

RAPPORT

Infra4AV Provincie Noord Holland

Klant: Provincie Noord Holland

Referentie: BH6579-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0001

Status: Finale versie

Datum: 11 augustus 2021

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX AMERSFOORT
Transport & Planning
Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Infra4AV Provincie Noord Holland

Ondertitel Referentie: BH6579-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0001

Status: Finale versie

Datum: 11 augustus 2021

Projectnaam Project BH6579-101-100

nummer:

Auteur(s): Shubham Bhusari, Marco van der Linde

Opgesteld door: Shubham Bhusari, Marco van der Linde

Classificatie

Projectgerelateerd



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.

1 Introductie

Provincie Noord-Holland is een van de koplopers op het gebied van Smart Mobility en bereidt zich proactief voor op de technologische ontwikkelingen binnen Nederland. In dit verkennende project heeft Royal HaskoningDHV de provincie begeleid bij het beoordelen van de weginfrastructuur om zich beter voor te bereiden op voertuigen die zijn uitgerust met Automated Driving Assistance Systems (ADAS) op hun wegen. De functionaliteit van deze voertuigen en systemen, waarvan een groot aantal van deze systemen vanaf 2022 verplicht zullen zijn in nieuwe voertuigen, benadrukt de noodzaak van voorbereiding. Het domein van het geautomatiseerd rijden vereist een constante dialoog tussen verschillende betrokken partijen, zoals tussen de provincie (wegbeheerders) en de OEM's (voertuigfabrikanten).

Dit verkennend project is een eerste stap om deze dialoog op een datagestuurde manier te faciliteren. Het project onderzoekt verschillende variabelen (weggeometrie, tijdstip van de dag, weersomstandigheden) die een effect hebben op de prestaties van twee ADAS systemen, namelijk de Lane Keeping Systems (LKS) en Intelligent Speed Assistance (ISA). Door de relatie tussen deze variabelen en de systeemprestaties te identificeren, kunnen we in kaart brengen wat de 'level of service' van de bestaande infrastructuur is ten aanzien van de areaalgeschiktheid voor diverse ADAS en waar eventuele hiaten zich bevinden. We doen aanbevelingen voor het verder optimaliseren van de infrastructuur en vervolgstappen om de beoordeling van de infrastructuur voor (deels) geautomatiseerde voertuigen (het 'Infra4AV' project) in de provincie Noord-Holland te vergemakkelijken.

2 Deliverables

Het project levert de volgende deliverables op:

1. Kaart met aanduiding van het potentieel voor ADAS in het PNH-wegennet (kansenkaart).
2. LKS & ISA
 - a. Level of Service (LoS) dat door het wegennet wordt geboden voor ADAS in gekozen omgevings-/infrastructuuromstandigheden.
 - b. Beoordelingskaart met kleurcodering voor de ADAS voor de gekozen infrastructuursetting.
3. Aanbevelingen voor mogelijke wijzigingen van de wegeninfrastructuur om het ODD¹ te handhaven/verhogen.

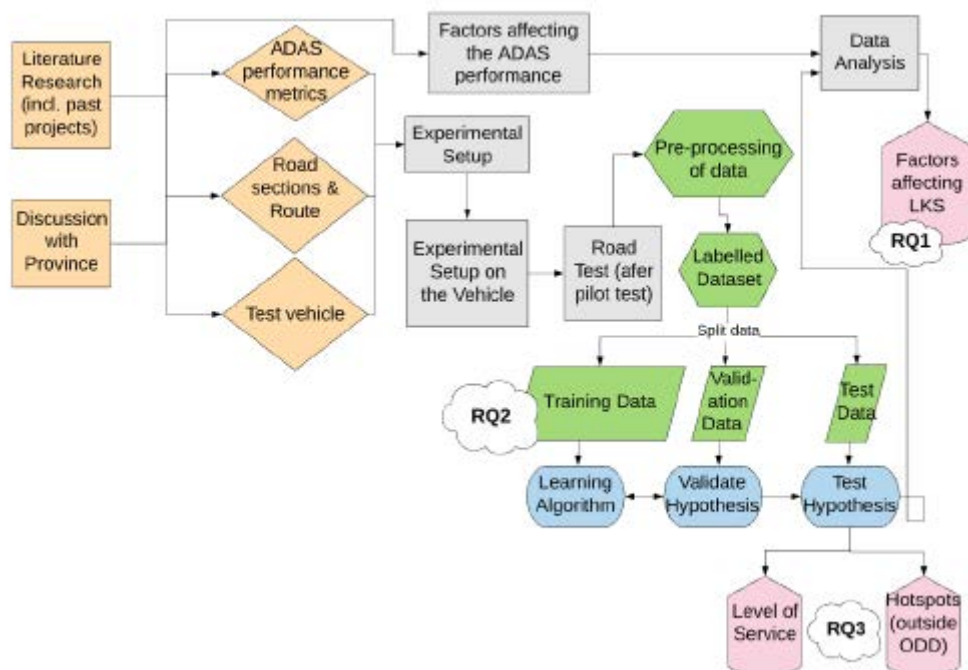
Het project werd uitgevoerd in twee fasen en volgens de in de volgende figuur weergegeven methode.

Fase 1 omvat:

1. Organisatie en uitvoering van de gegevensverzamelingsritten
2. Uitvoering van deliverable 1 (ADAS Kansenkaart).

Fase 2 omvat:

3. Ontwikkeling van de nodige instrumenten (model voor de detectie van verkeersborden, model voor de detectie van de status van dashboards, model voor het type en de contrastverhouding van lijnmarkeringen, model voor de positie van rijstroken)
4. Gebruik van modellen en domeinexpertise voor de deliverables 2a, 2b, 3



Figuur: Stroomschema van het project

¹ ODD: Operational Design Domain, ofwel het gebruiksgedebiet waarbinnen een ADAS kan functioneren. Zie Bijlage 1 voor een nadere toelichting.

3 Organisatie veldtest en dataverzameling

Route van de veldtest

De keuze van een route voor het verzamelen van testgegevens was van cruciaal belang om ervoor te zorgen dat de voertuigen aan diverse situaties worden blootgesteld, zowel binnen als buiten het ODD, om robuuste LKS- en ISA-modellen op te bouwen. Tegelijkertijd moeten er echter voldoende gevallen zijn voor elke beschouwde situatie/variabelen om de nauwkeurigheid van de resultaten te waarborgen. Daarom werd alleen aandacht besteed aan provinciale wegen en werden de snelwegen van de studie uitgesloten.

Aangezien voor LKS ook de retro-reflectie voor dezelfde route moest worden gemeten, speelde dit bovendien een belangrijke rol bij de routekeuze. Wegen zonder markering werden zoveel mogelijk vermeden. In deze studie ligt daarom de nadruk op interstedelijke wegen (van de vier door EuroNCAP gedefinieerde ODD-situaties: parkeren, stad, interstedelijk verkeer en snelweg) voor het testen van ADAS.

Voor dit project is een testroute van 243 kilometer geselecteerd, voornamelijk bestaande uit provinciale wegen. Eerst werd met Street Smart een voorvertoning van de route gemaakt, met variërende wegmarkeringen en bochten met verschillende boogstralen. Bovendien werden verschillende parameters zoals rijstrookbreedte en lijndikte gemeten. Ten slotte hebben we ervoor gezorgd dat de route verschillende situaties bevat met betrekking tot de ouderdom en het meest recente onderhoud van de weg. De route werd vervolgens aangepast op basis van feedback van de provincie, en delen van de weg van N236, N242, N205, N231 en N201 werden toegevoegd. De volgende figuur toont de vastgestelde testroute.



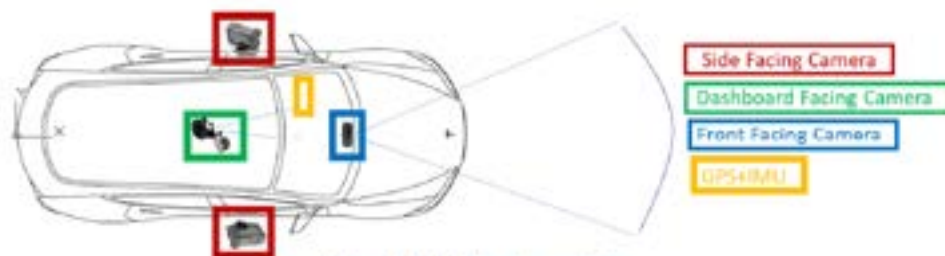
Figuur: Definitieve testroute (<https://goo.gl/maps/Fijj4gGi7oGAKAx68>)

Testvoertuigen en voertuiginstrumentatie

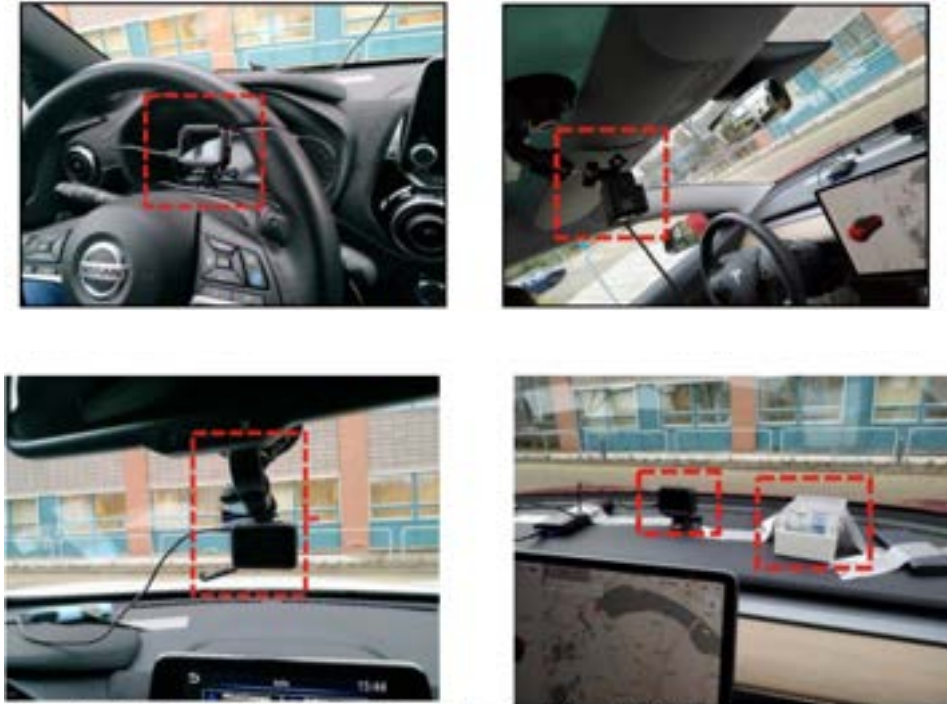
Voor het verzamelen van de gegevens werden twee testvoertuigen (voertuig 1 en 2) uitgerust met sensoren en camera's, zoals hieronder te zien is. De testvoertuigen werden gekozen op basis van hun EuroNCAP-beoordeling, waarbij ervoor werd gezorgd dat we een bandbreedte in voertuigprestaties vastlegden voor zowel ISA- als LKS-functionaliteit. Deze 'bandbreedte in voertuigprestaties' houdt in dat voertuig 1 en 2 zowel de onder- als de bovenkant van de markt vertegenwoordigen, gebaseerd op de beoordeling van de EuroNCAP². Door een bovengemiddeld presterend voertuig en een matig presterend voertuig in veldtests te gebruiken wordt de bandbreedte van voertuigprestaties inzichtelijk gemaakt dat zo representatief mogelijk is voor het huidige marktaanbod. In dit project was voertuig 2 het beter presterende voertuig volgens EuroNCAP.

Een GoPro-camera werd gemonteerd tegenover het dashboardscherm van het voertuig (voertuiginformatiedisplay) om de lijndetectie van het LKS-systeem en de verkeersborddetectie van het ISA-systeem te registreren. De positie van het voertuig op de rijstrook werd gemeten met de GoPro-camera's die op de linker- en rechterdeur van het voertuig waren gemonteerd. Ten slotte werd een naar voren gerichte camera op het dashboard gemonteerd om de contrastverhouding, de toestand van het wegdek en de lichtomstandigheden te meten en om verkeerstekens (borden) te detecteren. In het geval van de verkeersborddetectie werd specifiek gekeken naar snelheidsborden, daar deze voor het ISA systeem relevant zijn en omdat andere typen borden (nog) niet door elk type voertuig herkend worden.

