	**15**	**6**	**5**	-	**14**	**7**
	Max.Lat.speed	2,9	1	2,5	-	5	1,8
	Max.Lat.accel	**29**	**6**	**-15**	-	**-18**	**8**
	MLP 1^e 5 metingen	1	13	9	-	15	22
	MLP	**9**	**11**	**-11**	-	**-16**	**1**
	SDLP	**20**	**10**	**32**	-	**48**	**37**
	NODC/100m	4,8	6,429	9,474	-	8,75	10,1

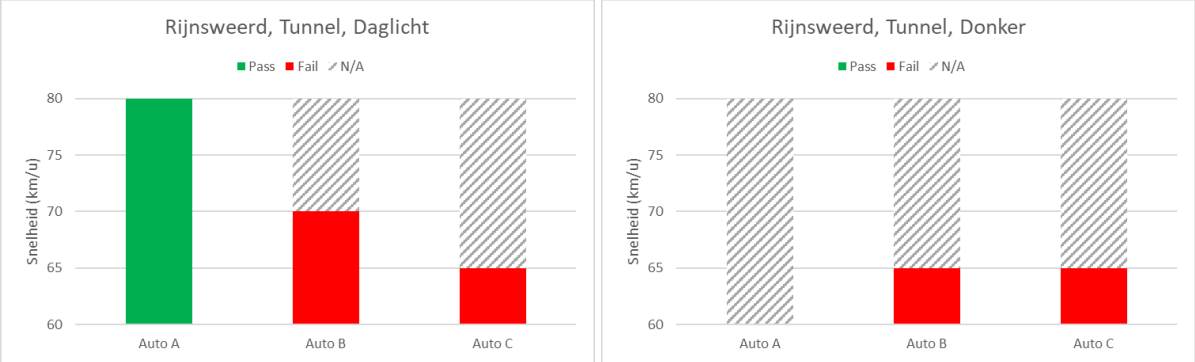
*Kleurenlegenda: **High**, **Medium** & **Low** performance. Zie Paragraaf 3.1.1.4 voor een toelichting.*

5.3.2 Rijnsweerd

Knooppunt Rijnsweerd bestond ook uit twee geselecteerde bochten. De afrit Rijnsweerd was vanwege de zeer krappe boogstraal interessant. Hoewel het enigszins te verwachten viel, bleek bij alle drie voertuigen dat de laagst mogelijke snelheid om de stuurassistentie ingeschakeld te houden niet laag genoeg te zijn om de bocht te kunnen nemen. Van deze bocht is dus geen relevante data vergaard. Uit een recent belevingsonderzoek bleek echter wel dat er automobilisten bestaan die de verwachting hadden dat het voertuig na het uitvoegen ook wel zelf de daaropvolgende bocht van de afrit kon nemen (Prins, Voskuil, Van der Linde, & Morsink, 2019). Het aansterken van de driehoeksverhouding mens-voertuig-infrastructuur blijft op dit punt daarom nog onverminderd relevant.

Wel zijn er gegevens vergaard van de andere bocht op knooppunt Rijnsweerd. Dit betrof een tweestrooks verbindingsboog van de A28 welke onder de A27 afbuigt en vervolgens op de A27 aansluit. Rijkswaterstaat heeft ter plaatse de snelheidslimiet verlaagd naar 80 km/u. Het bleek dat alleen Auto A in staat was om hier met een ingeschakelde LKS te rijden. Auto A wist ook de maximumsnelheid te kunnen aanhouden terwijl de stuurassistentie de auto tussen de lijnen hield. Zowel bij Auto B als Auto C bleek er sprake te zijn van een vroegtijdig deactiveren van de stuurassistent. Op het rechte wegvak

voor de bocht werkte de LKS van beide auto's normaal, maar bij het naderen van de bocht hielden beide systemen ermee op. Auto B probeerde nog wel een stuurbeweging in te zetten maar deactiveerde zichzelf daarna ook direct. Daarnaast leek Auto A gevoelsmatig bij de poging op 80 km/u wat onrustiger te zijn dan bij lagere snelheden, met name bij het uitkomen van de onderdoorgang. De drie testvoertuigen leken allen hierbij te moeten acclimatiseren aan de snel veranderende lichtsterktes. De camera kan wellicht tijdelijk verblind zijn geraakt (Figuur 26).



Figuur 25: Een overzicht van de veldtestresultaten bij daglicht en duister, Tunnel Rijnsweerd.

Figuur 26: Een camera kan tijdelijk verblind zijn bij snel wisselende lichtsterktes (rijdvolgorde: v.l.n.r.).

In Tabel 17 staan de LKS prestatie indicatoren weergegeven voor de bocht te Rijnsweerd, gesorteerd per lichtsterkte en voertuig. De getoonde waarden behoren tot de rijsnelheid waarop het desbetreffende voertuig niet in staat was om zelf binnen de markering te blijven, behalve Auto A bij daglicht. Ondanks (te) hoge versnellingswaarden heeft dit voertuig de bocht wel met het LKS gereden. Wat opvalt is dat de andere twee voertuigen het LKS uitschakelden op enig moment gedurende de manoeuvre (LKS switch-off). Opvallend is dat op het moment dat het LKS in de standby modus ging, de laterale versnelling in alle gevallen boven de 3,0 m/s^2 ligt, de grens die de VN gesteld heeft.

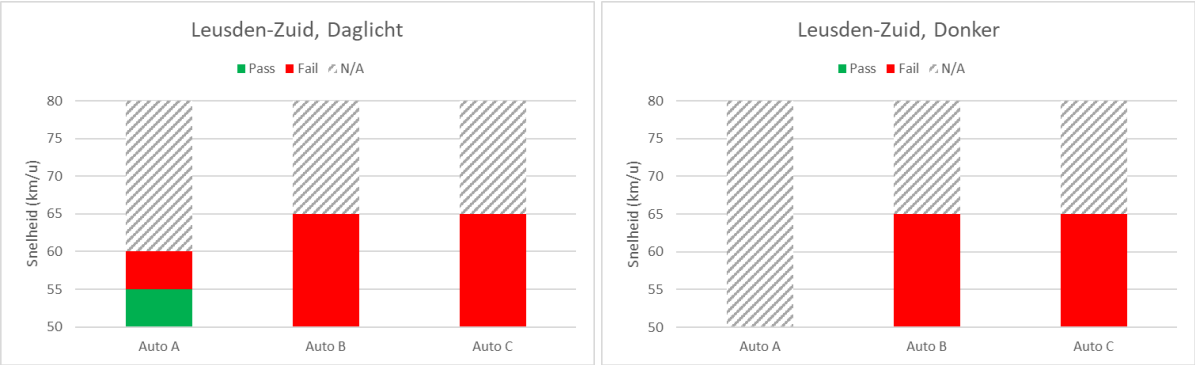
Tabel 17: De waarden behorende tot de momenten waarop het LKS niet (goed) werkte of overruled werd (Rijnsweerd).

Locatie	LKS Prestatie Indicator	Daglicht			Duister		
		A	B	C	A	B	C
Rijnsweerd	Testsnelheid	80	65	70	-	65	70
	Reden voor falen	nvt	LKS Switch-off	LKS Switch-off	-	LKS Switch-off	LKS Switch-off
	Lat.speed @faalmoment	nvt	0,6	0,6	-	0,4	0,0
	Lat.accel @faalmoment	nvt	**4,0**	**5,0**	-	3,0	**4,5**
	Max.Lat.speed	1,1	3,5	2,3	-	1,6	1,2
	Max.Lat.accel	**8,0**	**25,0**	**-15,0**	-	**8,0**	**9,5**
	MLP 1e 5 metingen	2,0	22,0	20,0	-	27,0	-15,0
	MLP	**5,0**	**12,0**	**3,0**	-	**9,0**	**-13,0**
	SDLP	**12,0**	**37,0**	**29,0**	-	**24,0**	**19,0**
	NODC/100m	8,4	8,5	8,7	-	9,9	7,9

*Kleurenlegenda: **High**, **Medium** & **Low** performance. Zie Paragraaf 3.1.1.4 voor een toelichting.*

5.3.3 Leusden-Zuid

De provinciale weg N226 tussen Leusden-Woudenberg kent een typische inrichting zoals dat in heel Nederland te vinden is, conform de GOW type II richtlijnen. Hoewel er met bord en bochtschildjes wordt gewaarschuwd voor het naderen van deze bocht, geldt er geen aangepaste snelheidslimiet of adviessnelheid. Door een goede lijn uit te kiezen kan de menselijke bestuurder deze bocht wel nemen op de toegestane snelheid, maar voor de stuurassistentiesystemen bleek de minimale activatiesnelheid van 65 km/u al te hoog te zijn. Alleen Auto A was in staat om met 50 en 55 km/u deze bocht zonder tussenkomst van de bestuurder te nemen. 60 km/u was ook Auto A te hoog gegrepen.



Figuur 27: Een overzicht van de veldtestresultaten bij daglicht en duister, Leusden-Zuid.

In Tabel 18 staan de LKS prestatie indicatoren weergegeven voor de bocht te Leusden-Zuid, gesorteerd per lichtsterkte en voertuig. De getoonde waarden behoren tot de rijsnelheid waarop het desbetreffende voertuig niet in staat was om zelf binnen de markering te blijven. Wat opvalt is dat Auto C wel van een actieve LKS overging naar een standby LKS (LKS switch-off) terwijl de laterale versnelling op dat moment niet boven de 3,0 m/s^2 grens uitkwam die de VN gesteld heeft. Er is op dat ogenblik iets voorgevallen waardoor het LKS ermee ophield, de oorzaak komt echter niet in de dataset naar voren. Daarnaast is ook bij Auto A te zien dat het LKS overruled werd door de bestuurder. De poging daaraan voorafgaand (met 55 km/u) was nog maar net goed gegaan, maar in deze situatie zag de bestuurder zich genoodzaakt om eerder in te grijpen.

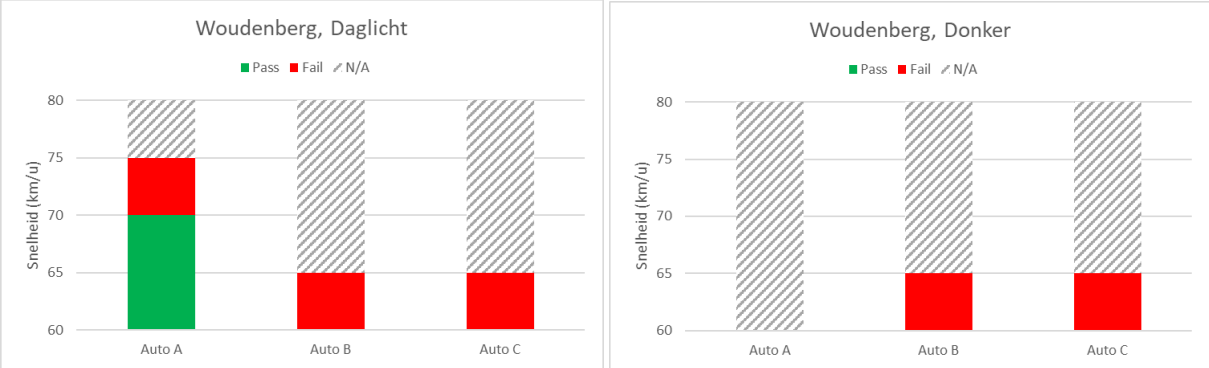
Tabel 18: De waarden behorende tot de momenten waarop het LKS niet (goed) werkte of overruled werd (Leusden-Zuid).

Locatie	LKS Prestatie Indicator	Daglicht			Duister		
		A	B	C	A	B	C
Leusden-Zuid	Testsnelheid	60	65	70	-	65	70
	Reden voor falen	Driver judgement	LKS Switch-off	LKS Switch-off	-	LKS Switch-off	LKS Switch-off
	Lat.speed @faalmoment	0,8	0,7	0,4	-	0,8	0,4
	Lat.accel @faalmoment	**4,5**	**5,0**	**3,5**	-	**5,0**	2,0
	Max.Lat.speed	2,2	1,6	2,1	-	2,1	1,9
	Max.Lat.accel	**-17,0**	**9,0**	**19,5**	-	**-14,5**	**14,5**
	MLP 1e 5 metingen	-5,0	9,0	6,0	-	12,0	-6,0
	MLP	**-7,0**	**-7,0**	**-16,0**	-	**0,0**	**-17,0**
	SDLP	**22,0**	**16,0**	**30,0**	-	**19,0**	**23,0**
	NODC/100m	7,1	6,2	5,9	-	7,5	6,3

*Kleurenlegenda: **High**, **Medium** & **Low** performance. Zie Paragraaf 3.1.1.4 voor een toelichting.*

5.3.4 Woudenberg

De provinciale weg N226 tussen Leusden-Woudenberg kent een typische inrichting zoals dat in heel Nederland te vinden is, conform de GOW type II richtlijnen. Hoewel er met bord en bochtschildjes wordt gewaarschuwd voor het naderen van deze bocht, geldt er geen aangepaste snelheidslimiet of adviessnelheid. De menselijke bestuurder hoeft weinig tot geen moeite te doen om comfortabel door deze bocht te rijden met de toegestane snelheid. Ook hier blijken Auto's B en C met 65 km/u niet in staat om deze bocht te nemen. De systemen schakelen over naar de standby modus zodra de bocht nadert. Auto A haalde bijna de 75 km/u, maar er moest toch worden gecorrigeerd voor een lijnoverschrijding.



Figuur 28: Een overzicht van de veldtestresultaten bij daglicht en duister, Woudenberg.

In Tabel 19 staan de LKS prestatie indicatoren weergegeven voor de bocht te Woudenberg, gesorteerd per lichtsterkte en voertuig. De getoonde waarden behoren tot de rijsnelheid waarop het desbetreffende voertuig niet in staat was om zelf binnen de markering te blijven. Wat opvalt is dat bij Auto A te zien is dat het LKS wel geactiveerd bleef, maar niet in staat bleek te zijn om binnen de rijstrookgrenzen te blijven: een *lane crossing*. Ook Auto B begon voortvarend aan deze bocht, maar er bleek toch een ingreep nodig van de bestuurder. In dit specifieke geval bleef het groenkleurige symbool op het display wel branden, maar leek het voertuig niet een stuurbeweging te gaan maken. Dit triggerde een respons van de bestuurder.

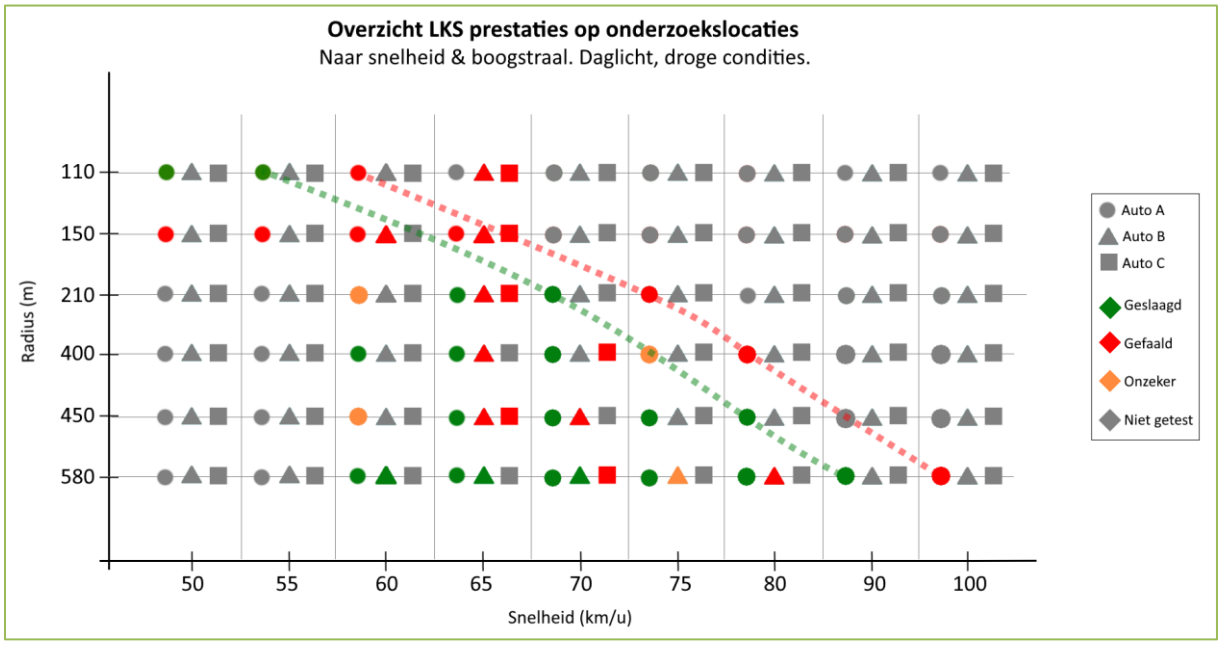
Tabel 19: De waarden behorende tot de momenten waarop het LKS niet (goed) werkte of overruled werd (Woudenberg).

Locatie	LKS Prestatie Indicator	Daglicht			Duister		
		A	B	C	A	B	C
Woudenberg	Testsnelheid	75	65	70	-	65	70
	Reden voor falen	Lane crossing	Driver judgement	LKS Switch-off	-	LKS Switch-off	LKS Switch-off
	Lat.speed @faalmoment	0,9	0,4	1,0	-	0,1	1,3
	Lat.accel @faalmoment	**5,0**	**-7,0**	**8,0**	-	**-6,0**	**10,5**
	Max.Lat.speed	2,5	2,5	2,7	-	1,4	2,0
	Max.Lat.accel	**12,0**	**12,5**	**19,0**	-	**-6,5**	**14,0**
	MLP 1e 5 metingen	3,0	18,0	23,0	-	-2,0	7,0
	MLP	**9,0**	**1,0**	**-27,0**	-	**-9,0**	**-9,0**
	SDLP	**21,0**	**26,0**	**47,0**	-	**17,0**	**31,0**
	NODC/100m	8,6	7,8	8,4	-	5,2	7,9

*Kleurenlegenda: **High**, **Medium** & **Low** performance. Zie Paragraaf 3.1.1.4 voor een toelichting.*

5.4 LKS prestaties: snelheid & boogstraal

In de onderstaande Figuur 29 wordt voor de drie testvoertuigen een overzicht gepresenteerd van de bochten die wel/niet geslaagd werden afgelegd (bij daglicht) met het geactiveerde LKS systeem, afgezet tegen de rijsnelheid en de boogstraal. Met deze grafiek wordt een poging gedaan om aan te duiden waar de mogelijke grenzen van het ODD zich bevinden. De groene en rode stippellijn zijn indicatief en gebaseerd op het best presterende voertuig, Auto A.

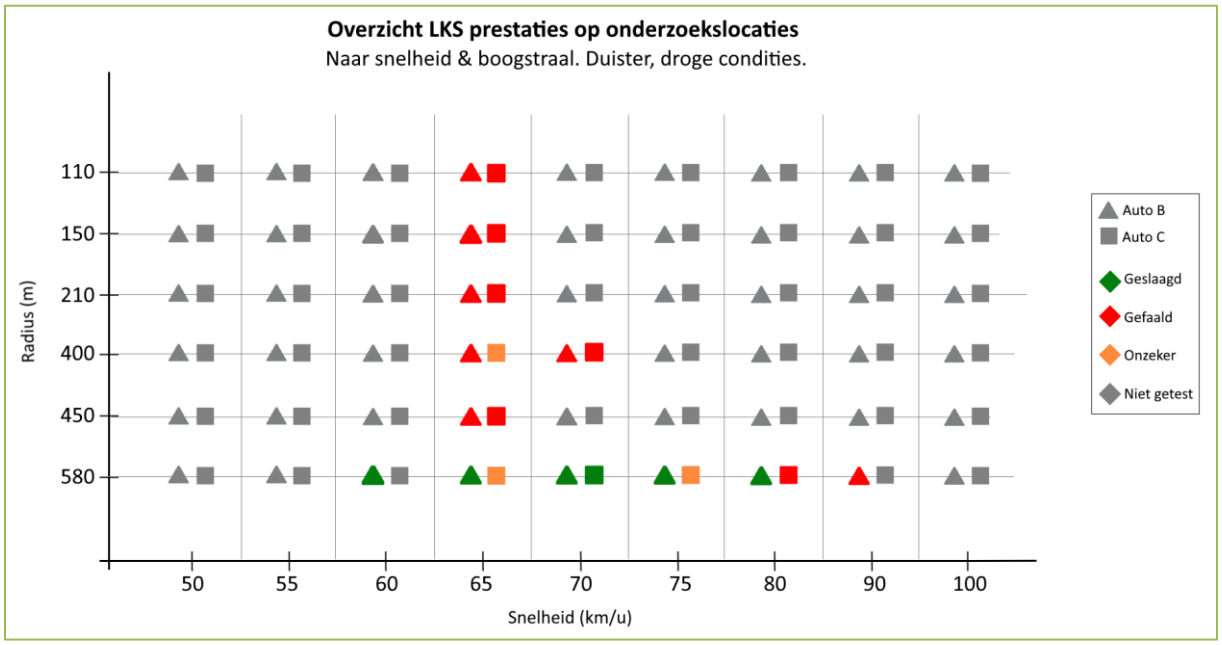


Figuur 29: Overzicht LKS prestaties per voertuig naar snelheid & boogstraal (daglicht, droog).

