



Infra van de toekomst

Handelingsperspectief voor wegbeheerders



Over CROW

CROW bedenkt slimme en praktische oplossingen voor vraagstukken over infrastructuur, openbare ruimte, verkeer en vervoer in Nederland. Dat doen we samen met externe professionals die kennis met elkaar delen en toepasbaar maken voor de praktijk.

CROW is een onafhankelijke kennisorganisatie zonder winstoogmerk die investeert in kennis voor nu en in de toekomst. Wij streven naar de beste oplossingen voor vraagstukken van beleid tot en met beheer in infrastructuur, openbare ruimte, verkeer en vervoer en werk en veiligheid. Bovendien zijn wij experts op het gebied van aanbesteden en contracteren.

CROW

Postbus 37, 6710 BA Ede
Telefoon (0318) 69 53 00
E-mail klantenservice@crow.nl
Website www.crow.nl

Juni 2023

CROW en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben de hierin opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van wetenschap en techniek. Desondanks kunnen er onjuistheden in deze publicatie voorkomen. Gebruikers aanvaarden het risico daarvan.

CROW sluit, mede ten behoeve van degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die voortvloeit uit het gebruik van de gegevens.

De inhoud van deze publicatie valt onder bescherming van de auteurswet.

De auteursrechten berusten bij CROW.

Over LVMB

Het Landelijk Verkeersmanagement Beraad is het landelijke platform waar de vraagstukken van veel Nederlandse wegbeheerders samenkomen op het brede terrein van (weg)verkeersmanagement. Het LVMB concentreert zich op vraagstukken op het strategische en tactische niveau en formuleert randvoorwaarden voor de uitvoering.

Het LVMB is in 2009 opgericht om regio-overstijgende afstemming tussen wegbeheerders te faciliteren op het gebied van verkeersmanagement. De gedachte hierbij was en is dat samenwerking zorgt voor versterking. Het loont om voor generieke onderwerpen gezamenlijke oplossingen te bedenken.

Het LVMB kent een directeurenoverleg (DO-LVMB) waarin de directeuren van de meeste grote wegbeheerders van Nederland samen komen en gezamenlijk de koers van het LVMB bepalen. Zij worden ondersteund door een coördinatiegroep (CG-LVMB) die zorgdraagt voor een goede inhoudelijk voorbereiding van de onderwerpen waarover de directeuren afstemmen. Een zevental specifieke onderwerpen zijn belegd binnen de thematafels van LVMB. Actuele onderwerpen van de thematafel worden daarmee continue onder de aandacht gehouden bij de betreffende wegbeheerders.

Inhoud

1	Aanleiding	2
1.1	Leeswijzer	2
2	Inleiding	3
2.1	Actoren	3
2.2	Theoretisch kader	4
2.3	Redeneerlijn	5
3	Waarom investeren in toekomstbestendige fysieke en digitale infrastructuur ten bate van ADAS?	6
3.1	Van pilot naar opschaling	6
3.2	Publiek-private feedbackloops om de kwaliteit te verbeteren	7
3.3	Verkeersveiligheid	7
4	Scope en afbakening	8
5	Ontwerp en onderhoud	10
5.1	Markering en geleiding	11
5.2	Rechtstanden en boogstralen	13
5.2.1	Rechtstanden	13
5.2.2	Boogstralen	14
5.3	Verkeersregels en structurele maatregelen	15
5.3.1	Markering met betrekking tot kruispunten	15
5.3.2	Verkeersborden, verkeerstekens en structurele maatregelen	15
5.3.3	Snelheidsremmende voorzieningen	16
5.4	Technische installaties	16
5.4.1	Verkeerslichten	16
5.4.2	Openbare verlichting	16
5.5	Ontwerp	17
5.6	Beheer en onderhoud	17
6	Werk in uitvoering	18
7	Digitalisering	19
8	ADAS-kaart: inzicht krijgen in het functioneren van ADAS op het wegennet	20
9	Human capital	21
9.1	Competenties en vaardigheden binnen de eigen organisatie	21
9.2	Rijvaardigheid en vaardigheden van bestuurders: voorlichting aan burgers	21
10	Human factors	22

De LVMB-thematafel Infra van de toekomst richt zich op de volgende centrale vraag:

“Wat kunnen wegbeheerders doen om ADAS-systemen beter te laten functioneren, waardoor het gebruik ervan zal toenemen, zodanig dat de systemen bijdragen aan een algehele verbetering van de verkeersveiligheid?”

Samengevat is de scope van deze thematafel het verbeteren van verkeersveiligheid door het faciliteren van veilig gebruik van infra-gerelateerde ADAS. Samen met de Krachtenbundeling Smart Mobility, het Vakberaad Beheer en Bouw en CROW is er jarenlang samengewerkt aan dit onderwerp.

Als het gaat om de infra van de toekomst hoort daar ook de digitale infra in toenemende mate bij. Data, connectiviteit, geavanceerde plaatsbepaling, voertuigen en infrastructuur in samenhang met elkaar en met een goed ontwerp en gedegen onderhoud van fysieke infrastructuur als basis maakt dat slimme toepassingen steeds beter gaan werken.

Het LVMB heeft CROW gevraagd om aan de hand van de publicaties tot en met 2022 kort te duiden wat een wegbeheerder op dit moment kan doen aan zogenaamde no-regret maatregelen om slimme voertuigen beter te faciliteren.

Deze publicatie is geen richtlijn en vervangt geen standaardwerk van CROW maar geeft een beeld van de stand van zaken met de kennis van nu m.b.t. ADAS en infrastructuur.

1.1 Leeswijzer

Met het steeds verder toenemende aandeel voertuigen met ADAS (Advanced Driver Assistance Systems), informeert deze samenvattende publicatie wegbeheerders over wat zij kunnen doen met betrekking tot weginrichting. Het geeft ook enige duiding aan de positie en organisatie van wegbeheerders in de voortschrijdende ontwikkelingen op het gebied van geautomatiseerde voertuigen en slimme mobiliteit.

Hoofdstuk 2 van dit document biedt een overzicht van de belangrijkste ontwikkelingen rondom de toename van ADAS in de voertuigvloot en de relevantie hiervan voor wegbeheerders. Het gaat ook in op de verschillende actoren die een belangrijke rol hebben bij de toepassing van ADAS en de noodzaak van samenwerking en afstemming tussen hen. In het verlengde hiervan richt hoofdstuk 3 zich op de belangrijke basisvraag voor wegbeheerders: Waarom investeren in toekomstbestendige fysieke en digitale infrastructuur ten bate van ADAS? Hoofdstuk 4 beschrijft de scope en afbakening van de publicatie, evenals de rapportages die als bronnen zijn gebruikt voor deze publicatie.

Hoofdstuk 5 richt zich op de ontwerp- en onderhoudsaspecten en schetst een lijst van aandachtspunten en acties voor ontwerpelementen per wegsituatie. Hoofdstuk 6 gaat in op werk in uitvoering en hoofdstuk 7 richt zich op digitalisering en beschrijft hoe de digitale infrastructuur kan worden verbeterd om ADAS effectiever te maken. Hoofdstuk 8 bespreekt de ADAS-kaart, die inzicht geeft in het functioneren van ADAS op het wegennet en hoe dit kan worden geoptimaliseerd. Tot slot richt hoofdstuk 9 zich op de organisatie en competenties die wegbeheerders nodig hebben om hun rol en taak op het gebied van toekomstbestendige fysieke en digitale infrastructuur te vervullen.

We bevinden ons in de fase van voertuigautomatisering die zich vooral nog richt op rijtaakondersteuning. Daarbij kijken we met name naar de vanuit Europa verplichte systemen in voertuigen zoals:

- Autonomous Emergency Braking (AEB)
- Intelligent Speed Assistance (ISA)
- Lane Keeping Assistance (LKA)

Met een doorkijk naar Adaptive Cruise Control (ACC), Automated Lane Keeping Systems (ALKS) en Lane Change Assist (rijstrookwissel). Daarnaast komen voertuigen met steeds verdergaande vormen van automatisering van rijtaken dichterbij. Zeker buiten Europa zien we zelfrijdend toenemen.

Tabel 1. Typen ADAS toepassingen binnen de scope van dit rapport

ADAS toepassing	Rijtaakondersteuning	Verplicht in nieuwe voertuigtypen ¹
AEB	Longitudinaal ²	ja
ISA	Longitudinaal	ja
LKA	Lateraal ³	ja
ACC	Longitudinaal	nee

In het huidige stadium van mixed traffic (voertuigen met en zonder rijtaakondersteuning en voertuigen met automatische functies) is het goed om te kijken wat dit betekent voor het ontwerp en het onderhoud van wegen.

Uitgangspunten hierbij zijn:

- de infrastructuur wordt niet grootschalig aangepast aan voertuigen;
- voertuigen moeten zich steeds meer gaan aanpassen aan de omgeving.

Daarnaast is er de rol/zorgplicht van de wegbeheerders met betrekking tot het ontwerp en beheer van wegen, waarbij de gebruiker ervan uit mag gaan dat de weg is ingericht en onderhouden in overeenstemming met de landelijke afspraken voor alle weggebruikers. Als het gaat om aansprakelijkheid op dat vlak, is het op dit moment nog de bestuurder van een voertuig (burger) die zich hierop zal beroepen. Het is niet ondenkbaar dat de aansprakelijkheid bij een juridisch conflict op termijn zal verschuiven naar partijen als een voertuigfabrikant of een serviceprovider.

Naast deze aansprakelijkheidsfactoren over fysieke inrichting zien we ook data belangrijk worden. Bij de verantwoordelijkheid van die data kunnen stappen gezet worden in de publiek-private samenwerking. Europese regelgeving dringt aan op het gezamenlijk borgen van de kwaliteit van data.

Voorts is uniformiteit van zowel fysieke infra als digitale uitwisseling van informatie van belang. Bij fysieke infra spreken we over een uniforme inrichting en bij data over een uniforme uitwisseling. Voertuigen blijven immers niet altijd binnen de landsgrenzen opereren. Daar komt bij dat die voertuigen soms verplicht worden uitgerust met rijtaakondersteuning. Dergelijke functies kunnen bijdragen aan beleidsdoelen als verkeersveiligheid, milieu en leefbaarheid, maar dat kan alleen als de bestuurder die functies ook aan laat staan. Gebruikersacceptatie is daarbij de kritische succesfactor. Aan de kant van de fysieke infrastructuur helpt het hierbij dat wegen uniform en eenduidig zijn ingericht, en complexiteiten uit het ontwerp worden weggehaald. Voor de digitale infrastructuur helpt het als de benodigde weg- en verkeersgegevens betrouwbaar en eenduidig beschikbaar zijn via een digitale tweelingbroer (digital twin).