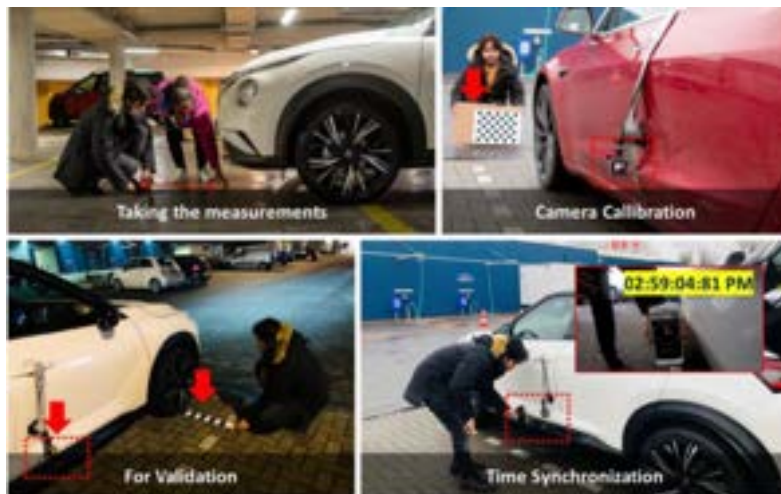
De gegevens van de ingebouwde GPS van de GoPro-camera's werden gebruikt om de voertuigsnellheid te meten. Als back-up voor het meten van de voertuigsnellheid werd de 'GPS logger' app geïnstalleerd op de mobiele telefoon van de rijder, en een GPS verbonden met de Inertial Measurement Unit (IMU) werd in het testvoertuig 1 geplaatst. De GPS voor het traceren van de locatie van het voertuig was zeer kritisch, aangezien dit het sleutelement was voor het synchroniseren van de reflectometeraflezingen met de prestaties van het voertuig. De plaatsing van de camera en het zicht ervan zijn te zien in de volgende figuren.



² <https://www.euroncap.com/nl/resultaten-rewards/beoordeling-van-rijhulpsystemen/>



Figuur: Camerapositionering: zicht van binnenuit de testvoertuigen



Figuur: Calibratie voor het begin van elke rijssessie

Onderzoeksvariabelen (LKS en ISA)

LKS

Op basis van een uitgebreid literatuuronderzoek hebben wij verschillende variabelen geïdentificeerd die een invloed kunnen hebben op de functionaliteit/ODD van de Lane Keeping systemen. Dit zijn onder meer een aantal weggeometrie gerelateerde factoren zoals kromming, lijntype, rijstrookbreedte, bocht (boogstraal, richting, profiel) en andere variabelen, zoals hieronder afgebeeld, met inbegrip van weersomstandigheden (regenachtig, niet regenachtig), natheid van het wegdek (droog, nat wegdek), tijdstip van de dag (dag, nacht, schemering), werden ook in kaart gebracht.



Figuur: Variabelen voor de beoordeling van de LKS-prestaties en LoS

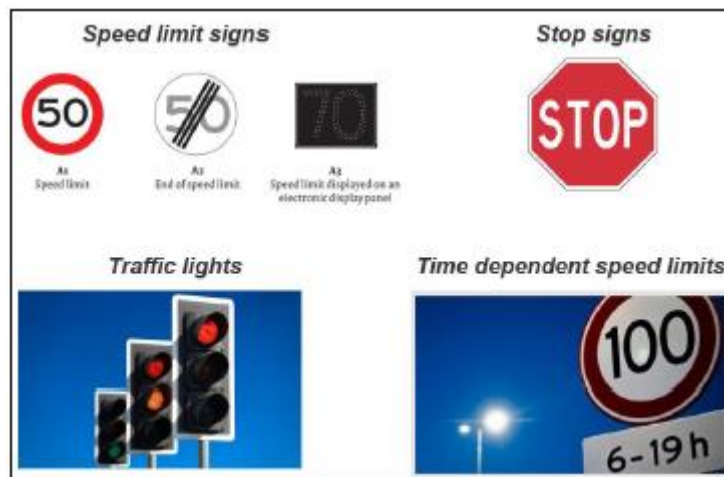
ISA

De volgende variabelen/factoren zijn opgenomen om de prestaties van ISA op het wegennet van de provincie Noord-Holland te beoordelen.

1. Weggeometrie: Snelheidslimietdetectie voor bochten op een provinciale weg. Rechte provinciale weg met voldoende afwisseling in maximum snelheidslimiet.
2. Omgevingscondities: verschillende lichtsterktes: Daglicht, schemering en duister (nacht).
3. Door het weer veroorzaakte omstandigheden: Hieronder vallen omstandigheden als helder, bewolkt, donker en regenachtig.
4. Verlichting: Fel licht (zon, tegenliggers, lantaarns) dat het zicht van de camera belemmert.

Selectie van verkeerstekens

In het Reglement Verkeerstekens en -regels (RVV1990), worden de verkeerstekens ingedeeld in verschillende klassen, aangeduid van A tot L. Wat het ISA-systeem betreft, heeft de detectie van alle beschikbare types snelheidslimietborden (A-categorie bebording) prioriteit. Uit deze borden selecteerden we specifieke borden die zichtbaar waren op het PNH-wegennet en ontwikkelden we een tool om deze borden te herkennen met behulp van beeldherkenningssoftware. Daarnaast is er een landelijk digitaal overzicht van verkeersborden en snelheidsregimes in navigatiekaarten. De volgende vier belangrijke types borden moesten worden gedetecteerd en geanalyseerd: snelheidsborden, stopborden, variabele snelheidsborden (elektronische borden), en verkeerslichten, zoals weergegeven in de volgende figuur. Deze snelheidsbeperkende borden omvatten snelheidsbeperking, einde snelheidsbeperking, dynamische snelheidsbeperking, en tijdsafhankelijke snelheidsbeperking.



Figuur: Dataset voor de uiteindelijke verkeersborden voor de veldtest

Planning en rijinstructies

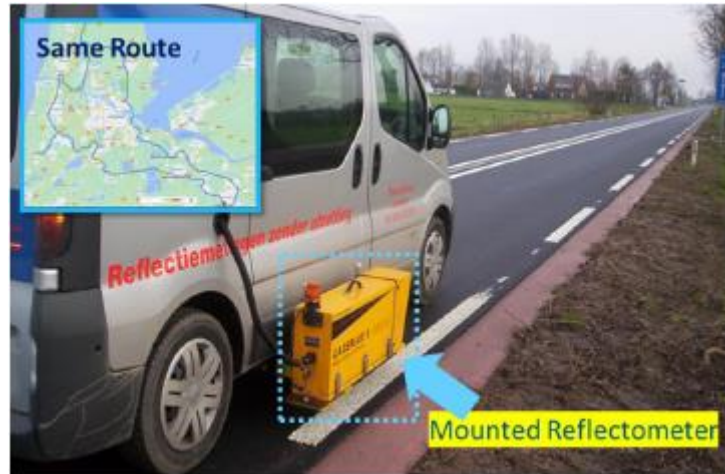
Op 15 januari, drie dagen voor de definitieve test, werd een proefrit van 125 km op de definitieve route uitgevoerd. De voorbereiding hielp bij de succesvolle uitvoering van de hoofdrit, die werd gehouden volgens het schema in de onderstaande tabel. Op twee opeenvolgende dagen werd 's middags en 's avonds gereden. Omdat de veldtest in de winterperiode plaats vond werd het 's avonds al vroeg donker, waardoor voldoende kilometers met daglicht en duister gereden konden worden. De week voorafgaand aan deze twee testdagen werd op basis van het weerbericht gezocht naar twee dagen met de meeste kans op wisselvallige weersomstandigheden.

Datum veldtest	Sessie 1		Pauze	Sessie 2	
	Starttijd	Eindtijd		Starttijd	Eindtijd
18-1-2021	16:30	18:40	1:30 uur	20:15	23:00
19-1-2021	12:45	14:20	1:00 uur	15:14	18:45

In dit project was het rijgedrag van de bestuurder geen onderwerp van onderzoek en daarom hebben de bestuurders van beide testvoertuigen rijinstructies meegekregen, om ervoor te zorgen dat er zo weinig mogelijk inmenging van de bestuurders was in de verzamelde data. Allereerst kregen de bestuurders veiligheidsinstructies: zij zouden geen aandacht geven aan de testapparatuur en het werk van de rijder tijdens de ritten, maar alleen zich concentreren op de rijtaak en het interacteren met de ingeschakelde ADAS. Tijdens de pilot veldtest hebben de bestuurders zich vertrouwd kunnen maken met de voertuigen en diens systemen. Om de input van de bestuurder zoveel mogelijk uit de meetresultaten te houden kregen de bestuurders de opdracht om het stuurwiel met zachte hand te bedienen. Net voldoende genoeg om het voertuig te laten weten dat de bestuurder de handen aan het stuur hield. Dit voorkomt namelijk meldingen op het beeldscherm, die op het moment van de melding belangrijke informatie voor de veldtest (o.a. status van markerings- en verkeersborddetectie) maskeert. De bestuurders werden er ook op aangedrongen om de richtingaanwijzers te gebruiken bij elke beweging waarbij dat noodzakelijk was. Dit zorgt namelijk voor een activatie van de groene pijltjes op het dashboard, waardoor tijdens de analysefase het onderscheid gemaakt kon worden tussen een gewenste of ongewenste rijstrookverlating. Tot slot werden de bestuurders geïnstrueerd om naar eigen inzicht in te grijpen als de verkeerssituatie of gedragingen van de voertuigsystemen daarom vroegen. De onderzoeksresultaten zijn immers minder belangrijk dan veilig thuiskomen.

Andere aspecten van gegevensverzameling

Specifiek voor de LKS-metingen was de retro-reflectie van de rijstrookmarkering een belangrijke variabele om vast te stellen. De retro-reflectie van de rijstrookmarkeringen werd gemeten met de mobiele reflectometer gemonteerd op een voertuig. Met dit toestel kan de retro-reflectie bij een gemiddelde snelheid worden gemeten zonder het verkeer te hinderen. De voor het onderzoek gebruikte reflectometer was de "Laserlux 6". Het toestel werd eerst aan de rechterkant gemonteerd, waarna de hele route werd afgelegd. De bestuurder was reeds op de hoogte gebracht van de te rijden route en geïnstrueerd om de vooraf bepaalde rijstroken te volgen op een weg met meerdere rijstroken, bijvoorbeeld bij in- en uitvoegers. In alle andere gevallen werden de tests uitgevoerd op de meest rechter rijstrook. Nadat het apparaat aan de linkerkant van het voertuig was gemonteerd, werd het proces nogmaals herhaald. Het onderzoek werd uitgevoerd door de aannemer "Trackline". De volgende figuur toont het voertuig van de aannemer dat bij de metingen werd gebruikt met de gemonteerde reflectometer "Laserlux 6" van de fabrikant "RoadVista".



Figuur: retro-reflectiemeting

4 ODD- en LoS-beoordelingsinstrumenten en -analyse

De gegevens die uit de gemaakte videobeelden zijn verzameld middels de in-house ontwikkelde beeldherkenningsmodellen, moeten voor analyse worden omgezet in een tabelvorm. De verschillende waarnemingen, zoals de lichtomstandigheden en de weersomstandigheden, moeten ook naast deze gegevens worden gelegd. Het combineren van deze gegevens was niet eenvoudig omdat de reflectometer, de GPS, de IMU en de GoPro-camera's verschillende frequenties hebben voor het vastleggen van de gegevens. De van de provincie ontvangen informatie over de ouderdom van de weg was in de vorm van een gdb-bestand (geodatabase) en moest worden samengevoegd met de bestaande dataset. Het synchroniseren en omzetten van ruwe gegevens in bruikbare gegevens was de eerste stap in de analyse.

LKS

Een machine vision analyse en verwerking van vooraf verzamelde videobeelden werden toegepast om twee Artificial Intelligence (AI) modellen te ontwikkelen:

- *Lane Edge Detection Model* incl. *Lane Positioning Model*;
 - Model voor het detecteren van rijstrookmarkering incl. het berekenen van de rijstrookpositie
- *Human Machine Interface (HMI) Model*.
 - Model voor het geautomatiseerd detecteren van de systeemstatus en bedieningsinformatie.

De data die voorkwam uit deze twee tools werd verder aangevuld met data over de contrastverhouding, retro-reflectie en de berekening van de rijstrookbreedte. Tabel 1 (in de bijlage) bevat een overzicht van alle instrumenten en software die bij de gegevensanalyse zijn gebruikt.



Figuur Links: Hulpmiddel voor berekenen rijstrookpositie en -breedte. Figuur Rechts: geautomatiseerde detectie van de systeemstatus en bedieningsinformatie.

De uiteindelijke lijst met de onderzoeksvariabelen voor het LKS-gedeelte van het project is weergegeven in de volgende tabel.