Hoewel er idealiter meer bochten getest worden, geeft deze grafiek wel een eerste indicatie van waar de grenzen van het ODD zich kunnen bevinden. Het gebied onder de groene stippellijn geeft weer met welke snelheid een zekere boogstraal gehaald moet kunnen worden. Het gebied boven de rode stippellijn geeft aan welke boogstralen niet geschikt zijn voor een doorgang op een zekere rijsnelheid. Het gebied tussen de stippellijnen geeft de mate van onzekerheid aan.

Let wel: de stippellijnen zijn enkel gebaseerd op de resultaten van Auto A in droge daglichtcondities. Auto's B en C presteerden duidelijk minder goed, wat inhoudt dat de ODD-grenzen van deze voertuigen eerder bereikt worden. Doordat er soms ook wat grotere verschillen zijn tussen de diverse boogstralen van de onderzoekslocaties is het idealiter ook gewenst om meer bochten te gaan testen met andere boogstralen, om de onderlinge verschillen te verkleinen. Dit zou een nauwkeuriger beeld moeten opleveren van de LKS capaciteiten van een voertuig.

Dezelfde grafiek is ook gemaakt voor de veldtests in het donker, te zien in Figuur 30 hieronder. Doordat er minder tests zijn uitgevoerd (veldtests met Auto A in het donker hebben geen bruikbare data opgeleverd) kan in het geval van Figuur 30 geen indicatie gegeven worden van de mogelijke ODD grenzen. Wel kan uit deze grafiek worden afgeleid dat zowel Auto B als C beter gepresteerd hebben in het donker bij boogstraal R=580m (2e knik Hoevelaken) in vergelijking bij daglicht. Om de ODD grenzen beter indicatief te kunnen visualiseren is er duidelijk meer data benodigd uit veldtesten.



Figuur 30: Overzicht LKS prestaties per voertuig naar snelheid & boogstraal (duisternis, droog).

5.5 LKS prestaties: K-factor

In Tabel 20 hieronder staan de K-factoren weergegeven berekend op de werkelijk gemeten gemiddelde snelheden van meetlussen in de bocht en de eerstvolgende meetlus stroomopwaarts. Dit leidt tot vrij hoge K-factoren. In de 2e knik bij Hoevelaken leidt het tot K-factoren van K>1,0 omdat de flauwere 2e knik weer ruimte biedt om te accelereren.

Tabel 20: Gehaalde en niet-gehaalde snelheden en K-factoren.

Locatie	Tijdsperiode	Toegestane snelheid	K-factor	Auto A	Auto B	Auto C
Rijnsweerd	22:00 - 04:59	80	0,90	-	65	70
	10:00 - 14:59	80	0,98	80	65	70
Hoevelaken 1e knik	22:00 - 04:59	100	0,91	-	65	70
	10:00 - 14:59	100	0,96	70	65	70
Hoevelaken 2e knik	22:00 - 04:59	100	1,02	-	80	70
	10:00 - 14:59	100	1,03	90	70	70

*Kleurenlegenda: **Gehaalde snelheid** & **niet-gehaalde snelheid**.*

Uit deze Tabel valt af te leiden dat naarmate de K-factor hoger wordt, auto's met LKS ook beter in staat zijn om de bocht te kunnen ronden. In die zin lijkt de K-factor inderdaad geschikt te zijn om iets te kunnen zeggen over de mate van geschiktheid van een bocht voor een voertuig met LKS.

Echter, het advies van Morsink & Gorter (2019) om de minimaal benodigde K-factor vast te stellen op K≥0,8 lijkt niet voldoende te zijn om inderdaad als maatstaf te dienen voor de mate van geschiktheid van een bocht voor een voertuig met LKS. De onderzoekslocaties alwaar het LKS van de voertuigen in staat was om binnen de rijstrook te blijven kennen allen een K-factor van ten minste K≥0,96. Bovendien is de maximale snelheid waarmee de bochten succesvol zijn afgelegd in alle gevallen (op één na) 10 tot 30 km/u lager dan de maximaal toegestane snelheid.

Tabel 20 visualiseert dan ook dat de geteste voertuigen niet of nauwelijks in staat zijn om het LKS bochten te laten rijden die over een K-factor beschikken welke door de CROW als 'veilig' worden geclassificeerd: of de auto kan de bocht alleen ronden als de snelheid lager is dan de snelheidslimiet, of de auto kan de bocht helemaal niet ronden op de laagst mogelijke snelheid dat nodig is om het LKS te activeren. De CROW-classificatie 'veilig' kan hierom niet een-op-een worden toegepast om de geschiktheid van het bochtenareaal aan te duiden voor voertuigen met LKS.

5.6 LKS prestaties: instuurmoment

Het is mogelijk dat de laterale positie waarmee het voertuig begint aan het rijden van een bocht van invloed kan zijn op de mate waarin het LKS succesvol is om het voertuig binnen de rijstrookmarkering te houden. Wanneer het voertuig bijvoorbeeld links in de rijstrook rijdt vlak voor het insturen van een rechterbocht, is het denkbaar dat de marge die het LKS nodig heeft om de richtingsverandering te detecteren (te) klein is. Het omgekeerde geldt voor linkerbochten dan uiteraard ook. De onderzoeker heeft getracht om het voertuig zo goed mogelijk gecentreerd te houden tijdens het naderen van een bocht. Het is echter gebleken dat, met name op de bredere rijstroken op de autosnelweg, het lastig is om links en rechts van het voertuig exact dezelfde afstand tot de markering in te schatten.

Het is hierdoor voorgekomen dat er soms een afwijking is geconstateerd in de gemiddelde laterale positie (MLP) **van de eerste vijf meetpunten** (frames) van elke testrit. De Tabellen in Bijlage 7 tonen deze informatie, tezamen met het al dan niet (on)succesvol halen van de bocht. In Tabel 21 hieronder is deze informatie samengevat weergegeven. Hierin is te zien dat het aantal keer dat een LKS het voertuig niet in de rijstrook kan houden ('Fail') hoger wordt naarmate de afwijking in de MLP groter wordt en omgekeerd.

Tabel 21: De invloed van de MLP voorafgaand aan het insturen.

	MLP Performance vóór het insturen		
	High	Medium	Low
Bandbreedte	≤ 10 cm	10 – 20 cm	> 20 cm
Aantal x Pass	6	1	1
Aantal x Fail	12*	6	6

** De beide locaties op de provinciale weg hebben een smallere rijstrook, waardoor het aantal 'Fails' in de categorie 'High performance' hoog uitvalt (met 8 fails). Een smallere rijstrook leidt immers tot kleinere MLP-waarden.*

De informatie in Bijlage 7 laat echter ook inconsistente resultaten zien. Dit heeft te maken met een mogelijk verschil tussen linker- en rechterbochten. In een bocht die rechtsaf gaat kan worden aangenomen dat een MLP>0 (afwijking naar de rechterzijde) minder ernstig is dan MLP<0 (afwijking naar de linkerzijde). Dit komt doordat een MLP>0 tot een grotere afstand leidt naar de markering in de buitenbocht, in dit voorbeeld althans. In een linkerbocht is dit omgekeerd. Gebaseerd op de bevindingen in de literatuur (o.a. Paragraaf 2.2.3) zou dit het LKS juist meer tijd moeten geven om de markering te detecteren. De inconsistentie zit in het feit dat de gevonden MLP-waarden soms de 'juiste kant op afwijken', terwijl het LKS toch gefaald heeft om de bocht succesvol te ronden. Hier is geen duidelijke oorzaak van achterhaald. Er zijn echter ook redenen om aan te nemen dat een MLP-waarde die dichter bij de markering in de buitenbocht ligt juist positief zou kunnen uitpakken op de LKS prestaties van het voertuig. Zo zou het makkelijker zijn om de markering te detecteren met het camerasysteem. De beperkte hoeveelheid beschikbare data uit de veldtests in combinatie met de wisselende MLP tijdens het naderen van de bochten maakt dat het wenselijk is dat er nader onderzoek gaat plaatsvinden waarbij het effect van de MLP vóór het insturen diepgaander bestudeert wordt.

5.7 LKS prestaties: markeringsconfiguratie

Het is van belang dat het LKS het voertuig niet alleen binnen de rijstrookmarkering houdt, maar ook dat de afwijking naar links of rechts niet zodanig groot wordt dat het voertuig (te) dicht bij de wegkant of een naastgelegen rijstrook rijdt. Door de middelpuntvliedende kracht zal het voertuig waarschijnlijk richting de buitenbocht bewegen. Een menselijke bestuurder zal hiervoor naar eigen inzicht corrigeren, maar is het LKS hiertoe ook in staat? Behalve weggeometrische kenmerken (o.a. boogstraal) en de rijsnelheid is het ook van belang dat het LKS de markering kan detecteren. Hierbij wordt de aanname gedaan dat de markering in de buitenbocht hierbij van groot belang is, aangezien het voertuig door de middelpuntvliedende kracht die richting uit wil bewegen. Gestoeld op bevindingen uit de literatuur (o.a. Paragraaf 2.2.3) wordt er in deze Paragraaf gekeken naar eventuele verschillen in de LKS prestaties in bochten waar sprake is van verschillende markeringsconfiguraties. Specifiek wordt er gekeken naar de prestaties van Auto A in de bochten 'Hoevelaken 2^{e} knik' en 'Rijnsweerd Tunnel'. Auto A is het enige testvoertuig in dit onderzoek dat beide bochten in gelijke (daglicht)condities heeft gereden waarbij het LKS succesvol bleek te zijn in het behouden van een laterale positie binnen de rijstrookgrenzen.

Tests waarbij het LKS niet in staat bleek om de bocht succesvol te ronden zijn niet meegenomen in deze analyse, omdat in deze instanties de MLP en SDLP werden beïnvloed door de onderzoeker ten tijde van het ingrijpen in de besturing. In deze Paragraaf wordt ingezoomd op de MLP en SDLP-waarden in een bocht met onderbroken markering in de buitenbocht (Hoevelaken) en een bocht met een doorgetrokken markering in de buitenbocht (Rijnsweerd).

Uit Tabel 22 blijkt dat in beide bochten de MLP van het voertuig licht richting de buitenbocht verschuift. Het voertuig blijft echter redelijk gecentreerd in de rijstrook rijden, aangezien de maximale MLP in deze vergelijking vijf centimeter afwijkt van het rijstrookmidden. Op de locatie Hoevelaken wijkt Auto A minder ver af van het rijstrookmidden (MLP=-0,579 cm., spreiding=28,47 cm.) dan dat het geval is op de locatie Rijnsweerd (MLP=5,221 cm., spreiding=11,88 cm.). Hoewel dit verschil 'slechts' enkele centimeters bedraagt, is dit verschil wel significant; t=-2,015; df=149,614; p=0,046 bij tweezijdige toetsing. Dit kan mogelijk verklaard worden door de ruimere boogstraal op de locatie Hoevelaken, waardoor het LKS wellicht minder dicht de grens van de capaciteiten nadert ten aanzien van de stuurinput dat het moet leveren.

Tabel 22: Vergelijking tussen twee bochten met doorgetrokken of onderbroken markering in de buitenbocht.

Indicator	Daglicht, Auto A	
	Hoevelaken 2e knik	Rijnsweerd Tunnel
Markering in buitenbocht	**Onderbroken kantstreep**	**Doorgetrokken kantstreep**
Richting van de bocht	Rechtsaf	Linksaf
MLP richting buitenbocht	**MLP < 0**	**MLP > 0**
Aantal frames in meting	38	120
Duur meting (s)	11,4	36,0
Snelheid (km/u)	**90**	**80**
Afstand meting (m)	285	800
Bocht gehaald?	Ja	Ja
Max. gemeten lat. snelheid (m/s)	1,8	1,1
Max. gemeten lat. versnelling (m/s²)	**-10,0**	**8,0**
MLP (cm)	**-1**	**5**
SDLP (cm)	**28**	**12**
NODC	20	67
NODC per 100m	**7,018**	**8,375**

*Kleurenlegenda: **High**, **Medium** & **Low** performance. Zie Paragraaf 3.1.1.4 voor een toelichting.*

Een groter verschil is te zien tussen de mate waarin het voertuig een zekere mate van vetergang (slingergedrag, SLDP) laat zien. Op de locatie Rijnsweerd is de vetergang kleiner dan op de locatie Hoevelaken. Dit terwijl de locatie Rijnsweerd een krappere boogstraal kent, dat over een grotere afstand blijft aanhouden, in vergelijking met de locatie Hoevelaken. Daarbij maakt het voertuig ook meer stuurbewegingen (NODC) op de locatie Rijnsweerd.

Eerder in het voorliggende onderzoek is reeds geconstateerd dat een hoge(re) NODC-waarde in combinatie met een lage(re) SDLP-waarde erop wijst dat het voertuig kleine en subtiele stuuringrepen doet, dat als positief wordt beschouwd (IIHS, 2018a). Auto A rijdt dus stabieler (of: 'netter') op de locatie Rijnsweerd, ondanks de krappere boogstraal en langere booglengte. Het gaat wellicht te ver om op basis van twee datasets van twee verschillende bochten te concluderen dat de ene

markeringsconfiguratie betere LKS prestaties faciliteert dan de andere markeringsconfiguratie. Wel kunnen deze bevindingen aanleiding zijn om in vervolgstudies dit aspect diepgaander te bestuderen.

5.8 LKS prestaties: snelheidsreductie

Op het grensgebied bleek volgens de informatie in Paragraaf 5.3 dat het LKS zichzelf deactiveerde in de meeste gevallen waarin het niet in staat bleek een bocht te ronden. Uit Paragraaf 5.4 bleek dat de mate waarin het LKS in staat is om een bocht met een bepaalde boogstraal te kunnen ronden afneemt naarmate de snelheid toeneemt. Dit suggereert dat een lagere rijsnelheid tot betere LKS prestaties zou moeten leiden. In deze Paragraaf wordt daarom dieper ingegaan op mogelijke verschillen tussen diverse rijsnelheden, waarbij de aanname wordt gedaan dat de 'netheid' waarmee het LKS het voertuig door de bocht stuurt bij lagere snelheden beter is dan bij hogere snelheden het geval is. Die 'netheid' wordt bepaald door de hoogte van de MLP, SDLP en NODC waarden.

In Tabel 23 is voor drie situaties een vergelijking gemaakt tussen twee rijsnelheden waarmee de bocht succesvol is afgelegd. Hieruit valt af te leiden dat in alle gevallen de SDLP-waarde lager is in de langzamere veldtests. De voertuigen slingeren dus minder bij een lagere rijsnelheid. De NODC-waarde is ook hoger bij de lagere rijsnelheid. Daarnaast is ook te zien dat in de drie situaties de MLP dichter bij de buitenste rijstrookmarkering komt te liggen wanneer er sneller gereden wordt. In de MLP-waarden op de locatie Hoevelaken (2^{e} knik) valt op dat er bij de hogere snelheden sprake is van een verschuiving dichter naar de buitenbocht. In het geval van Auto A verschuift de gemiddelde laterale positie van MLP=11,92 bij 70 km/u (spreiding=19,106 cm.) naar MLP=-0,58 bij 90 km/u (spreiding=28,440 cm.). Dit verschil is significant; t=4,530; df=262,677; p<0,001. In het geval van Auto B is eenzelfde beweging te zien: van MLP=4,67 bij 70 km/u (spreiding=18,44) naar MLP=-23,17 (spreiding=28,849). Ook dit verschil is significant; t=10,279; df=267,859; p<0,001. Op de locatie Rijnsweerd (Tunnel) laat Auto A een vergelijkbare beweging zien, ook hier verschuift de MLP naar de buitenbocht bij de hogere rijsnelheid. De gemiddelde laterale positie verschuift hier van MLP=-3,230 (spreiding=9,6899) naar MLP=5,221 (spreiding=11,8847). Ook deze verschuiving is significant; t=-6,175; df=229,898; p<0,001.

Verder valt op dat de maximaal gemeten laterale versnelling (m/s^2) hoger uitvalt bij hogere rijsnelheden. Dat klinkt logisch, aangezien een hogere snelheid ook een sterkere stuuringreep nodig heeft om een bocht met gelijke radius te rijden (en omgekeerd). Echter, afgaand op de MLP, SDLP en NODC waarden verbetert de stabiliteit (of: koersvastheid) bij een lagere rijsnelheid. Deze constatering kan een wegbeheerder aanknopingspunten bieden om lokale snelheidsadviezen af te geven aan (bestuurders van) LKS-voertuigen om zodoende invloed uit te oefenen op het faciliteren van veiligere randvoorwaarden voor dit type voertuigen bij suboptimale locaties in het bochtenareaal.

Tabel 23: LKS prestaties bij diverse rijsnelheden.

Indicator	Verschillen tussen MLP en SDLP bij div. snelheden					
	AutoA-Dag-2eknik		AutoB-Nacht-2eknik		AutoA-Dag-Tunnel	
Aantal frames in meting	53	38	54	53	135	120
Duur meting (s)	15,9	11,4	16,2	15,9	40,5	36,0
Snelheid (km/u)	**70**	**90**	**70**	**80**	**70**	**80**
Snelheid (m/s)	19,44	25,00	19,44	22,22	19,44	22,22
Afstand meting (m)	309	285	315	353	788	800
Richting van de bocht	Rechtsaf		Rechtsaf		Linksaf	
MLP richting buitenbocht	MLP < 0		MLP < 0		MLP > 0	
MLP (cm) eerste 5 frames	10	1	13	9	8	2
Bocht gehaald?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Max. gemeten lat. snelheid (m/s)	1,0	1,8	1,1	1,5	0,8	1,1
Max. gemeten lat. versnelling (m/s²)	**5,0**	**-10,0**	**6,0**	**-12,5**	**-5,0**	**8,0**
MLP (cm)	**12**	**-1**	**5**	**-23**	**-3**	**5**
SDLP (cm)	**19**	**28**	**18**	**29**	**10**	**12**
NODC	26	20	32	24	84	68
NODC per 100m	**8,410**	**7,018**	**10,159**	**6,792**	**10,667**	**8,500**

*Kleurenlegenda: **High**, **Medium** & **Low** performance. Zie Paragraaf 3.1.1.4 voor een toelichting.*

5.9 Resumerend

Ten aanzien van de onderzoeksaanpak kan er geconcludeerd worden dat drie meetpunten per seconde statistisch gezien dezelfde resultaten oplevert als tien of dertig meetpunten per seconde. Gelet op de rijsnelheid kan het echter wenselijk zijn om de meetfrequentie te verhogen. Welke frequentie wenselijk geacht wordt zal per onderzoek moeten worden vastgesteld.

Het is gebleken dat de drie voertuigen allen in staat zijn om op een recht wegvak tussen de rijstrookmarkeringen te blijven rijden. Ook blijken de prestaties in het donker beter te zijn dan bij daglicht, een bevinding die in lijn ligt met eerdere praktijkstudies. Wel blijken de voertuigen B en C in sommige situaties een onwenselijke combinatie te vertonen van een hoge MLP en SDLP waarde. Dat betekent namelijk dat er dichter bij de rijstrookgrens wordt gereden en dat er grotere slingerbewegingen gemaakt worden. Het risico op rijstrookverlatingen wordt daardoor groter.