2.1 Actoren

Binnen het speelveld van rijtaakondersteuning en automatisch rijden zijn er diverse actoren. Als we dit thema verder willen brengen, zien we de volgende acties voor partijen:

- Automotive:
 - Ontwikkel functies vanuit het vertrekpunt dat de wegomgeving niet wordt aangepast en meldt terug waar de functies niet goed werken.
- Serviceproviders:
 - Valideer de beschikbare data over de weg- en verkeersomgeving en meldt terug waar de hiaten zitten aan de wegbeheerder.
- Overheid:
 - Zorg voor een veilig gebruik van ADAS (minimale afleiding).
- Wegbeheerders:
 - Zorg dat de wegen en assets voldoen aan wat daarover is afgesproken (burgerlijk recht en zorgplicht).
 - Zorg voor kwalitatieve data die in overeenstemming is met de fysieke infra.
 - Verwerk in de werkprocessen dat de feedback snel wordt verwerkt.

1 medio 2024 voor alle nieuwe voertuigen

2 Longitudinale ondersteuning: voertuig assisteren bij beweging in de langsrichting – gepaste snelheid aanhouden, afstand tot voor- en achterligger, remmen.

3 Laterale ondersteuning: voertuig assisteren bij beweging in de dwarsrichting – koers houden, van rijstrook wisselen

- Rijopleiders:
 - Zorg dat leerlingen op effectieve wijze kunnen omgaan met ADAS, zodanig dat afleiding tot een minimum beperkt blijft.

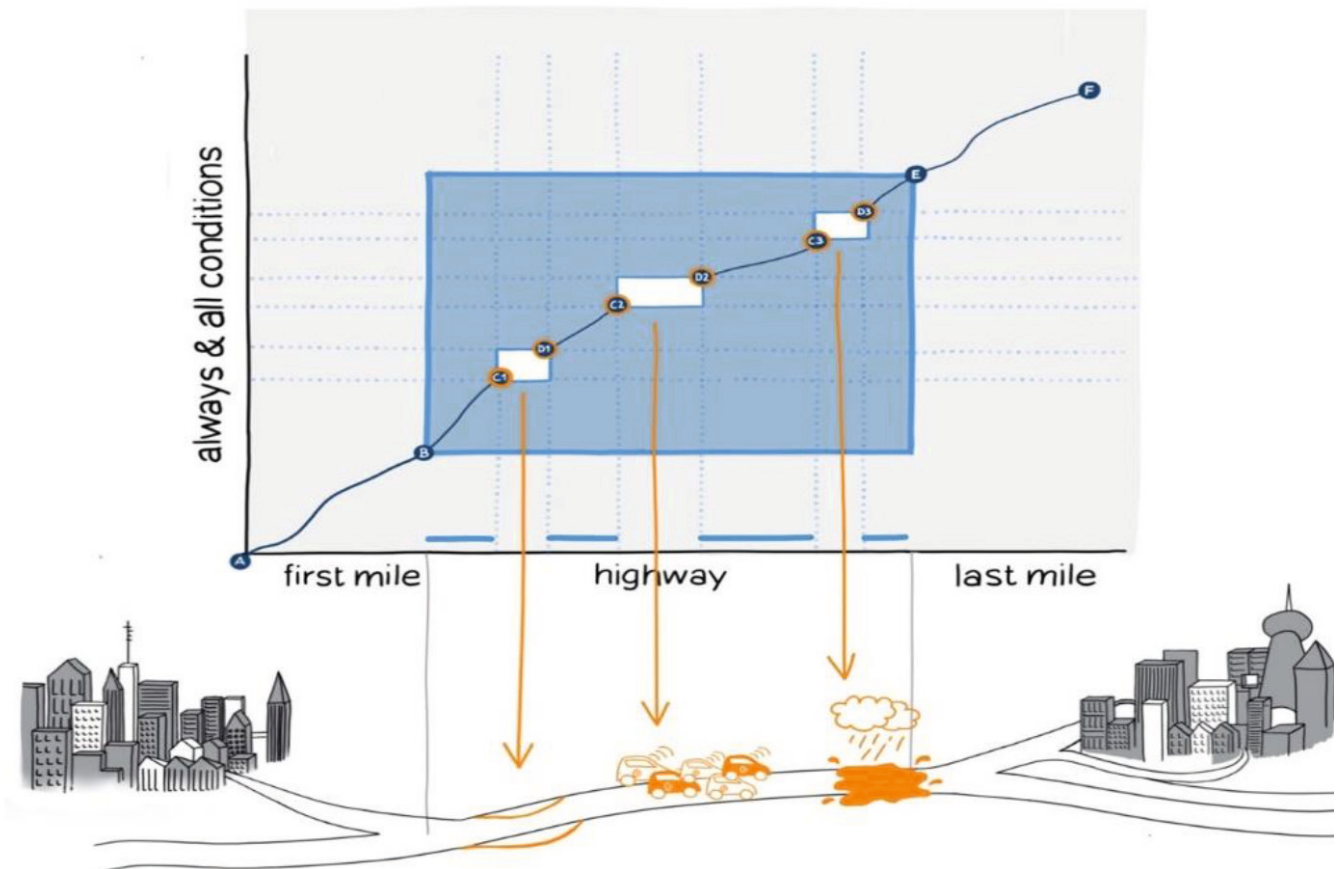
Het doel is om uiteindelijk zo veel mogelijk complexiteit uit de omgeving te halen en dat de informatievoorziening naar een hoog niveau gaat zodat deze ook op maat, gepersonaliseerd en in de taal van de gebruiker kan worden ontsloten. Weet daarbij waar de knelpunten zitten en werk samen om die op te lossen. Daarbij is het belangrijk dat wegbeheerders zich organiseren. Automotive partijen en serviceproviders zijn er immers relatief weinig, maar wegbeheerders juist veel. Laagdrempelige landelijke afspraken met alle overheden zijn nodig om met elkaar weer een stap te kunnen zetten naar verdere verslimming van het verkeerssysteem.

2.2 Theoretisch kader

Toepassingsgebied (of Operational Design Domain)

Voor het veilig en comfortabel functioneren van ADAS is goede afstemming nodig tussen de ontwikkelaars en fabrikanten van de systemen en ontwikkelaars en beheerders van de infrastructuur. Het moet duidelijk zijn wat het beoogde toepassingsgebied van de systemen is (voor welke omgeving ze ontworpen zijn en in welke situaties), in jargon: het Operational Design Domain (ODD). Figuur 1 geeft een impressie van de ODD-gedachte.

Om de positieve effecten van ADAS op het verkeer te maximaliseren en mogelijke risico's te minimaliseren, is het cruciaal om duidelijk te definiëren welk gebied en welke situaties het ODD omvat, zoals welke wegen wel en niet onder het ODD vallen. Bijvoorbeeld: ISA zou moeten



Figuur 1. Schematische benadering ODD (Bron: Rijkswaterstaat)

werken op alle wegen waar gemotoriseerd verkeer is toegestaan, terwijl LKA voor goed functioneren afhankelijk is van goed detecteerbare markering van rijstroken (aan beide zijden: asmarkering en kantmarkering⁴). Als er sprake is van 'gaten' in het ODD, zoals ontbrekende of slecht zichtbare markeringen, kan het rendement van ADAS, zoals LKA, afnemen, en kunnen zelfs gevaarlijke situaties ontstaan. Daarom is het belangrijk om het aantal en de locatie van deze gaten zo duidelijk mogelijk te maken, zodat ze tijdig duidelijk zijn tijdens de rit voor de gebruikers van ADAS-systemen. Als ADAS-toepassingen de markeringen en snelheidslimietborden niet correct kunnen lezen of interpreteren, zal het positieve effect van deze systemen op de verkeersveiligheid beperkt zijn. Als automobilisten te veel vertrouwen op deze systemen of ze uitschakelen vanwege verkeerde markeringen of snelheidslimietborden, kan het effect zelfs negatief zijn. Om de verkeersveiligheidsopbrengst van ADAS te optimaliseren, is het daarom essentieel dat de systemen betrouwbaar werken binnen een ODD met zo min mogelijk gaten, gebruikers weten wanneer ze de systemen wel/niet moeten activeren, gebruikers de systemen accepteren en er vertrouwen in hebben.

2.3 Redeneerlijn

Om de verbinding tussen het ODD te laten zien met specifieke infrastructuurelementen, rijgedrag en uiteindelijk de impact van deze relaties op de fysieke en digitale infrastructuur te schetsen, is onderstaande redenering vaak gebruikt. Deze redeneerlijn begint bij de wegen/wegsituaties en de rijtaken die de bestuurder van het voertuig veilig, vlot en comfortabel moet uitvoeren, daarbij geholpen door de rijtaakondersteunende functies.

De volgende stappen maken deel uit van deze redeneerlijn:

- 1 Wegen: Bepalen van wegen/wegsituaties die binnen de scope vallen.
- 2 Rijtaken: Bepalen van de rijtaken die een bestuurder moet uitvoeren en welke daarvan (deels) worden overgenomen door geautomatiseerde voertuigfuncties.
- 3 Ontwerpelementen: Bepalen van relevante ontwerp-elementen voor verschillende typen wegen, in overeenstemming met het CROW Handboek Wegontwerp.
- 4 Relatie rijtaken en ontwerpelementen: Bepalen van de meest urgente relaties tussen rijtaken (uitgevoerd door de combinatie menselijke bestuurder en rijtaakondersteuning) en ontwerpelementen.
- 5 Functionele eisen: Bepalen van functionele eisen voor het ontwerpelement om de rijtaak te kunnen uitvoeren.
- 6 Technische eisen: Vertaling van functionele eisen naar technische eisen.
- 7 Aanpassing richtlijn(en) en haalbaarheid: Aanzetten tot standaardisatie door vast te stellen of aanpassing van een richtlijn nodig is en door de haalbaarheid daarvan in te schatten.

Deze redeneerlijn eindigt met het op langere termijn aanpassen van richtlijnen. Voor de korte termijn is dat nog beperkt aan de orde. Goed functioneren van rijtaakondersteunende systemen is vooral gebaat bij uniformiteit en eenduidigheid in wegontwerp en -inrichting, en reductie van complexiteit in het ontwerp. Voor een groot deel kan dit bereikt worden door de huidige richtlijnen consequent toe te passen en op een aantal onderdelen te actualiseren (bijvoorbeeld met betrekking tot de zichtbaarheid en eenduidige toepassing van markering⁵). De uitvoerende maatregelen die hierbij horen, zijn doorgaans gunstig voor zowel menselijke bestuurders als de rijtaakondersteunende systemen, en vallen daardoor in de categorie no-regret maatregelen.