Information	Categories
Predictor Variables	
Vehicle Speed	<60Kmph ; 60 to 79Kmph; 79 to 90Kmph; > 90 Kmph
Weather	Dry Road; Wet Road; Rain
Lighting Condition	Day; Dusk; Night
Line Type	Continuous; Dashed
Line Type - Combined	Cont-Cont; Cont-Dash; Dash-Cont; Dash-Dash
Road Type	Divided; Undivided
Lane Width	<3m; 3m to 3.5m; 3.5m to 4m; >4m
Road Section	Straight; Curve
Curve Direction	Right; Left
Curve Sharpness	Large Radius; Broad; Medium; Tight
Curve Profile	Simple; Compound; Reverse
Retroreflection	
Contrast Ratio	
Retroreflection	
Output	
Case - Nissan (MV)	Automated Driving; Lanes Not Detected; Lane Departure AutoSteer; Lane Departure
Case - Tesla (MV)	Automated Driving; AutoSteer drop; AutoPilot Start
MLP	
SDLP	
Post Modelling	
Road	N236; N247; N235; N244; N246; N208; N201; N205; N232; N231; N415; N221; N234
Age of the Road	1 years to 9 years

ISA

Een machine vision analyse en verwerking van vooraf verzamelde videobeelden werden toegepast om twee Artificial Intelligence (AI) modellen te ontwikkelen:

- *Road Traffic Sign Recognition Model;*
 - Model voor het detecteren van verkeersborden en -tekens.
- *Human Machine Interface (HMI) Model.*
 - Model voor het geautomatiseerd detecteren van de systeemstatus en bedieningsinformatie.

Deze modellen werden ontwikkeld om verkeersborden en de bijbehorende attributen (bv. type bord, positie van het bord en snelheidslimiet) te identificeren voor zowel de frontcamera als de camera die naar het dashboard in de auto is gericht. Bepaalde gegevenselementen moesten manueel worden verwerkt, zoals "Tijdstip van de eerste detectie van een bepaald snelheidsbord op het dashboard van de auto (mens/machine-interface, HMI)", om het ISA-systeem accuraat te kunnen beoordelen. Hieronder staan figuren met de voorbeeldresultaten van de instrumenten die voor de ISA-beoordelingen zijn ontwikkeld.



Figuur: voorbeeldresultaten van het model voor de detectie van verkeerstekens

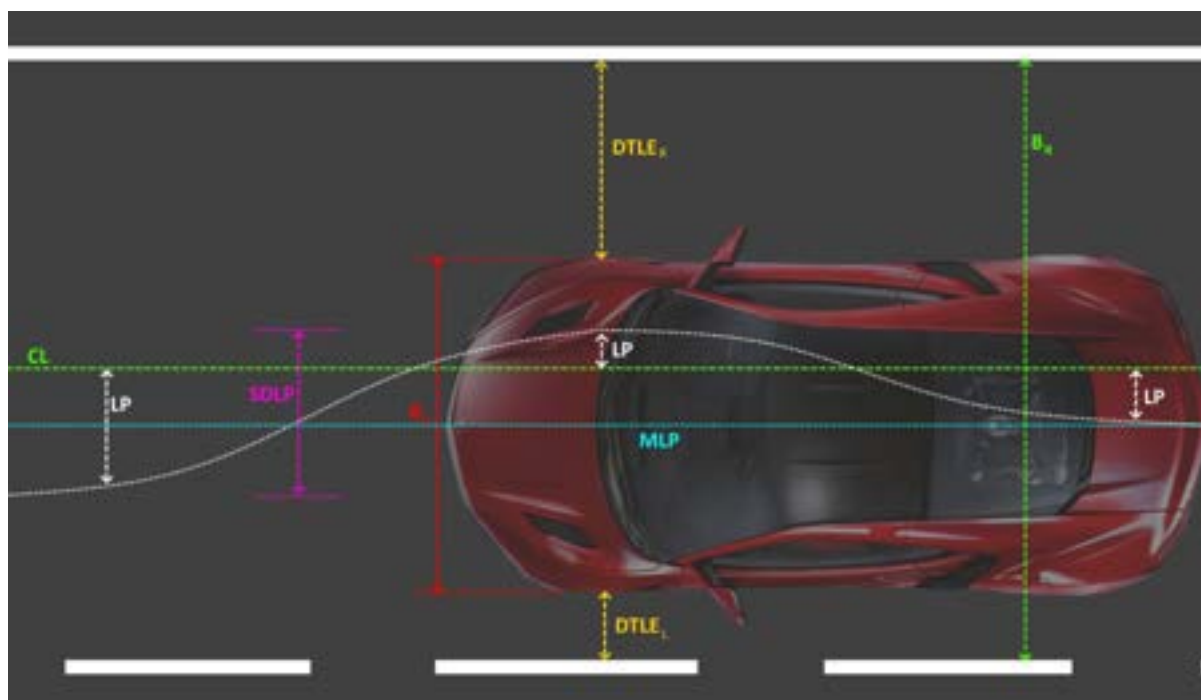
Hieronder volgt een tabel met alle in aanmerking genomen parameters/variabelen en hun bron:

Parameters	Categories of Parameter	Source	Sensor
Detectability of signs	Detected, Not Detected	Field test	Camera
Type of Speed limit sign	Speed 100, Speed 80, Speed 70, Speed 60, Speed 50, Speed 30	Field test, PNH data	Camera
Type of traffic sign	Static (all speed signs), Dynamic (variable speed signs, traffic light)	Field test	Camera
Positioning of traffic sign	Left, Right, Hanging, Left and Right	Field test	Camera
Road Geometry type	Straight, Curved (Sharp Curves ($r < 175$ m), Broad Curves ($r > 175$ m)), Intersection	Field test	Camera
Location of Signs	GPS Coordinates (Latitude, Longitude)	Field test, NDW	GPS sensor
Vehicle Data	Speed of the vehicle (Kmph)	Field test	GPS sensor
Distance to sign detection	Distance b/w sign and vehicle location when it is first detected on HMI	Field test	GPS + Camera
Time of sign detection	(1 sec, 2 sec, 3 sec, 4 sec or 5 sec) before the location of sign	Field test	Camera
Environmental Conditions	Day, Dusk, Night	Field test	Camera

5 Evaluatie van ADAS-prestaties

LKS

De LKS-prestaties (in termen van 'level of service', o.a. de detectiegraad van de markering) op het wegennet van de Provincie over de verschillende eerder genoemde variabelen, waren gebaseerd op de prestaties van de rijstrookdetectie en de rijstrookpositionering. Rijstrookdetectie verwijst naar de prestaties van de machine vision hardware van het voertuig (camera, lidar, enz.) en dit verschilt tussen de beide testvoertuigen die in dit project worden beschouwd. De eerste stap van de evaluatie was het registreren van de rijstrookdetectie o.b.v. het AI model en rijstrookpositionering. De rijstrookpositionering werd beoordeeld aan de hand van enkele standaard meeteenheden, welke hieronder worden toegelicht in een schematisch figuur en een tabel met definities. Er is een verschil tussen de MLP en SDLP waarden op rechte en gebogen wegvakken, waarop deze prestatie indicatoren afzonderlijk van elkaar berekend en gerapporteerd zijn.



Figuur: Schematische weergave van verscheidene standaard meeteenheden voor het vaststellen van de laterale positiebepaling en koersvastheid (Van der Linde, 2020).

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, gemeten met een interval van 30 sec.
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. Berekend met dezelfde frequentie als DTLE.
SDLP	Standaard Deviatie van de Laterale Positie	De standaardafwijking van de LP, berekend over alle LP-datapunten. Berekend met dezelfde frequentie als DTLE.

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. De MLP wordt verkregen door een gemiddelde te nemen van alle LP-waarden. De SDLP wordt berekend met behulp van de onderstaande formule.

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

(Van der Linde, 2020)

De volgende stap was het gebruik van statistische analyse om het effect van elke variabele (zoals lijntype, rijstrookbreedte, retro-reflectie, contrastverhouding, snelheid van het voertuig enz) op de prestaties m.b.t. de rijstrookdetectie vast te stellen. De resultaten van deze analyse hielpen bij het identificeren van de redenen voor infrastructurele hotspots voor LKS op het wegennet. Deze hotspots werden gedefinieerd als de omstandigheden van de weginfrastructuur waar het LKS...:

- er niet in slaagt de rijstroken te detecteren, of;
- wanneer het voertuig de controle heeft maar zichzelf niet binnen de rijstroken kan houden, of;
- in omstandigheden waar de MLP en SDLP meer dan 10 cm bedragen.

In het geval van het eerste punt gaat het om het waarnemen van de markering, waar het bij de punten twee en drie gaat om het reageren op de markering. Een niet-succesvolle reactie van de LKS op de gedetecteerde markering kan echter wel (deels) veroorzaakt worden door een suboptimale visuele geleiding van de markering. De grootste uitdaging bij het identificeren van hotspots was het detecteren van de gedefinieerde gebeurtenis van de hotspot, aangezien deze tijdelijk gedurende een fractie van een seconde optreedt. Dit werd gebruikt als input voor het genereren van de kleurgecodeerde ODD-beoordelingskaart op GIS. Het is belangrijk op te merken dat, gezien de hoge prestaties van de Tesla op het wegennet, de LKS-prestaties van de Nissan als referentie voor de analyse werden gebruikt. In de volgende tabel zijn de scenario's weergegeven die voor de identificatie van de hotspot werden gebruikt.

Tabel: Scenario's voor het identificeren van hotspots

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ProPilot	Autosteer	Detection	Status	Cases	Description	Scenario	Conditions	Conditions	Final
							Interval = 900	Interval = 150 frames	Scenario
ProPilot Active (4)	Active (3)	LD-7	4.0,7	Driver light hands on the wheel but no manual steering input	Automated Driving		Indicator < 90 Frames (Straight) / 30 Frames (Curve)	(case1_count > 140) & (count_indicator < 28)	1
	Standby (2)	LD-8	4.1,8	Not Possible to activate the Autosteer	Lanes Not Detected	Speed > 50 Km/h		(case2_count > 140)	2
	Active (3)	LDN-9,10	5.0,9 5.0,10 5.0,10 5.0,7 5.1,9	Vehicle unable to keep itself in lane Flashing signs cause so much combinations	Lane Departure with Autosteer in control	(Rules Out Intersection)	No Indicator sign for more than 90 Frames	case3_count > 15 & case1_count > 30 & count_indicator < 28	3
LDN (5)	Standby (2)	LDN-9,10	5.1,9 5.1,9 5.1,9 5.1,10 5.1,10 5.1,8	Driver unable to keep vehicle inside the lane (might be due to the Autosteer suddenly turning off)	Lane Departure with Autosteer not available (Autosteer drops)			(case4_count > 15) & (count_indicator < 28)	4

De volgende stap was het bepalen van de Level of Service (LoS) van de weginfrastructuur voor de verschillende wegszenario's, gevisualiseerd in een op GIS gebaseerde storymap. De LoS is gedefinieerd om wegbeheerders inzicht te geven in de gereedheid van de weginfrastructuur voor de LKS. De prestaties op het gebied van lijndetectie en rijstrookpositionering (MLP en SDP) van het LKS worden gecombineerd om de LoS te berekenen. De LoS wordt berekend volgens de drempelwaarden in de volgende tabel.

Tabel: Gedefinieerde LoS voor LKS

LoS 0	LoS 1	LoS 2	LoS 3	LoS 4	LoS 5
Lanes Not Detected	Lanes Detected	MLP > 10 cm SDLP > 10 cm	MLP > 10 cm SDLP <= 10 cm	MLP <= 10 cm SDLP > 10 cm	MLP <= 10 cm SDLP <= 10 cm

Ten slotte werd, in een poging om het dienstverleningsniveau en daarmee de ODD te voorspellen (op basis van de specificaties van de voertuigfabrikanten en de prestaties van de testvoertuigen op de testroute), een neurale LoS-voorspellingsmodel ontwikkeld. Dit helpt de wegbeheerder om een gegevensgestuurde raming te maken van de huidige toestand van hun infrastructuur en de impact van veranderingen in ODD-beïnvloedende variabelen op deze LoS. Dit helpt bij de dialoog met de OEM's.

