

# Zelfrijdende voertuigen en wegkantsystemen

Ervaringen met praktijkproeven



## 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](mailto:klantenservice@crow.nl)

Website [www.crow.nl](http://www.crow.nl)

Januari 2022

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.

## Voorwoord

De opkomst van autonoom rijdende en zelfsturende voertuigen is al enige tijd gaande. Hoewel de ontwikkelingen niet zo stormachtig blijken te verlopen als ca. 10 jaar geleden werd voorspeld, worden toch gestaag stappen gemaakt. Zowel 'gewone' personenauto's als speciale voertuigen, zoals shuttles, ontwikkelen zich op de ladder van het autonoom rijden. Een veelgebruikte classificatie voor deze ontwikkeling is die van de [SAE levels](#)

Deze ontwikkeling in voertuigtechniek heeft ook effecten op [wegontwerp en wegbeheer](#). Voor de wegbeheerder (gemeente, provincie, waterschap, Rijkswaterstaat) is het belangrijk om te weten wat de stand van de techniek is en op welke wijze de wegbeheerorganisatie kan omgaan met de vragen die vanuit de voertuigtechniek worden gesteld.

Deze publicatie gaat in op de ontwikkeling van zogenaamde 'shuttles & pods', oftewel voertuigen die, vaak in aanvulling op het reguliere openbaar vervoer, over relatief korte afstanden op de openbare weg kunnen rijden zonder menselijke bestuurder. Ten aanzien van het wegontwerp gaat de kennismodule Openbaar Vervoer al beperkt in op de [wegontwerpaspecten](#) voor autonome voertuigen binnen het openbaar vervoer. In deze publicatie gaan we vooral in op de vraag of, en zo ja hoe met technische ondersteuning kan worden gezorgd voor een veilige benadering van kruispunten en wat daarvoor geregeld moet worden.

Hoewel andere aspecten rondom het toelaten van deze voertuigen op de weg worden benoemd, is het niet de bedoeling om volledig en uitputtend te zijn bij het beschrijven van dat toelatingsproces. Wel proberen we op deze manier duidelijk te maken welke keuzes een wegbeheerder cq. vergunningverlener heeft en hoe de verantwoordelijkheden liggen bij dit toelatingsproces. Dit omdat het toestaan/toepassen van wegkantssystemen als ondersteuning vallen onder de zorgplicht en [aansprakelijkheid](#) van de wegbeheerder.

Dit document is een tussenstand (eind 2021) van een ontwikkelproces dat nog jaren in beslag zal nemen; misschien is het over een jaar alweer achterhaald – wellicht doordat de techniek ineens veel verder is, wellicht doordat de wet- en regelgeving drastisch is gewijzigd. Tot die tijd hopen wij dat u als wegbeheerder en verlener van ontheffingen en vergunningen met deze publicatie sneller en efficiënter kunt bepalen of en hoe u een project met een zelfrijdend voertuig kunt ondersteunen.

Deze publicatie is tot stand gekomen door een financiële en inhoudelijke bijdrage van de Metropoolregio Rotterdam-Den Haag. De regio wil hiermee bijdragen aan de bundeling van krachten door overheden op het gebied van Smart Mobility. CROW heeft de partijen hierbij met veel plezier ondersteund.

**Marco van Burgsteden**  
*programmamanager Smart Mobility bij CROW*



# Inhoud

<b>1</b>	<b>Autonome voertuigen</b>	<b>3</b>
1.1	Shuttles en pods op de Nederlandse markt	3
1.2	SAE levels	3
1.3	Volledig autonoom (level 4/5)	3
1.4	Stand der techniek shuttles en pods	3
1.5	Sensoren en waarnemen	3
<b>2</b>	<b>Het toelatingsproces</b>	<b>4</b>
2.1	Initiatieffase: haalbaarheidsanalyse	4
2.2	Ontwerpfase: dimensionering van het autonome vervoerssysteem	4
2.3	Operationele uitwerking	6
<b>3</b>	<b>Toelating van een voertuig en de risicoanalyse</b>	<b>7</b>
3.1	HARA	7
3.2	Voertuig	7
3.3	Rijbaan	7
3.4	Omgeving	7
<b>4</b>	<b>Toelating tot de weg</b>	<b>9</b>
4.1	BOEV (Besluit ontheffing exceptioneel vervoer)	9
4.2	Experimenteerwet	9
4.3	Functional safety	10
4.4	Juridische aspecten	10
<b>5</b>	<b>De rol van de steward</b>	<b>11</b>
5.1	Taken van de steward	11
<b>6</b>	<b>Passeren van kruispunten</b>	<b>12</b>
6.1	Geregelde kruispunten (verkeerslichten)	12
6.2	Ongeregelde kruispunten	13
6.3	Compatibiliteit	14
<b>7</b>	<b>Van steward in voertuig naar operator in control room</b>	<b>15</b>
7.1	Stewardvrij rijden is een ambitie	15
7.2	Control Room	15
7.3	Operator	16
7.3.1	Steward bedient shuttle	16
7.3.2	Operator bedient shuttle	16
7.4	Schaalbaarheid	16
<b>8</b>	<b>Organisatie: verantwoordelijkheden &amp; aansprakelijkheid</b>	<b>17</b>
8.1	Algemeen	17
8.2	Schade of letsel bij een botsing	17
8.3	Schade door uitval	17
	<b>Samenvattend</b>	<b>18</b>
	<b>Begrippenlijst</b>	<b>19</b>