Figuur 2. De redeneerlijn

4 Kantmarkering in de zin van markering die de verdeling van een rijstrook of rijbaan aangeeft, niet zijnde langsmarkering als fiets(suggestie)stroken.

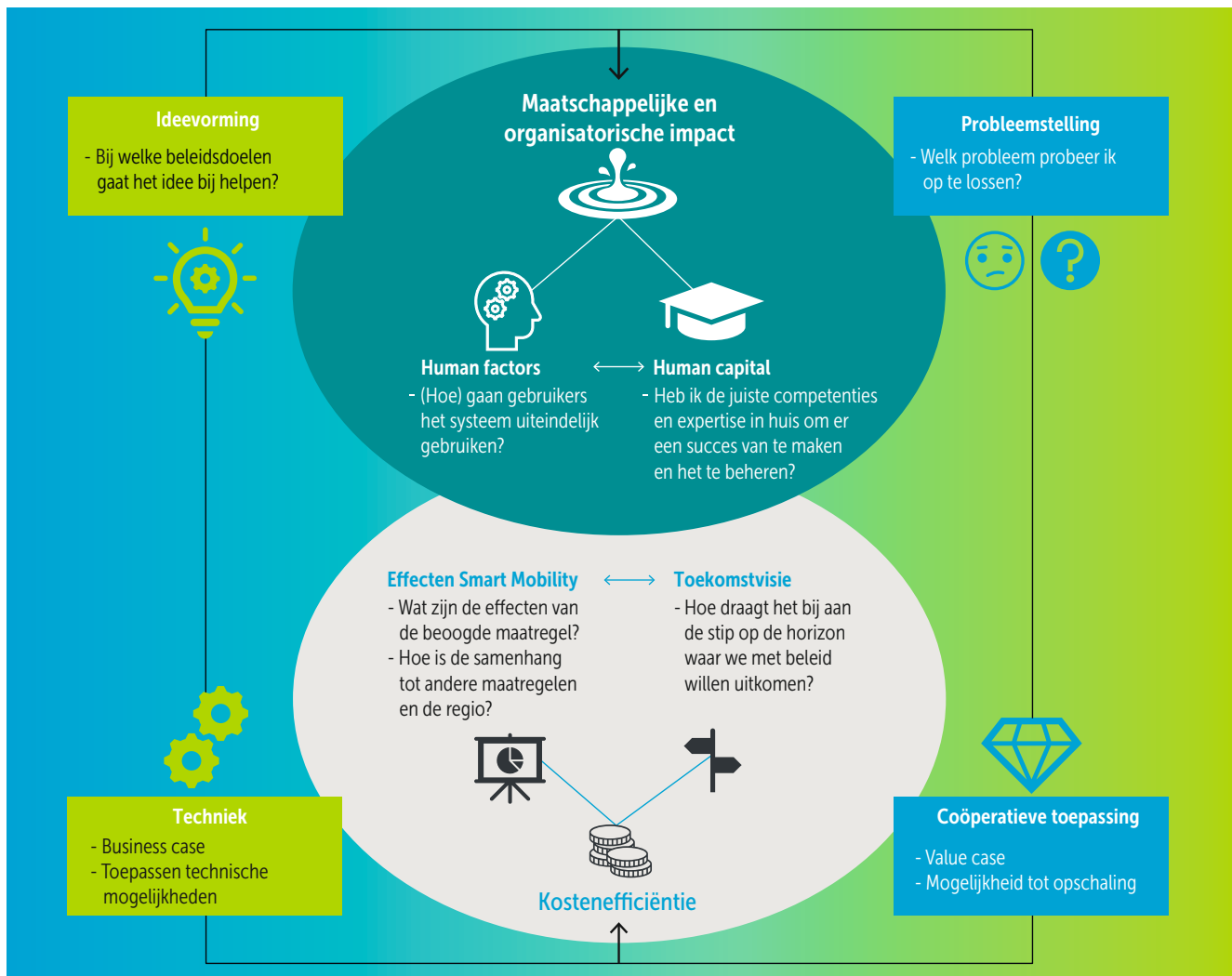
5 Zie hiervoor de lopende actualisaties van het Handboek Wegontwerp en de Richtlijn Bebakening en Markering.

Waarom investeren in toekomstbestendige fysieke en digitale infrastructuur ten bate van ADAS?

In dit hoofdstuk lichten we toe waarom het zo belangrijk is om de digitale en fysieke infrastructuur goed op orde te hebben. Het lijkt soms een extra inspanning die gedaan moet worden, waarvan onduidelijk is wat het effect zou kunnen zijn. Het is goed om te bedenken dat we in een fase zitten waarin in nieuwe voertuigen al een aantal systemen verplicht is om de bestuurder te helpen. Om te zorgen dat bestuurders die rijhulp ook effectief gebruiken en daarmee de verkeersveiligheid toeneemt, is het zaak de basis goed op orde te krijgen. Dat maakt ook de weg vrij voor de langere termijn wanneer zich nieuwe en kansrijke mogelijkheden aandienen.

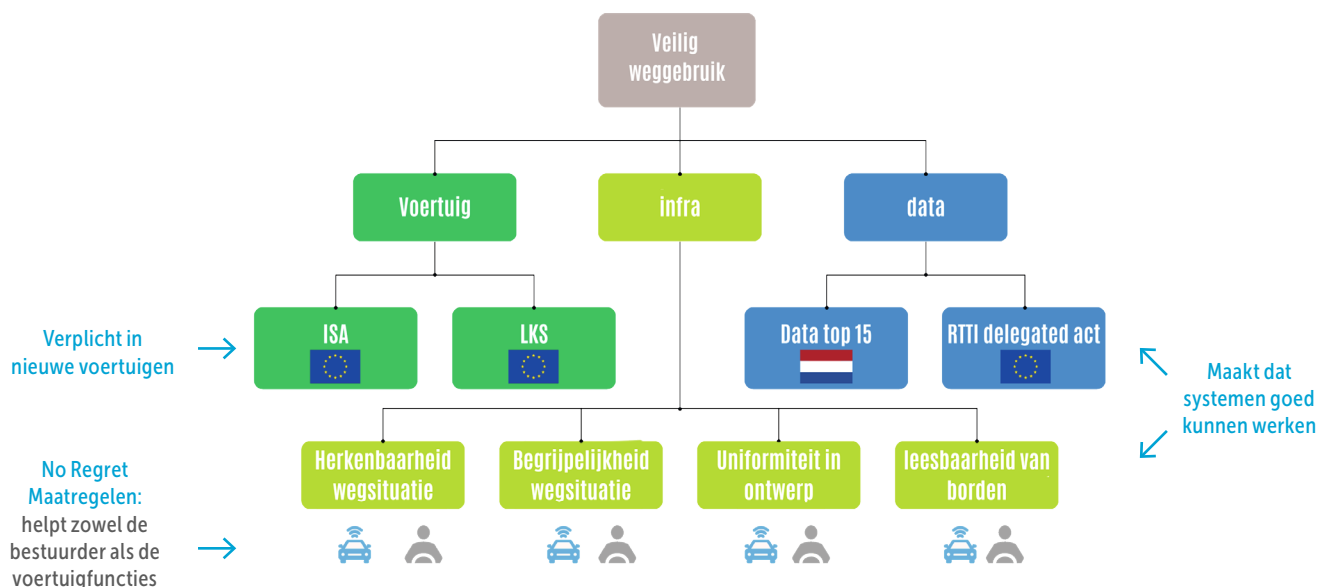
3.1 Van pilot naar opschaling

Kijken we naar het toekomstperspectief van het verzamelen en ontsluiten van data, dan liggen er grote kansen. Zo kan de afbouw van assets (wegkantsystemen) naarmate voertuigen slimmer worden, sneller worden gerealiseerd als data van goede kwaliteit is. Bij de digitalisering van snelheden, kan op termijn wellicht met dynamische snelheidsvensters worden gewerkt aan de hand van de feitelijke omstandigheden op locatie. Het opvolgedrag van voertuigen is immers 100% (met een goed werkende keten) en daarmee aanmerkelijk hoger dan de opvolging door mensen. Datzelfde kan met routekeuze vanuit beleid



Figuur 3. Door techniek gedreven innovaties links (pilots), en vanuit een actueel probleem naar een schaalbare oplossing (coöperatieve, gestandaardiseerde interoperabele toepassing). Binnen beide vormen van ontwikkelen is aandacht nodig voor Human Capital, Human Factors en kostenefficiëntie. Bij het laatste kan er op twee manieren naar gekeken worden: direct resultaat na de investering, of (ook) resultaat voor de langere termijn (bron: CROW).

VOERTUIG - INFRA - DATA SYNERGIE



Figuur 4. De samenhang tussen voertuigprestaties en de staat van infra en data om de bestuurder beter te helpen.

(beleidsmatig gewenste route). Nu zal de tijd ons leren hoe nieuwe verkeersmanagementtoepassingen eruit komen te zien, maar zonder realtime kwalitatieve data worden op dat vlak dergelijke stappen niet genomen. Dit maakt dat er nu een investering nodig is om de reiziger beter te informeren (in lijn met de Data Top 15), met een wat beperkte opbrengst voor de korte termijn misschien, maar later komen veel grotere baten binnen bereik. Dit is samengevat in figuur 3.

3.2 Publiek-private feedbackloops om de kwaliteit te verbeteren

Private partijen spelen een belangrijke rol aan de voertuig- en dienstverlenende kant. In Europese regelgeving (RTTI) wordt aangestuurd op een gezamenlijke verantwoordelijkheid van data door datahouder en datagebruiker. Hierbij wordt beoogd om tot zogenaamde feedbackloops te komen in de publiek-private keten, teneinde de kwaliteit van de data te verbeteren en assetmanagement te helpen. Zo kunnen voertuigen een bord verwachten volgens de data, maar het niet aantreffen op straat. Dergelijke mismatch kan (met een afvlakking van een x-aantal waarnemingen) worden teruggemeld aan de wegbeheerder die daarop actie kan ondernemen. Dit helpt ook de fysieke basis op orde te houden.

Mogelijk kunnen rijtscholen hiaten tussen data en werkelijkheid ook actief melden. Daarmee komen fouten sneller aan het licht en wordt de informatie steeds beter. Daar ligt een gezamenlijk doel dat partijen kan verbinden. Serviceprovi-

ders willen immers hun individuele klant goed informeren en een goede route geven, beleid kijkt meer naar het collectief en wil daar impact maken. Die twee staan niet los van elkaar en precies daar ligt ook de kans om tot een coöperatieve toepassing te komen van diensten die bruikbare en passende informatie geeft aan klanten op basis van valide data.