ISA

Voor het weergeven van de juiste snelheidsinformatie maakt het ISA-systeem van beide testvoertuigen gebruik van zowel een camera als onboard navigatiekaarten. Wanneer het voertuig geen informatie van verkeersborden kan verwerken, kan de kaartinformatie gebruikt worden. In welke mate dat per (test)voertuig geschiedt is onduidelijk en zal samen met OEM's besproken moeten worden. In beide gevallen wordt van de wegbeheerder gevraagd een eenduidige en actuele informatiebeschikbaarheid te realiseren, voor zowel het fysieke als het digitale areaal. In dit project is onder meer onderzocht in welke mate de aan de bestuurder getoonde informatie overeenkomt met datgene wat er langs de weg getoond wordt en welke informatie er in de digitale kaartlagen zit. Ook is gekeken naar andere omgevingsfactoren, zoals licht- en weersomstandigheden. Om de effecten te kunnen beoordelen en de scenario's te kunnen vergelijken, is een reeks kritieke prestatie-indicatoren (KPI's) opgesteld. De volgende parameters van de prestatie-indicatoren werden gebruikt om de prestaties van het ISA-systeem te beoordelen binnen de door de OEM's voorgeschreven grenzen van de ODD: "Detecteerbaarheid van de borden" en "Prestatiemeting op basis van afstand voor de snelheidsborden".

De detecteerbaarheid van een verkeersbord voor beide voertuigen omvat twee mogelijke detectietoestanden, waargenomen vanaf het dashboard van de auto: Gedetecteerd en Niet gedetecteerd. Het bord wordt dus als

"gedetecteerd" beschouwd wanneer het op het dashboard/de HMI kan worden waargenomen, in het geval van Tesla. Het dashboard/HMI van Nissan was echter heel anders dan dat van Tesla, en alleen de veranderingen van de snelheidslimiet konden worden waargenomen wanneer het snelheidsbord op de weg passeert.

Anderzijds verwijst "afstandsmeting" naar de berekening van de afstand tussen de plaats van het snelheidsbord en de plaats van het voertuig wanneer dit bord voor het eerst wordt gedetecteerd en op de HMI wordt weergegeven. Voor een efficiënte werking van de ISA moet het bord op de HMI worden gedetecteerd op een voldoende afstand vóór de plaats van het werkelijke bord, met inachtneming van de snelheid van het voertuig. De berekening van deze parameter was alleen mogelijk voor de Tesla, aangezien op dit dashboard/HMI de eerste detectie van een verkeersbord te zien is. Aan de hand van de gegevens van de Gopro camera's, de gegevens van de GPS-sensor en de NDW-gegevens, de GPS-locatie van het voertuig (de eerste keer dat een verkeersbord werd gedetecteerd), werd de locatie van elk verkeersbord bepaald. De volgende stap was het selecteren van een methode om de afstand tussen deze twee instanties voor elk bord te berekenen met de geëxtraheerde GPS-locaties van het voertuig en het naderende snelheidsbord.

Net als bij de LKS-analyse werd ook hier een statistische analyse uitgevoerd om inzicht te krijgen in de significante verbanden tussen elk van de projectvariabelen en de prestatie-indicatoren van de ISA. In combinatie met de door de OEM's voorgeschreven ODD hielp dit bij het identificeren van de situaties die 'buiten het ODD' liggen (situaties waarin de ISA niet presteert zoals voorgeschreven). Deze situaties worden "hotspots" genoemd en worden gevisualiseerd met behulp van een GIS-gebaseerde storymap. De prestatiedrempels voor de geïdentificeerde KPI's zijn te zien in de volgende tabel. De resultaten voor de ISA systemen van beide testvoertuigen zijn samengevoegd om de detectiegraad van de verkeerstekens te achterhalen, terwijl de verwerkte data van testvoertuig 2 is gebruikt voor de meting van de herkenningafstand. Hierbij moet worden opgemerkt dat de focus van dit project gericht was op het in kaart brengen van de level-of-service van het areaal in relatie tot ISA systemen, en niet op de technische evaluatie van de ISA systemen in de twee geselecteerde testvoertuigen.

Tabel: Drempels voor prestatie-indicatoren van ISA

Key Performance Indicators	High Performance	Medium Performance	Low Performance
Percentage of sign detection	$\geq 99\%$	$< 99\%$, $\geq 92\%$	$< 92\%$
Distance to sign detection (speed signs)	$\geq 60\text{m}$	(22-60) m	$< 22\text{ m}$

Om de provincie te helpen bij het voorspellen van de detectietoestand van verkeersborden ontwikkelden we ook een gegeneraliseerd gemengd model (een statisch model). De resultaten van de eerdere statistische analyse om de relatie tussen individuele variabelen en KPI's vast te stellen werden gebruikt als input voor dit model, om uiteindelijk het gecombineerde effect van deze variabelen op de prestaties van het ISA-systeem vast te stellen. Dit betekende dat slechts enkele variabelen zoals (snelheid, type wegvak, plaats van de borden) in dit model werden gebruikt, aangezien hun relatie statistisch significant was in de eerdere analyse.

Ten slotte hebben we een beoordeling uitgevoerd van de level-of-service van de infrastructuur voor ISA-systemen op het wegennet in Noord-Holland. Dit omvatte het classificeren van infrastructurele situaties op basis van de ISA-prestaties in deze situaties. De volgende tabel laat zien hoe de classificatie werd uitgevoerd (voor beide KPI's) en deze werden vervolgens gevisualiseerd op een GIS-kaart.

Tabel Links: Level of service voor de detectie van borden. Tabel Rechts: Level of service classificatie voor afstands aanduiding.

Level of service	Road Section type	Vehicle Speed Category (Kmph)
High Performance ($\geq 99\%$)	Straight	50 - 80
Medium Performance ($\geq 99\%$, $\geq 92\%$)	Straight	25 - 50, Below 25
	Curved	25 - 50, Above 80
	Intersection	50 - 80, Below 25
Low Performance ($< 92\%$)	Straight	Above 80
	Curved	50 - 80
	Intersection	25 - 50

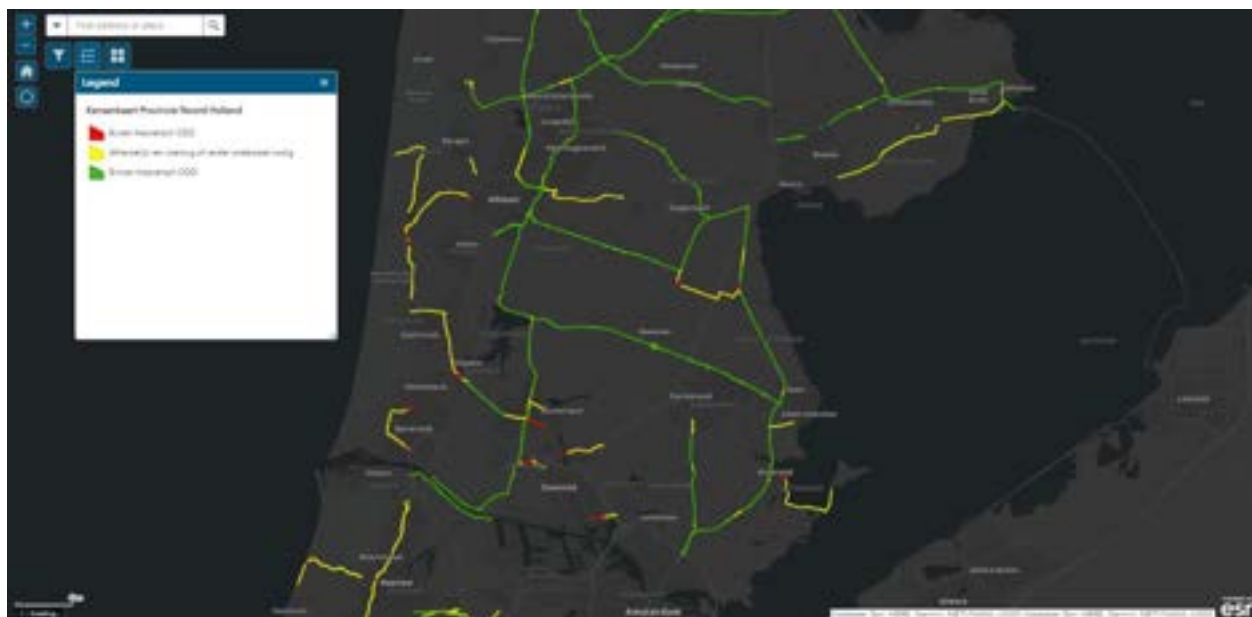
Level of service	Road Section type	Vehicle Speed Category (Kmph)
High Performance ≥ 60 m	Straight	50 - 80, Above 80
Medium Performance (22-60) m	Straight	25 - 50, 50 - 80, Above 80
	Curved	50 - 80
	Intersection	25 - 50, 50 - 80
Low Performance < 22 m	Straight	25 - 50, 50 - 80
	Curved	25 - 50
	Intersection	25 - 50, Below 25

6 Resultaten en discussie

Fase 1 Deliverable (Deliverable 1b: Kansenskaart)

Hieronder staat de 'kansenskaart' voor ADAS-rijden op het provinciale wegennet. Deze kaart is indicatief en is gebaseerd op een combinatie van open beschikbare data en onze domeinexpertise op het gebied van ODD management en eisen van geautomatiseerd rijden. De variabelen om het ADAS potentieel te bepalen zijn als volgt: bebouwing, type weg, hoofdverkeersgebruik, verhardingsbreedte, verhardingstype, type infrastructuur (kruising, verbinding, overig verkeersgebied), aantal rijstroken, gescheiden rijbaan, fysiek voorkomen (in tunnel, oprit/afrit, knooppuntverbinding, enz...). Gebaseerd op deze variabelen en onze eerder opgedane ervaringen kunnen we met deze kaart op wegvakniveau tonen waar het areaal binnen het omschreven ODD valt voor ADAS in het algemeen (niet specifiek voor één individueel systeem). Dat wordt op de kaart in groen weergegeven. De rood gearceerde wegvakken vallen buiten het omschreven ODD, wat wil zeggen dat deze locaties niet geschikt zijn om te rekenen op assistentie van de huidige beschikbare ADAS. Over de gele segmenten bestaat of nog twijfel, omdat het ODD nog niet duidelijk genoeg omschreven kan worden, of omdat er specifieke condities nodig zijn alvorens ADAS naar behoren kan functioneren. Hiernaar dient nog nader onderzoek plaats te vinden.

De GIS-kaart is toegankelijk via deze [link](#) en vereist een Esri/GIS-account binnen de Provincie. Dit helpt de provincie een vroege indicatie te krijgen van het potentieel van ADAS-systemen op hun wegennet.

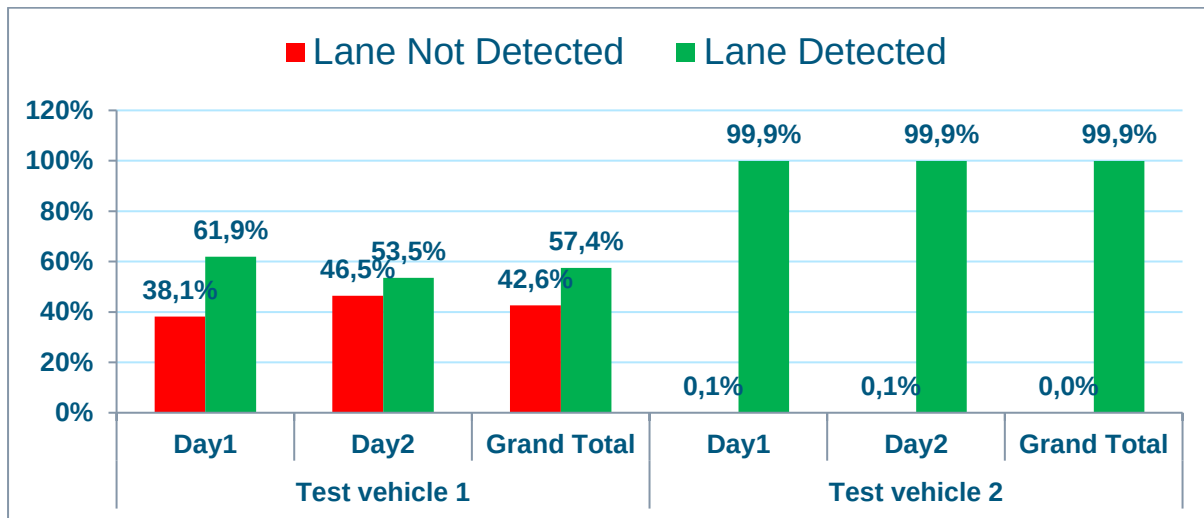


Figuur: De 'Kansenskaart' in de provincie Noord Holland, voor ADAS in het algemeen.

Fase 2 Deliverables (Deliverables 2a, 2b)

Met behulp van de eerder beschreven analyse-instrumenten en -aanpak werden de deliverables 2a en 2b van fase 2 van het project opgesteld. Een eerste vereiste voor deze stap is de beoordeling van het verband tussen variabelen en prestatie-indicatoren en KPI's die voor beide ADAS-systemen zijn gedefinieerd.