Het blijkt dat alleen Auto A in staat was om op één onderzoekslocatie de bocht met een ingeschakeld LKS succesvol te rijden, met de toegestane maximumsnelheid. Auto A is het enige testvoertuig in het voorliggende onderzoek dat beschikte over een *lane centering* (LC) functionaliteit. De andere twee voertuigen beschikten over een *lane steering* (LS) functionaliteit. Op alle andere locaties, zowel bij daglicht als bij duisternis, hebben de drie voertuigen de bochten helemaal niet kunnen nemen of alleen met een lagere rijsnelheid dan dat is toegestaan. Dit houdt in dat de geselecteerde onderzoekslocaties zich allen buiten het Operational Design Domain (ODD) van de drie voertuigen bevinden. Om een van de bochten binnen het ODD van het LKS te krijgen moet er in de meeste gevallen een aanpassing gedaan worden aan de rijsnelheid. In Paragraaf 5.4 is er met een overzicht van de wel/niet succesvol gereden bochten een eerste poging gedaan om de grens van het ODD indicatief inzichtelijk te maken. Dat is echter alleen gedaan op basis van het best presterende voertuig, wat betekent dat er ook auto's zijn waarbij de ODD grenzen nog lager liggen.

Het ziet ernaar uit dat de K-factor inderdaad geschikt is om iets te kunnen zeggen over de mate van geschiktheid van een bocht voor een voertuig met LKS. Echter is het eerdere advies van K≥0,8 niet toereikend genoeg. De CROW-classificatie 'veilig', welke is gebaseerd op het snelheidsgedrag van menselijke bestuurders, is dan ook niet een-op-een toepasbaar op LKS-voertuigen.

Tijdens de veldtests bleek er sprake te zijn van een inconsistente benadering van de bochten, met betrekking tot de MLP vóór de bocht. De resultaten suggereren dat een grotere afwijking ten opzichte van het rijstrookmidden leidt tot een grotere kans op LKS-falen in de bocht. Enerzijds wordt er aanbevolen om bij vervolgonderzoeken de MLP bij het naderen van de bocht zo dicht mogelijk bij MLP=0 te houden. Anderzijds is er de aanbeveling om nader onderzoek te doen naar de invloed van de MLP vóór de bocht op het al dan niet falen van de LKS in de bocht.

In de bochten bleken de voertuigen dichter naar de rijstrookgrens in de buitenbocht te bewegen. Hoewel er verschillen zijn tussen de onderzoekslocaties (m.b.t. boogstraal en booglengte), lijkt het zo te zijn dat het LKS 'netter' koers kan houden (lagere MLP en SDLP, i.c.m. hogere NODC) wanneer er een doorgetrokken markeringsconfiguratie wordt toegepast in de buitenbocht, in plaats van een onderbroken markeringsconfiguratie. Wegens de beperkte vergelijkingsmogelijkheden in dit onderzoek wordt er aanbevolen om dit aspect nader te gaan onderzoeken.

Tot slot blijkt de MLP-waarde van de voertuigen bij een hogere bochtsnelheid dichter bij de buitenbocht te liggen. Een lagere bochtsnelheid doet voertuigen meer gecentreerd in de rijstrook rijden, waarbij de voertuigen ook minder slingeren. De rijsnelheid beïnvloedt dus de stabiliteit van het voertuig in de bocht.

6 CONCLUSIE & AANBEVELINGEN

Alvorens de onderzoeksresultaten af te ronden met een conclusie wordt in dit Hoofdstuk eerst antwoord gegeven op alle onderzoeksvragen. Na de conclusie worden enkele aanbevelingen geformuleerd.

6.1 Vraagbeantwoording

6.1.1 Hoofdvraag

Waar liggen de grenswaarden van het Operational Design Domain van Lane Keeping Systemen in relatie tot de bochtscherpte op Rijkswegen en provinciale wegen in Nederland?

Het is ingewikkeld om met één eenduidig antwoord te komen op deze vraag, omdat er zeer veel factoren invloed uitoefenen op de boven- en ondergrens van het ODD. Hoewel het wenselijk was geweest om meer veldtesten uit te voeren, blijken de gekozen onderzoeksmethoden diverse interessante inzichten op te leveren en blijken de geselecteerde prestatieindicatoren geschikt om aan te geven in welke mate een voertuig in staat is om een bocht te rijden met het LKS ingeschakeld. Om de centrale onderzoeksvraag te beantwoorden is deze opgesplitst in een serie deel- en subvragen, welke in de volgende Paragrafen beantwoord worden.

6.1.2 Deelvraag 1: Informatie over het ODD

In de introductie en probleemstelling werd geconstateerd dat er sprake kan zijn van een discrepantie tussen datgene wat een autobestuurder verwacht van het LKS en datgene waartoe het systeem in staat is. Dat heeft geleid tot de eerste deelvraag, die betrekking heeft op de kennis die redelijkerwijs vergaard kan worden over de capaciteiten en beperkingen van het LKS. Deze deelvraag luidde als volgt:

1. Hoe en waar zou het LKS van een voertuig correct moeten functioneren, volgens de beschrijving van het ODD?

a) Welke informatie verstrekken voertuigfabrikanten of -leveranciers aan hun klanten over de werking en beperkingen van de rijstrookassistentie in scherpe bochten en hoe wordt deze informatie overgedragen?

Voertuigfabrikanten bieden informatie over hun voertuigtechnologie aan via de gebruikershandleiding en/of via het overbrengen van informatie en instructie door de autoverkopers. Voor een antwoord op de deelvraag is een quick-scan analyse gemaakt van enkele gebruikershandleidingen en zijn er autodealers bevraagd naar de uitleg die zij aan hun klanten aanbieden. Het bleek dat de gebruikershandleidingen wel informatie bieden over allerlei situaties waarin het systeem mogelijk niet of niet goed functioneert, maar dat er weinig specifieke informatie wordt aangeboden over wanneer zo'n situatie zich dan precies voordoet. De informatie die er in gepresenteerd wordt is niet altijd even eenduidig. Wel worden autoeigenaren veelvuldig gewaarschuwd en geattendeerd op het feit dat zijzelf verantwoordelijk zijn voor een veilige verkeersdeelname. Op basis van de informatie die wel geboden wordt is het voor een autoeigenaar echter vrij ingewikkeld om een compleet en accuraat beeld te vormen van het ODD van een rijhulpsysteem als LKS. Gelet op de kennislacune is het wellicht ook niet mogelijk om eenduidig aan te geven wanneer een bocht te scherp is voor het LKS en hoe dat bij het naderen

van een bocht ingeschat moet worden. De gebruikershandleidingen missen informatie over deze kennislacunes. Een gemiste kans, omdat het bewustzijn over de onbekendheid van systeemcapaciteiten en -beperkingen de autobestuurder in staat kan stellen om er rekening mee te houden in het rijgedrag.

De geïnterviewde autodealers geven allemaal aan hun klanten een uitleg te geven over het voertuig dat gekocht wordt. Doorgaans gebeurt dit middels een dynamische instructie ten tijde van de proefrit. De informatie en instructie van de autodealer blijft grotendeels beperkt tot het bedienen van de systemen (aan/uitzetten) en ad hoc uitleg over situaties die zich toevalligerwijze voordoen tijdens de proefrit. Informatie lijkt soms ook selectief te worden aangeboden: klanten die ernaar vragen worden voorzien van een reactie. Die informatievoorziening lijkt ook aangepast te worden aan de mate van affiniteit die de klant heeft met technische apparatuur, waarbij de autodealer naar eigen inzicht bepaald hoe technisch onderlegd de klant is. De ADAS-kennis van de autodealers zelf lijkt te variëren. Alle autodealers lijken bewust te zijn van de mogelijk nadelige werking van bijv. regen of tegenlicht op de LKS prestaties, maar geen van de autoverkopers leek bewust te zijn van de kennislacunes ten aanzien van waar zich de grensgebieden van het LKS bevinden. Het is een gemiste kans, omdat de autoverkopers een belangrijke positie hebben bij het introduceren van ADAS bij de klant. Als het niet mogelijk is om precies aan te geven wanneer en waar een LKS kan falen, dan moet er tenminste worden medegedeeld dat er wel sprake is van invloedsfactoren maar dat het nog onbekend is wanneer de limiet van het LKS precies bereikt wordt. Deze bewustwording kan eraan bijdragen dat LKS (of ADAS in het algemeen) op een correctere wijze worden ingezet door de autobestuurder.

6.1.3 Deelvraag 2: Wanneer is een bocht te scherp?

De constatering dat er wel gewaarschuwd wordt voor het mogelijk niet (goed) functioneren van LKS in bochten, terwijl daarbij niet duidelijk wordt gemaakt wanneer dit mogelijke falen zich kan voordoen, heeft in belangrijke mate bijgedragen aan het formuleren van de onderzoeksvragen. De te beantwoorden deelvraag luidt als volgt:

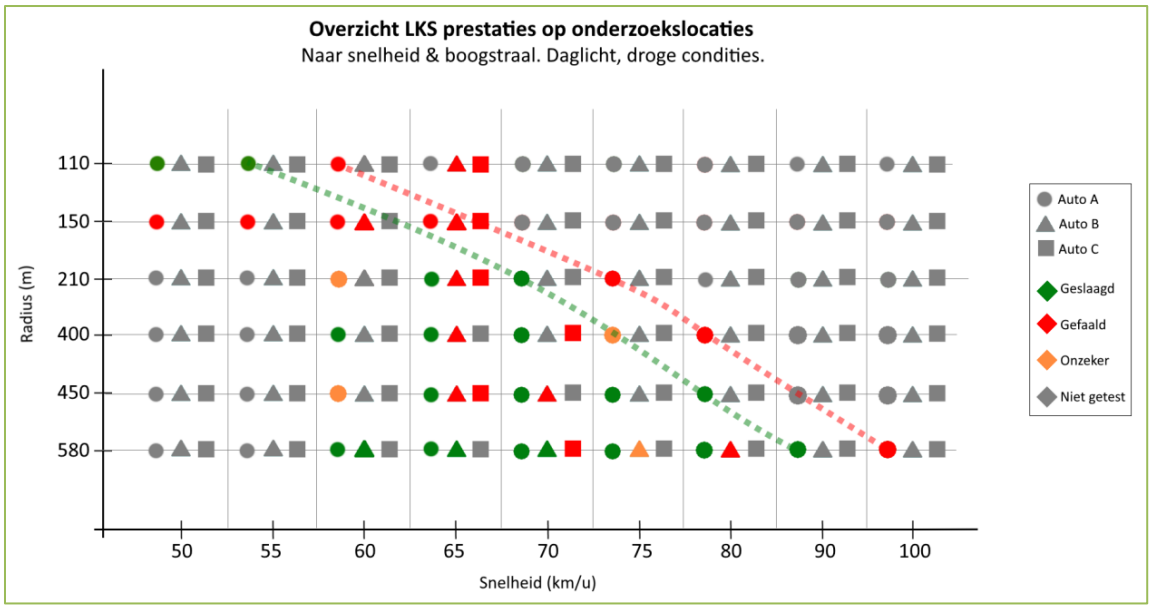
2. Wanneer is een bocht te scherp voor een LKS om het voertuig binnen de rijstrookgrenzen te houden?

Deze deelvraag werd geoperationaliseerd in vier subvragen, welke hierna elk apart behandeld worden.

LKS prestaties in bochten: snelheid & boogstraal

a) Bij welke rijsnelheid en boogstraal is het LKS niet meer in staat om het voertuig binnen de rijstrookgrenzen te houden?

Door de bochten met diverse boogstralen op de geselecteerde onderzoekslocaties meermaals af te leggen, steeds met een oplopende snelheid, is een poging gedaan om de grenzen van het LKS van de drie voertuigen af te tasten en in kaart te brengen. Dat heeft geleid tot de Figuur 31 hieronder. Door een gebrek aan voldoende veldtesten kan deze Figuur uitsluitend als indicatief beschouwd worden. Wel geeft het een goede weergave van de relatie tussen de boogstraal en de rijsnelheid. Dat een hogere snelheid leidt tot de behoefte aan grotere boogstralen is aannemelijk, maar hiermee wordt er een poging ondernomen om deze onder- en bovengrens te kwantificeren.



Figuur 31: Overzicht LKS prestaties per voertuig naar snelheid & boogstraal (daglicht, droog).

De onderzoeksresultaten (of het gebrek daaraan) maakte het echter wel moeilijk om vast te stellen waar deze grenzen zich bevinden voor de testauto's B en C. Alleen van Auto A bleek voldoende data beschikbaar om de indicatieve groene en rode stippellijn op te baseren. De Auto's B en C waren duidelijk minder capabel om de bochten op de testlocaties succesvol af te leggen; alleen Auto A was in staat om op één van de onderzoekslocaties de bocht succesvol te rijden op de maximaal toegestane snelheid. Alle andere bochten werden door de drie testauto's niet succesvol gehaald, of werden alleen succesvol gehaald als de gereden snelheid 10-30 km/u lager was dan de toegestane limiet. Dit betekent dat het ODD van *lane keeping systemen* ten aanzien van de boogstraal en de rijsnelheid voor veel auto's al eerder wordt bereikt dan dat de Figuur op basis van Auto A suggereert. Dit kan belangrijke informatie zijn voor een wegbeheerder als het rekening wil houden met worst-case scenario's. Er zijn dus verschillen tussen de testvoertuigen onderling. De volgende paragraaf gaat daar verder op in.

Verschillen tussen voertuigen en voertuigsystemen

b) Welke verschillen bestaan er ten aanzien van de ODD grenswaarden tussen diverse voertuigen en voertuigsystemen?

Uit de literatuur en eerdere praktijkstudies bleek dat er een verschil bestaat tussen voertuigen met LKS die sturen zodra het een lijn tegenkomt (*lane steering*, LS) en voertuigen die continue proberen het voertuig te centreren (*lane centering*, LC). Uit de testresultaten blijkt heel duidelijk dat Auto A tot veel meer in staat is met betrekking tot het succesvol afleggen van de bochten in vergelijking met de andere twee voertuigen. Auto A betreft het voertuig dat beschikt over de *lane centering* functionaliteit. De andere twee voertuigen waren prima in staat om koers te houden op een recht wegvak, maar bij het naderen van een bocht was er veelal sprake van een LKS dat zichzelf deactiveerde.

Verder bleek de gemiddelde afwijking van het voertuig ten opzichte van het rijstrookmidden (de MLP) ten tijde van het instuurmoment van invloed te zijn op de mate waarin het voertuig in staat is om de bocht succesvol te rijden. Dit is een punt waarop voertuigen van elkaar kunnen verschillen, aangezien het een kwestie van gekozen afstelling is door de fabrikant waardoor bepaald wordt of het voertuig

meer links, rechts of in het midden van de rijstrook rijdt. Afhankelijk van de MLP-waarde op het wegvak voorafgaand aan de bocht kan de grens van het ODD dus eerder of later bereikt worden.

Gelijkenissen tussen de voertuigen bestaan echter ook. Zo blijkt de MLP richting de buitenbocht te verschuiven. Ook presteren de voertuigen beter bij lagere rijsnelheden. Het slingergedrag van het voertuig (de SDLP) wordt kleiner en het aantal malen dat het voertuig van richting verandert (de NODC per 100m.) wordt groter. Er worden dus meer subtielere stuuringrepen gedaan door het LKS bij lagere snelheden.

Invloed van omgevingscondities

c) Veranderen de grenswaarden van het ODD van LKS bij verschillen tussen dag & nacht en droog & regen, en zo ja, hoe veranderen deze grenswaarden dan?

Deze vraag bleek achteraf bekeken moeilijker te beantwoorden dan gepland. Veldtests waren gepland om uitgevoerd te worden bij droog en nat weer, zowel overdag bij daglicht als ’s avonds bij duisternis. Echter bleek al snel dat de gewenste onderzoeksgegevens bij regenachtig weer niet bruikbaar waren. Met het oog op de tijdsspanne van het voorliggende onderzoek is besloten om alleen veldtesten overdag en ’s avonds uit te voeren in droge weersomstandigheden.

Daaruit bleek echter wel dat, in lijn met eerdere praktijkstudies, de LKS prestaties in de avonduren in een aantal gevallen verbeterde ten opzichte van dezelfde situatie overdag. Voertuigen B en C waren in staat om op meerdere bochten succesvol binnen de rijstrookgrenzen te blijven met een iets hogere snelheid dan overdag het geval was. Doordat het vanwege de combinatie van weersomstandigheden en autobeschikbaarheid niet mogelijk was om ook met Auto A in droge duisterniscondities te rijden bleef de onderzoeksdata echter te beperkt om Figuur 31 hierboven ook te maken voor situaties in het donker.

Het ODD en ontwerprichtlijnen

d) Waar bevinden zich eventuele discrepanties tussen de ODD grenswaarden en de ontwerprichtlijn(en)?

Het is gebleken dat de zogenaamde K-factor inderdaad geschikt blijkt te zijn om iets te kunnen zeggen over geschiktheid van een bocht voor voertuigen met LKS. Hoe hoger deze K-factor is, hoe beter de drie voertuigen in staat lijken te zijn om de bocht te kunnen rijden met een ingeschakeld LKS. Echter is het eerdere advies van K≥0,8 niet toereikend genoeg. De onderzoekslocaties alwaar het LKS van de voertuigen in staat was om binnen de rijstrook te blijven kennen allen een K-factor van ten minste K≥0,96. Bovendien is de maximale snelheid waarmee de bochten succesvol zijn afgelegd in alle gevallen (op één na) 10 tot 30 km/u lager dan de maximaal toegestane snelheid. De CROW-classificatie ‘veilig’, welke is gebaseerd op het snelheidsgedrag van menselijke bestuurders, is dan ook niet een-op-een toepasbaar op LKS voertuigen. Het geeft ook aan dat er een discrepantie bestaat tussen de LKS prestaties van de voertuigen en dat wat er is toegestaan op de testlocaties, omdat de voertuigen niet in staat blijken te zijn om de geselecteerde testlocaties succesvol te bedwingen op de maximaal toegestane snelheid.

Daarnaast is er ook gekeken naar de markeringsconfiguratie in de buitenbocht, nadat werd geconcludeerd dat de gemiddelde laterale positie van voertuigen in de bocht naar de buitenbocht verschuift. Er is diepgaander onderzoek voor nodig, maar de resultaten uit het voorliggende onderzoek lijken alvast te suggereren dat een doorgetrokken markering in vergelijking met een onderbroken markering LKS voertuigen beter faciliteert bij het behouden van een stabielere koers in de bocht. Dit kan een aanleiding zijn om de markering in de buitenbocht aan te passen.

6.1.4 Deelvraag 3: Voertuigveiligheidstests & regelgeving

Tot slot wordt er ingegaan op mogelijke overeenkomsten of verschillen tussen voertuigveiligheidstests op de openbare weg en op een afgesloten testterrein en de regelgeving omtrent rijstrookassistentietechnologie. In de probleemstelling werd geconstateerd dat het testen van LKS onder gelijke, geconditioneerde omstandigheden ter borging van de onderlinge vergelijkbaarheid van voertuigen tegelijkertijd ook zorgt voor een verslechterde vergelijkbaarheid van LKS prestaties onder variabele omstandigheden zoals een weggebruiker die op de openbare weg tegenkomt. Hieromtrent is de onderstaande deelvraag geformuleerd.

3. In hoeverre komen de gevonden ODD grenswaarden op de openbare weg overeen met de ODD grenswaarden zoals deze tijdens voertuigveiligheidstests op een geconditioneerd testterrein worden vastgesteld?

Ten tijde van het opstellen van het plan van aanpak werd de onderzoeker aangeboden om gebruik te maken van testgegevens, om er een vergelijking mee te maken met de gegevens uit de eigen veldtests. Deze optie is echter afgevallen, waardoor deze onderzoeksvragen met behulp van de bevindingen uit de deskresearch getracht zijn te beantwoorden.