Zie voor meer informatie:

<https://www.crow.nl/kennis/bibliotheek-verkeer-en-vervoer/kennisdocumenten/afweegkader-smart-mobilityservices-voor-wegbeheerd>

3.3 Verkeersveiligheid

Zowel data als een goede fysieke basis maken dat systemen goed kunnen werken. Er zijn nieuwe verplichtingen aan de voertuigkant, alsmede aan de data-ontsluitingskant. In de fase waar we ons nu bevinden, helpen verplichtingen zowel het slimme voertuig als ook de bestuurder zelf. Als data consistent zijn met de wegomgeving kunnen voertuigen hun eigen waarneming toetsen aan de data en andersom. Deze hybride vorm van informatie maakt dat een hogere nauwkeurigheid van de werking van de systemen bereikt kan worden. Kwalitatieve data en meer uniforme en herkenbare infra maken dat er een optimale ondersteuning van de rijtaak ontstaat die de veiligheid kan helpen. Goed op orde zijn voorkomt aansprakelijkheid, doet recht aan de verplichtingen maar helpt vooral de eindgebruiker en het beleidsdoel veiligheid.

Deze notitie vat de essentie samen van de vijf onderstaande rapporten en richt zich kort op het handelingsperspectief van wegbeheerders. De vijf documenten bevatten veel achtergrondinformatie. Die informatie wordt niet direct herhaald in dit stuk, maar geeft op thema's een beknopt overzicht. Verdieping is te vinden in onderstaande stukken.

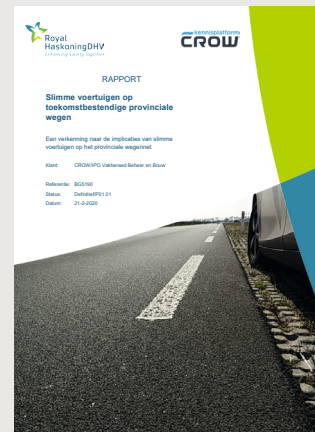
1 Aanpassen fysieke infrastructuur a.g.v. slimme auto's

Dit rapport uit 2019 heeft een tijdshorizon van vijf tot tien jaar en gaat over ontwerpaanpassingen ten gevolge van slimme voertuigen (SAE level 2 en 3) in de periode 2024-2029. Het stuk richt zich met name op aspecten die van belang zijn voor het aanvullen en op langere termijn aanpassen van de ontwerprichtlijnen. Onder infrastructuur verstaat het rapport zowel de fysieke als de digitale infra. Qua infrastructuur is de focus gericht op auto(snel)wegen, provinciale wegen en stedelijke hoofdwegen/corridors. Qua modaliteit gaat het met name over auto, waarbij de interactie met actieve modaliteiten wordt meegenomen. Het rapport gaat uit van de mens als bestuurder, ondersteund door techniek. Het gaat over de reguliere verkeerssituatie, niet over werkzaamheden.



2 Slimme voertuigen op toekomstbestendige provinciale wegen

Het rapport richt zich uitsluitend op de fysieke kant van de infra, niet de digitale, met een duidelijke focus op provinciale wegen. Het bevat een beperkte tijdshorizon van vijf jaar met een beperkte doorkijk. De focus ligt op wegvakken en slechts beperkt op uitwisselpunten als kruispunten en rotondes. Gezien de beperkte horizon focust het stuk zich voornamelijk op SAE 1 en 2, maar strekt zich ook uit tot niveaus 3 tot 5, die niet zo relevant zijn voor de horizon van vijf jaar. Om een breed draagvlak te creëren, zijn regiobijeenkomsten gehouden.



3 Fysieke en digitale infrastructuur voor optimaal functioneren van ADAS

Een uitgebreid onderzoeksrapport met een tijdshorizon van tien jaar, dat zich richt op Lane Keeping, rijstrookwisseling, ISA en ACC. Het gaat over toepassingen op de volgende wegtypen: auto(snel)wegen, gebiedsontsluitingswegen en stedelijke corridors. Soms gaat het stuk diep in op onder andere rechte wegedeelten, bogen, kruispunten en op- en afritten en het functioneren van ADAS. Afwisselend geven literatuur, interviews en overleggen antwoord op de onderzoeksvragen.



4 Handreiking ADAS-kaart

Aan de hand van literatuuronderzoek en interviews inventariseert de handreiking welke verschillende methoden bestaan om inzicht te krijgen in het functioneren van ADAS op het wegennet. Gekeken is vanuit drie invalshoeken, namelijk de rijtaakondersteuning, de leesbaarheid van de infra en het functioneren van ADAS.



5 Adviesnotitie herziening Handboek Wegontwerp


Dit rapport is nog niet gepubliceerd maar is een advies aan de werkgroep Herziening handboek wegontwerp. Het is uiteindelijk aan die werkgroep wat er gebeurt met deze adviezen en wat er in de handboeken komt te staan over ADAS en slimme voertuigen. De inhoud van dit stuk is meegenomen in deze notitie.



Tabel 1 geeft een overzicht van de scope en accenten van eerder genoemde rapporten. Te zien is dat de rapporten het accent leggen op fysieke infra (maar digitale infra niet onbesproken blijft). Het gaat met name over motorvoertuigen in brede zin (er is geen duidelijk onderscheid gemaakt tussen individueel, collectief en logistiek) wat ook niet echt

nodig is voor dergelijke systemen als het gaat om rijtaakondersteuning. Dat in lijn is met een duidelijke focus op menselijke besturing van level 1- en 2-voertuigen, voorzien van LKA en ISA.

Tabel 1. Een overzicht van de focus in de betreffende publicaties.

																										
		Fysiek	Digitaal	A-wegen	N-wegen	Stedelijk	Ruraal	Individueel gemotoriseerd	Actieve modaliteiten	Collectieve modaliteiten	Transport en logistiek	Mens	Voertuig	Regulier	Tijdelijk	Dynamisch	SAE level					Lane keeping	Intelligent Speed assistance	Autonomous Emergency breaking	Rijstrookwissel	Adaptive cruise control
		Type infra		Type weg			Modaliteit			Besturing voertuig		Verkeers-situatie			1	2	3	4	5	Rijtaakondersteunende functies						
Titel uitgave	Jaar	Betreeft periode	x	(x)	(x)	x	x		x	(x)		x		x				x	x			x	x			
Aanpassen fysieke infra-structuur a.g.v. slimme auto's	2019	2024-2029																								
Slimme voertuigen op toekomstbestendige provinciale wegen	2020	2020-2025	x			x	(x)	(x)	x	(x)		x	(x)	x	(x)		x	x	(x)	(x)	(x)	x	x	(x)		
Fysieke en digitale infrastructuur voor optimaal functioneren van ADAS	2021	2021-2031	x	(x)	x	x			x			x	(x)	x			x	x				x	x		x	x
Handreiking ADAS-kaart	2022	onbekend	x	x	x	x	x	x				x		x	x		x	x				x	x			
Adviesnotitie herziening Handboek Wegontwerp	2023	onbekend	x			x	x	x			x	x		x			x	x				x	x			

Aandachtspunten/acties voor ontwerpelementen per wegsituatie

Belangrijk is dat een onderscheid wordt gemaakt in de verkeerssituaties in relatie tot maatregelen, markering en bebording in de vorm van:

- Reguliere situatie (van structurele aard):
 - De wegsituatie zonder tijdelijke of dynamische aspecten in markering of bebording.
- Dynamische situatie (van variabele aard):
 - Bebording of signalering die in de reguliere situatie meestal volgens vaste scenario's dynamisch inspeelt op het actuele verkeer.
- Tijdelijke situatie (van tijdelijke aard):
 - Wegsituatie in infra en assets van tijdelijke aard, zoals werkzaamheden en evenementen met tijdelijke beperkingen.

Uitgangspunt is om de infrastructuur niet aan te passen aan het voertuig, maar andersom. Niet alles zal echter door voertuigen worden opgelost en de Nederlandse specials staan niet bovenaan de lijst bij voertuigontwikkeling, gezien het relatief kleine aandeel van Nederland in de internationale automotieve markt. Dat betekent dat op bepaalde wegen met bepaalde kenmerken of wegsituaties de functies niet of minder goed kunnen functioneren. Het is te vroeg om nu al te kijken naar dergelijke specials, maar dat neemt niet weg dat er ook nu al rekening gehouden kan worden in het ontwerp en onderhoud in de zin van no-regret maatregelen voor een toekomstvast ontwerp. Wat is goed voor zowel de bestuurder als het voertuig? Vaak zien we dat beide gebaat zijn bij maatregelen als:

- Uniformiteit
- Goede zichtbaarheid en leesbaarheid van borden
- Begrijpelijkheid
- Uitvoerbaarheid
- Contrast
- Retroreflectie
- Sobere inrichting
- Strikt toepassen van richtlijnen
- Regelmatig onderhoud
- Positionering van borden
- Borden op de juiste (wettelijke) locatie

Wat helpt voor zowel voertuig als menselijke besturing is het consequent aanleggen, beheren en onderhouden van de markering en bebording, volgens de ontwerprichtlijnen, onderhoudsnormen en beheersystematieken.

Tabel 2. ADAS-rijtaakondersteuning en de relatie met het speelveld

ADAS toepassing	Type rijtaakondersteuning	Verplicht in nieuwe voertuigen (EU)	Relatie met				Rol					
			Infra	Data	Ontwerp	B&O	Statisch	Dynamisch	Tijdelijk	Service providers	Wegbeheerders	Automotive
AEB	Longitudinaal	Ja	Stroefheid	V2V	Redressering	Goed onderhoud					x	xxx
ISA	Longitudinaal	Ja	Borden	Snelheid	Locatie borden	Zichtbare borden	Borden en regels	MTM en kantelwals	Werkzaamheden	x	xxx	xx
LKA	Lateraal	Ja	Markering	Afsluiting rijstrook	Uniforme markering	Zichtbare markering	Reguliere markering	Wisselstrook	Gele markering		xx	xx
ACC	Longitudinaal	Nee	Borden	Snelheid, V2V	Locatie borden	Zichtbare borden	Borden en regels	MTM en kantelwals	Werkzaamheden		x	xx

5.1 Markering en geleiding


Voor ADAS systemen als Lane Keeping Assistence (LKA) en Automated Lane Keeping System (ALKS) is de prestatie van de systemen afhankelijk van de zichtbaarheid van de markering. De contrastwaarde is daarbij belangrijk, simpel gezegd het verschil tussen de lijn en de verharding moet qua contrast zo groot mogelijk zijn. Zowel in de reguliere situatie als in omstandigheden als duisternis en regen. Dat maakt bijvoorbeeld thermoplast op zoab een zeer geschikt materiaal, dat echter niet in alle situaties is toe te passen is. In 2021 is door de Automotive sector aangegeven dat de waarneming van markering door voertuigen gelijk is getrokken met de waarneming door de mens. Daarmee is het goed zichtbaar houden van markering een duidelijke no-regret maatregel. Het vraagt ook een andere kijk op onderhoud. Niet de cyclus moet leidend zijn, maar de waarneembaarheid van markering. Data uit voertuigen zullen over niet al te lange tijd geografisch gezien een beeld kunnen geven van locaties waar de waarneming te wensen over laat. Zo slijt kantmarkering in de binnenbocht sneller dan asmarkering. Een oplossing is kantmarkering vaker vervangen/herstellen, of bochtverbreiding binnen de rijstrook toepassen.