LKS



Figuur: Vergelijking van de detectiegraad van de rijstrookmarkering tussen testvoertuig 1 en 2.

Wat betreft de gereedheid van de infrastructuur voor de auto's die de weg kunnen lezen, is te zien dat op de beschouwde N-wegen het percentage rijstrookdetectie slechts 57% was voor de testvoertuig 1 en 100% voor de testvoertuig 2. De lage prestatie van testvoertuig 1 zou vragen kunnen oproepen over de gereedheid van de infrastructuur; het retro-reflectie onderzoek toont echter aan dat 85% van de gereden route retro-reflectie had boven 150 mcd/m²/lux, en 89% van de route had contrast-ratio boven 90%, wat wijst op de betere zichtbaarheid en goede condities van de rijstrookmarkeringen. Hieruit blijkt dat de kwaliteit van de rijstrookmarkering in de provincie Noord-Holland (voor de door ons gereden route) goed op orde is. De waarschijnlijke reden voor het aanzienlijke verschil in de prestaties van de twee voertuigen zou het verschil kunnen zijn in het algoritme dat door de verschillende voertuigfabrikanten (OEM's) wordt gebruikt. Veel OEM's maken gebruik van een beperkt aantal sensorleveranciers; er kan een verschil zijn tussen de gebruikte hardware, echter heeft de softwarematige kant (de algoritmes die detecteren en beslisinformatie naar de boordcomputer sturen) een grotere impact op de systeemprestaties.

De hoge detectiegraad van testvoertuig 2 hoeft overigens niet te betekenen dat de prestaties van testvoertuig 1 ondermaats zijn. Ook hier heeft de OEM invloed op, bijvoorbeeld door de mate waarin onzekerheidsmarges worden geaccepteerd. Een door de OEM ietwat conservatiever afgesteld algoritme zal eerder aangeven iets 'niet te detecteren', om er zeker(der) van te zijn dat het voertuigstelsel geen ongewenste ingrepen doet in situaties waar de onzekerheid groter is. Eerdere veldtestervaringen met allerlei verschillende voertuigmerken laten soortgelijke verschillen in afstelling zien, o.a. ook ten aanzien van een MLP dat iets meer links of rechts van het rijstrookmidden zit.

Invloed van variabelen op rijstrookdetectieprestaties

De volgende tabel geeft een overzicht van het verband tussen de onderzoeksvariabelen en rijstrookdetectie prestaties.

Tabel: Variabelen die de prestaties van de rijstrookdetectie beïnvloeden.

Variable	Test vehicle 1	Test vehicle 2
Vehicle speed	No significant difference found	No significant difference found
Road section (straight/curved)	No significant difference found	No significant difference found

Road type (divided/undivided)	No significant difference found	Yes
Line type (continues/dashed)	Yes	Yes
Lane width	Yes	Yes
Weather conditions	Yes	Yes
Lighting conditions	Yes	Yes

Vervolgens is een statistische analyse uitgevoerd om de invloed van de verschillende factoren op de prestaties van het Lane-Keeping System (LKS) te begrijpen. Het bleek dat testvoertuig 2 de rijstroken detecteerde zonder beïnvloed te worden door de rijomstandigheden; verschillende factoren beïnvloedden echter de rijstrookdetectie van testvoertuig 1. Ten eerste bleek dat een snelheid van meer dan 80 km/u resulteerde in een betere rijstrookdetectie (dit kwam voor op wegvakken met een snelheidslimiet van 100 km/u, zoals N205, N244 en N246). Ten tweede werd vastgesteld dat de onderbroken markeringen in vergelijking met ononderbroken lijnmarkeringen de rijstrookdetectie aanzienlijk verminderden. Verder bleek dat de rijstrookdetectie ook sterk afnam door de natte wegomstandigheden. Bovendien was de rijstrookdetectie overdag beduidend minder dan 's nachts.

Ten slotte kon testvoertuig 1 de rijstroken niet detecteren voor rijstroken met een breedte van minder dan 3 meter. Op sommige weggedeelten met zeer goed zichtbare rijstrookmarkeringen (hoge retro-reflectie en contrastverhouding van lijnmarkeringen) kon het voertuig de markering niet lezen. Uit de analyse bleek dat in dergelijke situaties de breedte van de rijstroken minder dan 3 meter bedroeg of dat er dubbele markeringen (ononderbroken links en onderbroken rechts) op de weg stonden. Om dit niet-intuïtieve gedrag van het voertuig verder te onderzoeken, werden de normen voor rijstrookbreedte het land van herkomst van het testvoertuig gecontroleerd. Het bleek dat de nationale snelwegen en autowegen in dat land een rijstrookbreedte van meer dan 3 meter hebben, terwijl andere wegen een rijstrookbreedte van minder dan 3 meter hebben. Er is dus een mogelijkheid dat de camera aan boord van testvoertuig 1 de rijstrookbreedte berekent en de LKS-functionaliteit niet toestaat wanneer de rijstrookbreedte minder dan 3 meter is, om zodanig het gebruiksgebied van het LKS te beperken tot alleen snelwegen en autowegen. Dezelfde constatering hebben we in eerdere veldtesten met testvoertuigen uit hetzelfde land al eerder gemaakt, waarbij sommige OEMs dit ook specifiek aangeven in de gebruikershandleiding. Op basis van het voorliggende en voorgaande onderzoeken kan worden geconcludeerd dat een rijstrookbreedte van minder dan 3 meter een ODD-voorwaarde is voor dit testvoertuig, en dat de sensoren aan boord van het voertuig deze situatie zelf vaststellen. Dit was duidelijk te zien op het weggedeelte van de N244, dat verderop in dit verslag zal worden afgebeeld.

Concluderend, bijna alle van de in de tabel hierboven genoemde onderzoeksvariabelen (behalve road type) hebben een impact op (of correleren met) de rijstrookdetectieprestaties, voor beide testvoertuigen. Echter, dit geeft niet weer wat de mate is van elke individuele variabele waarin het de rijstrookdetectieprestaties beïnvloedt. Dat viel buiten het huidige onderzoekskader en behoeft nog vervolgonderzoek.

Prestatieoverzicht rijstrookpositie

Verdere statistische analyse toonde aan dat de prestaties van de rijstrookpositie werden beïnvloed door lijnmarkeringen, de breedte van de rijstrook, bochtige secties, weersomstandigheden en lichtomstandigheden voor beide voertuigen. Beide testvoertuigen bleken zich tegengesteld te

gedragen bij verschillende soorten belijning. Wanneer bijvoorbeeld de markeringen rechts en links op de rijstrook ononderbroken waren, plaatste de voertuig 1 zich het dichtst bij het midden van de rijstrook. De voertuig 2 daarentegen positioneerde zich uiterst links in vergelijking met een ander type belijning. Beide voertuigen bleken er niet in te slagen scherpe bochten te nemen. De rijstrookpositionering bleek aanzienlijk beter bij droog weer en 's nachts. De contrastverschillen tussen wegdek en markering zijn dan groter (en dus beter detecteerbaar). Dit uitte zich in een lagere waarde voor de MLP en SDLP.

Hotspots Kleur → Gecodeerd ODD

Zoals eerder beschreven, werden de hotspots geïdentificeerd met behulp van de LKS-prestaties van Nissan als referentie. Het HMI-model identificeerde precies de hotspot conditie (i) en (ii) als respectievelijk Case 2 (Lanes not detected) en Case 4 (LKS slaagt er niet in het voertuig binnen de rijstroken te houden), gegeven in de eerdere tabel (Scenario's voertuig 1). Aan de andere kant, aangezien voertuig 2 de rijstroken 100% van de tijd detecteerde, werd de hotspot gedefinieerd als Geval 2 (LKS valt uit). Deze geïdentificeerde hotspots zijn te zien in onderstaande figuur. Bovendien identificeerde het hulpmiddel voor het berekenen van de rijstrookpositie de hotspotconditie (iii) voor zowel beide voertuigen, en de resultaten zijn ook te zien in de volgende figuur. Bovendien voerden deze instrumenten 30 metingen per seconde uit, zodat alle hotspots die zich tijdens de route voordeden, nauwkeurig werden geïdentificeerd.

Zoals eerder besproken, is het gemarkeerde weggedeelte op de N244 in bovenstaande figuur een voorbeeld van de invloed van rijstrookbreedte op de lijndetectie. De hotspots zijn ook gevisualiseerd op een GIS-gebaseerde storymap ([link naar kaart](#)), die bijdraagt tot de deliverable 2b van dit project.



Figuur: LKS-hotspots op testroute (testvoertuig 1)

Niveau van dienstverlening (LoS)

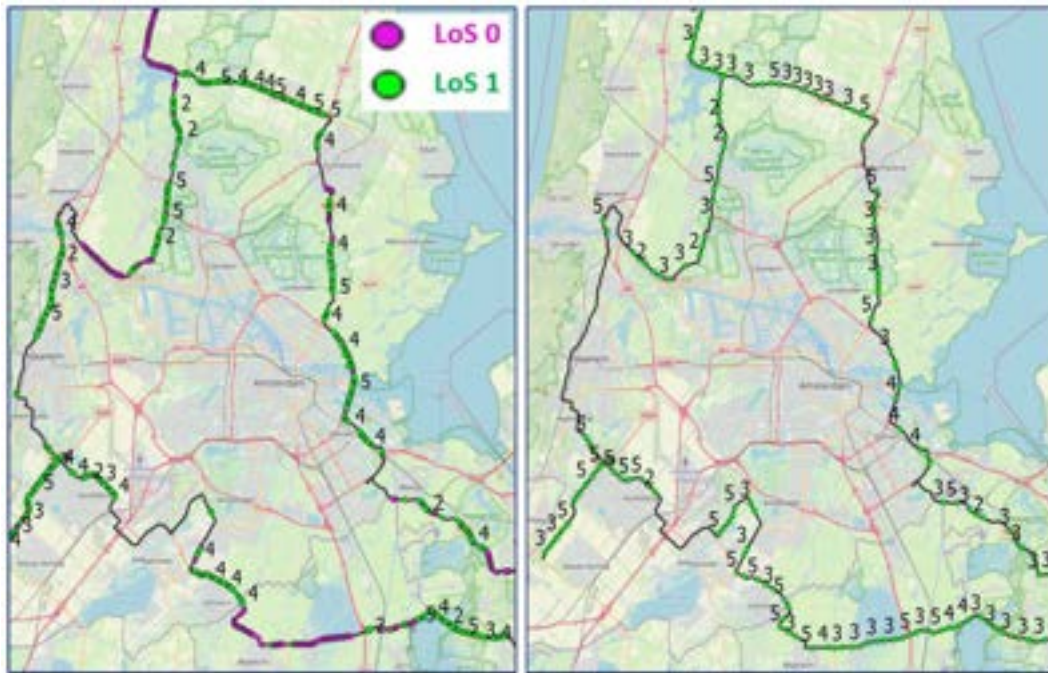
Met behulp van de drempelwaarden zoals eerder beschreven, toont de volgende figuur de LoS op basis van LKS-prestaties van de eerste dag. In figuur 19 (b) is te zien dat er geen LoS 0 is omdat voertuig 2 100% van de lijnen heeft gedetecteerd.

LoS 0	LoS 1	LoS 2	LoS 3	LoS 4	LoS 5
Lanes Not Detected	Lanes Detected	MLP > 10 cm SDLP > 10 cm	MLP > 10 cm SDLP ≤ 10 cm	MLP ≤ 10 cm SDLP > 10 cm	MLP ≤ 10 cm SDLP ≤ 10 cm



Figuur Dag 1 LoS (links: voertuig 1; rechts: voertuig 2)

De volgende figuur toont de LoS voor beide testvoertuigen op dag 2 van de testritten. De resultaten zijn ook afgebeeld op dezelfde GIS-kaart als eerder genoemd. Dit draagt bij aan Deliverable 2a van het project.