Gecontroleerde voertuigtests en wettelijke eisen

a) Hoe voert de Euro NCAP haar Lane Support Systems tests uit en welke wettelijke eisen worden er gesteld aan de rijstrookassistentiesystemen?

De Euro NCAP volgt voor haar testprotocol grotendeels de VN regelgeving rondom de technische eisen en de daarbij behorende tests die uitgevoerd worden in het kader van het verkrijgen van de typegoedkeuring voor een voertuigmodel/voertuigsysteem. De Euro NCAP tests zijn op enkele punten echter ietsje strenger dan wat de VN regelgeving vereist.

De test omvat het naderen van rijstrookmarkering met diverse, steeds stapsgewijs oplopende, laterale snelheden. Er worden onderbroken en doorgetrokken markeringsconfiguraties getest, aan weerszijden van de rijstrook. Een test is geslaagd als het systeem het voertuig binnen een bepaalde maximum overschrijdingsafstand/marge kan houden. Het is echter niet duidelijk te achterhalen wat die overschrijdingsafstand dan precies mag inhouden.

Volgens de VN Regulation 79 (addendum 78, revisie 4) mag tijdens een stuuringreep de maximaal veroorzaakte laterale versnelling niet meer dan 3,0 m/s^2 bedragen. De bestuurder moet boven deze grens zelf sturen. Dit is zo in het reglement vastgelegd om excessieve stuuringrepen van het systeem te voorkomen, zodat de bestuurder niet te maken krijgt met (onverwachte) forse stuuringrepen.

Verschillen tussen de openbare weg en de testomgeving

b) Waardoor worden eventuele verschillen in de ODD grenswaarden op de openbare weg en de testomgeving mogelijk veroorzaakt?

De voorwaarden die gesteld worden aan de testomgeving, de weerscondities en de wijze waarop het voertuig wordt geprepareerd zijn zodanig gedetailleerd gespecificeerd en sterk gestandaardiseerd, dat het onwaarschijnlijk is dat een automobilist op de openbare weg zichzelf in een soortgelijke situatie zal bevinden. De geconditioneerde tests zijn puur ingericht om voertuigen zo goed mogelijk onderling te kunnen vergelijken, maar daardoor zijn de tests juist minder geschikt om voertuigcapaciteiten te testen voor gebruik op de openbare weg. Daarnaast zijn de proefopstellingen zelf ook niet goed vergelijkbaar met het dagelijkse verkeer: het testen van een voertuigsysteem op een rijstrook dat dimensioneel gezien lijkt op dat van een autosnelweg, bij een snelheid dat beter past bij een weg in het onderliggend wegennet, maakt dat een dergelijke test gemakkelijker is voor een voertuig dan wanneer dezelfde test werd uitgevoerd op een smallere rijstrook of met een hogere snelheid.

Verbetervoorstellen

c) Welke lessen kunnen er getrokken worden ten aanzien van het verbeteren van de Euro NCAP *Lane Support Systems* voertuigveiligheidstesten?

De Euro NCAP heeft als doel om auto's op allerlei veiligheidsaspecten te testen en te vergelijken met voertuigen die tot eenzelfde voertuigcategorie horen. Daarmee moeten consumenten voorzien worden van informatie die hen kan helpen om de veiligste auto te kopen binnen een bepaalde klasse die voor de consument beschikbaar/bereikbaar is. Dat is een andere doelstelling dan het beoordelen van de compatibiliteit tussen voertuigcapaciteiten en infrastructurele kenmerken. De Euro NCAP is gebaat bij een testprotocol dat hen in staat stelt om een zo homogeen mogelijke test uit te voeren, elke keer weer opnieuw. Dat neemt niet weg dat de regelgeving en testprotocollen aangepast kunnen worden in een poging om beter bij de werkelijkheid op de openbare weg aan te sluiten. Zonder aanpassingen te doen aan de testcycli en de testfaciliteiten kan er bijvoorbeeld al getest worden in de donkere avonduren. Met sproeiers kan een constante hoeveelheid regen gesimuleerd worden.

6.2 Conclusie

Onbekendheid met het Operational Design Domain (ODD) en een discrepantie tussen de perceptie van LKS-capaciteiten en de werkelijke LKS-capaciteiten maakt dat er potentieel gevaarlijke situaties kunnen ontstaan wanneer bestuurders rondrijden met een ingeschakeld LKS in hun voertuig. Het blijkt dat een automobilist op basis van de informatie in de gebruikershandleiding en de uitleg die de autodealer verstrekt nog geen eenduidig beeld *kan* hebben van de ODD-grenzen. Er wordt de automobilist echter ook geen informatie aangeboden over de actuele kennislacunes, terwijl die kennis er wel voor kan zorgen dat de automobilist zich bewuster is van de onzekerheden rondom een rijhulpsysteem. Dat kan ertoe bijdragen dat een automobilist de LKS op een correcte wijze gaat inzetten.

Een tijdige attentie op een mogelijk gevaarlijke bochtsituatie kan een belangrijk verschil maken bij het bewerkstelligen van veilige *transitions of control*. Een manier om dat te bewerkstelligen is om de wegbeheerder in staat te stellen om haar (bochten)areaal te beoordelen op mogelijke factoren die voor een suboptimale situatie zorgen. De wegbeheerder wil graag zowel de bestuurder als het voertuig tijdig van informatie voorzien als er sprake is van een bocht waarbij een LKS mogelijk niet goed zal

functioneren. De wegbeheerder heeft hiervoor inzicht nodig in de grenswaarden van het ODD van LKS: wanneer is een bocht te scherp?

Uit de literatuurstudie is gebleken dat het uitvoeren van Field Operational Tests een van de beste methoden is om de werking en grenzen van voertuigtechnologie te testen. Dit onderzoek is dan ook opgesteld om met geïnstrumenteerde voertuigen tests uit te voeren, in een verkenning naar de grenzen van het Operational Design Domain van LKS in bochten. Door de testresultaten te vergelijken met veiligheidsindicatoren wordt er aangestuurd op het identificeren van factoren die kunnen bijdragen aan een suboptimale situatie in bochten voor de met LKS uitgeruste voertuigen. Hierbij is het doel om de wegbeheerder handvaten te bieden om een bijdrage te leveren aan het vergroten van de verkeersveiligheid op haar wegennet.

Zodoende is er een eerste aanzet gegeven om de relatie tussen snelheid en boogstraal te visualiseren. Deze visualisatie is echter gebaseerd op een beperkt aantal veldtesten en moet idealiter worden aangevuld met meer veldtesten. Duidelijk is in ieder geval dat geen van de testvoertuigen in staat is geweest om op de geselecteerde testlocaties te rijden met de maximaal toegestane snelheid (op eentje na). Daaruit kan geconcludeerd worden dat de compatibiliteit tussen het LKS van het voertuig en het wegontwerp nog niet op hetzelfde niveau ligt als de compatibiliteit tussen de menselijke bestuurder en het wegontwerp.
Wegontwerp dat vandaag de dag als 'veilig' geclassificeerd wordt voor gebruik door de menselijke autobestuurder is dus niet persé 'veilig' voor het LKS. De onderzoeksresultaten suggereren dat de ODD-grens van het best presterende testvoertuig in het voorliggende onderzoek lager lijkt te liggen dan wat er is toegestaan. Het is hierom belangrijk dat wegbeheerders gezamenlijk met de automotive industrie optrekken, zodat er samengewerkt kan worden bij het geschikter maken van het bochtenareaal voor het voertuig en andersom het voertuig geschikter te maken voor het bochtenareaal. Tijdens de meeste pogingen waarbij het LKS faalde bleek het LKS te deactiveren vlak voor de bocht of ten tijde van het instuurmoment.

Daarnaast blijkt uit een nadere vergelijking tussen diverse rijsnelheden dat het LKS beter presteert bij een langzamere rijsnelheid. Dat ligt in lijn met de gevisualiseerde relatie tussen snelheid en boogstraal. De gemiddelde laterale positie (MLP), het slingergedrag (SDLP) en het aantal stuuringrepen (NODC) suggereren dat het voertuig stabieler/netter rijdt bij een lagere snelheid. Dat kan wegbeheerders handvaten geven bij het nemen van maatregelen.

Het is gebleken dat de gemiddelde laterale positie voorafgaand aan het insturen van een bocht een bepalende factor kan zijn bij de mate waarin het LKS in staat is om het voertuig binnen de rijstrookgrenzen te houden. Ook bleek dat tijdens het rijden in de bocht de gemiddelde laterale positie richting de buitenbocht verschoof. De resultaten lijken te suggereren dat er reden is om aan te nemen dat het LKS beter functioneert wanneer er een doorgetrokken rijstrookmarkering in de buitenbocht is aangebracht.

6.3 Aanbevelingen

6.3.1 Aanbevelingen voortkomend uit onderzoeksresultaten

Zowel autodealers als automobilisten kunnen wellicht niet goed op de hoogte zijn van wanneer de ODD-grenzen bereikt worden, ze lijken daarnaast ook niet goed op de hoogte te zijn van de kennislacunes rondom deze ODD-grenzen. Het is daarom des te belangrijker dat de autobestuurder niet alleen maar gewezen wordt op mogelijke beperkingen, maar vooral ook dat het in veel gevallen niet duidelijk is wanneer die beperkingen zich voordoen. Dat blijkt uit geen van de handleidingen. Als bestuurders zich beseffen dat het onbekend is wanneer het systeem wel/niet werkt (als zij op de hoogte zijn van deze kennislacunes) zijn autobestuurders wellicht ook eerder geneigd om in dergelijke situaties de systemen op een correcte wijze toepassen. Het toevoegen van informatie over de kennislacunes kan daarom ook aan de gebruikershandleidingen toegevoegd worden. Het lijkt het er niet op dat de aangeboden training autodealers voorziet van inzicht in de kennislacunes rondom de systeembeperkingen van diverse ADAS. Dat zou een waardevolle toevoeging kunnen zijn aan het kennisniveau van de autodealer, omdat het een stukje bewustwording zou kunnen creëren dat de autodealer kan overdragen op de autokoper.

De Euro NCAP heeft als doel om auto's op allerlei veiligheidsaspecten te testen en te vergelijken met voertuigen die tot eenzelfde voertuigcategorie horen. Daarmee moeten consumenten voorzien worden van informatie die hen kan helpen om de veiligste auto te kopen binnen een bepaalde klasse die voor de consument beschikbaar/bereikbaar is. Dat is een andere doelstelling dan het beoordelen van de compatibiliteit tussen voertuigcapaciteiten en infrastructurele kenmerken. De Euro NCAP is gebaat bij een testprotocol dat hen in staat stelt om een zo homogeen mogelijke test uit te voeren, elke keer weer opnieuw. Dat neemt niet weg dat de regelgeving en testprotocollen aangepast kunnen worden in een poging om beter bij de werkelijkheid op de openbare weg aan te sluiten. Zonder aanpassingen te doen aan de testcycli en de testfaciliteiten kan er bijvoorbeeld al getest worden in de donkere avonduren. Met sproeiers kan een constante hoeveelheid regen gesimuleerd worden.

Het verdient de aanbeveling om meer soortgelijke veldtests te doen om de relatie tussen snelheid en boogstraal gedetailleerder in kaart te kunnen brengen. De visuele weergave die het voorliggende onderzoek oplevert is gebaseerd op een beperkte hoeveelheid veldtests, die ook grotendeels berusten op het best presterende voertuig. Dat betekent dat andere voertuigen hun ODD-grenzen eerder bereikt hebben. Hier is meer onderzoeksdata voor nodig om de onder- en bovengrens beter te kunnen onderbouwen.

De constatering dat de gemiddelde laterale positie voorafgaand aan de bocht mogelijk een invloed uitoefent op de mate waarin het LKS in staat is om de bocht succesvol te ronden kan een aanleiding zijn voor de wetgever om autofabrikanten te verplichten de afstelling van het LKS zodanig bij te stellen dat de MLP te allen tijde zo dicht mogelijk bij MLP=0 komt te liggen. Zoals Paragraaf 6.3.2 aankaart is het wel wenselijk dat er eerst nader onderzoek plaatsvind alvorens hierin keuzes worden gemaakt.

6.3.2 Aanbevelingen ten aanzien van onderzoeksrichtingen

De resultaten van de veldtests suggereren dat er mogelijk sprake is van een effect op de rijprestaties van LKS voertuigen in bochten door het soort markeringsconfiguratie in de buitenbocht. Zo zou de gemiddelde laterale positie minder ver afwijken van het rijstrookmidden en is de vetergang kleiner. Het verdient de aanbeveling om dit effect nader te onderzoeken. Het vinden van twee zo identiek mogelijke bochten waarbij alleen de markering de variabele is, is daarbij zeer wenselijk. Desgewenst kan er een proeflocatie gezocht worden alwaar tussen een 0-meting en een 1-meting de markering tussentijds wordt aangepast.

Het bleek dat er bij de meeste gefaalde pogingen van het LKS sprake was van een situatie waarbij het LKS deactiveerde vlak voor de bocht of ten tijde van het instuurmoment. Het koppelen van dit moment aan een oorzaak van deze deactivatie is mogelijk een interessante stap voor vervolgonderzoek. Hierbij zal het nodig zijn om geavanceerde uitleesapparatuur te installeren in het testvoertuig, zodat alle inputvariabelen inzichtelijk worden gemaakt.

De resultaten van de veldtests suggereren dat er mogelijk sprake is van een effect op de mate waarin het LKS in staat is om een bocht succesvol te rijden door de gemiddelde laterale positie voorafgaand aan de bocht. Dit effect behoeft nadere verdieping. Zo is het nu nog onduidelijk of het LKS elke keer faalt bij een bepaalde MLP afwijking, of dat dit incidenteel gebeurd. Ook de afwijking naar links of rechts van het rijstrookmidden ten opzichte van de rijrichting van de bocht moet hierbij nader onderzocht worden.

6.3.3 Aanbevelingen ten aanzien van onderzoeksmethoden

het verdient de aanbeveling om, voor zover mogelijk, de wijze van dataverzameling overeenkomstig met de SAE richtlijnen (SAE International, 2015) op te stellen. Deze richtlijnen bevatten informatie over hoe bepaalde indicatoren het best vastgesteld of gemeten kunnen worden. In het voorliggende onderzoek was het niet voor alle indicatoren mogelijk om hieraan te voldoen, gelet op de beschikbare mogelijkheden binnen de kaders van de onderzoeksfaciliteiten. Zo kon er bijvoorbeeld geen gebruik gemaakt worden van een acceleratiemeter of een Yaw-sensor (voor het meten van de rotatie).

Ondanks de genomen voorzorgsmaatregelen ten aanzien van het laten wegwaaien van regenwater op de cameralenzen (de camera’s werden onder een lichte hoek gemonteerd, zoveel mogelijk buiten het bereik van opspattend water uit de wielkast) is de onderzoeker er niet in geslaagd om bruikbare beelden bij regenachtig weer te maken.
Een alternatieve camerapositie (één centrale camera achter de voorruit) is ten tijde van het opstellen van het plan van aanpak wel besproken, maar ongeschikt bevonden. Een centrale camera kan immers niet het moment vastleggen waarop het voertuig de markering raakt. Voor vervolgstudies verdient het de aanbeveling om tijdens de pilottesten meer aandacht te besteden specifiek aan het voorkomen van onbruikbaar beeldmateriaal door regen. Pilottests kunnen zich mogelijk richten op het uittesten van andere camerabevestigingspunten, alwaar de rijwind de lens beter kan schoonblazen.

Bij vervolgstudies kan het waardevol zijn om, zoals het voorliggende onderzoek doet, een vooranalyse te maken van de gewenste frequentie van de metingen. Het kan de werklast ten aanzien van het vergaren en verwerken van de onderzoeksdata sterk beïnvloeden.

Nieuwe onderzoeken naar Lane Keeping Systemen die wensen gebruik te maken van een laterale positiebepaling met behulp van camerasystemen zouden er baat bij kunnen hebben om het kalibratiehulpmiddel nog groter te maken, of op een andere wijze meer breedte toe te voegen aan de referentiepunten benodigd ter kalibratie. Dit maakt het meten van grotere laterale afstanden nauwkeuriger, zeker wanneer er in bochten wordt gereden waar sprake is van bochtverbreding, of wanneer de rijstrookmarkering aan de ene zijde wordt overschreden.

7 DISCUSSIE

7.1 Discussie

7.1.1 Verschil tussen wettelijke eisen en voertuigcapaciteiten

Het is gebleken dat het LKS van de testvoertuigen ook in staat was om een bocht succesvol af te leggen (welliswaar met een lagere snelheid dan is toegestaan) terwijl de maximale waargenomen laterale versnelling boven de door de VN gedefinieerde grenswaarde van 3,0 m/s^2 kwam. Als deze laterale versnelling boven de gestelde grens komt maar toch in staat is om de bocht te ronden, dan voldoet het voertuig niet aan de eisen van de VN. Er kan dan een discussie gevoerd worden over het ofwel oprekken van de toegestane limieten, ofwel het inperken van voertuigcapaciteiten.

7.1.2 Interdisciplinaire samenwerking

Zonder kip is er geen ei, maar de kip zou er niet zijn geweest zonder een ei. Deze onoplosbare tegenstrijdigheid komt ook een beetje terug in de discussies rondom voertuigautomatisering in relatie tot de infrastructuur. Enerzijds wordt er gesteld dat het onbegonnen werk is om het areaal aan te gaan passen aan deze 'slimme' voertuigen. Immers, als voertuigen echt zo slim zouden zijn dan konden ze zichzelf een weg banen ongeacht de omgeving waarin ze rijden. Ook het op internationaal niveau gelijkrichten van alle stakeholders, zodat infrastructuurontwerp ook over de landsgrenzen heen gelijk aan elkaar is, is een moeilijke, langdurige en misschien wel onmogelijke opgave. De personen die zich in deze visie kunnen vinden leggen dus vooral de opgave bij de automotive partijen neer.

Anderzijds is er de opinie dat het juist een onmogelijke opgave is voor de automotive partijen om een voertuig te ontwikkelen dat om weet te gaan met elke verkeerssituatie, waar dan ook. Daarom zou het nodig zijn om het infrastructuurontwerp juist wel te gebruiken om de voertuigen te helpen om letterlijk de weg te kunnen vinden. Door het homogeniseren van het infrastructuurontwerp wordt het gemakkelijker om een voertuig(systeem) te ontwikkelen dat hier overheen kan rijden en wordt eventuele (mogelijk voorkombare) verkeersonveiligheid zoveel mogelijk geminimaliseerd.

De waarheid zal waarschijnlijk ergens in het midden liggen. Er zal een compromis nodig zijn tussen de beide 'kampen'. Een compromis dat zowel aanstuurt op het verbeteren van de areaalgeschiktheid voor 'slimme' voertuigen, als op het verder doorontwikkelen van het voertuig zelf. De capaciteiten en beperkingen van deels geautomatiseerde voertuigen worden dan ook voorspelbaarder, wat een positief effect teweeg kan brengen op de begrijpelijkheid van de systemen voor de autobestuurder. Om deze redenen is het van belang dat de betrokken stakeholders (zoals wegbeheerders en de auto-industrie) zich niet op hun eigen vakgebieden blijven richten, maar dat stakeholders vooral de samenwerking met elkaar gaan opzoeken.

7.2 Limitaties

7.2.1 Generaliseerbaarheid op landelijk bochtenareaal

Er is sprake van een aantal beperkende factoren die de mate van generaliseerbaarheid van de onderzoeksresultaten op het landelijke bochtenareaal inperken. Deze beperkende factoren worden hieronder nader toegelicht.

7.2.1.1 Aantal metingen

Binnen de kaders van het voorliggende onderzoek was het aantal veldtests beperkt. Daarnaast bleken praktische uitdagingen (o.a. i.r.t. het weer) het aantal metingen nog verder te beperken. Het spreekt voor zich dat de grenzen van het ODD nauwkeuriger bepaald kunnen worden met een groter aantal meetmomenten.