In algemene zin kan gezegd worden dat de waarneming van markering door nieuwe voertuigen gelijk is getrokken met de menselijke waarneming. Dat wat mensen goed kunnen waarnemen, kunnen voertuigen dus in beginsel ook. De kwaliteit van de markering moet daarom voldoen aan de huidige eisen aan reflectiewaarden. Opgemerkt moet worden dat er eind 2022 of begin 2023 een nieuwe Europese richtlijn voor markering verschijnt, waarin ook de

contrastwaarde van markering wordt opgenomen, bedoeld om het functioneren van LKA-toepassingen te faciliteren. Voor kantmarkering geldt dat de verharding zo groot moet zijn dat de markering onder alle omstandigheden zichtbaar is voor een LKA-systeem in het voertuig. Ten aanzien van markering gelden de volgende uitgangspunten:

- Witte markering op donker asfalt geeft de sterkste contrastwaarde.
- Asfalt geeft variabele contrastwaarden.
- Betonwegen geven een beperkte contrastwaarde.
- Niet lineaire waarden bij verjaring.
- Zwarte contraststreep verhoogt de contrastwaarden met witte markering.
- Lage lichtsterkte zwarte contraststreep, hoge lichtsterkte witte markering.
- Buffer tegen verkleuring van asfalt.
- Hogere contrastwaarden voor dezelfde markering en minder verlichting.
- Minimale reflectie markering:
 - Droog weer: 150/150 regel: 150 mm breed en 150 mcd/lux/m²
 - Nat wegdek: 150 mm breed en 35 mcd/lux/m²
 - EN1436: Performance Characteristics for Road Markings
 - Droog > 300 mcd/lux/m²
 - Nat/regen > 150 mcd/lux/m²

Enkele aandachtspunten bij markering zijn zaken als lasnaden (correcties van scheuren in het wegdek). Ook demarkeren of tijdelijke markering is lastig waar te nemen (voor voertuigen maar ook voor bestuurders).

Acties		MARKERING		Strategisch	Tactisch	Operationeel
Nr	Onderwerp	Omschrijving uitvoeringsacties				
1	Markering	Bij Stroomwegen, Gebiedsontsluitingswegen 80, 70 en 50 met markering: <ul style="list-style-type: none"> ■ Zorg dat markering voldoet aan de norm (EN 1436)3 en vervang de markering tijdig. ■ Zorg voor goede afwatering, zodat plasvorming wordt voorkomen en de markering ook bij regen gedetecteerd kan worden. ■ Zorg voor schoonhouden van de markering, vrij van zand en bladeren (bijvoorbeeld bij de bietencampagne of vanuit de berm) of vervuiling. 				x
2		Gebiedsontsluitingswegen 50 met trottoirband, Erftoegangswegen 60 en 30: Zie actie 23 van de ontwerptabel.		x		
3		Zorg voor een zo groot mogelijke contrastwaarde van markering ten opzichte van de verharding, en houdt deze ook in stand daar waar nodig.			x	
4		Zorg voor uniformiteit van kantmarkering.			x	
5		Gebruik flexibele onderhoudscontracten die op basis van data uit voertuigen of schouw de markering tussentijds kunnen opfrissen waar nodig.			x	

Materiaalkeuze type I- of type II-markering is relevant.

Daarbij spelen de volgende overwegingen:

- Voordelen thermoplasten/koudplaten: alle markering op de weg en de kruispunten kan in hetzelfde product uitgevoerd worden, eenvoudiger in onderhoud.
- Voordeel geprofileerde markering: attentie verhogend en betere zichtbaarheid in regen en nacht.
- Nadelen geprofileerde markering: vervuilt sneller, lastiger in onderhoud, geluidsoverlast.

Met name op basis van betere zichtbaarheid bij duisternis en regen, die ook gunstig is voor camera's van LKA-systemen, krijgt type II-markering de voorkeur boven type I.

Plaatselijke slijtage van markering moet vaker onderhouden worden. Door wringend verkeer of vaak overreden markering zal de kwaliteit van markering plaatselijk sneller verslechteren (bijvoorbeeld bij kruisingen, bochten en rijstrook vermindering).

Reflectorpalen

De reflectorpaal heeft geen duidelijke functie voor slimme voertuigen. Het effect van kantmarkering is veel sterker. Het is op dit moment nog niet volledig duidelijk of, op welke locaties en op welk moment dergelijke paaltjes eventueel afgebouwd kunnen worden. Zeker in bochten of bij beperkte sneeuwval kunnen reflectorpaaltjes in ieder geval de bestuurder ondersteunen.

5.2 Rechtstanden en boogstralen

5.2.1 Rechtstanden

ETW 30- en ETW 60-wegen zijn door het ontbreken van rijbaanscheidende markering en kantmarkering lastig voor slimme voertuigen op dit moment. De vraag is voor welke periode de markering moet dienen, mede met een blik op het al dan niet toestaan van autonome voertuigen op het betreffende ODD. Wegen waar ADAS het beleid moet ondersteunen, moeten herkenbare rijstroken hebben met goede markering en van voldoende breedte en redressering. Belangrijk voor de veiligheid is dat modaliteiten waar mogelijk over eigen infra beschikken. Tegenwoordig worden soms fietspaden gedegradеerd en fietsers weer op de rijbaan gezet tussen het overige verkeer. Wegen met fiets(suggestie)stroken of te smalle rijlopers zijn niet geschikt voor rijtaakondersteuning.

Redresseerstrook en obstakelvrije zone

Lane Keeping kan helpen bij het voorkomen van koersafwijkingen. Een redresseerstrook is bedoeld om eventuele fouten op te vangen. Koersfouten nemen af bij ondersteuning van of overname door LKA en ALKS, dat zou pleiten voor smallere stroken. Maar die systemen zijn nog niet

helemaal foutloos. Redresseerstroken behouden ook bij deels automatische voertuigen de functie dat de mens de tijd nog heeft het voertuig waar nodig te corrigeren. Wat dat betekent voor de breedte van redresseerstroken is niet bekend. Mogelijk zouden die door de langere reactietijd zelfs breder moeten. Ook al werken systemen later wellicht foutloos, er blijven zaken als zijwind die zeker bij hogere voertuigen met niet al te veel gewicht, grote invloed hebben. Een redresseerstrook kan dan nog steeds ongevallen voorkomen. Automatische voertuigen kunnen ook nog steeds een klapband krijgen en ijzel zal ook blijven voorkomen. Bij dergelijke gevallen kan een obstakelvrije zone levens redden. De tijd is nog niet aangebroken om hierop te versoberen of af te bouwen.

Zichtafstand

Afhankelijk van de ontwerpsnelheid moet er voldoende zichtafstand zijn om het functioneren van ACC en verkeersbordherkenning mogelijk te maken. Dus rekening houden met eventuele obstakels en voldoende zicht in verticaal en horizontaal alignment. Zichtafstand voor sensoren is in beginsel vergelijkbaar met de zichtafstand voor menselijke waarneming, wetende dat zowel mensen als sensoren verschillend presteren.



Figuur 5. Te krappe rechtstanden zijn over het algemeen niet geschikt voor LKA en ALKS. Voor een toekomstvast ontwerp is het scheiden van modaliteiten over het algemeen veiliger dan mengen.

5.2.2 Boogstralen

Van belang is het consequent toepassen van de huidige richtlijnen voor bebording, bebakening, markering, boogstralen en verkanting, gericht op uniformiteit en eenduidigheid voor bestuurder van het voertuig en ADAS. Sluit daarbij aan bij de verschillende categorieën krappe bogen conform de CROW-richtlijnen. Dit geldt ook voor S-boogconfiguraties langs middengeleiders op een gebiedsontsluitingsweg, en relatief ingewikkelde langere boogconfiguraties waarbij er een voldoende ruim overgangsgedeelte moet zijn tussen twee tegengestelde bochten. Bekijk een bocht altijd vanuit de context waarin deze ligt en de functie die daarbij hoort.

Uit onderzoek is gebleken dat ADAS-systemen moeite kunnen hebben met de combinatie van krappe bogen en aansluitingen van zijwegen. Het lezen van de markering ter hoogte van de aansluiting kan problemen opleveren.

De horizontale boog (doorgaande boog)⁶

Bij horizontale bogen in wegvakken met een doorgaand karakter heeft het de voorkeur dat voertuigen met geen of slechts een kleine aanpassing van de snelheid het traject kunnen passeren, en ook het ADAS/LKA blijft functioneren. Het is daarbij van belang dat opeenvolgende krommingen zo veel mogelijk voorkomen worden in wegvakken met een doorgaand karakter. Een belangrijke waarde hierbij is de zogenaamde K-waarde: de ontwerpsnelheid van de boog gedeeld door de snelheid op het voorgaande weggedeelte. Het is aan te raden voor slimme voertuigen deze waarde $\geq 0,8$ te laten zijn. Daarnaast is er bij de overgang van of naar een verdrijvingsvlak vaak sprake van een soort s-curve. Deze curve blijkt lastig voor Lane Keeping omdat de bochten in het wegverloop (links en rechts) elkaar te snel opvolgen.

Voor het functioneren van ADAS in doorgaande bogen (van rijkswegen, provinciale wegen en stedelijke corridors) wordt onderscheid gemaakt in 'niet krappe bogen' en 'krappe bogen'.

Niet krappe boog

De ontwerpsnelheid in de boog is gelijk aan de ontwerpsnelheid van het wegvak waarin de boog gelegen is.

Het voertuig kan de boog in reguliere situaties met ongewijzigde snelheid veilig en comfortabel passeren, waarbij de ADAS blijft functioneren. Het is aan te raden extra aandacht te besteden aan de stroefheid van het wegdek, de kwaliteit van de markering en om in de buitenbocht doorgetrokken markering aan te brengen in plaats van onderbroken als het gaat om het functioneren van ADAS.