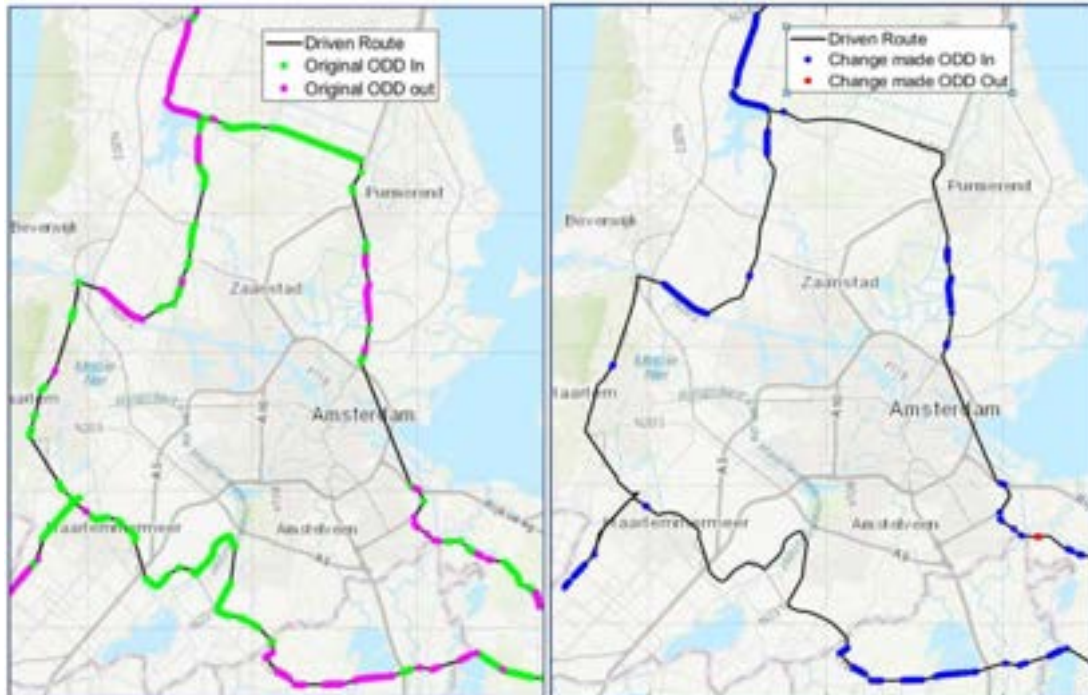
Figuur: Dag 2 LoS (links: voertuig 1; rechts: voertuig 2)

Voorspellend model

In dit onderzoek werd het netwerk onderverdeeld in 5 LoS, en het doel zou zijn dat het hele netwerk niveau 5 heeft. Een lager Level of Service (LoS) betekent niet noodzakelijk dat de wegeninfrastructuur moet worden aangepast; het kan te wijten zijn aan een probleem dat de voertuigfabrikant nog niet heeft opgelost. Wanneer de wegbeheerders de voertuigfabrikanten op dergelijke problemen wijzen, zal dit automatisch tot synergie leiden.

De hotspots en de berekende Level of Service (LoS) zijn alleen geldig voor de gereden testroute en voor de aangetroffen wegcondities. Het ontwikkelde voorspellingsmodel kan echter door de Provincie worden gebruikt om de hotspots te identificeren die het gevolg kunnen zijn van specifieke interacties tussen de weginfrastructuur, de rijomstandigheden en verschillende OEM-voertuigen, die anders onopgemerkt zouden zijn gebleven.

Het voorspellingsmodel kan de LKS-prestaties op een ander traject met andere weers- en lichtomstandigheden voorspellen. Stel bijvoorbeeld dat de gehele bereden route een rijstrookbreedte tussen 3 m en 3,5 m had, en dat de belijning aan weerszijden van de rijstrook van het doorgetrokken type was. Het effect van deze veranderingen in de rijstrookbreedte en de lijnmarkering is te zien in het volgende. In de onderstaande kaarten, worden de LKS-prestaties getoond bij ongewijzigde rijomstandigheden (figuur links) en figuur rechts toont de LKS-prestaties bij de genoemde wijzigingen (rijstrookbreedte = 3 m tot 3,5 m en lijnvoering = doorgetrokken). De *ODD in* en *ODD out* verwijzen naar de situatie waarin het LKS respectievelijk de rijstrook kan detecteren of niet in staat is rijstroken te detecteren.



Figuur: Uitvoer van het voorspellingsmodel (links) oorspronkelijke prestatie; (rechts) verandering in LKS-prestatie.

ISA: Intelligente ondersteuningssystemen voor snelheid

Invloed van variabelen op ISA-prestaties: resultaten van een veralgemeend gemengd model

De volgende tabel geeft een overzicht van het verband tussen variabelen en ISA-opsporingsprestaties.

Tabel: Verband tussen variabelen en detecteerbaarheid van verkeerstekens.

Variables type	Relationship with 'Detectability of sign'
Road Section type	Dependent
Position of Sign	Dependent
Vehicle Speed Category	Dependent
Lighting conditions	Independent
Type of sign	Dependent

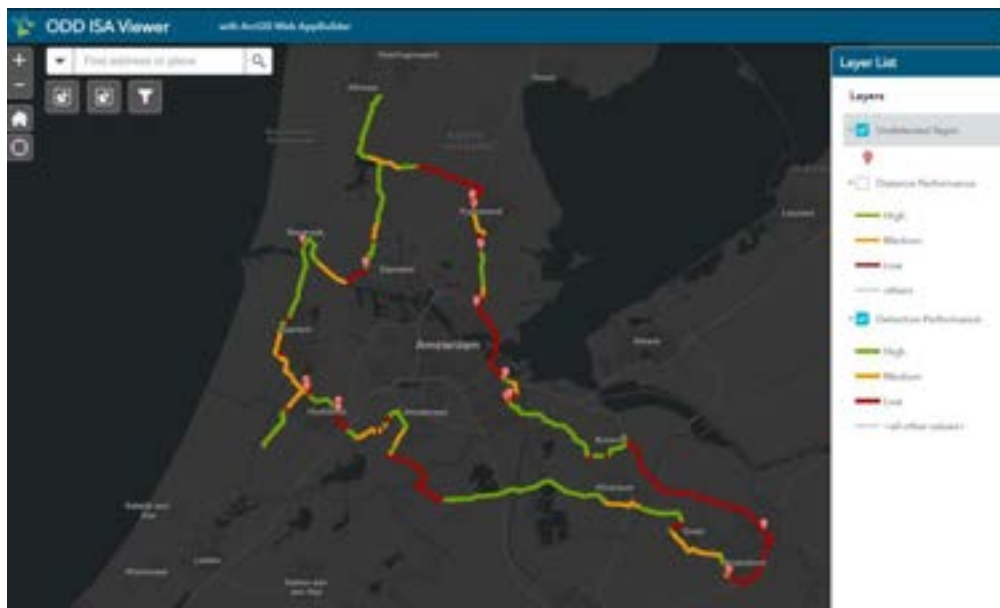
Uit de resultaten blijkt dat, behalve de lichtomstandigheden (dag, schemering en nacht), de andere variabelen een verband hebben met de "detecteerbaarheid van borden". Van deze vier variabelen bleken alleen het type wegvak (bocht, kruising, recht stuk) en de voertuigsnelheid een statistisch

significante invloed te hebben op de detecteerbaarheid. Deze variabelen werden gebruikt om de drempelwaarden voor de prestatie-indicatoren van ISA te bepalen.

Hotspots identificatie: Kleurcodering ODD

De hotspots zijn situaties waarin de borden volgens het detectie-model "niet gedetecteerd" zijn op het dashboard/computercomputer van het voertuig. In de onderstaande figuur geven de "niet-

dedetecteerde borden" de hotspots op het wegennet aan. Deze zijn ook gevisualiseerd in een GIS-gebaseerde kaart. Dit draagt bij aan deliverable 2(b) van het project.



Figuur: ISA hotspots, detectieprestaties op testroute

De redenen waarom de borden niet werden gedetecteerd, zijn samengevat in de volgende tabel. Zoals in de tabel is aangegeven, is op basis van de representatieve beoordeling aan de hand van beelden van Gopro frontcamera's van niet gedetecteerde borden gebleken dat het merendeel van de gemiste detectie betrekking heeft op snelheidsborden die dicht bij het kruispunt en bij scherpe bochten (boogstraal < 175 m) staan.

Het is belangrijk om op te merken dat de detectiegraad van voertuig 2 beter was dan dat van voertuig 1. Desondanks, zoals eerder gemeld, was dit project erop gericht om alle hotspots voor beide testvoertuigen te identificeren. Dit vanwege onze overtuiging dat de fysieke infrastructuur ook een voldoende mate van ondersteuning dient te bieden aan de iets minder presterende (ISA) systemen.

Reasons	Sign Type	Road section type	GPS Road No.
Sign placed close to intersections or roundabouts	speed 50	Intersection	s114 Cleveren
	speed 80	Intersection	N247
	Dynamic signs	Intersection	A22
	speed 80	Intersection	N201
	speed 50	Roundabout	N221
Complex Signs: Combination of speed signs with other signs	speed 50 end	Straight	N235
	speed 50	Straight	N221
	speed 50	Straight	N201
Signs placed at curved road	speed 60	Curved	N246
	speed 50	Curved	N221
	speed 80	Curved	A9
Sign placed in combination with traffic light sign	speed 70	Straight	N206
	speed 50	Straight	N246
Sign positioning: low or high on a pole or behind the pole	speed 100	Straight	A9
	speed 80	Curved	A9
Conditional speed signs: new speed signs	Conditional speed 100&120	Straight	A7
	Conditional speed 100	Straight	A1

Om de resultaten in de bovenstaande tabel te staven, worden hieronder de beelden getoond van de meest voorkomende rijomgevingsscenario's voor gemiste detectie.

1. Bord geplaatst dicht bij kruispunten of rotondes:

Op basis van de representatieve beoordeling met frontcamerabeelden van borden werd vastgesteld dat de plaatsing van snelheidsborden in de kruispuntzone onmiddellijk na de verkeerslichten en in combinatie met het nemen van een bocht door het voertuig, leidt tot situaties van gemiste detectie van snelheidsborden (zie onderstaande foto's). Hetzelfde werd waargenomen in het geval van borden geplaatst binnen de rotonde. De reden hiervoor kan worden toegeschreven aan de complexiteit van deze zones, samen met de verkeersdichtheid. Ook de plaatsing van snelheidsborden te dicht bij de scherpe bocht (lage boogstralen) is de waarschijnlijke oorzaak van gemiste detectie voor enkele testsituaties, zoals te zien is in bovenstaande tabel. Bij het herkennen van snelheidsborden in scherpe bochten worden de zichtlijnen naar het naderende bord belemmerd, wat ertoe kan leiden dat het voertuig de voorgeschreven limiet overschrijdt. Dit kan ook worden verklaard door het hogere ongevalsrisico op bochtige trajecten dan op rechte trajecten.



Figuur: dicht bij kruispunten en rotondes geplaatste borden

2. Complexe borden: Combinatie van snelheidsborden met andere borden

Het andere grote deel van de borden dat niet werd herkend, bleek te zijn geplaatst in combinatie met een ander type borden, zoals wegwerkzaamheden of verkeerslichten, zoals te zien is in de volgende figuur. De meeste expliciete snelheidsbeperkingsborden die niet werden herkend, hebben andere soorten verkeersborden in hun onmiddellijke omgeving. De waarschijnlijke reden voor deze gevallen is dat deze situaties verwarrend kunnen zijn voor voertuigen die met ADAS zijn uitgerust.

In beide situaties op de onderstaande foto's (links & rechts) waren we niet in staat om te achterhalen of de niet-detectie van de verkeerstekens wordt veroorzaakt door de weggeometrie of complexe/niet eenduidige bebording. Dit vraagt om nader onderzoek.



Figuur: Situaties van "niet gedetecteerde"-signaling

Enkele van de opvallende punten, zoals meervoudig gebruik van dezelfde verkeersborden, overbevolking van verkeersborden, lage plaatsing van borden en niet-uniformiteit in het ontwerp van nieuw geïntroduceerde tijdsafhankelijke snelheidsborden, zorgen voor onnodige verwarring bij het voertuig en kunnen bijdragen tot gemiste detectie of onjuist weergegeven informatie. Het in kaart brengen van dergelijke scenario's helpt dan ook bij het beoordelen van de mate van naleving van nationale normen en het waarborgen van consistentie in de bewegwijzering.

Niveau van dienstverlening (LoS)

Aan de hand van de eerder gedefinieerde prestatiedrempels en een diepgaande studie van de verschillende wegsecties en snelheidscategorieën werden de volgende vereisten voor het niveau van dienstverlening gedefinieerd voor ISA op het wegennet (% detectie, indicator op basis van "afstand tot verkeersbord").