7.2.1.2 Aantal & type onderzoekslocaties

Ook het aantal en het type onderzoekslocaties kende binnen de kaders van deze masterproef een beperking. Omwille van de tijd zijn enkele locaties uit het plan van aanpak geschrapt en vervangen door locaties die geografisch gezien praktische voordelen opleverden ten aanzien van de onderzoekstijd.

Daarnaast is het wenselijk om in volgende onderzoeken gebruik te maken van onderzoekslocaties die onderling ook beter te vergelijken zijn. Bochten die veel gelijke kenmerken hebben, met slechts enkele variabelen (zoals de boogstraal of de markeringsconfiguratie) zorgen voor meer vergelijkbaarheid tussen onderzoekslocaties. Verschillen tussen deze locaties kunnen dan gemakkelijker gekoppeld worden aan een bepaald infrastructureel aspect. Ook was het wenselijk om meer bochten te selecteren met boogstralen die de soms grote verschillen qua boogstraal in het voorliggende onderzoek kunnen opvullen.

7.2.1.3 Aantal voertuigen

Vanwege de grote diversiteit in het aantal soorten voertuigen en voertuigsystemen is het wenselijk om veldtests zoals in het voorliggende onderzoek met meer voertuigen van verschillende merken en typen uit te voeren. Hoewel het voorliggende onderzoek twee auto's uit het 'instapsegment' en een uit het 'premium segment' omvat en er ook onderscheid wordt gemaakt tussen Lane Steering (LS) en Lane Centering (LC) functionaliteiten van de LKS systemen, kunnen er met voertuigen van andere merken weer andere resultaten geboekt worden naar gelang het type LKS en de afstelling van het voertuig door de fabrikant. Door een zo breed mogelijk wagenpark te gebruiken voor dergelijke veldtesten wordt ook een zo breed mogelijk beeld geschetst van LKS capaciteiten en beperkingen.

7.2.2 Imperfecties t.a.v. dataverzameling en correcties daarvoor

Er is sprake van een aantal factoren die (mogelijke) imperfecties teweegbrengen ten aanzien van de wijze van dataverzameling en/of verwerking. Hierna volgt daarop een toelichting, inclusief de stappen die genomen zijn om deze imperfecties waar mogelijk te voorkomen danwel te beperken.

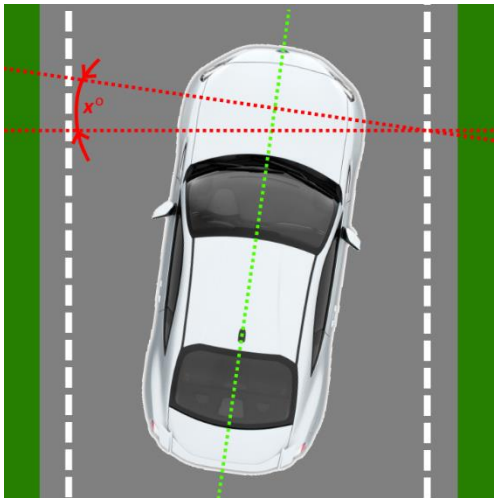
7.2.2.1 Meetfouten

Het is mogelijk dat bij het bepalen van de afstand tussen het wiel en de rijstrookmarkering een incorrecte afstand wordt vastgesteld. Het betreffen immers visuele observaties van objecten ten opzichte van een meetlat. Het kan voorgekomen zijn dat de observanten er soms een centimeter of twee naast zitten. Dat kan veroorzaakt zijn door een verkeerde inschatting of een verschuiving van het camerabeeld. Hiervoor is zoveel mogelijk gecorrigeerd door de onderstaande stappen te nemen:

- Fabricage van een groter (100x100cm) zwartwit geblokt kalibratiebord, in plaats van een 50x20cm bord, om een groter bereik te verschaffen ten tijde van het maken van de rasteroverlays. Hierdoor kon de meetlat over een grotere afstand nauwkeuriger worden ingetekend.
- Het toevoegen van een negatieve schaal op de meetlat, om zo de variabele verschuivingen in het camerabeeld te kunnen vastleggen. Dit werd verrekend met de afstand tot de markering.
- Het toevoegen van extra maatvoeringsstrepen (elke 5cm) op de meetlat draagde eraan bij dat de observanten over extra visuele referentiepunten beschikten en hierdoor minder hoefden in te schatten.

7.2.2.2 Niet haaks kunnen meten

Het voertuig is een bewegend object in de rijstrook, dat ten tijde van stuurbewegingen een zekere mate van rotatie kent. Dit houdt in dat het voertuig niet altijd haaks ten opzichte van de rijstrookmarkering rijdt, waardoor er niet haaks gemeten kan worden. Figuur 32 illustreert dit. Dit kan gevolgen hebben voor de afstanden welke in deze veldtests zijn gemeten. Door de mate van rotatie te meten kan hiervoor gecorrigeerd worden, maar de benodigde meetapparatuur hiervoor was binnen het kader van dit onderzoek niet voorhanden.



Figuur 32: Niet haaks meten.

7.2.2.3 Synchronisatie tussen linker- en rechtercamera

Bij het knippen van de videofragmenten die nodig waren voor de analyse is er soms een verschil in start- en eindtijd geconstateerd in de videobeelden van de linker- en rechtercamera. Wanneer de vastgelegde afstanden vervolgens per frame naast elkaar gelegd worden, kan het zijn dat de waarden voor links en rechts niet met elkaar corresponderen. Dit is gecorrigeerd door per frame te kijken naar een herkenningspunt en die vervolgens ook voor de camera aan de andere zijde van het voertuig op te zoeken. Aan de hand van het verschil in framenummers zijn de linker en rechter datasets vervolgens gesynchroniseerd. Dit is na te lezen in Paragraaf 3.1.1.5.

7.2.2.4 Verschil tussen ingestelde voertuigsnelheid en werkelijke GPS-snelheid

Voor de veldtests is er gebruik gemaakt van de (adaptieve) cruise control systemen aan boord van de testvoertuigen om een constante snelheid aan te houden tijdens de tests. Deze snelheid op het dashboard kan afwijken van de snelheid gemeten door de GPS logger. Hier is niet voor gecorrigeerd, omdat sommige testvoertuigen alleen trapsgewijs met 5 km/u bijgesteld konden worden. Het voertuig zou dan of te snel of te langzaam rijden.

BIBLIOGRAFIE

Abraham, H., Seppelt, B., Mehler, B., & Reimer, B. (2016). What's in a name: vehicle technology branding & consumer expectations for automation. *Proceedings of the 9th ACM International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications.* September 24-27, Oldenburg, Germany.

ADAS Alliantie. (2019). *ADAS Convenant - Verhogen veilig gebruik ADAS door het bevorderen van doorontwikkeling, bekendheid en aanschaf.* Opgehaald van ADAS Alliantie: https://v.fastcdn.co/u/cbfcadb9/43422108-0-ADAS-Convenant.pdf

ADAS Community. (2019). *Charter*. Opgehaald van ADAS Community: https://www.adas.community/charter

AG Insurance. (2015, sep. 10). *AG Insurance beloont bestuurders die investeren in rijhulpsystemen*. Opgehaald van AG Insurance Newsroom: https://newsroom.aginsurance.be/actie-veiligheid/

Alexei, R. T., Randy, B. M., & Nicholas, M. W. (2005). *Safety Impact of Edge Lines on Rural Two-Lane Highways.* USA: Federal Highway Administration (FHWA).

Algemeen Dagblad. (2019, dec. 18). Tesla 3 vliegt weg: 'Het lijken wel hamburgers'. (T. Voermans, Red.) *Algemeen Dagblad*. Opgeroepen op dec. 19, 2019, van https://www.ad.nl/auto/tesla-3-vliegt-weg-het-lijken-wel-hamburgers~a257dd65/

Alkim, T. (2017). Operational Design Domain Framework. Utrecht: Rijkswaterstaat, Ministery of Infrastructure and the Environment.

ANWB. (2018). *Welke rijhulpsystemen zijn er? Van adaptieve cruise control tot vermoeidheidsherkenning*. Opgeroepen op dec. 2, 2018, van ANWB. Zelfrijdende auto: https://www.anwb.nl/auto/zelfrijdende-auto/rijhulpsystemen

Austroads Ltd. (2019). *Infrastructure Changes to Support Automated Vehicles on Rural and Metropolitan Highways and Freeways: Project Findings and Recommendations (Module 5).* Publication no. AP-R606-19. Sydney, Australia: Austroads Ltd.

AutoRAI. (2018, aug. 30). *Auto's met slimme hulpsystemen rijden vaker schade. Onderzoek Branchemonitor Schadesector 2018-2030*. Opgeroepen op dec. 15, 2018, van AutoRAI.nl: https://autorai.nl/autos-met-slimme-hulpsystemen-rijden-vaker-schade/

AXA Belgium. (2019). *AXA Autoverzekering. De 6 meest courante rijhulpsystemen (ADAS): een overzicht*. Opgehaald van AXA.be: https://www.axa.be/ab/NL/dossiers/autosalon/Pages/rijhulpsystemen.aspx

Bainbridge, L. (1983). Ironies of Automation. *Automatica, Volume 19*(Issue 6), pages 775-779. Department of Psychology, University College London, London, UK. Elsevier. doi:https://doi.org/10.1016/0005-1098(83)90046-8

Bhusari, S. (2018). *A Methodology for the assessment of Operational Design Domain for lane keeping system equipped vehicles: The case of Tesla Model S.* Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Department of Transport and Planning. Delft, The Netherlands: TU Delft.

Bosch. (2019a). *Driver Assistance: Lane Assist Systems*. (Robert Bosch GmbH) Opgeroepen op jul. 9, 2019, van Bosch-Engineering.de: https://www.bosch-engineering.de/en/de/einsatzgebiete/personenkraftwagen/sicherheit/fahrerassistenz_4/fahrerassistenz_5.html#

Bosch. (2019b). *With innovative technology and extensive know-how: Bosch paves the way for automated driving* . Opgehaald van Bosch Mobility Solutions: https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/highlights/automated-mobility/automated-driving/

BOVAG. (2019). *Het effect van ADAS op schadeherstel, onderhoud en reparatie.* Vianen: BOVAG & VMS Insight.

Calvi, A. (2015). A study on driving performance along horizontal curves of rural roads. *Journal of Transportation Safety & Security, 7*(3), 243-267.

Cicchino, J. B. (2018, sep.). Effects of lane departure warning on police-reported crash rates. *Journal of Safety Research, Volume 66*, Pages 61-70. Insurance Institute for Highway Safety (IIHS), Arlington, USA. doi:https://doi.org/10.1016/j.jsr.2018.05.006

Clear, S., Hedblom, T., Whitney, J., & Hansen, K. (2018). Understanding the optimal characteristics of pavement markings for detection by forward-facing optical cameras. *25th ITS World Congress Copenhagen 2018.* St. Paul, MN, USA: 3M Transportation Safety Division.

Connecting Mobility. (2017, nov. 1). *Automobilisten onbekend met technologische mogelijkheden eigen auto*. Opgeroepen op dec. 1, 2018, van Connecting Mobility: https://connectingmobility.nl/Nieuws/911726.aspx?t=Automobilisten+onbekend+met+technologische+mogelijkheden+eigen+auto+

Consumer Reports. (2019, aug. 5). *Guide to Lane Departure Warning & Lane Keeping Assist. Explaining how these systems can keep drivers on the right track*. Opgehaald van Consumer Reports: https://www.consumerreports.org/car-safety/lane-departure-warning-lane-keeping-assist-guide/

CROW. (2017). *Online Kennismodule: Wegontwerp bubeko met HWO. Handboek wegontwerp 2013 - Basiscriteria. Paragraaf 7.4.7 Opeenvolging van bogen en rechtstanden: Incidentele horizontale boog.* Gepubliceerd op 23-jun-2017. Ede, Nederland: CROW.

CROW. (2018a, nov. 15). Online Kennismodule: Wegontwerp bubeko met HWO. Handboek wegontwerp 2013 - Gebiedsontsluitingswegen. Herzien op 15-nov-2018. Ede, Nederland.

CROW. (2018b, aug. 6). Online Kennismodule: Wegontwerp bubeko met HWO. Handboek wegontwerp 2013 - Regionale stroomwegen. Herzien op 6-aug-2018. Ede, Nederland.

Droogsma, J., & Klem, E. (2017). *Toepassing ADAS-systemen. Inventarisatie bijzondere situaties.* HaskoningDHV Nederland BV, Transport & Planning NL. Amersfoort: Royal HaskoningDHV.

Droogsma, J., Gorter, M., & Klem, E. (2017). *Toepassing LKS op smalle rijstroken. Verschil in laterale positie tussen zelfrijdende auto en door mens bestuurde auto.* HaskoningDHV Nederland BV, Transport & Planning NL. Amersfoort: Royal HaskoningDHV.

Ebnali, M., Hulme, K., Ebnali-Heidari, A., & Mazloumi, A. (2019). How does training effect users' attitudes and skills needed for highly automated driving? *Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour*(66), 184-195. doi:https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.09.001

Encyclo.nl. (2019). *Nederlandse encyclopedie*. Opgehaald van Encyclo.nl: https://www.encyclo.nl/

Euro NCAP. (2018a, okt. 18). *#TestingAutomation. For the first time, Euro NCAP puts automated driving technology to the test*. Opgeroepen op nov. 6, 2018, van Euro NCAP Press Releases: https://www.euroncap.com/en/press-media/press-releases/testingautomation/

Euro NCAP. (2018b). *The Ratings Explained. Safety Assist: Lane Support*. Opgeroepen op jun. 26, 2019, van EuroNCAP.com: https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/safety-assist/lane-support/

Euro NCAP. (2019a). *About Euro NCAP: How To Read The Stars*. Opgeroepen op jun. 26, 2019, van EuroNCAP.com: https://www.euroncap.com/en/about-euro-ncap/how-to-read-the-stars/

Euro NCAP. (2019b). *The Rewards Explained: Lane Support*. Opgeroepen op jun. 26, 2019, van EuroNCAP.com: https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-rewards-explained/lane-support/

Euro NCAP. (2019c). *TEST PROTOCOL - Lane Support Systems (version 3.0.1, february 2019).* Brussels, Belgium: European New Car Assessment Programme.

Euro NCAP. (2019d). *TEST PROTOCOL - Lane Support Systems (version 3.0.2, july 2019, effective from january 2020 onwards).* Brussels, Belgium: European New Car Assessment Programme.

Euro NCAP. (2019e, jul. 3). *Tesla, Mercedes and Škoda Score a Touchdown in Euro NCAP's Latest Safety Tests*. Opgeroepen op jul. 7, 2019, van Euro NCAP - Press releases: https://www.euroncap.com/en/press-media/press-releases/tesla-mercedes-and-skoda-score-a-touchdown-in-euro-ncap-s-latest-safety-tests/

European Commission. (2019). *Road safety: Commission welcomes agreement on new EU rules to help save lives.* Brussels, Belgium: European Commission. Opgehaald van http://europa.eu/rapid/press-release_IP-19-1793_en.htm

EuroRAP. (2018). *Roads that cars can read. Tackling the transition to Automated Vehicles (report III).* London, UK: European Road Assessment Programme, International Road Assessment Programme & Road Safety Foundation.

FleetNews. (2017, jun. 28). *ADAS technology contributes to 32% rise in vehicle repair costs*. Opgehaald van FleetNews.co.uk: https://www.fleetnews.co.uk/news/manufacturer-news/2017/06/28/adas-technology-contributes-to-32-rise-in-vehicle-repair-costs

Frost & Sullivan. (2018). *Frost Perspectives, Autonomous Vehicle Penetration to Conversely Impact Collision Repair Aftermarket Revenues.* Santa Clara, CA, USA: Frost & Sullivan.

Gorter, M., Wien, J., Droogsma, J., & Klem, E. (2019). *ADAS op de N59.* Amersfoort, The Netherlands: Royal HaskoningDHV, Transport & Planning NL.

Green, P., Cullinane, B., Zylstra, B., & Smith, D. (2004). *Typical Values for Driving Performance with Emphasis on the Standard Deviation of Lane Position: A Summary of the Literature.* University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI), SAfety VEhicles using adaptive Interface Technology (SAFE-IT). University of Michigan.

Harms, I., & Dekker, G.-M. (2017). *ADAS: from owner to user. Insights in the conditions for a breakthrough of Advanced Driver Assistance Systems.* Utrecht: Connecting Mobility.

Heikoop, D. (2017). *Driver Psychology during Automated Platooning. Doctoral thesis.* Transport and Planning, https://doi.org/10.4233/uuid:fe293c97-3f1e-4a39-bcbd-f5ab79d32d87. Delft, The Netherlands: Delft University of Technology.

Heikoop, D., Hagenzieker, M., Mecacci, G., Calvert, S., Santoni de Sio, F., & van Arem, B. (2019). Human behaviour with automated driving systems: A quantitative framework for meaningful human control. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. doi:https://doi.org/10.1080/1463922X.2019.1574931

Hyundai. (2018). *Hyundai Kona Electric Owner's manual.* Hyundai Motor America.

IIHS & HLDI. (2019). *Real-world benefits of crash avoidance technologies.* IIHS. Opgehaald van https://www.iihs.org/media/259e5bbd-f859-42a7-bd54-3888f7a2d3ef/e9boUQ/Topics/ADVANCED%20DRIVER%20ASSISTANCE/IIHS-real-world-CA-benefits.pdf

IIHS. (2016, jan. 28). *Most Honda owners turn off lane departure warning. IIHS Status Report, Vol. 51, No. 1*. Opgeroepen op apr. 22, 2019, van IIHS.org: https://www.iihs.org/iihs/sr/statusreport/article/51/1/4

IIHS. (2017, jun. 22). *Lane maintenance systems still a turnoff for many drivers. IIHS Status Report, Vol. 52, No.4*. Opgeroepen op apr. 22, 2019, van IIHS.org: https://www.iihs.org/iihs/sr/statusreport/article/52/4/3

IIHS. (2018a). *Early intervention, gentle steering inputs may hold the key to driver acceptance of lane departure prevention systems.* Status Report: Challenge Accepted. Vol. 53, No. 9. December 19, 2018. IIHS & HLDI.

IIHS. (2018b, aug. 7). *IIHS examines driver assistance features in road, track tests*. Opgeroepen op aug. 9, 2019, van IIHS.org: https://www.iihs.org/news/detail/iihs-examines-driver-assistance-features-in-road-track-tests

IIHS. (2019a, oct. 3). *Lane-centering problems may limit drivers' acceptance of automated systems*. Opgeroepen op oct. 4, 2019, van IIHS.org: https://www.iihs.org/news/detail/lane-centering-problems-may-limit-drivers-acceptance-of-automated-systems

IIHS. (2019b, jun. 20). *New studies highlight driver confusion about automated systems*. Opgeroepen op aug. 18, 2019, van IIHS.org: https://www.iihs.org/news/detail/new-studies-highlight-driver-confusion-about-automated-systems

Insurance Times. (2019, maa. 22). *Insurers face rising repair costs due to new car technology*. Opgehaald van InsuranceTimes.co.uk: https://www.insurancetimes.co.uk/news/insurers-face-rising-repair-costs-due-to-new-car-technology/1429866.article

Jermakian, J. S. (2011, mei). Crash avoidance potential of four passenger vehicle technologies. *Accident Analysis & Prevention, Volume 43*(Issue 3), Pages 732-740. Insurance Institute for Highway Safety, Arlington, USA. doi:https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.10.020

Kazi, T. A., Stanton, N. A., Walker, G. H., & Young, M. S. (2007). Designer driving: drivers' conceptual models and level of trust in adaptive cruise control. *International Journal of Vehicle Design, Volume 45*(3), 339-360.

Kidd, D. G., & Reagan, I. J. (2019). System Attributes that Influence Reported Improvement in Drivers' Experiences with Adaptive Cruise Control and Active Lane Keeping after Daily Use in Five Production Vehicles. *International Journal of Human-Computer Interaction, Volume 35, 2019*(Issue 11: Human-System Cooperation in Automated Driving), 972-979. doi:https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1561786

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. *Traffic Injury Prevention, Vol.18*(No.S1), Pages S44-S50. Insurance Institute for Highway Safety, Arlington, USA. doi:https://doi.org/10.1080/15389588.2017.1297532

KIVI. (2018). Spookwagens: De lange weg naar acceptatie van autonoom rijden. Koninklijk Instituut Van Ingenieurs (KIVI). (F. Voogd, Red.) *De Ingenieur. Techniek maakt je wereld. Vakblad voor KIVI-leden*(Jaargang 130, Nummer 12, december 2018), 58-59.