### 1.1 Shuttles en pods op de Nederlandse markt

Sinds 2015 wordt door verschillende partijen gereden met automatische voertuigen op de openbare weg. Dit heeft inmiddels veel ervaring opgeleverd bij zowel overheden als marktpartijen. Inmiddels zijn diverse typen 'af fabriek' leverbaar. In Nederland zijn dit shuttles zoals van de fabrikanten Navya- ARMA/EVO, Easymile-EZ, Local Motors-Olli, 2Getthere-ZF, AUVE-TECH etc. Daarnaast wordt voortdurend geëxperimenteerd met meer prototype-achtige voertuigen.

Hoewel deze voertuigen dus 'rijklaar' worden afgeleverd, is nog steeds een ontheffing nodig om op de openbare weg te mogen rijden. Deze ontheffing wordt door de Rijksdienst voor het wegverkeer (RDW) afgegeven op basis van een safety case waarmee voldoende veiligheid wordt aangetoond (zie ook hoofdstuk 3.1 HARA).

### 1.2 SAE levels

Er zijn verschillende niveaus van autonoom rijden, deze zijn opgedeeld in SAE (Society of Automotive Engineers) level 0 t/m level 5. Daarbij is level 0 een voertuig zonder autonome of zelfrijdende functies en level 5 een voertuig dat volledig autonoom rijdt in alle omstandigheden.

### 1.3 Volledig autonoom (level 4/5)

Een volledig autonoom voertuig kan zonder een bestuurder deelnemen aan het verkeer. Deze voertuigen doen dit met behulp van verschillende sensoren. De ontwikkeling naar volledig autonoom rijdende voertuigen gaat stapsgewijs. In de loop van de jaren zijn luxe auto's voorzien van rijtaakondersteunende systemen die in de ene situatie (verkeer en weersomstandigheden) wel functioneren en de ander nog niet (de zogenaamde Operational Design Domain ofwel ODD). Aan de andere kant zijn er voertuigen (shuttles/mini-busjes) zonder bestuurdersplek die een virtuele route (trambaan) volgen en mikken op een hoog niveau automatisering.

### 1.4 Stand der techniek shuttles en pods

De meeste automatisch rijdende shuttles zijn ontworpen als SAE level 4 voertuigen. Deze elektrische voertuigen rijden automatisch en hebben geen traditionele bestuurdersplek, stuur en pedalen. Wel is er, volgens de huidige wet- en regelgeving, een steward aanwezig om het voertuig te monitoren waardoor het feitelijk een SAE level 3 voertuig is.

Een dergelijke shuttle wordt op een vaste route ingeregeld (commissioning) door een engineer i.s.m. een systems integrator die de risico's vanuit een verkeerskundige kant en de risicoanalyse voor de RDW ontheffingsaanvraag kent.

Vooraf is een driedimensionale kaart van de route/omgeving gemaakt waarop de virtuele trambaan is getekend. Het voertuig rijdt volgens de geprogrammeerde regels waarbij het reageert (door b.v. te stoppen) op obstakels en weggebruikers. De snelheden zijn nog relatief laag (ca. 18km/h) en zelfstandig inhalen hoort daarbij momenteel bijvoorbeeld nog niet tot de mogelijkheden, met uitzondering van langzamer verkeer zoals (sommige) fietsers en voetgangers.

De shuttle rijdt automatisch op een specifieke route vaak geïntegreerd in het OV netwerk (last mile) van halte naar halte op basis van een dienstregeling en/of op aanvraag 'on demand'. De steward ziet toe op het functioneren en kan ingrijpen indien nodig. Typische locaties voor lastmile-toepassingen zijn ziekenhuizen, bedrijventerreinen, campussen, pretparken, openluchtmusea en evenementen.