Krappe boog

De ontwerpsnelheid in de boog is lager dan de ontwerpsnelheid van het wegvak waarin de boog is gelegen. De snelheid waarmee de boog veilig en comfortabel gepasseerd kan worden, is lager dan de snelheidslimiet in het wegvak voor de boog. Er is sprake van een discontinuïteit, een situatie met verhoogd risico, waarvoor een snelheidsaanpassing nodig is. De meeste voertuigen met de huidige ADAS kennen beperkingen in het correct en tijdig detecteren van deze discontinuïteit. De voertuigbestuurder is zelf verantwoordelijk voor de snelheidsaanpassing, en doet dat op basis van zijn eigen inschatting van de boog (ervaring en weg- en omgevingskenmerken). De bestuurder moet tijdig geattendeerd worden op deze situatie, de snelheid aanpassen en de ADAS waar nodig uitschakelen. De bestuurder kan daarbij geholpen worden via een adviessnelheid of aanpassing van de snelheidslimiet (zowel via bebording als via in-car signalering (ISA)). Het is echter niet zinvol in dit stadium een digitale adviessnelheid te geven. Er zijn immers te veel variabelen zoals lading, type voertuig, omstandigheden, wegdek, drukte, et cetera op basis waarvan een gepersonaliseerd snelheidsadvies nodig is. Een motor bij droog weer overdag versus een halfgevulde tankwagen bij gladheid en alles wat daar tussenin zit, maakt dat een generieke adviessnelheid lastig is.

De verticale boog

Holle of bolle bogen in het verticale alignment kunnen nadelig zijn voor de waarneming van het wegverloop door slimme voertuigen. Hiervoor zijn geen maatregelen nodig want de systemen zullen dit naar verwachting binnenkort opgelost hebben. Blijf hier uiteraard wel ontwerpen in overeenstemming met de richtlijnen.

Acties			MARKERING		
Nr	Onderwerp	Omschrijving uitvoeringsacties	Strategisch	Tactisch	Operationeel
6	Markering	<ul style="list-style-type: none"> ■ Probeer krappe bogen in het ontwerp te vermijden als deze geen specifieke functie in het ontwerp van het betreffende wegvak hebben. ■ Zorg voor voldoende rijstrookbreedte en redressering die voor alle typen voertuigen voldoende zijn voor een veilig gebruik. 	X	X	

⁶ Doorgaande boog: niet bij einde wegvak, afrit, kruising of snelheidsremmers/middeneilanden

5.3 Verkeersregels en structurele maatregelen

5.3.1 Markering met betrekking tot kruispunten

Zowel menselijke bestuurders als slimme voertuigen zijn geholpen bij duidelijk zichtbare markering. Stopstrepen geven bij verkeerslichten de wettelijke plaats van stoppen aan. Om daaraan te kunnen voldoen moeten ze goed zichtbaar zijn. Haaiantanden hebben een soortgelijke functie (veelal bij niet door verkeerslichten geregelde kruispunten) en zeggen ook iets over de voorrang. Ondanks dat voertuigen haaiantanden nog niet altijd goed kunnen waarnemen, is het zeker van belang dat ze goed zichtbaar zijn.

5.3.2 Verkeersborden, verkeerstekens en structurele maatregelen

Algemeen geldt de noodzaak om zo min mogelijk verschillende verkeersborden en onderborden toe te passen en goed na te denken over nut en noodzaak van bepaalde geboden en verboden. Vereenvoudiging op dit vlak is wenselijk maar ook lastig. Waarschuwingsborden hebben een relatie met aansprakelijkheid en kunnen daarbij een functie hebben in de tijd tussen constatering van een gevaar en het oplossen daarvan. In de toekomst zal dit steeds meer (ook) digitaal worden ondervangen. Wel kan met name het landschap van snelheidslimieten nog veel eenvoudiger.

In CROW-publicatie 345 'Kwalitatief beheer verkeersborden' is veel kennis opgenomen over een kwalitatief beheer van verkeersborden. Belangrijk voor zowel mens als voertuig-waarneming blijft:

- zichtbaarheid (geen hinderende begroeiing of obstakels)
- leesbaarheid (retroreflectie, schoon)
- begrijpelijkheid (voor wie is het bord bedoeld en is het verenigbaar met de overige regels en tekens?)
- uitvoerbaarheid (kan het verbod of gebod op die locatie binnen de dynamische rijtaak wel uitgevoerd worden?)
- geloofwaardigheid (wegbeeld moet passen bij het verbod of gebod en eventueel met vooraankondiging)

Automotive partijen stemmen verkeersbordherkenning af op huidige situatie, maar vragen wegbeheerders wel om de uniformiteit, eenduidigheid en complexiteit van het bordenareaal in acht te nemen. Er zijn nog veel verschillen tussen de bebording op straat en de digitale laag. Duidelijk is dat de factoren die deze hiaten veroorzaken, komen door een mix van complexiteit en niet eenduidige en/of uniforme informatievoorziening door het (snelheids)bordenareaal. De menselijke bestuurder kan hierop anticiperen door middel van interpretatie, ADAS kan dat niet.

Acties			VERKEERSBORDEN		
Nr	Onderwerp	Omschrijving uitvoeringsacties	Strategisch	Tactisch	Operationeel
7	Verkeersborden	Borden goed schoon houden en begroeiing voorkomen, zodat ze in ieder geval goed leesbaar en zichtbaar blijven.			X
8		Schermborden A1 af voor verkeer op naastgelegen rijbanen of wegen. Let op dat dit vanuit twee kanten kan gelden. Het moet te allen tijde duidelijk zijn voor welke weggebruikers het bord bestemd is.		X	
9		Geef bij tijdelijke maatregelen bij het begin en bij het einde de nieuwe snelheidslimiet duidelijk aan, zowel fysiek als digitaal.		X	
10		Zorg bij de aanschaf van borden voor de juiste klasse retroreflectie.		X	
11	Snelheidsborden	Voorkom dat borden bedoeld voor een andere rijbaan of weg gelezen kunnen worden.		X	
12		Zorg dat komborden op de wettelijk juiste locatie staan (acceptatie van ISA). Deze zijn veelal niet leesbaar voor voertuigen. Dit kan ondersteund worden met data en/of met een afbeelding van een skyline.		X	
13		Snelheidsbeperkingen vlak voor kruispunten worden niet opgeheven door een bord. Voor slimme voertuigen en mensen is dat lastig. Weeg nut en noodzaak goed af bij het toepassen ervan. Een plafondsnelheid is wat anders dan een veilige snelheid.			X
14		Plaats snelheidsborden niet in bochten. Dat maakt een bocht doorgaan met licht trekkende motor lastiger.			X
15		Zorg dat de snelheid past bij het wegbeeld (acceptatie van ISA). Zie: ISA-Kennisvraag-Basis-op-orde .		X	
16		Zorg dat het bordenarsenaal sluitend is vanuit elke mogelijke richting.		X	
17		Vereenvoudig waar mogelijk.	X	X	X



Figuur 6. Een niet leesbaar kombord.

Snelheidsborden

Sinds de verplichting van ISA in nieuwe voertuigen is het nog meer van belang dat duidelijk is wat de bovengrens van de snelheid is. Als we vanuit het buitenland de grens over rijden, lijkt het duidelijk: in Nederland mag je maximaal 50 binnen de bebouwde kom, 80 daarbuiten en 130 km/uur op autosnelwegen. Vervolgens komt de bestuurder in aanraking met een woud aan borden die vaak op korte wegvakken of op bepaalde tijden andere snelheden vragen. Het is voor bestuurders lastig te volgen, voor voertuigen lastig waar te nemen en in de data top 15 lastig te digitaliseren. Publicaties over ISA (Handreiking-Intelligente-Snelheids-Assistent-) zijn hier duidelijk over. Zie voor meer informatie de Landelijke werkgroep ISA <https://www.crow.nl/thema-s/smart-mobility/werkgroep-isa>

Overige borden

Voor overige borden geldt ook dat het lezen van borden door bestuurders of voertuigen op een rijbaan waarvoor deze niet bedoeld zijn, zo veel mogelijk moet worden voorkomen.

5.3.3 Snelheidsremmende voorzieningen

Een drempel moet met de ter plaatse geldende snelheidslimiet genomen kunnen worden. De ontwerpsnelheid ervan moet gelijk zijn aan de toegestane snelheid. Asverspringingen en chicanes zijn over het algemeen niet geschikt voor slimme voertuigen, tenzij beide richtingen eenvoudig kunnen passeren. Weeg nut en noodzaak af en voorkom toepassing op wegen waar LKA en ALKS toegepast zou moeten worden.

5.4 Technische installaties

5.4.1 Verkeerslichten

Met de komst van de iVRI beginnen verkeerslichten in toenemende mate informatie uit te wisselen met voertuigen. Daarmee kan aan bepaalde voertuigen of groepen voertuigen bijvoorbeeld prioriteit gegeven worden. We zijn nog niet zo ver dat lichtbeelden veilig gecommuniceerd kunnen worden naar voertuigen, maar de dichtheid van berichten tussen voertuigen en VRI's neemt wel toe. Dit maakt dat er op termijn mogelijk al iets minder detectie kan worden toegepast bij een iVRI, maar daar moet altijd goed over nagedacht worden om te voorkomen dat functieverlies optreedt.

5.4.2 Openbare verlichting

Openbare verlichting maakt rijden in het donker veiliger maar heeft ook een geleidende functie. De waarneming van markering bij regen kan echter slechter worden bij de toepassing van verlichting door schittering van het licht. Daar staat tegenover dat verlichting juist weer goed is voor de sociale veiligheid en voor bestuurders van grotere vrachtwagens die minder retroreflectie ontvangen en dus minder geleiding. Vanuit duurzaamheid (energiebesparing) kan bij toepassing van ledverlichting wel gedimd worden met een bepaald percentage, zonder dat dit afbreuk doet aan de zichtbaarheid. In bijzondere gevallen kan dan alsnog naar 100% worden geschakeld. Proeven moeten uitwijzen welk effect dimmen heeft op de totale waarneembaarheid van markering en geleiding (spiegeling versus aanlichten).

Acties

SNELHEIDSREMMENDE VOORZIENINGEN

Nr Onderwerp Omschrijving uitvoeringsacties

18	Snelheidsremmende voorzieningen	Controleer de rijsnelheid waarmee snelheidsremmende voorzieningen gepasseerd kunnen worden.
19		Pas waar mogelijk de snelheidsremmende voorziening aan, aan de limietsnelheid.
20		Waarschuw, indien een verlaging van de snelheid beneden de limiet is gewenst.