Klem, E., & Gorter, M. (2016). *Markering en Rijtaakondersteunende Systemen: Een verkenning naar het functioneren van Lane Assist.* HaskoningDHV Nederland BV, Transport & Planning NL. Amersfoort: Royal HaskoningDHV.

Körber, M., Baseler, E., & Bengler, K. (2017). Introduction matters: Manipulating trust in automation and reliance in automated driving. *Applied Ergonomics, 66*, 18-31. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2017.07.006

Melcher, V., Rauh, S., Diederichs, F., Widlroither, H., & Bauer, W. (2015). Take-Over Requests for Automated Driving. *Procedia Manufacturing 3 (2015)*, 2867-2873. doi:doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.788

Merat, N., Jamson, A. H., Lai, F., Daly, M., & Carsten, O. (2014). Transition to manual: Driver behaviour when resuming control from a highly automated vehicle. *Transportation Research Part F, 27*, 274-282. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2014.09.005

Mercedes-Benz. (2019). *Actieve Spoorassistent. Helpt de bestuurder op het juiste spoor te blijven*. Opgeroepen op aug. 3, 2019, van Mercedes-Benz.nl: https://www.mercedes-benz.nl/vans/nl/sprinter/tourer/optional-equipment-highlights-1/teaser-group-2/active-lane-keeping-assist

MinIenM. (2014). *Mobiliteitsbeeld 2014.* Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM). Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Opgehaald van http://web.minienm.nl/mob2014/documents/B3_1_Hoe_meten_we_reistijdverlies_op_provinciale_wegen.pdf

Morsink, P., & Gorter, M. (2019). *Rapport Onderzoeksvraag 1. Aanpassen fysieke infrastructuur a.g.v. slimme auto's.* Royal HaskoningDHV. Landelijk Verkeersmanagementberaad (LVMB).

Muir, B. M., & Moray, N. (1996). Trust in automation. Part II. Experimental studies of trust and human intervention in a process control simulation. *Ergonomics, 39*, 429-460.

MyCarDoesWhat.org. (2019). *Deeper learning: Lane Departure Warning*. (National Safety Council & University of Iowa, College of Education) Opgehaald van MyCarDoesWhat.org: https://mycardoeswhat.org/deeper-learning/lane-departure-warning/

NDW. (2019, dec. 20). *Open Data portaal.* Opgeroepen op dec. 20, 2019, van NDW.nu: https://dexter.ndwcloud.nu/opendata

Nees, M. (2018). Drivers' perceptions of functionality implied by terms used to describe automation in vehicles. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *62(1)*, pp. 1893-1897.

NHTSA. (2015). *Traffic Safety Facts: Critical Reasons for Crashes Investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey.* U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812115. Published by NHTSA's National Center for Statistics and Analysis, Washington DC, United States of America.

Onderzoeksraad voor Veiligheid. (2019). *Wie stuurt? Verkeersveiligheid en automatisering in het wegverkeer.* Den Haag: Onderzoeksraad voor Veiligheid. Opgehaald van https://www.onderzoeksraad.nl

Parasuraman, R., & Riley, V. (1997). Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. *Human Factors, 39*, 230-253.

Penmetsa, P., Hudnall, M., & Nambisan, S. (2019, apr.). Potential safety benefits of lane departure prevention technology. *IATSS Research, Volume 43*(Issue 1), Pages 21-26. Alabama Transportation Institute & Department of Management Information Systems, The University of Alabama, Tuscaloosa, USA. doi:https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2018.08.002

Prins, P., Voskuil, K., Van der Linde, M., & Morsink, P. (2019). *Monitoring Masterclass ADAS: Beleving en opvallende zaken van deelnemers.* Amersfoort, the Netherlands: Royal HaskoningDHV.

Prodrive Academy. (2019a). *Gevolgen van onvoldoende ADAS kennis bij importeurs en dealers*. Opgeroepen op dec. 3, 2019, van Prodrive Academy: https://www.prodriveacademy.nl/kenniscentrum/blog/gevolgen-van-onvoldoende-adas-kennis-bij-importeurs-en-dealers

Prodrive Academy. (2019b). *Wat zijn de beperkingen van rijhulpsystemen?* Opgeroepen op dec. 3, 2019, van Prodrive Academy: https://www.prodriveacademy.nl/kenniscentrum/blog/wat-zijn-de-beperkingen-van-rijhulpsystemen

Reagan, I. J., Cicchino, J. B., Kerfoot, L. B., & Weast, R. A. (2018). Crash avoidance and driver assistance technologies - Are they used? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Volume 52*, 176-190. doi:https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.11.015

Reddy, N. (2019). *Road Infrastructure Requirements for Improved Performance of Lane Assistance Systems.* Thesis. Delft University of Technology. Opgehaald van http://resolver.tudelft.nl/uuid:cd2afd81-955a-4577-b128-8cb8fe2b4ff4

Rijkswaterstaat. (2019). *Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen 2019 (ROA2019).* Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL) & Grote Projecten en Onderhoud (GPO). Utrecht: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Opgehaald van http://publicaties.minienm.nl/documenten/richtlijn-ontwerp-autosnelwegen-2019-roa2019

Roadshow. (2018, jun. 14). *Here's why people still crash with driver assistance systems: Today's advanced driver assistance systems can be helpful, but they won't make your car autonomous.* (K. Hyatt, Redacteur) Opgeroepen op apr. 22, 2019, van Roadshow by CNET.com: https://www.cnet.com/roadshow/news/heres-why-people-still-crash-with-driver-assistance-systems/

Roose, H., & Meuleman, B. (2017). *Methodologie van de sociale wetenschappen. Een inleiding.* (ISBN: 9789401443449. Derde ed.). Gent, België: Academia Press.

SAE International. (2015). *Surface Vehicle Recommended Practice: Operational Definitions of Driving Performance Measures and Statistics (J2944).* Society of Automotive Engineers (SAE).

SAE International. (2018). *Surface Vehicle Recommended Practice. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles.* J3016. JUN2018. Warrendale, PA, USA: Society of Automotive Engineers. Opgeroepen op jun. 29, 2019

Sayer, J. R., Buonarosa, M. L., Bao, S., Bogard, S. E., LeBlanc, D. J., Blankespoor, A. D., . . . Winkler, C. B. (2010). *Integrated Vehicle-Based Safety Systems Light-Vehicle Field Operational Test Methodology and Results Report.* University of Michigan, University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI). Ann Arbor, Michigan, USA: U.S. Department of Transportation.

Schram, R. (2019, jul. 16). Lunchmeeting met Richard Schram (Technical Director, Euro NCAP) over beoordelingskader infrastructuur voor slimme voertuigen en de rol daarin voor deze masterproef. (P. Morsink, & M. van der Linde, Interviewers) Utrecht, Nederland.

Slim Onderweg. (2019, nov. 19). *ADAS kennis bij autoverkopers*. Opgehaald van SlimOnderweg.nl: https://www.slimonderweg.nl/je-huidige-auto-slimmer-gebruiken-14/adas-kennis-bij-autoverkopers-137#post529

Statistisches Bundesamt. (2018). *Fachserie 8, Reihe 7, Verkehr, Verkehrsunfälle 2017.* Wiesbaden (D-65189), Deutschland: Statistisches Bundesamt.

Sternlund, S., Strandroth, J., Rizzi, M., Lie, A., & Tingvall, C. (2017). The effectiveness of lane departure warning systems—A reduction in real-world passenger car injury crashes. *Traffic Injury Prevention, Vol. 18, Issue 2*, 225-229. doi:https://doi.org/10.1080/15389588.2016.1230672

Subaru Corporation. (2018). *Subaru XV - Aanvulling handleiding voor EyeSight-systeem.* Tokyo, Japan: Subaru Corporation.

Swiss Re Group. (2018a, sep. 10). *Introducing the ADAS risk score*. Opgehaald van Swiss Re Group: https://www.swissre.com/reinsurance/property-and-casualty/solutions/automotive-solutions/adas-risk-score.html

Swiss Re Group. (2018b, dec. 4). *How smart tech could lower car insurance premiums*. Opgehaald van Swiss Re Group: https://www.swissre.com/risk-knowledge/driving-digital-insurance-solutions/adas-smart-tech-premiums.html

SWOV. (2012). *Naturalistic Driving: observatie van natuurlijk rijgedrag (SWOV-Factsheet).* Leidschendam: Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV).

SWOV. (2017, jul. 12). *Factsheet: Kosten van verkeersongevallen*. Opgehaald van SWOV.nl: https://www.swov.nl/feiten-cijfers/factsheet/kosten-van-verkeersongevallen

SWOV. (2019a). *BRON: Bestand geRegistreerde Ongevallen in Nederland*. Opgeroepen op aug. 2, 2019, van SWOV - Feiten en cijfers - Fact: https://www.swov.nl/feiten-cijfers/fact/bron-bestand-geregistreerde-ongevallen-nederland

SWOV. (2019b). *Registratiegraad van slachtoffers en ongevallen*. Opgeroepen op aug. 2, 2019, van SWOV - Feiten en cijfers - Fact: https://www.swov.nl/feiten-cijfers/fact/registratiegraad-van-slachtoffers-en-ongevallen

Teoh, E. R. (2019). *What's in a name? Drivers' perceptions of the use of five SAE Level 2 driving automation systems.* Arlington, VA, USA: IIHS.

Tesla. (2019). *MODEL 3.* Tesla Europa.

Thatcham Research. (2017, aug. 1). *Grey area between "Assisted" and "Automated" driving systems a concern for UK Insurers*. Opgeroepen op apr. 22, 2019, van Thatcham Research Media Centre: http://news.thatcham.org/pressreleases/grey-area-between-assisted-and-automated-driving-systems-a-concern-for-uk-insurers-2086802

Thatcham Research. (2018, jun. 12). *Carmaker Use of the Word 'Autonomous' a Danger to UK Roads*. Opgeroepen op apr. 22, 2019, van Thatcham Research Media Centre: http://news.thatcham.org/pressreleases/carmaker-use-of-the-word-autonomous-a-danger-to-uk-roads-2537576

The Guardian. (2016, mei 16). *Smart cars: how technology is putting the brakes on insurance premiums*. Opgehaald van TheGuardian.com: https://www.theguardian.com/money/2016/may/16/smart-technology-cars-insurance-premiums-safer-cheaper

Toyota. (2019). *Toyota 2020 Corolla Owner's Manual (OM02498U).* Toyota.

United Nations. (2013). *Addendum: 129: Regulation: 130. Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to the Lane Departure Warning System (LDWS).* E/ECE/324/Rev.2/Add.129− E/ECE/TRANS/505/Rev.2/Add.129. New York City, New York, USA: United Nations.

United Nations. (2018). *Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to steering equipment (revision 4). Addendum 78: UN Regulation No. 79. E/ECE/324/Rev.1/Add.78/Rev.4 - E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.78/Rev.4.* New York City, New York, USA: United Nations.

van der Heiden, R., Iqbal, S. T., & Janssen, C. P. (2017). Priming Drivers before Handover in Semi-Autonomous Cars. *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 392-404). Denver, Colorado, USA: ACM New York. doi:https://doi.org/10.1145/3025453.3025507

Van Ratingen, M., Williams, A., Lie, A., Seeck, A., Castaing, P., Kolke, R., . . . Miller, A. (2016). The European New Car Assessment Programme: A historical review. *Chinese Journal of Traumatology*(19), 63-69. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.cjtee.2015.11.016

Vlakveld, W. P. (2015). *Transition of control in highly automated vehicles. A literature review.* Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV). The Hague, The Netherlands: SWOV.

Vlakveld, W. P. (2019). *Veiligheidseffecten van rijtaakondersteunende systemen. Bijlage bij het convenant van de ADAS Alliantie.* Den Haag: Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV).

Vogelpohl, T., Kühn, M., Hummel, T., & Vollrath, M. (2019). Asleep at the automated wheel—Sleepiness and fatigue during highly automated driving. *Accident Analysis and Prevention*(126), 70-84. doi:https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.03.013

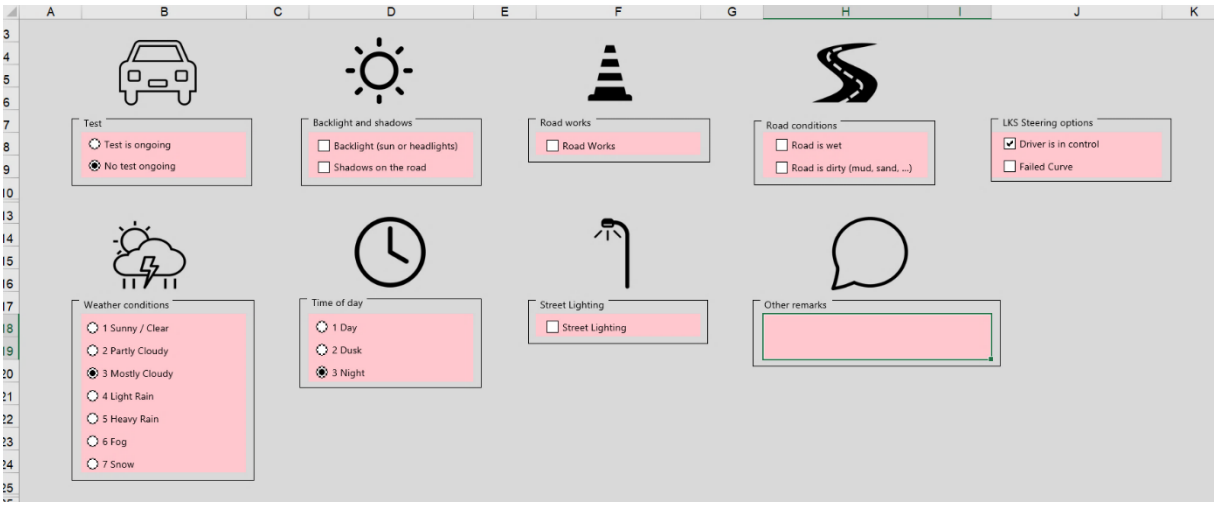
Volkswagen. (2019). Rijstrookhulp (Lane Assist). *Online instructieboekje via Volkswagen.nl*. Opgehaald van https://www.volkswagen.nl/service/pechhulp/instructieboekje

Vos, J. (2019, dec. 23). RE: Functioneren van Lane Keeping in bochten - relatie met k-factor (E-mail conversatie met Johan Vos, auteur van de Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen 2019, RWS-GPO).

BIJLAGEN

Bijlage 1: Logboek tijdens veldtests

Tijdens de veldtests werd in MS Office Excel onderstaand logboek geopend. De bovenste afbeelding toont de invoervelden. Zodra *'test is ongoing'* werd geselecteerd, hield het bestand alle daaropvolgende wijzigingen bij in een tweede tabblad, te zien in de onderste afbeelding. Op deze wijze konden er gecategoriseerde annotaties worden toegevoegd aan de videobeelden. Deze annotaties kunnen met de tijdsregistratie gekoppeld worden aan een specifiek moment in de videobeelden.



Het input-scherm van het logboek.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Date and Time	Test ongoing	Time of day	Street lighting	Weather conditions	Backlight	Shadows on the road	Road is wet	Road is dirty	Road works	Driver takes over control	Failed curve	Other remarks
2	21-3-2019 16:17:43	2	1	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0
3	21-3-2019 16:22:46	1	1	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0
4	21-3-2019 16:24:16	1	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
5	21-3-2019 16:24:19	1	1	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0
6	21-3-2019 16:24:21	1	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
7	21-3-2019 16:25:26	1	1	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0
8	21-3-2019 16:29:09	1	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
9	21-3-2019 16:31:51	1	1	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0
10	21-3-2019 16:32:02	1	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
11	21-3-2019 16:33:09	1	1	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0
12	21-3-2019 16:33:15	1	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
13	21-3-2019 16:33:15	1	1	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0
14	21-3-2019 16:34:38	1	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
15	21-3-2019 16:36:09	1	1	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0
16	21-3-2019 16:36:10	1	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
17	21-3-2019 16:36:14	1	1	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0

De data-output van het logboek.

Om het afsluiten van het logboek tijdens de veldtest te voorkomen, heeft de laptop voor aanvang van de veldtest de nodige updates uitgevoerd. Dit ter voorkoming van de door de RHDHV ICT-afdeling ingestelde verplichte en automatische updates en de daaropvolgende herstart van de laptop tijdens de veldtest. Tevens werd de accu van de laptop voor elke rit (en evt. tijdens elke pauze) opgeladen.

Bijlage 2: Instructies tijdens veldtests

Kleurcodering instructies veldtest		
Veiligheid	Methode	Uitvoering

Voorafgaand aan de veldtests

- De gebruikershandleiding behorende bij het voertuig wordt geraadpleegd m.b.t. informatie rondom het LKS. Deze informatie wordt ook vastgelegd.
- De bestuurder stelt de stoel, het stuur en de spiegels zo optimaal mogelijk af, voor het bewerkstelligen van een goed zicht rondom het voertuig en een ergonomische houding.
- De voertuiginstrumentatie wordt geïnstalleerd op/aan/in de VUT[20], conform de beschrijving in Bijlage 3.
- Via de GoPro-app worden de datum- en tijdsinstellingen van de camera's gesynchroniseerd met de datum- en tijdsinstellingen van de mobiele telefoon.
- De opnamefunctie van de camera's wordt gestart, met de in Bijlage 3 beschreven instellingen. Voor vertrek wordt een meetlat (Bijlage 3) in het zicht van de camera's tegen de wang van de band (van het linker en rechter voorwiel) gepositioneerd voor latere kalibratie-doeleinden.
- De GPS Logger-app op de mobiele telefoon wordt gestart en geactiveerd.

Tijdens de veldtests

Algemeen

- De veldtests worden uitgevoerd met minimaal twee personen, te weten de onderzoeker en een collega vanuit RHDHV.
- Alle inzittenden dragen te allen tijde de veiligheidsgordel.
- De bestuurder heeft te allen tijde het stuurwiel vast, om te kunnen ingrijpen wanneer de situatie hierom vraagt.
- De bestuurder heeft te allen tijde het stuurwiel vast, om te voorkomen dat de VUT waarschuwt voor het niet vast hebben van het stuurwiel en om te voorkomen dat LKS hierdoor mogelijk deactiveert. De bestuurder levert echter geen stuurinput maar laat het LKS het werk doen.
- Alle leden van het onderzoeksteam dragen signaalkleding, indien zij buiten de VUT en nabij overig verkeer werkzaamheden verrichten.
- De meetapparatuur blijft continue ingeschakeld en neemt continue op, ook op de trajecten tussen metingen.

Tijdens veldtests op de openbare weg

- De bestuurder houdt zich aan alle lokaal geldende verkeersregels.
- Bij het trapsgewijs verhogen van de testsnelheid mag de testsnelheid niet conflicteren met het bovenstaande punt.
- In het geval dat er een ACC gebruikt wordt om een constante snelheid te handhaven, zal ervoor gezorgd worden dat er geen voorligger in beeld is. Dit om te voorkomen dat de voorligger de testsnelheid beïnvloedt.

[20] VUT: Vehicle Under Test (voertuig dat getest wordt: testvoertuig)

- De rijsnelheid wordt ingesteld op de minimale snelheid die nodig is voor activatie van het LKS, zoals beschreven staat in de gebruikershandleiding.
- De bocht wordt gereden met deze snelheid, na voltooiing wordt de snelheid met stapjes van 5 km/u (bij max. snelheidslimiet ≤80 km/u) of 10 km/u (bij max. snelheidslimiet >80 km/u) verhoogd.
- De maximale rijsnelheid tijdens de test is 80 km/u (provinciale weg) of 130 km/u (verbindingsboog autosnelweg). Hiervan wordt afgeweken als er lokale snelheidslimieten gelden.
- De bestuurder grijpt in op het moment dat de VUT de markering raakt, of eerder als de situatie daarom vraagt. Er wordt niet gewacht totdat de markering is overschreden.
- De snelheid wordt niet verder verhoogd in een bocht als het LKS bij de vorige ingestelde rijsnelheid niet in staat bleek de VUT in de rijstrook te houden in die desbetreffende bocht.
- De test in een bocht stopt zodra de maximumsnelheid is bereikt, of wanneer de VUT niet in de rijstrook werd gehouden door LKS en/of omdat de bestuurder een ingreep deed.
- De test wordt herhaald op een volgend meetmoment of met een volgend testvoertuig.