### 1.5 Sensoren en waarnemen

De automatische shuttles nemen rijtaakfuncties over door de vele slimme sensoren die aanwezig zijn op deze voertuigen. De sensoren zoals LiDAR, Radar, ultrasoon en camera monitoren de omgeving en weggebruikers. Verder bepaalt de shuttle zijn exacte locatie door meerdere typen systemen, zodat het voertuig dit exacter (enkele centimeters) kan bepalen dan met alleen GPS.

Voor de locatiebepaling maakt de shuttle gebruik van de volgende systemen:

- *LiDAR sensoren*  
Laser sensoren die een hele accurate scan (nauwkeurig op de mm) van de omgeving kunnen maken, de shuttle rijdt op basis van herkenningspunten in de omgeving, ook landmarks genoemd. Dit zijn statische objecten in de omgeving, denk hierbij aan een verkeersbord of standbeeld.
- *GPS (Global Positioning system)*  
Hiermee wordt op basis van satellieten een positie bepaald. Afhankelijk van de locatie kan hier een aantal meter afwijking bij zitten.
- *Odometrische sensoren*  
Sensoren waarmee de omwentelingen van de wielen worden geregistreerd, hiermee kan accuraat bepaald worden welke afstand afgelegd is.
- *IMU (internal measurement unit)*  
Een elektronisch element waarmee bewegingen en krachten worden opgemeten.

Het is belangrijk om op een basisniveau te begrijpen hoe deze systemen werken; met dit inzicht kan een wegbeheerder of ontheffingverlener beter inschatten of de te gebruiken technieken aansluiten aan de lokale situatie.

Hoewel deze publicatie vooral bedoeld is voor het toepassen van wegkantsystemen bij autonome voertuigen, is het goed om een kort overzicht te geven van het toelatingsproces. Dit omdat de keuze om bij 'lastige' situaties gebruik te maken van externe systemen er nauw met de wegbeheerder moet worden samengewerkt. Ook kan deze keuze in het toelatingsproces gevolgen hebben voor de verdeling van de schuld- en risicoaansprakelijkheid bij eventuele incidenten.

### 2.1 Initiatieffase: haalbaarheidsanalyse

In de initiatieffase wordt een haalbaarheidsanalyse uitgevoerd. In deze fase moet een eerste inschatting gemaakt worden van de business case voor het inzetten van een autonoom voertuig. Om dit goed te kunnen doen, is een idee nodig van welke *use cases* er aan deze inzet gekoppeld zijn. Als er sprake is van een pilot of experiment, zal duidelijk moeten worden welke *leervraag* er beantwoord gaat worden.

Het initiatief kan genomen worden door een wegbeheerder (bijvoorbeeld een gemeente) zelf of door een externe partij, die een gemeente benadert om het voertuig toe te laten op de openbare weg. In beide gevallen is het voor de gemeente belangrijk om een beeld te hebben bij de investering die men in termen van tijd en geld bereid is om in zo'n project te steken. Want ook bij een externe partij is een intensieve samenwerking met de wegbeherende instantie vereist.

### 2.2 Ontwerpfase: dimensionering van het autonome vervoerssysteem

Als de haalbaarheid van de route voor automatisch rijdende shuttles is geanalyseerd, is het voor het uitwerken van een vervoersoplossing nodig het systeem te dimensioneren. Het belangrijkste aspect is daarbij de omvang van de in te zetten vloot om een gewenste level of service te kunnen aanbieden. Het aantal voertuigen bepaalt namelijk in hoge mate de investering en daarmee de verder uit te werken business case. Daarbij gaat het niet alleen om de kosten voor de aanschaf en het rijden met de voertuigen, maar ook de omvang van de (overdekte) stalling en het aantal laadpunten.

Naast de voertuigvloot gaat het dimensioneren over locatiegebonden aspecten, beleidsmatige keuzes en factoren die afhangen van de beschikbare systeemtechniek.