Strategisch	Tactisch	Operationeel
		X
	X	
	X	

Acties			ONTWERP		
					
Nr	Onderwerp	Omschrijving uitvoeringsacties	Strategisch	Tactisch	Operationeel
21	Ontwerp	Maak de ontwerp- en onderhoudcriteria onderdeel van de (vrijwillige) RISM-audit.		x	
22		Ontwerp zo veel mogelijk conform de richtlijn. Uniformiteit is van groot belang voor slimme voertuigen maar helpt ook de menselijke bestuurder.		x	
23		Houd rekening met de functie van wegen. ETW60-wegen zijn met het ontbreken van rijbaanscheiding niet zo geschikt voor rijhulpsystemen of autonoom rijden. Als deze voertuigen hier in de toekomst wel zouden moeten gaan rijden, is het zaak de markering toekomstvast te ontwerpen of aanpassing later mogelijk te maken zonder schade aan het wegdek.	x		
24		Zorg voor zo groot mogelijke aaneengesloten gebieden met dezelfde maximum snelheid. Vereenvoudiging is nodig voor zowel mens als voertuig, alsook voor het digitaliseringsproces.	x		
25		Verkeerssituaties en de inrichting daarvan moet binnen de dynamische verkeerstaak te begrijpen zijn voor bestuurders van voertuigen (mens). Voor voertuigen liggen de beperkingen vooral in het niet inzichtelijk redeneren van het voertuig. Dat maakt dat hoe meer specials, afwijkingen of complexiteit een punt of traject bevat, hoe minder snel het in aanmerking zal komen als ODD voor zelfrijdend.			
26		Zorg voor een zo groot mogelijke contrastwaarde van markering ten opzichte van de verharding, en houdt deze ook in stand daar waar nodig.			x
27		Zorg voor uniformiteit van kantmarkering.			x
28		Bij ontwerp een k-waarde toepassen die $\geq 0,8$.			x
29		Probeer krappe bogen in het ontwerp te vermijden. Zorg voor voldoende rijstrookbreedte en redressering die voor alle typen voertuigen voldoende zijn voor een veilig gebruik.			x
30		Bij een overgang van 1 naar 2 (doorgaande) rijstroken liever geen ruimte zonder markering laten want daar raakt de ADAS-auto gedesoriënteerd en gaat 'zweven'. Beter links een rijstrook toevoegen en kantmarkering direct doortrekken (is echter niet conform huidig Handboek Wegontwerp).	x		
31		S-bogen dienen voorzien te zijn van ruime boogstralen (groter dan minimum en eventueel met overgangsbogen conform richtlijn) zodat de LKA-systemen hier meer tijd krijgen om te detecteren en te anticiperen en het voertuig binnen de markering te houden.			x
32		Toepassen van dubbele asmarkering op GOW (volgens de richtlijn) verbetert het functioneren van LKA in bogen.	x		
33		Beperken aansluitingen in krappe bogen door negatieve invloed op functioneren van LKA.	x		


5.5 Ontwerp

Aandachtspunten met betrekking tot het ontwerpen van wegen in relatie tot slimme voertuigen en voertuigfuncties zijn samengevat in bovenstaande tabel.

Aansluitend laat de tabel in paragraaf 5.6 de acties zien specifiek gericht op ontwerp en op beheer en onderhoud.

5.6 Beheer en onderhoud

Bekijk in onderstaande tabel de aandachtspunten met betrekking tot beheer en onderhoud in relatie tot slimme voertuigen en voertuigfuncties.

Acties			BEHEER EN ONDERHOUD		
					
Nr	Onderwerp	Omschrijving uitvoeringsacties	Strategisch	Tactisch	Operationeel
34	Beheer en onderhoud	Tracht de gaten in het ODD die geschikt zouden moeten zijn voor bepaalde automatische of ondersteunende functies te dichten. Onderbrekingen waar de mens het moet overnemen zijn niet wenselijk en moeten zo veel mogelijk voorkomen worden. Dit heeft betrekking op zowel bestaande trajecten als de uitbreiding daarvan.		x	
35		Feedbackloops met private datahouders (zoals voertuigproducenten) kunnen de kwaliteit van data sterk verbeteren, alsmede een hulpmiddel bij assetmanagement.		x	
36		Toets op ADAS geschiktheid op trajectniveau. Het opzetten van een ADAS-audit kan een richting zijn, net als het maken van een ADAS-kaart.		x	
37		Ga vanuit de triggers van een ADAS-kaart op locatie zoeken naar een oplossing.			x

Met een focus op ISA en LKA is het zaak dat er bij werkzaamheden en andere tijdelijke situaties aandacht is voor deze rijtaakondersteunende functies. De veiligheid van zowel het verkeer als met name ook van de wegwerkers is van groot belang. Ook voor de acceptatie van deze rijtaakondersteunende systemen (gebruikersacceptatie) is het belangrijk dat er niet onnodig borden met bijvoorbeeld een snelheidsbeperking blijven staan als het werk (tijdelijk) gereed is of er niet gewerkt wordt (afhankelijk van de situatie ter plaatse). Voorts is het van belang goede en realtime data te leveren van afsluitingen van wegen, afsluitingen of beperkingen van rijstroken en omleidingen. Dit voorkomt onnodig omleiden als het werk eerder gereed is of op het laatste moment niet doorgaat of later start, en dat er anders omgeleid wordt dan gewenst.

Belangrijk is om naast aandacht voor de menselijke bestuurder de juiste aandacht te hebben voor slimme voertuigen.

Naderen van het werkvak (informereren, waarschuwen)


- Attenderen op naderen werkvak:
 - Beberding, signalering (fysiek) en in-car-melding (digitaal).
 - Informatie over de locatie, lengte en snelheidslimiet van de Werk in Uitvoering (WIU) zone, en specifieke info over de inrichting van de zone.
- LKA: attenderen op 'fallback-situatie' in 'overgangsgebied':
 - Via digitaal systeem beperkingen en afsluitingen realtime ontsluiten.
 - Bestuurder moet er rekening mee houden dat LKA-ondersteuning geheel of gedeeltelijk wegvalt.
- ISA: aangepaste snelheidslimiet communiceren naar voertuig en bestuurder:
 - Via digitaal systeem snelheidslimiet realtime beschikbaar.

Passeren van het werkvak (afschermen, scheiden, geleiden)

- Vermijden intrusie in de werkzone:
 - Detectie van afzetting en pijlwagens (AEBS).
- LKA: opvallendheid en interpretatie tijdelijke markering vergroten:
 - Kleur, reflectiewaarde, contrastwaarde.
 - Demarkeren originele markering.
 - Rijstrookbreedte (bij voorkeur niet smaller dan 2,70m).
- ISA: aangepaste snelheidslimiet communiceren naar voertuig en bestuurder:
 - Beberding leesbaar.
 - Realtime nieuwe snelheid ontsluiten en opheffen indien gereed

Verlaten van het werkvak

- Voertuigen lezen bord 'einde alle geboden' niet -> snelheidslimiet bord plaatsen (A01).

Acties			TIJDELIJKE SITUATIES		
Nr	Onderwerp	Omschrijving uitvoeringsacties			
			Strategisch	Tactisch	Operationeel
38	Tijdelijke situaties	Zorg in een tijdelijke situatie voor duidelijkheid (CROW 96).			x
39		Streef waar mogelijk naar kort en hevig afsluiten in plaats van lang een onduidelijke situatie die onveilig is voor het verkeer en de wegwerkers.		x	
40		Zorg voor goede (fysieke en digitale) vooraankondigingen.			x
41		Zorg voor een actuele dataontsluiting van de beperkingen en omleidingen.		x	
42		Oude of tijdelijke markeringen blijven soms zichtbaar door demarkeren en wegstralen. Kijk naar oplossingsrichtingen waarbij deze problemen niet ontstaan.			x
43		Scheurvorming en dergelijke moet zo worden gerepareerd dat LKA-systemen het niet herkennen als markering (ervaring met vloeibaar asfalt kan leiden tot 'herkenning als markering').			x

We kennen al jaren een digitaliseringsopgave. Binnen mobiliteit zijn we ook al tijden bekend met de data top 15. Vanuit Europa komt regelgeving die vraagt om het realtime ontsluiten van data over verkeer en assets. Algemeen geldt dat hoe eenvoudiger, hoe beter te digitaliseren en actueel te houden. Ten aanzien van verkeer kennen we grofweg drie stadia:

- Statisch (regels en tekens, meestal op basis van een verkeersbesluit).
- Dynamisch (kantelwalsborden, displays of signaalgevers die aan de hand van triggers een ander regime tonen).
- Tijdelijk (bij evenementen, werkzaamheden of andere zaken kunnen afwijkende regels, snelheden of beschikbaarheid gelden).

Dit alles moet zo actueel mogelijk ontsloten worden om de reiziger zo goed mogelijk te kunnen informeren. Mede vanuit aansprakelijkheid als goed wegbeheerderschap (zorgplicht) is het zaak de fysieke assets digitaal goed te ontsluiten.

De spagaat zit in het volgende:

- Autofabrikanten willen niet afhankelijk zijn van data van derden en zetten in op eigen waarneming.
- Snelheidsovergangen kunnen niet goed worden waargenomen bij komgrenzen, onderborden met beperkingen of tijden, borden die bedoeld zijn voor een andere rijbaan en snelheidsbeperkingen die gelden voor een wegvak en geldig zijn tot het volgende kruispunt.

Dit maakt dat een mix van data en goed waarneembare borden nodig is. De regelgeving gaat uit van het functioneren van dergelijke systemen op basis van:

- Eigen waarneming door het voertuig.
- Op basis van digitale informatie.
- Een mix van waarneming en data.

Per land kunnen accenten anders liggen, maar het is evident dat het in Nederland aankomt op een mix van data en waarneming. Dit omdat Automotive partijen meer nodig hebben dan alleen data, en alleen waarneming door voertuigen is niet mogelijk vanwege de verkeersregels (zoals het niet herhalen van een bord). De terugkoppeling vanuit voertuigwaarnemingen geeft tevens kansen voor assetmanagement (feedback). Digitalisering is dus een must have waar echt nog een slag in gemaakt moet worden.

Om een en ander te borgen zou er een autoriteit digitaal wegbeheer moeten komen, zie LVMB-rapport (3). Duidelijk is dat hier nog veel te winnen is en we hier deels nog in een ontwikkelfase lijken te zitten. Data en digitalisering moet onderdeel worden van de werkprocessen van wegbeheerders waarbij aandacht voor dataveiligheid en privacy belangrijk zijn en ook belangrijk gevonden moeten worden.

Data veiligheid & privacy

Werken met data vraagt om de juiste aandacht voor privacy en security. Het voert wat ver om dit onderwerp breed toe te lichten in dit document, maar let goed op bij verwerken van data, het bewaren ervan of combineren van bronnen, of er gewerkt wordt binnen de wettelijke kaders. Het is verstandig om de privacy officer en security officer van je organisatie te raadplegen of expertise aan te trekken als dergelijke competenties en vaardigheden niet in de eigen organisatie (voldoende) aanwezig zijn. Alleen de juiste aandacht hiervoor voorkomt uiteindelijk eventuele onduidelijkheid en aansprakelijkheid.