Na afloop van de veldtests

- De VUT wordt op een veilige locatie geparkeerd.
- De meetapparatuur wordt gestopt en de data wordt opgeslagen.
- Indien van toepassing: de databestanden worden van de SD kaarten gekopieerd naar een externe harde schijf, waarna de SD kaarten worden geformatteerd.
- Data van de GPS logger wordt via de telefoon gemaild naar de onderzoeker en bijgevoegd bij de overige databestanden van de desbetreffende veldrit.
- Het logboek wordt opgeslagen en bij de overige databestanden van de desbetreffende veldrit bijgevoegd.
- De meetapparatuur wordt gedemonteerd en opgeborgen voor volgend gebruik.

Bijlage 3: Voertuiginstrumentatie

Pilot-test

De hiernavolgende beschrijving van de meetapparatuur is het resultaat van een serie pilot-testen, welke uitgevoerd konden worden in het kader van de studie van Gorter et al. (2019). Het betrof een studie naar het wel/niet herkennen van rijstrookmarkering en bebording in diverse omgevingscondities op provinciale wegen in de provincies Noord- en Zuid-Holland. De onderzoeker heeft aan de studie van Gorter et al. meegewerkt, met als doel om de werkwijze te observeren en te ervaren. Hierdoor is inzicht verkregen in de werking van de apparatuur, de kalibratie ervan en de dataopbrengst dat het genereert.

Mobiele telefoon

Middels een telefoonhouder en een oplaadkabel wordt er een mobiele telefoon in het voertuig geïnstalleerd, met daarop twee applicaties (Tabel 24).

Tabel 24: Meetapparatuur op de mobiele telefoon.

Applicatie	Beschrijving
"GoPro"	App dat via Bluetooth en/of Wi-Fi verbonden kan worden met GoPro actiecamera's. Via deze app kunnen meerdere camera's tegelijkertijd ingesteld worden. De app wordt gebruikt voor het synchroniseren van de datum- en tijdsinstellingen van de camera's met dat van de telefoon, om de videoinstellingen in te stellen en om de opnames te starten/eindigen.
"GPS Logger"	App dat via de GPS sensor van de mobiele telefoon en op basis van meerdere satellieten tegelijk de GPS coördinaten van de telefoon op enkele meters nauwkeurig kan bepalen, voorzien van een datum- en tijdsnotatie. De app wordt gebruikt voor het kunnen koppelen van de videobeelden aan een geografische locatie. Dit dient als veiligheidsnet om de meetgegevens aan de juiste testlocatie te kunnen koppelen.

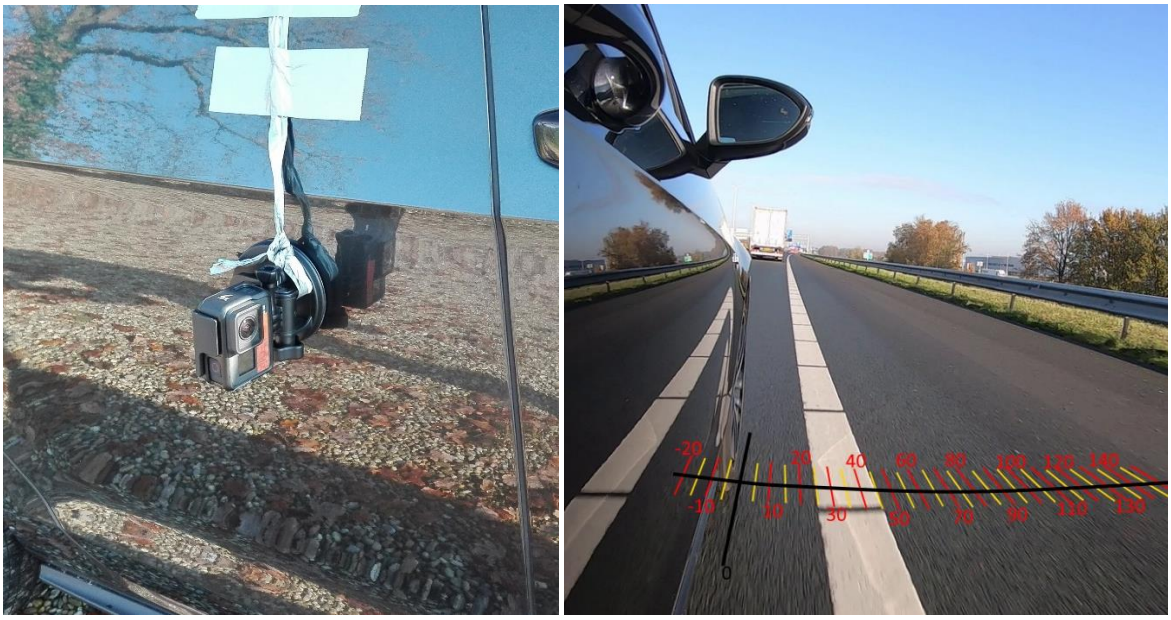
Laptop

Tijdens de uitvoering van de veldtesten heeft het lid van het onderzoeksteam dat op de passagiersstoel plaatsneemt een laptop bij zich. Deze laptop is gebruikt om gebeurtenissen tijdens de tests te kunnen registreren. Hiervoor is een Excelbestand met macro's gebruikt, dat bij elke wijziging of annotatie op de achtergrond een logboek (Bijlage 1) bijhield en voorzag van een datum- en tijdsnotatie. Dit logbestand wordt gebruikt om gebeurtenissen (zoals een stuuringreep van de bestuurder, of fel tegenlicht) te kunnen koppelen aan een specifieke locatie (in combinatie met de videobeelden).

GoPro actiecamera's: buitencamera's

Voor het vergaren van de onderzoeksdata werd het testvoertuig uitgerust met diverse GoPro actiecamera's. Er werden twee camera's bevestigd aan de flanken van het voertuig en twee camera's werden binnenin het voertuig geïnstalleerd. De twee buitencamera's worden aan de flanken van het voertuig bevestigd (Figuur 33, links). De camera's zijn zodanig gericht dat de rijstrookmarkering goed in beeld is. De zijkant van het voorwiel is hierbij ook in beeld (Figuur 33, rechts).

Naast het bepalen van de laterale positie zijn deze beelden ook bedoeld om de omgevingscondities te achterhalen. De beide camera's hebben videobeeld opgenomen met een resolutie van 1920x1080p en met een snelheid van 30 fps. De bevestiging aan het voertuig geschiedde met een originele GoPro zuignap en een zekeringskabel ter valbeveiliging. Ter voorkoming van lege accu's werden de camera's permanent aangesloten aan een voedingskabel. Ter voorkoming van kortsluiting door (spat)water werd er gebruik gemaakt van tape.



Figuur 33: Camera bevestigd aan voertuig (links) en het beeld dat daaruit volgt (rechts), hier getoond inclusief de later toegevoegde meetlat.

Kalibratiebord

Voor een nauwkeurige verwerking van de videobeelden werd voor elke testrit en na elke keer dat de buitencamera's bewogen zijn een kalibratiebord naast het voorwiel gelegd, aan weerszijden (Figuur 34). Hiermee kon het overlay-raster gekalibreerd worden. Het kalibratiebord helpt met het vaststellen van de afstand tussen het wiel en de markering. Dit zwart/witte bord is in eigen huis gefabriceerd voor deze masterproef en meet 100x100 centimeter. De kleinste vakjes zijn 10x10 centimeter, de middelste 10x30 centimeter en de grootste 20x50 centimeter. De grens tussen de 10x30 en 20x50 vakken is precies de helft van het bord, deze visuele lijn werd steevast uitgelijnd op het hart van het wiel. Dit grotere 100x100 bord is gefabriceerd omdat eerder gebruikte kalibratieborden te klein bleken, waardoor het meten op de bredere rijstroken problemen opleverden.

Figuur 34: Het gebruikte kalibratiebord (links) en de video-opname daarvan door de camera aan de flank (rechts).

GoPro actiecamera's: interieurcamera's

Eén interieurcamera werd zodanig gericht dat de verkeerssituatie en de omgevingscondities voor het voertuig werden vastgelegd. Deze camera neemt een videobeeld op met een resolutie van 1920x1080p met een snelheid van 30 fps. Ook nam deze camera audio op, bedoeld om het commentaar van bestuurder en passagier terug te kunnen luisteren. De bevestiging in het voertuig geschiedde met een originele GoPro zuignap aan de voorruit. Ter voorkoming van een lege accu werd de camera permanent aangesloten aan een voedingskabel.

De andere interieurcamera werd zodanig gericht dat het dashboard van het voertuig goed te zien is, waarop informatie wordt weergegeven over de actuele status van het LKS (zoals Figuur 35). Deze beelden zijn bedoeld om te kunnen herleiden of het LKS geactiveerd was en of het de markering herkend heeft of niet. Deze camera neemt een videobeeld op met een resolutie van 1920x1080p met een snelheid van 30 fps. Ook nam deze camera audio op, bedoeld om het commentaar van bestuurder en passagier terug te kunnen luisteren. De bevestiging in het voertuig geschiedde met plakband. Ter voorkoming van een lege accu werd de camera permanent aangesloten aan een voedingskabel.

Figuur 35: Voorbeeld van dashboard opnames.

De camera's zijn allen voorzien van Micro SD dataopslagkaarten (schrijfsnelheid: Class 10 of beter) met een grootte van 64 GB of meer. Bij elke rit waren voor elke camera reserve SD kaarten beschikbaar. Na elke rit werden de SD kaarten uitgelezen en werden de beelden via de laptop opgeslagen op een harde schijf. Het opslaan van de beelden (en de data die daaruit gewonnen wordt) is gesorteerd per voertuig, per datum en per type test, om ervoor te zorgen dat de onderzoeksgegevens gemakkelijker te herleiden zijn naar specifieke testscenario's.

Bijlage 4: K-factoren onderzoekslocaties

Rijnsweerd

Tabel 25: Gemiddelde gereden snelheid per uur van 2019-08-01 00:00:00 tot 2019-08-31 23:59:59 op weekdagen inclusief feestdagen (NDW, 2019).

	Gemiddelde snelheid (km/u)		
uur op de dag	A28	Weefvak	Bocht
00:00 - 00:59	99	89	81
01:00 - 01:59	95	89	79
02:00 - 02:59	93	89	76
03:00 - 03:59	94	91	78
04:00 - 04:59	96	92	80
05:00 - 05:59	100	93	83
06:00 - 06:59	98	91	83
07:00 - 07:59	96	87	82
08:00 - 08:59	87	80	75
09:00 - 09:59	87	79	77
10:00 - 10:59	85	75	73
11:00 - 11:59	82	75	74
12:00 - 12:59	81	76	75
13:00 - 13:59	63	74	71
14:00 - 14:59	72	72	70
15:00 - 15:59	53	59	55
16:00 - 16:59	48	54	54
17:00 - 17:59	50	52	50
18:00 - 18:59	72	66	64
19:00 - 19:59	98	85	83
20:00 - 20:59	89	75	72
21:00 - 21:59	96	84	83
22:00 - 22:59	100	85	83
23:00 - 23:59	100	88	84
22:00 - 04:59	96,71	89,00	80,14
10:00 - 14:59	76,60	74,40	72,60
00:00 - 23:59	84,75	79,17	74,38

De drie meetlussen:

Van rechts naar links:
A28
Weefvak
Bocht

K-Factoren o.b.v. gemeten snelheden			
	a) bocht	b) weefvak	K = a / b
22:00 - 04:59	80,14	89,00	0,900
10:00 - 14:59	72,60	74,40	0,976
00:00 - 23:59	74,38	79,17	0,939

K-Factoren o.b.v. gemeten snelheden			
	a) bocht	c) A28	K = a / c
22:00 - 04:59	80,14	96,71	0,829
10:00 - 14:59	72,60	76,60	0,948
00:00 - 23:59	74,38	84,75	0,878

Hoevelaken

Tabel 26: Gemiddelde gereden snelheid per uur van 2019-08-01 00:00:00 tot 2019-08-31 23:59:59 op weekdagen inclusief feestdagen (NDW, 2019).

	Gemiddelde snelheid (km/u)		
uur op de dag	Recht wegvak	Insturen 1e knik	Insturen 2e knik
00:00 - 00:59	98	90	92
01:00 - 01:59	96	87	88
02:00 - 02:59	95	85	87
03:00 - 03:59	94	85	86
04:00 - 04:59	94	85	86
05:00 - 05:59	96	88	90
06:00 - 06:59	98	92	95
07:00 - 07:59	97	93	96
08:00 - 08:59	96	93	96
09:00 - 09:59	94	90	93
10:00 - 10:59	92	88	91
11:00 - 11:59	92	88	91
12:00 - 12:59	92	88	90
13:00 - 13:59	92	89	92
14:00 - 14:59	91	89	92
15:00 - 15:59	78	80	75
16:00 - 16:59	89	86	86
17:00 - 17:59	69	69	52
18:00 - 18:59	92	88	85
19:00 - 19:59	96	91	94
20:00 - 20:59	96	91	96
21:00 - 21:59	96	91	95
22:00 - 22:59	97	91	94
23:00 - 23:59	98	91	94
22:00 - 04:59	96,00	87,71	89,57
10:00 - 14:59	91,80	88,40	91,20
00:00 - 23:59	92,83	87,83	89,00

De drie meetlussen:

Van onder naar boven:
Recht wegvak
Insturen 1e knik
Insturen 2e knik

K-Factoren o.b.v. gemeten snelheden (1e knik)			
	a) insturen 1e	c) voor de bocht	K = a / c
22:00 - 04:59	87,71	96,00	0,914
10:00 - 14:59	88,40	91,80	0,963
00:00 - 23:59	87,83	92,83	0,946

K-Factoren o.b.v. gemeten snelheden (2e knik)			
	b) insturen 2e	c) voor de bocht	K = b / c
22:00 - 04:59	89,57	96,00	0,933
10:00 - 14:59	91,20	91,80	0,993
00:00 - 23:59	89,00	92,83	0,959

K-Factoren o.b.v. gemeten snelheden (2e knik)			
	b) insturen 2e	a) insturen 1e	K = b / a
22:00 - 04:59	89,57	87,71	1,021
10:00 - 14:59	91,20	88,40	1,032
00:00 - 23:59	89,00	87,83	1,013

Bijlage 5: SPSS output: Meetfrequentie

Descriptives

Distance

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
3	46	62,78	33,392	4,923	52,87	72,70	22	133
5	78	63,00	33,002	3,737	55,56	70,44	21	135
10	154	62,83	33,140	2,670	57,56	68,11	21	135
15	230	62,81	33,075	2,181	58,51	67,11	21	135
20	308	62,82	33,029	1,882	59,11	66,52	21	135
30	460	62,79	33,016	1,539	59,77	65,82	21	135
Total	1276	62,82	32,992	,924	61,01	64,63	21	135

Test of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Distance	Based on Mean	,004	5	1270	1,000
	Based on Median	,001	5	1270	1,000
	Based on Median and with adjusted df	,001	5	1269,620	1,000
	Based on trimmed mean	,006	5	1270	1,000

ANOVA

Distance

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3,016	5	,603	,001	1,000
Within Groups	1387822,802	1270	1092,774		
Total	1387825,818	1275			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Distance

Bonferroni

(I) Frequency	(J) Frequency	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
3	5	-,217	6,145	1,000	-18,29	17,85
	10	-,049	5,554	1,000	-16,38	16,29
	15	-,026	5,339	1,000	-15,73	15,68
	20	-,036	5,225	1,000	-15,40	15,33
	30	-,009	5,112	1,000	-15,04	15,02
5	3	,217	6,145	1,000	-17,85	18,29
	10	,169	4,594	1,000	-13,34	13,68
	15	,191	4,331	1,000	-12,55	12,93
	20	,182	4,190	1,000	-12,14	12,50
	30	,209	4,048	1,000	-11,70	12,11
10	3	,049	5,554	1,000	-16,29	16,38
	5	-,169	4,594	1,000	-13,68	13,34
	15	,022	3,442	1,000	-10,10	10,14
	20	,013	3,262	1,000	-9,58	9,61
	30	,040	3,078	1,000	-9,01	9,09
15	3	,026	5,339	1,000	-15,68	15,73
	5	-,191	4,331	1,000	-12,93	12,55
	10	-,022	3,442	1,000	-10,14	10,10
	20	-,009	2,881	1,000	-8,48	8,46
	30	,017	2,670	1,000	-7,83	7,87
20	3	,036	5,225	1,000	-15,33	15,40
	5	-,182	4,190	1,000	-12,50	12,14
	10	-,013	3,262	1,000	-9,61	9,58
	15	,009	2,881	1,000	-8,46	8,48
	30	,027	2,434	1,000	-7,13	7,18
30	3	,009	5,112	1,000	-15,02	15,04
	5	-,209	4,048	1,000	-12,11	11,70
	10	-,040	3,078	1,000	-9,09	9,01
	15	-,017	2,670	1,000	-7,87	7,83
	20	-,027	2,434	1,000	-7,18	7,13

Bijlage 6: Tabellen LKS prestatie indicatoren

Tabel 27: De LKS prestaties van de drie voertuigen bij daglicht, 1e knik Hoevelaken.

Indicator	Daglicht					
	Auto A		Auto B		Auto C	
	Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail
Aantal frames in meting	72	48	nvt	47	nvt	38
Duur meting (s)	21,6	14,4	nvt	14,1	nvt	11,4
Snelheid (km/u)	70	80	nvt	60	nvt	70
Snelheid (m/s)	19,44	22,22	nvt	16,67	nvt	19,44
Afstand meting (m)	420	320	nvt	235	nvt	222
MLP (cm) eerste 5 frames	30	33	nvt	-21	nvt	11
Bocht gehaald?	Ja	Nee	nvt	Nee	nvt	Nee
Reden voor falen	nvt	LKS switch-off	nvt	LKS switch-off	nvt	LKS switch-off
Moment van falen (frame)	nvt	24	nvt	11	nvt	6
Moment van falen (sec.)	nvt	7,2	nvt	3,3	nvt	1,8
Moment van falen (afstand t.o.v. start)	nvt	160	nvt	55	nvt	35
Lat. snelheid (m/s) @faalmoment	nvt	1,6	nvt	1,5	nvt	0,5
Lat. versnelling (m/s²) @faalmoment	**nvt**	**6,0**	**nvt**	**8,0**	**nvt**	**-6,0**
Max. gemeten lat. snelheid (m/s)	1,3	1,9	nvt	2,2	nvt	2,8
Max. gemeten lat. versnelling (m/s²)	**-6,0**	**7,0**	**nvt**	**13,0**	**nvt**	**-17,0**
MLP (cm)	**19**	**15**	**nvt**	**24**	**nvt**	**17**
SDLP (cm)	**34**	**33**	**nvt**	**48**	**nvt**	**34**
NODC	17	16	nvt	23	nvt	16
NODC per 100m	**4,048**	**5,000**	**nvt**	**9,787**	**nvt**	**7,218**

*Kleurenlegenda: **High**, **Medium** & **Low** performance. Zie Paragraaf 3.1.1.4 voor een toelichting.*

Tabel 28: De LKS prestaties van de drie voertuigen bij duisternis, 1e knik Hoevelaken.