Locatiegebonden aspecten:

- *Lengte van de route*  
Uitgaande van een vaste route is dit een bepalende factor voor de rondetijd en in combinatie met de toelaatbare wachttijd voor het aantal voertuigen. In het geval van een netwerkontsluiting (ook wel free floating) van een gebied zijn complexere berekeningen nodig om te bepalen hoeveel voertuigen nodig zijn voor een gewenste level of service.
- *Reizigersaantallen met verdeling over de dag*  
Dit is bepalend voor het aantal benodigde voertuigen. Daarnaast is het bij sterke pieken of dalen de vraag of die geheel door het systeem afgedekt moeten worden; dat leidt in daluren tot een lage bezettingsgraad en dus relatief hoge kosten voor stilstaande voertuigen.
- *Snelheidsbeperkende factoren*  
Om de rondetijd van een voertuig te kunnen berekenen is het nodig te inventariseren op welke delen van de route hij zijn maximumsnelheid niet zal kunnen rijden. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om kruisingen waar de shuttle, afhankelijk van het zicht in de zijstraat, snelheid moet minderen, om voetgangersoversteekplaatsen en scherpe bochten. De shuttle zal, als de risicoanalyse dat aangeeft, ook snelheid moeten minderen op plaatsen met weinig vrije laterale ruimte om het risico van een stuurfout te beperken.

Beleidsmatige keuzes

- *Toelaatbare wachttijd voor reizigers*  
Dit is bepalend voor de gewenste frequentie (F), en indirect het aantal benodigde shuttles.
- *Toelaatbare reistijd*  
De lengte van de route en de verwachte gemiddelde snelheid op de route (inclusief halteertijden) geven een indicatie van de te verwachten reistijd tussen verschillende plekken op de route. Andersom is het streven naar een reistijd over deze afstand bepalend voor de snelheid waarmee de shuttle moet kunnen rijden. Als deze snelheid (te) hoog is voor het voertuig of de omgeving, zullen aanvullende maatregelen nodig zijn.
- *Aantal haltes*  
Als er niet vraaggestuurd gereden wordt (of als er veel reizigers verwacht worden met wisselende in- en uistaplocaties) is dit een belangrijke factor voor de totale reistijd.

De frequentie  $F$  van de dienst wordt bepaald door de totale omlooptijd te delen door het aantal voertuigen dat wordt ingezet. Dus als het voertuig een route in 10 minuten aflegt, kan met twee voertuigen een frequentie van eens in de  $60/F = 5$  minuten (12 keer per uur) worden gehaald. Bij dergelijke hoge frequenties mag men ervan uitgaan dat de gemiddelde wachttijd voor de reiziger de helft van de tijd tussen twee voertuigpassages is. In dit voorbeeld is dat 2,5 minuten. Naarmate de frequentie lager wordt, zullen reizigers steeds meer rekening gaan houden met de dienstregeling.

#### ■ *Bedrijfstijden en dienstregeling*

Dit gaat allereerst over het aantal uren per dag en per week dat het systeem actief moet zijn en ten tweede om de keuze voor een vast of een vraaggestuurd rijschema. Als de wachttijden voor een voertuig hoger worden dan ca. 10 minuten, is het raadzaam om een vaste dienstregeling te overwegen.

#### ■ *Reizigerskenmerken*

Als gevolg van het VN-verdrag voor de rechten van mensen met een beperking zijn in ieder geval openbare vervoersvoorzieningen (maar eigenlijk alle voorzieningen) verplicht om ervoor te zorgen dat iedereen, ongeacht zijn beperking, er gebruik van kan maken. Dit zou in principe betekenen dat ook mensen met een rolstoel of visuele beperking gebruik kunnen maken van de shuttle, kinderen (zelfstandig) of zwangere vrouwen. Indien dit niet met een autonoom voertuig kan worden uitgevoerd, zal er een alternatief aanbod beschikbaar moeten zijn. Maar reizigerskenmerken kunnen ook betrekking hebben op meer algemene zaken zoals het reismotief, de behoefte om een goede aansluiting op andere modaliteiten te hebben, de mogelijkheid voor het meenemen van bagage, of speciale eisen die spelen rondom recreatiebestemmingen). Deze laatste aspecten zijn van belang voor de uitwerking van de use cases.

#### ■ *Vervanging bij uitval*

Is er alternatief vervoer beschikbaar of is tijdelijk verminderde vervoerscapaciteit acceptabel? Bij locaties waar het zelfrijdende voertuig als 'gimmick' wordt aangeboden, is het minder kritiek dat er soms geen dienst is. Wanneer de dienst als onderdeel van het vaste OV-netwerk wordt ingezet, wordt de eis van betrouwbaarheid en het kunnen waarborgen van een redelijk alternatief – rekening houdend met de doelgroep die normaal bediend wordt met het voertuig – belangrijker. Dit kan variëren van het inzetten van deelfietsen, via riksja's tot aan taxi's of een reguliere bus.

Technische factoren

#### ■ *Voertuigcapaciteit*

Met een grotere voertuigcapaciteit zijn minder shuttles nodig. Bij drukte kan een beperkt aantal voertuigen betekenen dat de wachttijden toenemen.