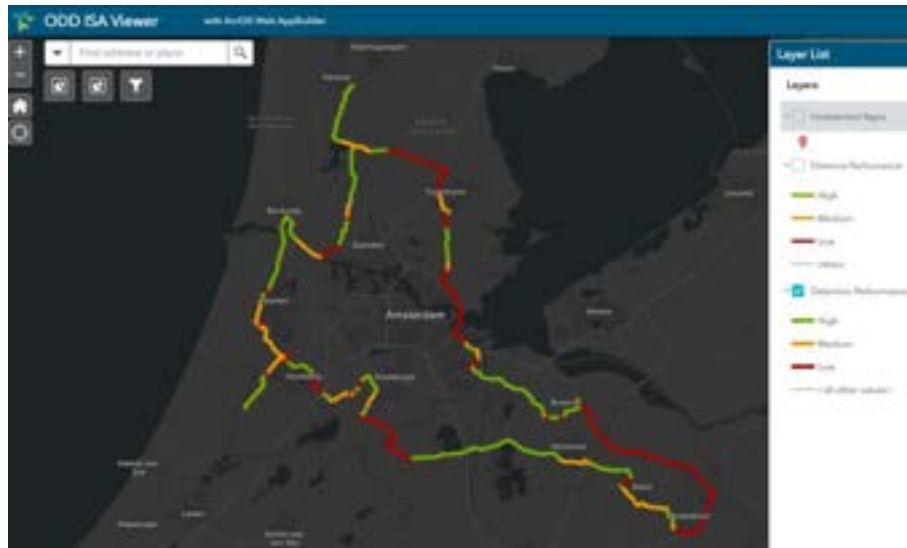
Tabel: LoS voor detectie van borden op het wegennet

Level of service	Road Section type	Vehicle Speed Category (Kmph)
High Performance ($\geq 99\%$)	Straight	50 - 80
Medium Performance ($< 99\%$, $\geq 92\%$)	Straight	25 - 50, Below 25
	Curved	25 - 50, Above 80
	Intersection	50 - 80, Below 25
Low Performance ($< 92\%$)	Straight	Above 80
	Curved	50 - 80
	Intersection	25 - 50

Tabel: LoS voor "afstand tot bord"-indicator

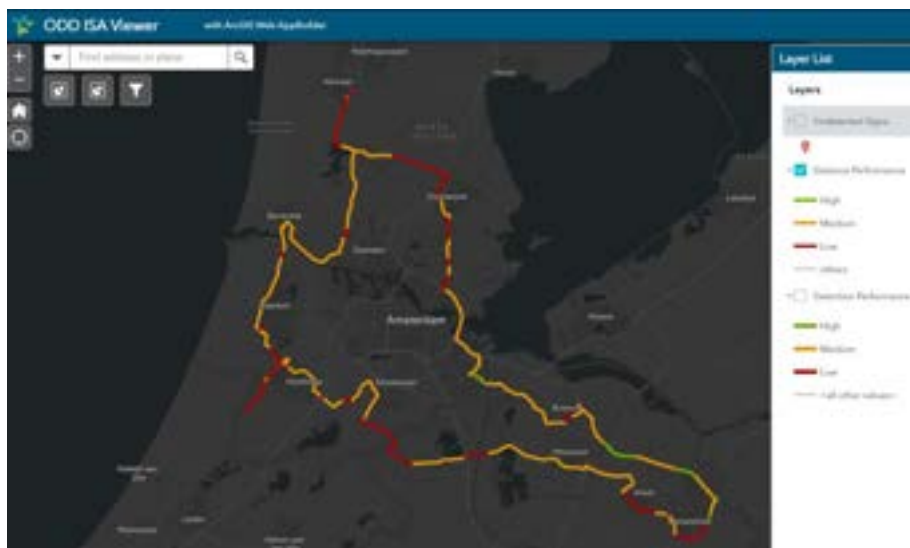
Level of service	Road Section type	Vehicle Speed Category (Kmph)
High Performance ≥ 60 m	Straight	50 - 80, Above 80
Medium Performance (22-60) m	Straight	25 - 50, 50 - 80, Above 80
	Curved	50 - 80
	Intersection	25 - 50, 50 - 80
Low Performance < 22 m	Straight	25 - 50, 50 - 80
	Curved	25 - 50
	Intersection	25 - 50, Below 25

Deze tabellen werden gebruikt om de LoS van de testroute in Noord-Holland te bepalen. De volgende figuur toont de op % detectie gebaseerde LoS.



Figuur: % detectie op basis van LoS van testroute

Anderzijds toont de volgende figuur de LoS op basis van de "afstand tot verkeersteken"-drempels.



Figuur: LoS op basis van "distance to sign" (afstand tot bord) van de testroute.

Het niveau van dienstverlening is ook gevisualiseerd in dezelfde GIS-kaart als eerder is gedeeld. Concluderend, als het gaat om de gereedheid van de infrastructuur voor ISA op de provincie Noord-Holland testroute, zijn er enkele hotspots en terugkerende situaties waar bepaalde infrastructurele veranderingen een positieve invloed kunnen hebben op de prestaties van ISA systemen op het netwerk. Deze LoS-analyse draagt bij aan deliverable 2.a van dit project.

7 Aanbevelingen aan de Provincie Noord-Holland

LKS

1. De technologieën die door de voertuigfabrikanten (OEM's) voor het Lane-Keeping System (LKS) worden gebruikt, zullen blijven evolueren aangezien verschillende OEM's een verschillende aanpak hanteren om de prestaties van LKS te verbeteren. De wegbeheerders kunnen de ontwikkelingen van de OEM's bijbenen als zij voortdurend datagestueerd overleg voeren. Bijvoorbeeld, de tekortkomingen die zijn vastgesteld in de functionaliteit van twee OEM-voertuigen in dit project kunnen door de Provincie worden besproken met de respectieve belanghebbenden om een gezond gesprek aan te gaan, dat het momentum kan bepalen voor de toekomstige gereedheid van de infrastructuur (fysiek en digitaal) om geautomatiseerd rijden te faciliteren. Aan de andere kant is er een technologische push vanuit de voertuigfabrikanten (OEM's) richting de wegbeheerders (RA's). Dit benadrukt de noodzaak voor de wegbeheerders om datagestuurde beslissingen te nemen en zich beter te positioneren in deze dialoog. In dit project is de infrastructuur bijvoorbeeld state-of-the-art; de voertuigprestaties wijzen er echter op dat OEM's/sensoren/hardwareleveranciers dit state-of-the-art dienstverleningsniveau moeten bereiken. Met de in dit project voorgestelde methodologie als uitgangspunt kunnen de RA's nu aangeven aan welke normen OEM's zich moeten houden en tegelijkertijd ook de normen/het dienstverleningsniveau handhaven dat zij aan de OEM's meedelen.
2. Het belangrijkste doel van het verplicht stellen van ADAS (Advanced Driving Assistance System) is de verkeersveiligheid te vergroten en het aantal verkeersongevallen te verminderen. De RA's streven ernaar bij te dragen tot de manier waarop de veilige werking van dergelijke ADAS-voorzieningen kan worden gewaarborgd. Het aanpassen van de weginfrastructuur is echter niet raadzaam op basis van weinig praktijkonderzoek. Verschillende belanghebbenden zoals RDW en CROW moeten in gesprek om voertuigfabrikanten te adviseren hun gedefinieerde ODD (Operational Design Domain) beschikbaar te stellen.
3. In dit project werd vastgesteld dat voertuigen beslissingen nemen op basis van de verschillende rijstrookmarkeringen en de rijstrookbreedte. Daarom wordt geadviseerd om in heel Europa uniforme normen voor de rijstrookmarkering te hanteren, en deze informatie vervolgens door te geven aan de voertuigfabrikanten (OEM's). De uniforme markeringen worden ook aanbevolen door de European Union Road Federation (ERF) en geëist door de OEM's. Hoe eerder het besluit wordt genomen om de belijning in heel Europa uniform te maken, des te meer kan de uitvoering ervan deel uitmaken van het reguliere onderhoud. Niettemin is het ook belangrijk om de ontwerpnormen binnen verschillende regio's van hetzelfde land op elkaar af te stemmen; dit onderzoek helpt bij het identificeren van de infrastructurele no-regret maatregelen die hierbij zowel op nationaal als regionaal niveau kunnen helpen. De resultaten van dit project wijzen bijvoorbeeld op de voordelen van het gebruik van ononderbroken belijning aan beide zijden van de rijstrook voor een ongedeelde weg. Ook de invloed van de scherpte en het type van bochten op de prestaties van voertuigen wordt belicht. Dit zijn enkele gebieden waarop de wegbeheerders zich in de nabije toekomst zouden kunnen concentreren.

4. Geadviseerd wordt om nu al te beginnen met de digitalisering van de infrastructuur en de onderhoudsinformatie op te slaan in een digitaal platform. Dit kan op zijn beurt ook een input zijn voor de technische standaarden voor Digital Twins van de infrastructuur (om geautomatiseerd rijden mogelijk te maken), wat van groot belang is voor de wegbeheerders in Europa. Bovendien zal het beschikken over digitale informatie de deuren openen voor tal van innovatieve oplossingen, zoals het in dit onderzoek ontwikkelde voorspellingsmodel. Het voorspellingsmodel kan door de wegbeheerders worden gebruikt om een beter inzicht te krijgen in de werking van de geautomatiseerde functies, wat momenteel niet wordt gedeeld door de voertuigfabrikanten. Meer nog dan het gebruik van dit voorspellingsmodel om de vereiste veranderingen voor de infrastructuur te identificeren, is het raadzaam om het al vroeg in de schaduwmodus te gebruiken om de technologische vooruitgang beter te begrijpen. Andere aspecten als snelheid, volgafstand en rijstrookwisselingen zijn zaken die kunnen worden toegevoegd aan de Digital Twin van het areaal. Dat zal ook voordelig zijn voor het verbeteren van de communicatie en interactie tussen bestuurder en voertuig, en daarmee het omgevings- en situatiebewustzijn.
5. Dit project toonde aan dat de beide testvoertuigen in gelijke rijomstandigheden verschillend kunnen presteren, ondanks dat de variabelen die de systeemprestaties beïnvloeden grotendeels gelijk zijn voor beide voertuigen. Dit resulteert in een belangrijk dilemma voor de provincie als wegbeheerder, namelijk: waar baseren we het onderhouds- en verbeteringsprogramma op? Om bij dit probleem te assisteren, stellen wij de volgende stappen voor:
 - a. Identificeer de infrastructurele hotspots voor zoveel mogelijk voertuigen/voertuigtypen, waar en wanneer mogelijk;
 - b. Filter de hotspots op basis van de frequentie waarmee ze zich voordoen en de overlap tussen verschillende voertuigen/ADAS typen;
 - c. Filter de overgebleven hotspots op basis van technische relevantie t.a.v. de geldende richtlijnen voor wegontwerp en stem dit nader af met het CROW;
 - d. Focus op het zoveel mogelijk toepassen van no-regret maatregelen die leiden tot veiligere wegen voor zowel ADAS als niet-ADAS voertuigen, omdat financiële consequenties o.h.g.v. onderhoud en reparatie werkzaamheden voor deze maatregelen gemakkelijker te beargumenteren zullen zijn;
 - e. Gebruik de in dit project ontwikkelde methodologie voor het beoordelen van de Level-of-Service van het areaal als een startpunt om in gesprek te gaan met OEM's. Deze gesprekken moeten input van de OEM's opleveren over hun link/relatie tussen de LoS van het areaal en de prestaties van ADAS in geïdentificeerde hotspot situaties. Dit kan dienen als een laatste check alvorens een specifieke infrastructurele aanpassing door de wegbeheerder wordt voorgesteld;
 - f. Wanneer meer data van een aantal voertuig(typen) op vergelijkbare infrastructurele hotspots is vergaard, wordt het mogelijk om (in samenwerking met de RDW?) de gemiddelde prestatie indicatoren in te zetten voor strategische beleidsontwikkeling. Voordat het zover is wordt aangeraden om verder te blijven werken aan de stappen a t/m e zoals hierboven vermeld.

ISA

De in dit onderzoek uitgevoerde ODD-beoordeling van ISA resulteerde in een aantal infrastructuurvereisten en aanbevelingen. Daarnaast bespreekt dit hoofdstuk ook enkele praktische aanbevelingen die uit dit onderzoek voortvloeien voor de wegbeheerder. Wegbeheerders dienen zich bewust te zijn van de aard van de interacties tussen de ISA en de rijomgeving. Op basis van de uitgevoerde praktijktest moeten deze drie situaties worden aangepakt om de prestaties van ISA op het wegennet te verbeteren.



Figuur: Hotspotsituaties in scherpe bochten (links), voorwaardelijke snelheidsborden (midden), meerdere borden (rechts)

Afgezien van de eerder beschreven hotspotsituaties zijn er nog een paar problemen in verband met de fysieke infrastructuur waarbij ISA niet functioneert zoals het hoort.