Indicator	Duister			
	Auto B		Auto C	
	Pass	Fail	Pass	Fail
Aantal frames in meting	nvt	47	nvt	58
Duur meting (s)	nvt	14,1	nvt	17,4
Snelheid (km/u)	nvt	60	nvt	70
Snelheid (m/s)	nvt	16,67	nvt	19,44
Afstand meting (m)	nvt	235	nvt	338
MLP (cm) eerste 5 frames	nvt	-7	nvt	-3
Bocht gehaald?	nvt	Nee	nvt	Nee
Reden voor falen	nvt	LKS switch-off	nvt	LKS switch-off
Moment van falen (frame)	nvt	13	nvt	4
Moment van falen (sec.)	nvt	3,9	nvt	1,2
Moment van falen (afstand t.o.v. start)	nvt	65	nvt	23
Lat. snelheid (m/s) @faalmoment	nvt	0,6	nvt	2,0
Lat. versnelling (m/s²) @faalmoment	**nvt**	**-11,0**	**nvt**	**15,0**
Max. gemeten lat. snelheid (m/s)	nvt	2,5	nvt	2,6

Max. gemeten lat. versnelling (m/s²)	**nvt**	**-15,0**	**nvt**	**15,0**
MLP (cm)	**nvt**	**20**	**nvt**	**-25**
SDLP (cm)	**nvt**	**42**	**nvt**	**43**
NODC	nvt	20	nvt	30
NODC per 100m	**nvt**	**8,511**	**nvt**	**8,867**

*Kleurenlegenda: **High**, **Medium** & **Low** performance. Zie Paragraaf 3.1.1.4 voor een toelichting.*

Tabel 29: De LKS prestaties van de drie voertuigen bij daglicht, 2e knik Hoevelaken.

Indicator	**Daglicht**					
	Auto A		Auto B		Auto C	
	Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail
Aantal frames in meting	38	40	65	49	nvt	38
Duur meting (s)	11,4	12,0	19,5	14,7	nvt	11,4
Snelheid (km/u)	90	100	70	80	nvt	70
Snelheid (m/s)	25,00	27,78	19,44	22,22	nvt	19,44
Afstand meting (m)	285	333	379	327	nvt	222
MLP (cm) eerste 5 frames	1	1	11	13	nvt	9
Bocht gehaald?	Ja	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee
Reden voor falen	nvt	LKS switch-off	nvt	LKS switch-off	nvt	LKS switch-off
Moment van falen (frame)	nvt	17	nvt	20	nvt	9
Moment van falen (sec.)	nvt	5,1	nvt	6,0	nvt	2,7
Moment van falen (afstand t.o.v. start)	nvt	142	nvt	133	nvt	53
Lat. snelheid (m/s) @faalmoment	nvt	1,8	nvt	1,0	nvt	1,0
Lat. versnelling (m/s²) @faalmoment	**nvt**	**15,0**	**nvt**	**6,0**	**nvt**	**5,0**
Max. gemeten lat. snelheid (m/s)	1,8	2,9	1,0	1,0	nvt	2,5
Max. gemeten lat. versnelling (m/s²)	**-10,0**	**29,0**	**-7,0**	**6,0**	**nvt**	**-15,0**
MLP (cm)	**-1**	**9**	**7**	**11**	**nvt**	**-11**
SDLP (cm)	**28**	**20**	**10**	**10**	**nvt**	**32**
NODC	20	16	37	21	nvt	21
NODC per 100m	**7,018**	**4,800**	**9,758**	**6,429**	**nvt**	**9,474**

*Kleurenlegenda: **High**, **Medium** & **Low** performance. Zie Paragraaf 3.1.1.4 voor een toelichting.*

Tabel 30: De LKS prestaties van de drie voertuigen bij duisternis, 2e knik Hoevelaken.

Indicator	**Duister**			
	Auto B		Auto C	
	Pass	Fail	Pass	Fail
Aantal frames in meting	53	32	49	56
Duur meting (s)	15,9	9,6	14,7	16,8
Snelheid (km/u)	80	90	70	70
Snelheid (m/s)	22,22	25,00	19,44	19,44
Afstand meting (m)	353	240	286	327
MLP (cm) eerste 5 frames	9	15	-7	22
Bocht gehaald?	Ja	Nee	Ja	Nee
Reden voor falen	nvt	LKS switch-off	nvt	LKS switch-off
Moment van falen (frame)	nvt	10	nvt	32
Moment van falen (sec.)	nvt	3,0	nvt	9,6

Moment van falen (afstand t.o.v. start)	nvt	75	nvt	187
Lat. snelheid (m/s) @faalmoment	nvt	1,6	nvt	1,8
Lat. versnelling (m/s²) @faalmoment	**nvt**	**14,0**	**nvt**	**7,0**
Max. gemeten lat. snelheid (m/s)	1,5	5,0	1,0	1,8
Max. gemeten lat. versnelling (m/s²)	**-12,5**	**-18,0**	**-7,0**	**8,0**
MLP (cm)	**-23**	**-16**	**14**	**1**
SDLP (cm)	**29**	**48**	**25**	**37**
NODC	24	21	8	33
NODC per 100m	**6,792**	**8,750**	**2,799**	**10,102**

*Kleurenlegenda: **High**, **Medium** & **Low** performance. Zie Paragraaf 3.1.1.4 voor een toelichting.*

Tabel 31: De LKS prestaties van de drie voertuigen bij daglicht, Tunnel Rijsweerd.

Indicator	Daglicht					
	Auto A		Auto B		Auto C	
	Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail
Aantal frames in meting	120	nvt	nvt	130	nvt	151
Duur meting (s)	36,0	nvt	nvt	39,0	nvt	45,3
Snelheid (km/u)	80	nvt	nvt	65	nvt	70
Snelheid (m/s)	22,22	nvt	nvt	18,06	nvt	19,44
Afstand meting (m)	800	nvt	nvt	704	nvt	881
MLP (cm) eerste 5 frames	2	nvt	nvt	22	nvt	20
Bocht gehaald?	Ja	nvt	nvt	Nee	nvt	Nee
Reden voor falen	nvt	nvt	Nvt	LKS switch-off	nvt	LKS switch-off
Moment van falen (frame)	nvt	nvt	nvt	14	nvt	12
Moment van falen (sec.)	nvt	nvt	nvt	4,2	nvt	3,6
Moment van falen (afstand t.o.v. start)	nvt	nvt	nvt	76	nvt	70
Lat. snelheid (m/s) @faalmoment	nvt	nvt	nvt	0,6	nvt	0,6
Lat. versnelling (m/s²) @faalmoment	**nvt**	**nvt**	**nvt**	**4,0**	**nvt**	**5,0**
Max. gemeten lat. snelheid (m/s)	1,1	nvt	nvt	3,5	nvt	2,3
Max. gemeten lat. versnelling (m/s²)	**8,0**	**nvt**	**nvt**	**25,0**	**nvt**	**-15,0**
MLP (cm)	**5**	**nvt**	**nvt**	**12**	**nvt**	**3**
SDLP (cm)	**12**	**nvt**	**nvt**	**37**	**nvt**	**29**
NODC	67	nvt	nvt	60	nvt	77
NODC per 100m	**8,375**	**nvt**	**nvt**	**8,521**	**nvt**	**8,742**

*Kleurenlegenda: **High**, **Medium** & **Low** performance. Zie Paragraaf 3.1.1.4 voor een toelichting.*

Tabel 32: De LKS prestaties van de drie voertuigen bij duisternis, Tunnel Rijnsweerd.

Indicator	Duister			
	Auto B		Auto C	
	Pass	Fail	Pass	Fail
Aantal frames in meting	nvt	130	nvt	151
Duur meting (s)	nvt	39,0	nvt	45,3
Snelheid (km/u)	nvt	65	nvt	70
Snelheid (m/s)	nvt	18,06	nvt	19,44
Afstand meting (m)	nvt	704	nvt	881

MLP (cm) eerste 5 frames	nvt	27	nvt	-15
Bocht gehaald?	nvt	Nee	nvt	Nee
Reden voor falen	Nvt	LKS switch-off	nvt	LKS switch-off
Moment van falen (frame)	nvt	15	nvt	23
Moment van falen (sec.)	nvt	4,5	nvt	6,9
Moment van falen (afstand t.o.v. start)	nvt	81	nvt	134
Lat. snelheid (m/s) @faalmoment	nvt	0,4	nvt	0,0
Lat. versnelling (m/s²) @faalmoment	**nvt**	**3,0**	**nvt**	**4,5**
Max. gemeten lat. snelheid (m/s)	nvt	1,6	nvt	1,2
Max. gemeten lat. versnelling (m/s²)	**nvt**	**8,0**	**nvt**	**9,5**
MLP (cm)	**nvt**	**9**	**nvt**	**-13**
SDLP (cm)	**nvt**	**24**	**nvt**	**19**
NODC	nvt	70	nvt	70
NODC per 100m	**nvt**	**9,941**	**nvt**	**7,947**

*Kleurenlegenda: **High**, **Medium** & **Low** performance. Zie Paragraaf 3.1.1.4 voor een toelichting.*

Tabel 33: De LKS prestaties van de drie voertuigen bij daglicht, Leusden-Zuid.

Indicator	**Daglicht**					
	Auto A		Auto B		Auto C	
	Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail
Aantal frames in meting	48	45	nvt	42	nvt	52
Duur meting (s)	14,4	13,5	nvt	12,6	nvt	15,6
Snelheid (km/u)	55	60	nvt	65	nvt	70
Snelheid (m/s)	15,28	16,67	nvt	18,06	nvt	19,44
Afstand meting (m)	220	225	nvt	228	nvt	303
MLP (cm) eerste 5 frames	2	-5	nvt	9	nvt	6
Bocht gehaald?	Ja	Nee	nvt	Nee	nvt	Nee
Reden voor falen	nvt	Driver judgement	nvt	LKS switch-off	nvt	LKS switch-off
Moment van falen (frame)	nvt	14	nvt	12	nvt	8
Moment van falen (sec.)	nvt	4,2	nvt	3,6	nvt	2,4
Moment van falen (afstand t.o.v. start)	nvt	70	nvt	65	nvt	47
Lat. snelheid (m/s) @faalmoment	nvt	0,8	nvt	0,7	nvt	0,4
Lat. versnelling (m/s²) @faalmoment	**nvt**	**4,5**	**nvt**	**5,0**	**nvt**	**3,5**
Max. gemeten lat. snelheid (m/s)	1,5	2,2	nvt	1,6	nvt	2,1
Max. gemeten lat. versnelling (m/s²)	**-9,5**	**-17,0**	**nvt**	**9,0**	**nvt**	**19,5**
MLP (cm)	**2**	**-7**	**nvt**	**-7**	**nvt**	**-16**
SDLP (cm)	**25**	**22**	**nvt**	**16**	**nvt**	**30**
NODC	28	16	nvt	14	nvt	18
NODC per 100m	**12,727**	**7,111**	**nvt**	**6,154**	**nvt**	**5,934**

*Kleurenlegenda: **High**, **Medium** & **Low** performance. Zie Paragraaf 3.1.1.4 voor een toelichting.*

Tabel 34: De LKS prestaties van de drie voertuigen bij duisternis, Leusden-Zuid.

Indicator	Duister			
	Auto B		Auto C	
	Pass	Fail	Pass	Fail
Aantal frames in meting	nvt	49	nvt	54
Duur meting (s)	nvt	14,7	nvt	16,2
Snelheid (km/u)	nvt	65	nvt	70
Snelheid (m/s)	nvt	18,06	nvt	19,44
Afstand meting (m)	nvt	265	nvt	315
MLP (cm) eerste 5 frames	nvt	12	nvt	-6
Bocht gehaald?	nvt	Nee	nvt	Nee
Reden voor falen	nvt	LKS switch-off	nvt	LKS switch-off
Moment van falen (frame)	nvt	13	nvt	8
Moment van falen (sec.)	nvt	3,9	nvt	2,4
Moment van falen (afstand t.o.v. start)	nvt	70	nvt	47
Lat. snelheid (m/s) @faalmoment	nvt	0,8	nvt	0,4
Lat. versnelling (m/s²) @faalmoment	**nvt**	**5,0**	**nvt**	**2,0**
Max. gemeten lat. snelheid (m/s)	nvt	2,1	nvt	1,9
Max. gemeten lat. versnelling (m/s²)	**nvt**	**-14,5**	**nvt**	**14,5**
MLP (cm)	**nvt**	**0**	**nvt**	**-17**
SDLP (cm)	**nvt**	**19**	**nvt**	**23**
NODC	nvt	20	nvt	20
NODC per 100m	**nvt**	**7,535**	**nvt**	**6,349**

*Kleurenlegenda: **High**, **Medium** & **Low** performance. Zie Paragraaf 3.1.1.4 voor een toelichting.*

Tabel 35: De LKS prestaties van de drie voertuigen bij daglicht, Woudenberg.

Indicator	Daglicht					
	Auto A		Auto B		Auto C	
	Pass	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail
Aantal frames in meting	51	52	nvt	52	nvt	65
Duur meting (s)	15,3	15,6	nvt	15,6	nvt	19,5
Snelheid (km/u)	70	75	nvt	65	nvt	70
Snelheid (m/s)	19,44	20,83	nvt	18,06	nvt	19,44
Afstand meting (m)	298	325	nvt	282	nvt	379
MLP (cm) eerste 5 frames	7	3	nvt	18	nvt	23
Bocht gehaald?	Ja	Nee	nvt	Nee	nvt	Nee
Reden voor falen	nvt	Lane crossing	nvt	Driver judgement	nvt	LKS switch-off
Moment van falen (frame)	nvt	39	nvt	14	nvt	13
Moment van falen (sec.)	nvt	11,7	nvt	4,2	nvt	3,9
Moment van falen (afstand t.o.v. start)	nvt	244	nvt	76	nvt	76
Lat. snelheid (m/s) @faalmoment	nvt	0,9	nvt	0,4	nvt	1,0
Lat. versnelling (m/s²) @faalmoment	**nvt**	**5,0**	**nvt**	**-7,0**	**nvt**	**8,0**
Max. gemeten lat. snelheid (m/s)	1,1	2,5	nvt	2,5	nvt	2,7
Max. gemeten lat. versnelling (m/s²)	**-6,5**	**12,0**	**nvt**	**12,5**	**nvt**	**19,0**
MLP (cm)	**-3**	**9**	**nvt**	**1**	**nvt**	**-27**

SDLP (cm)	**22**	**21**	**nvt**	**26**	**nvt**	**47**
NODC	18	28	nvt	22	nvt	32
NODC per 100m	**6,050**	**8,615**	**nvt**	**7,811**	**nvt**	**8,440**

*Kleurenlegenda: **High**, **Medium** & **Low** performance. Zie Paragraaf 3.1.1.4 voor een toelichting.*

Tabel 36: De LKS prestaties van de drie voertuigen bij duisternis, Woudenberg.

Indicator	**Duister**			
	Auto B		Auto C	
	Pass	Fail	Pass	Fail
Aantal frames in meting	nvt	57	nvt	65
Duur meting (s)	nvt	17,1	nvt	19,5
Snelheid (km/u)	nvt	65	nvt	70
Snelheid (m/s)	nvt	18,06	nvt	19,44
Afstand meting (m)	nvt	309	nvt	379
MLP (cm) eerste 5 frames	nvt	-2	nvt	7
Bocht gehaald?	nvt	Nee	nvt	Nee
Reden voor falen	nvt	LKS switch-off	nvt	LKS switch-off
Moment van falen (frame)	nvt	14	nvt	20
Moment van falen (sec.)	nvt	4,2	nvt	6,0
Moment van falen (afstand t.o.v. start)	nvt	76	nvt	117
Lat. snelheid (m/s) @faalmoment	nvt	0,1	nvt	1,3
Lat. versnelling (m/s²) @faalmoment	**nvt**	**-6,0**	**nvt**	**10,5**
Max. gemeten lat. snelheid (m/s)	nvt	1,4	nvt	2,0
Max. gemeten lat. versnelling (m/s²)	**nvt**	**-6,5**	**nvt**	**14,0**
MLP (cm)	**nvt**	**-9**	**nvt**	**-8**
SDLP (cm)	**nvt**	**17**	**nvt**	**31**
NODC	nvt	16	nvt	30
NODC per 100m	**nvt**	**5,182**	**nvt**	**7,912**

*Kleurenlegenda: **High**, **Medium** & **Low** performance. Zie Paragraaf 3.1.1.4 voor een toelichting.*

Bijlage 7: Tabellen invloed MLP op insturen

Hoevelaken 1e knik (rechtsaf, MLP>0 is OK)						
Moment v/d dag	Daglicht				Duister	
Auto	A	A	B	C	B	C
Snelheid (km/u)	70	80	60	70	60	70
Resultaat	Pass	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail
MLP (cm) eerste vijf frames	30	33	-21	11	-7	-3

Hoevelaken 2e knik (rechtsaf, MLP>0 is OK)									
Moment v/d dag	Daglicht					Duister			
Auto	A	A	B	B	C	B	B	C	C
Snelheid (km/u)	90	100	70	80	70	80	90	70	70
Resultaat	Pass	Fail	Pass	Fail	Fail	Pass	Fail	Pass	Fail
MLP (cm) eerste vijf frames	1	1	11	13	9	9	15	-7	22

Rijnsweerd Tunnel (linksaf, MLP<0 is OK)					
Moment v/d dag	Daglicht			Duister	
Auto	A	B	C	B	C
Snelheid (km/u)	80	65	70	65	70
Resultaat	Pass	Fail	Fail	Fail	Fail
MLP (cm) eerste vijf frames	2	22	20	27	-15

Leusden Zuid (linksaf, MLP<0 is OK)						
Moment v/d dag	Daglicht				Duister	
Auto	A	A	B	C	B	C
Snelheid (km/u)	55	60	65	70	65	70
Resultaat	Pass	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail
MLP (cm) eerste vijf frames	2	-5	9	6	12	-6

Woudenberg (linksaf, MLP<0 is OK)						
Moment v/d dag	Daglicht				Duister	
Auto	A	A	B	C	B	C
Snelheid (km/u)	70	75	65	70	65	70
Resultaat	Pass	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail
MLP (cm)	-3	9	1	-27	-9	-8

Bijlage 8: SPSS output: markeringsconfiguratie

Group Statistics

	Locatienr	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Lat_Pos	Hoevelaken	114	-,579	28,4713	2,6666
	Rijnsweerd	120	5,221	11,8847	1,0849

De N-waarde van de locatie Hoevelaken is kunstmatig verhoogd door deze dataset enkele malen te verdubbelen.

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Lat_Pos	Equal variances assumed	74,043	,000	-2,051	232	,041	-5,7998	2,8272	-11,3700	-,2296
	Equal variances not assumed			-2,015	149,614	,046	-5,7998	2,8788	-11,4882	-,1113

Bijlage 9: SPSS output: snelheidsreductie

Van sommige locaties is de N-waarde kunstmatig verhoogd door de dataset enkele malen te verdubbelen.

Auto A / Dag / Hoevelaken / 2e knik / 70 vs. 90 km/u

Group Statistics

	Labelnr	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Lat_Pos	A-Dag-2eknik-70	159	11,92	19,106	1,515
	A-Dag-2eknik-90	152	-,58	28,440	2,307

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Lat_Pos	Equal variances assumed	26,795	,000	4,569	309	,000	12,503	2,736	7,119	17,888
	Equal variances not assumed			4,530	262,677	,000	12,503	2,760	7,069	17,938

Auto A / Dag / Rijnsweerd / Tunnel / 70 vs. 80 km/u

Group Statistics

	Labelnr	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Lat_Pos	AutoA-Dag-Tunnel-70	135	-3,230	9,6899	,8340
	AutoA-Dag-Tunnel-80	120	5,221	11,8847	1,0849

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Lat_Pos	Equal variances assumed	4,928	,027	-6,249	253	,000	-8,4505	1,3522	-11,1135	-5,7874
	Equal variances not assumed			-6,175	229,898	,000	-8,4505	1,3684	-11,1467	-5,7542

Auto B / Nacht / Hoevelaken / 2e knik / 70 vs. 80 km/u

Group Statistics

	Labelnr	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Lat_Pos	B-Nacht-2eknik-70	162	4,667	18,4405	1,4488
	B-Nacht-2eknik-80	159	-23,170	28,8488	2,2879

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Lat_Pos	Equal variances assumed	14,809	,000	10,320	319	,000	27,8365	2,6974	22,5296	33,1434
	Equal variances not assumed			10,279	267,859	,000	27,8365	2,7080	22,5048	33,1682