Zie voor meer informatie:

<https://www.crow.nl/thema-s/smart-mobility/data-en-digitalisering>

Acties			DIGITALISERING		
Nr	Onderwerp	Omschrijving uitvoeringsacties	Strategisch	Tactisch	Operationeel
44	Digitalisering	Zorg voor digitale kaartlagen die in overeenstemming zijn met elkaar qua functie. De categorisering Duurzaam Veilig zou op hoog niveau in overeenstemming moeten zijn met die van routekeuze en ODD (toelating). Binnen deze thema's kan variatie mogelijk zijn.		x	
45		Data en digitalisering moeten onderdeel worden van de werkprocessen waarbij aandacht voor dataveiligheid en privacy belangrijk zijn en ook belangrijk gevonden moeten worden.	x		
46		Maak dataontsluiting laagdrempelig voor gemeenten (regioaanpak) en maak daarbij een duidelijk onderscheid in statische, dynamische en tijdelijke gegevens.	x		
47		Aandacht voor realtime ontsluiting van data met betrekking tot wegwerkzaamheden of tijdelijke situaties.		x	

ADAS-kaart: inzicht krijgen in het functioneren van ADAS op het wegennet

Om inzicht te krijgen in de werking van ADAS kan een ADAS-kaart helpen het functioneren van LKA en ISA in beeld te brengen. De ADAS-kaart is gericht op het geven van een overzicht en handelingsperspectief voor wegbeheerders met betrekking tot digitale mogelijkheden, relevante processen die hierop lopen en wat die betekenen voor fysieke infra van wegbeheerders. Ook geeft de kaart een beeld van de locaties waar aandacht nodig is voor het veilig en comfortabel functioneren van ADAS. Hierop kan een wegbeheerder, afhankelijk van de aard en omstandigheden, passende maatregelen treffen of achterstallig onderhoud plegen.

ADAS kaart type I: gericht op het plotten van hotspots waar op basis van data uit voertuigen ADAS niet goed functioneert.

ADAS kaart Type II: geeft een beeld op trajectbasis over de mate waarin het fysieke ontwerp en de inrichting van het wegennet en/of de digitale infra een voertuig met ADAS ondersteunt.

ADAS kaart Type III: geeft het detailinzicht dat door locatie-specifieke informatie (fysieke wegenscan) verkregen kan worden en is gericht op maatwerkoplossingen.

De type III-kaart sluit het best aan bij de Europese ISAD⁷ levels. De ADAS-kaarten type I t/m III vormen een goede basis om de ADAS-geschiktheid, en de bijdrage van ADAS aan toekomstbestendigheid van het wegennet in beeld te brengen. De kaarten geven inzicht en input voor wegbeheerders om te kunnen afwegen of ze zelf maatregelen nemen of afstemming/samenwerking aangaan met andere partijen.

ADAS-kaarten zijn gebaseerd op het functioneren van voertuigen en data uit voertuigen die daarvoor beschikbaar is. Per voertuigmerk of type sensor kunnen echter grote verschillen optreden. Het is daarom zaak om de spots of trajecten met een verminderde werking van ADAS (met momenteel focus op LKA en ISA) als trigger te gebruiken om vervolgens ter plaatse te kijken wat het probleem kan zijn en of dit te verhelpen is. Enkele voor de hand liggende vragen hierbij:

- Is er sprake van achterstallig onderhoud of slijtage van markering of bebording?
- Is de situatie conform de ontwerprichtlijnen ingericht?
- Is de situatie voor menselijke besturing wel goed waarneembaar?
- Kan de situatie twijfel veroorzaken inzake verkeersregels of plaats op de weg?
- Zijn er dynamische of tijdelijke aspecten aangebracht die waarneming bemoeilijken?
- Is de snelheid vervat in regels (RVV) en niet in tekens? (bijvoorbeeld: snelheidsbord geldig tot aan het volgende kruispunt – geen bord nodig).
- Zijn er meerdere bogen kort na elkaar gesitueerd? (bijvoorbeeld verdrijvingsvlak).

Acties			DIGITAAL WEGBEHEER		
Nr	Onderwerp	Omschrijving uitvoeringsacties	0	1	1
48	Digitaal wegbeheer	Zoek een oplossing zo veel mogelijk in reductie van complexiteit en daarmee in versoering waar dat kan.	0	1	1
49		Wees terughoudend met het aanbrengen van extra zaken ter ondersteuning van slimme voertuigen. Eenduidigheid en uniformiteit helpen immers zowel de bestuurder als de voertuigen in deze naar verwachting lange fase van mixed traffic.	0	1	0

⁷ European ISAD levels

- ISAD E **Conventionele weginfrastructuur:** geen AV-ondersteuning
- ISAD D **Statische digitale informatie:** Digitale kaarten inclusief statische verkeersborden worden aan de AV's verstrekt.
- ISAD C **Dynamische digitale informatie:** Zelfde als D plus dynamische informatie zoals verkeerslichtstatus, variabele snelheidslimieten, rijstrookaanwijzingen, wegafsluitingen, kortdurende wegwerkzaamheden.
- ISAD B **Coöperatieve perceptie:** Hetzelfde als C, plus de infrastructuur is in staat om kleine verkeerssituaties zoals C-ITS Day 1-services waar te nemen en de informatie door te geven aan de AV's.
- ISAD A **Coöperatieve manoeuvres:** Hetzelfde als B, plus de infrastructuur is in staat voertuigtrajecten waar te nemen en AV's te begeleiden om de verkeersstroom te optimaliseren, vergelijkbaar met C-ITS Day 2+-diensten.

9.1 Competenties en vaardigheden binnen de eigen organisatie

Als we kijken naar de stand van zaken van digitalisering en de argumenten om hier al dan niet actief aan bij te dragen, lijkt de zienswijze te rusten op twee verschillende invalshoeken. Gezien vanuit de dataspecialist zijn we zo ongeveer klaar met de digitalisering van bijvoorbeeld snelheden. De database is goed gevuld en heeft een brede landelijke dekking. Verkeerskundig gezien wordt digitalisering gezien als een nieuwe opgave die erbij komt en inzet kost, terwijl juridisch gezien het bord op straat het enige is dat telt. Een andere speler, die hier een beetje tussenin staat, is de serviceprovider. Die geeft aan dat veel overheidsdata soms niet goed bruikbaar zijn, of partijen proberen de data eerst te valideren.

Duidelijk is dat data niet meer weg te denken zijn en de dataspecialist en de verkeerskundige naar elkaar toe moeten groeien. Data moeten informatie opleveren voor een coöperatieve service die aansluit bij de gebruiker en beleid. Maar data moeten daarnaast ook veilig zijn en de privacy moet goed geborgd blijven en dat maakt dat dataverwerking een specialisme is, net als verkeerskunde. De te nemen stappen hierin zijn helder, namelijk meer aandacht in de verkeerskundige opleiding voor data en voor dataspecialisme. Daarnaast kunnen gemeenten wellicht regionaal een specialist aantrekken om deze samen te laten werken met de verkeerskundige. Dergelijke regionale samenwerkingen zien we wel vaker, bij inkoopprocessen bijvoorbeeld. Ook een provincie kan hier een faciliterende rol in hebben door specialisten regionaal aan te bieden aan gemeenten.

9.2 Rijvaardigheid en vaardigheden van bestuurders: voorlichting aan burgers

Met name gemeenten kunnen bijdragen aan een goed gebruik van ADAS-diensten als ISA en LKA om de veiligheid te vergroten. Dit kunnen ze doen niet alleen door de fysieke en digitale basis op orde te hebben, ook voorlichting kan hierbij helpen. De vaardigheden van jongere bestuurders versus ouderen kan variëren. Daarom lijkt het goed om bij te dragen aan de bewustwording van zowel de winst op veiligheid bij goed gebruik van ADAS, als de variabele instellingen die veelal mogelijk zijn om de ADAS-dienst beter aan te laten sluiten bij de specifieke gebruiker.

Er zijn diverse mogelijkheden om die voorlichting bij de burger te krijgen. En bij een goede aanpak kan er met weinig budget laagdrempelig aan voorlichting gedaan worden. Zeker nu ADAS-functionaliteiten in nieuwe voertuigen verplicht zijn, is het goed dat de gebruiker weet waarom het systeem erin zit en hoe het de bestuurder kan helpen.

Schriftelijke communicatie kan een wat bredere groep globaal bereiken, met een bijeenkomst kan meer maatwerk geleverd worden. Bijkomend voordeel van een bijeenkomst is de mogelijkheid om bijvoorbeeld te vernemen op welke locaties ISA nog tot foutieve meldingen leidt. Lokale rij-schoonhouders zouden als professionals een voorlichtingsavond kunnen verzorgen en kunnen bijdragen aan de werking van ISA vanuit hun eigen praktijkervaring.

Zolang mensen voertuigen besturen, komt uiteindelijk alles samen in het gedrag van die bestuurder en van bestuurders onderling. Dit zijn de zogenaamde Human Factors.

De eindgebruiker is pas geholpen als de informatie uit data betrouwbaar en realtime is. Als een bestuurder tijdens een rit meermaals foutieve meldingen krijgt, zal hij ISA snel uitschakelen en dat is jammer voor het doel van dit systeem en het verkeersveiligheidsbeleid. De eindgebruiker is daarmee altijd een goede graadmeter of een systeem ook echt doet wat het zou moeten doen en aansluit bij het eindgebruik. Zolang de dienst niet iets bijdraagt voor de gebruiker zal deze de dienst niet snel gaan gebruiken en ligt opschaling ervan vaak buiten bereik. Dat is een valkuil bij Smart Mobility, waar techniek vaak aan het begin staat van een innovatie.

Het is daarom goed om bij Smart Mobility-toepassingen in een vroeg stadium naar de eindgebruiker te kijken. Het Afweegkader Smart Mobility kan hier een goed hulpmiddel bij zijn. De gedragswetenschap laat zich niet zomaar in een kader vangen, maar het kader maakt wel snel inzichtelijk of expertise gewenst is.

Het slagen van een Smart Mobility-toepassing rust dus op het beschikken over de juiste mensen en het telkens voor ogen houden hoe de eindgebruiker de dienst zal gaan gebruiken.

Colofon

Infra van de toekomst –
Handelingsperspectief voor wegbeheerders

[uitgave](#)

CROW, Ede

[artikelnummer](#)

D736

[tekst](#)

Gerard van Dijck, Peter Morsink

[fotografie](#)

Gerard van Dijck (cover), p13

Cheyenne van Dijck, p16

[vormgeving](#)

Inpladi bv, Cuijk

[productie](#)

CROW

[downloaden](#)

Deze uitgave is gratis te downloaden via
www.crow.nl