1. Weggeometrie: De meest voorkomende situaties, zoals borddetectie bij scherpe bochten en direct na het kruispunt geplaatste borden, vormen de belangrijkste oorzaken van gemiste detectie (bovenstaande figuur (links)). Als de borden te dicht bij de bocht zijn geplaatst, is het raadzaam de snelheidsbeperkende borden ruim voor de bocht te plaatsen, zodat er voldoende detectietijd is en een onduidelijk bord wordt vermeden. De wegbeheerder en de OEM's kunnen de aandacht van de bestuurders op deze scenario's vestigen door hen erop te wijzen dat ISA-systemen mogelijk niet veilig werken in bochten of op kruispunten. Bij het (opnieuw) plaatsen van bebording dient de wegbeheerder rekening te houden met het zichtveld van de sensoren tijdens afslaande bewegingen. Daarnaast kan ook het up-to-date houden van de digitale navigatiekaarten en de daarin vermelde statusinformatie (o.a. snelheidsregime) de werking van ISA verbeteren wanneer het systeem niet in staat is de bebording met eigen sensoren waar te nemen. Daar ligt een rol weggelegd voor de wegbeheerder in relatie tot het opstellen en onderhouden van Digital Twins.
2. Meerdere borden aan één paal (combinatie van snelheidsbord met verkeerslichtbord): Een andere vaststelling was dat de snelheidsborden die samen met verkeerslichtborden werden geplaatst, werden gemist wegens de complexiteit ervan (Bovenstaande figuur (rechts)). Hetzelfde geldt wanneer het snelheidsbord wordt geplaatst in combinatie met het verkeersbord. Het vermijden van de plaatsing van snelheidsborden samen met andere types borden kan dus helpen bij het minimaliseren van de kans op gemiste detectie en daardoor de ISA-prestatie verbeteren. Daarnaast zorgt dit tegelijkertijd ook voor een eenduidigere situatie voor de bestuurders van voertuigen zonder ISA of andere snelheidsgerelateerde ADAS.
3. Voorwaardelijke snelheidslimieten bord: De tijdafhankelijke snelheidsborden hebben in sommige gevallen een niet-gestandaardiseerd ontwerp, waardoor ze moeilijk te herkennen zijn door de voertuigsensor. Al deze problemen met de detecteerbaarheid van verkeersborden kunnen worden aangepakt door het correct, uniform en eenduidig toepassen

van de bestaande regelgeving en richtlijnen van de soorten borden, de gebruikte symbolen, vormen en hoogtes.

4. Digitale infrastructuur: De wegbeheerder moet een actuele digitale database bijhouden van de snelheidslimietborden die hij beheert. Tijdens de veldtest werd vastgesteld dat op provinciale weggedeelten door een fout in de GPS-gegevens een verkeerde snelheidslimiet werd geactualiseerd en bijgevolg een verkeerde waarschuwing aan de bestuurder werd gegeven. Deze database moet regelmatig worden bijgewerkt na periodiek onderhoud, wat nuttig zou zijn in dergelijke situaties en slechte weersomstandigheden waarin de cameradetectie mogelijk niet doeltreffend werkt. Deze Digital Twin van de wegbeheerder kan ingezet worden voor het periodiek updaten van navigatiekaarten, en kan ook geschikt zijn voor geplande en ongeplande werkzaamheden als de Digital Twin met een hogere frequentie geüpdatet wordt. Deze digitale kaarten dienen als informatiebron voor ISA systemen wanneer het voertuig geen externe verkeerstekens (bebording) kan detecteren.
 - a. Er bestaat al een landelijke database dat locaties en type bebording bevat. Dat kan prima gebruikt worden als één van de kaartlagen in de Digital Twin. Deze dient echter ook geüpdatet te worden bij alle (tijdelijke) wijzigingen, zodat de koppeling van dit soort databases ook te allen tijde correct wordt getoond aan de bestuurders in voertuigen met ISA functionaliteiten aan boord (dit is ook relevant voor de snelheidsindicator op reguliere navigatiesystemen).
 - b. Mede in het kader van het Strategisch Plan Verkeersveiligheid is er op landelijk niveau een taskforce bezig met het (re)organiseren van verkeersinformatie, waaronder snelheidsinformatie van het wegennet op kaartniveau. Deze databases dienen uiteraard aangevuld, gecontroleerd en gecorrigeerd te worden door de wegbeheerders.
5. Er zijn verschillende gevallen (zoals het binnenrijden van de bebouwde kom, of het oprijden van een (auto)snelweg) alwaar de snelheidslimiet wijzigt in een relatief korte longitudinale afstand. Dit kan potentieel onveilige situaties veroorzaken, wegens snelheidsverschillen tussen voertuigen onderling. Om dat tegen te gaan wordt aanbevolen om nader te onderzoeken wat de minimaal benodigde 'herkenningsafstand' zou moeten zijn voor wanneer het ISA systeem de verandering in limiet moet detecteren. Er bestaan al richtlijnen voor de waarneming van limietwijzigingen door de menselijke bestuurder, echter is nog onbekend of dat ook voldoende is voor ISA systemen. Dit zou onderzocht moeten worden met meerdere voertuig(typen), met name bij hotspots alwaar nu al detectieproblemen worden waargenomen. De in dit gebruikte methodologie kan een goede start zijn om dit, gecombineerd met de NDW borden database, te gaan onderzoeken.

8 Volgende stappen

Korte termijn

Afstemming op het jaarlijkse tijdschema voor wegininspecties en efficiënte gegevensverzameling en betrokkenheid van andere belanghebbenden zoals TU Delft, CROW, RDW door:

1. Uitbreiding van het huidige testtraject: Dit zal helpen bij de verbetering van voorspellingsmodellen, verdere validering van in dit project vastgestelde correlaties.
 - a. Nieuwe gegevensverzamelingsmethoden (met gebruikmaking van de opgedane ervaring)
 - b. Verdere betrokkenheid van de TU Delft en andere belanghebbenden
 - c. Verbeterde kansencarta met verfijnde gegevens
2. Op dezelfde weg: uitbreiden met nieuwe LoS-beoordeling van andere ADAS-systemen zoals geautomatiseerde noodremsystemen. Ook deze systemen moeten tegen 2023 verplicht worden.
3. Verkennen en ontwikkelen van een LoS voorspellingsmodel voor ISA systemen: Dit kan de wegbeheerder helpen een constructieve dialoog te voeren met de OEM's en de CROW (om vast te stellen met welke infrastructurele standaarden de OEM's rekening moeten houden). Uiteindelijk zal dit helpen om vooraf diverse infrastructurele maatregelen om ISA verder te faciliteren te kunnen evalueren, voorafgaand aan het uitvoeren van de maatregelen.

Lange termijn

1. Ga op reis om de digitale wegbeheerder van de toekomst te worden. Dit kan bijvoorbeeld gedaan worden met de hulp van een routekaart Digitale Transitie, dat RHDHV momenteel aan het ontwikkelen is. Het einddoel is het als wegbeheerder beschikken over een digitale kopie (Digital Twin) van het gehele beheersgebied, inclusief fysieke en inrichtingskenmerken, aangevuld met status-, conditionele en actuele informatievoorzieningen en –diensten.
2. Voorbereidingen treffen voor RISM-2-veiligheidsaudits met verfijnde Level of Service (LoS) -beoordelingsmodellen zoals in dit project ontwikkeld (voor ISA en LKS).
3. Aanpassing aan nationale en internationale normen en actief leiderschap. De provincie kan zichzelf een leidende rol toebedelen, waarbij de provincie discussies over en aanpassingen aan (inter)nationale normen en standaarden aankaart. Dit kan onder meer gedaan worden door deel te nemen aan kennisuitwisselingscampagnes via bestaande kanalen zoals ADAS Alliantie, CCAM, webinars met relevante belanghebbenden.

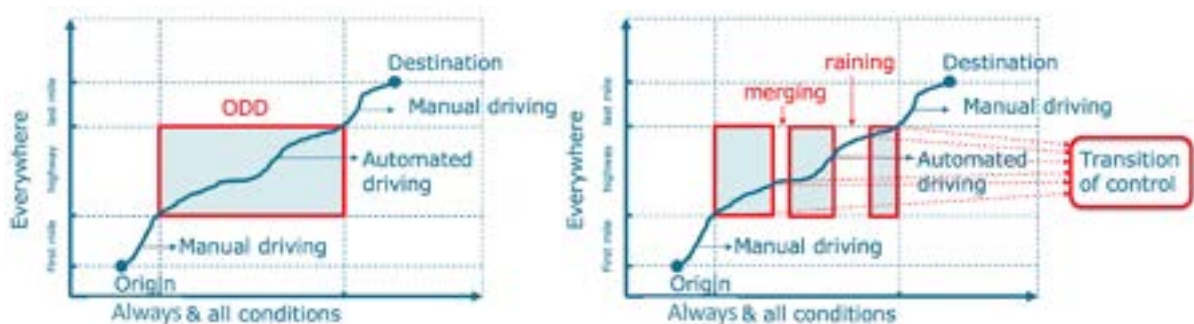
Bijlagen

Bijlage 1: Het Operational Design Domain (ODD)

Het Operational Design Domain geeft de omstandigheden aan waaronder een (deels) zelfrijdende auto ontworpen is te functioneren, inclusief, maar niet beperkt tot, milieu-, geografische en tijdsbeperkingen, en/of de vereiste aanwezigheid of afwezigheid van bepaald verkeer of rijbaan kenmerken. Eenvoudiger gezegd: dit zijn de omstandigheden waaronder een systeem goed functioneert. Vrij vertaald wordt met de term ODD het toepassings- of gebruiksgebied bedoeld waarbinnen de ADAS ontworpen is om correct te functioneren. Onder omstandigheden vallen onder andere:

- De vorm en conditie van de weginfrastructuur
- Weersomstandigheden
- Lichtcondities (dag/nacht)
- Aanwezigheid van ander verkeer

In onderstaande schematische weergave is dit weergegeven voor een fictieve autorit. Het ODD is dus een deel van de rit. De figuur laat zien hoe een rit van herkomst naar bestemming beginnen en eindigen met een fase waarin handmatig gereden wordt, vaak op erftoegangswegen (buiten het ODD). Gedurende het middendeel van de rit bevindt het voertuig zich op gebiedsontsluitingswegen en stroomwegen, die in potentie binnen het ODD vallen (het blauwe gebied). Afhankelijk van de omstandigheden zullen er situaties zijn waarin de ondersteunende systemen toch niet functioneren, aangeduid als gaten in het blauwe gebied. De bestuurder moet in die situaties de voertuigcontrole die hoort bij de betreffende ondersteunende functie van het voertuig weer overnemen en handmatig rijden. Dit kunnen tijds- of locatieafhankelijke gaten zijn. Het is zaak zo min mogelijk gaten in het blauwe gebied te hebben, zodat er sprake is van een zo groot mogelijk aaneengesloten blauw gebied.



Figuur: 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).

Het gebruiksgebied (ODD) van een ADAS kan op twee manieren vergroot worden. De ene optie is het uitbreiden van het bestaande ODD met verkeerssituaties en wegtypen die nu nog niet onder het ODD vallen (denk bijv. aan de erftoegangswegen). De andere optie is het verkleinen of wegnemen van de gaten in het huidige ODD. Dat kan bewerkstelligd worden door fysieke en digitale verbeterlagen in de infrastructuur, zoals het aanbrengen en onderhouden van borden en markering op een uniforme en eenduidige wijze. In beide gevallen ligt hier een rol voor zowel de OEM als de wegbeheerder.

Bijlage 2: Gebruikte software

Sr No	Software/ Program Name	Description	Links
1	ShotCut	For synchronizing the videos of the GoPro	https://shotcut.org/
2	GoPro Telemetry Extractor	Extracting the metadata from the recorded GoPro videos	https://gopro telemetry extractor.com/free/#
3	QGIS	For synchronization of the data from reflectometer, PNH, GoPro and Hectometer database GIS analysis	https://qgis.org/en/site/forusers/download.html
4	makesense.ai	To prepare the labelled dataset for object detection model	https://www.makesense.ai/
5	Roboflow	For Data Augmentation and analysis of the labelled dataset	https://roboflow.com/
6	YOLOv5	For developing an object detection model for recognising the Dashboard Signs	https://github.com/ultralytics/yolov5
7	Google Colab	Free GPU to reduce the training and run time for DNNs	https://colab.research.google.com/notebooks/intro.ipynb
8	MATLAB	For calculation of the MLP and SDLP from the GoPro Camera Data For building the prediction model based on NN architecture	https://nl.mathworks.com/products/matlab.html
9	SPSS	For statistical analysis	https://www.ibm.com/products/spss-statistics

Bijlage 3: Links naar de masterscripties van HAN studenten:

- Ravi Chaudhary (LKS): [Link naar document](#)
- Mahima Sharma (ISA): [Link naar document](#)