#### ■ *Voertuigsnelheid*

Dit bepaalt in hoge mate de rondetijd, waarbij de gemiddelde snelheid sterk beïnvloed wordt door de eerder genoemde snelheidsbeperkende factoren.

#### ■ *Voertuigactieradius*

Dit bepaalt het aantal diensturen dat de shuttle kan rijden tussen twee laadbeurten. Belangrijk is dat de actieradius met gebruik van airconditioning en/of verwarming tijdens de diensturen en vooral koude omgevingstemperaturen sterk kan verminderen bij elektrische voertuigen. De actieradius heeft invloed op (1) de bedrijfsuren of (2) de hoeveelheid in te zetten voertuigen en de keuze voor (snel)laadpunten.

#### ■ *Laadsysteem*

De technologie voor laden maakt een snelle ontwikkeling door. Idealiter wordt geladen na de dienst. Hoe groter de batterijcapaciteit is, hoe langer het voertuig overdag kan rijden. Als er toch overdag geladen moet worden, dan is de vraag hoe snel dit moet gaan en of het laden is geautomatiseerd. Als tijdens de dienstregeling bijgeladen moet worden, is het voertuig niet beschikbaar. Dit kan (deels) worden opgevangen met automatische laadstations bij haltes voor een kort en krachtig laadmoment tijdens de stop. Met name bij snellaadsystemen kunnen de kosten voor aanleg flink oplopen, vooral als in de buurt van de oplaadlocatie geen stroomvoorziening aanwezig is die deze vermogens aankan.

#### ■ *Bedrijfszekerheid*

Automatische shuttles zijn complexe voertuigen die, vooral als ze worden ingezet in experimentele situaties, niet altijd de voor OV gangbare bedrijfszekerheid realiseren. Het weer kan daarbij van invloed zijn (gladheid, harde wind, mist) maar ook de afhankelijkheid van innovatieve (communicatie)systemen, stroomvoorziening of instabiele softwaresystemen (bij experimentele projecten).

Het optimaal combineren van al deze factoren leidt tot een complexe rekensom. Het verdient aanbeveling een aantal alternatieven uit te werken en daarbij de gemaakte aannames te variëren (gevoeligheidsanalyse). Dit is de verantwoordelijkheid van de ontwikkelaar van de vervoersdienst. Voor een wegbeheerder, die hiervoor een ontheffing moet verlenen of technische maatregelen op en aan de weg moet nemen, is het belangrijk om zelf een goed beeld te krijgen van deze uitwerking. Met name als het systeem wordt ingezet als onderdeel van het openbaarvervoer-

systeem, is de overheid mede verantwoordelijk voor het aanbieden van een vervoersdienst aan de reiziger. In dit geval is het raadzaam om de inzet van alternatieve vervoermiddelen bij onverhoopte storingen onderdeel te laten zijn van het plan.

### 2.3 Operationele uitwerking

Als duidelijk is wat de omvang van het project is en als de haalbaarheid (business case en use case) voldoende zijn aangetoond, zullen de vervoersaanbieder, voertuigleverancier, system integrator en de wegbeheerder/onthefingverlener de operationele aspecten uitwerken. Deze uitwerking is sterk afhankelijk van de gekozen technieken en de mate waarin deze al in verschillende omstandigheden zijn toegepast en getest.





De (voertuig)techniek voor autonoom rijden kent nog steeds de nodige beperkingen. Er zijn echter maatregelen te nemen langs de weg en met virtuele (digitale) infrastructuur die het mogelijk maken om automatische voertuigen meer zelfstandig te laten rijden. Dit stelt wel eisen aan de wijze waarop de route is ingericht en de bereidheid en mogelijkheden van de wegbeheerder om hiervoor aanvullende maatregelen te nemen.

Omdat deze ontwikkelingen zo snel gaan, is het voor de gemiddelde wegbeheerder niet mogelijk om van de 'state of art' op de hoogte te zijn. Daarom wordt aangeraden om een onafhankelijk specialist en de specificaties van voertuigleveranciers te raadplegen. In alle gevallen is het een vereiste om de geplande route met de kandidaat-systeemleverancier(s) door te nemen, meestal in de fase van de haalbaarheidsstudie. De ontheffing van de RDW wordt verleend op basis van wat het voertuig kan, het Operational Design Domain (ODD) in combinatie met de voorgenomen route en alle omstandigheden (inclusief gedrag) die zich in het verkeer aldaar voor kunnen doen.

### 3.1 HARA

Een onderdeel van de ontheffings- of vergunningsaanvraag is een Hazard And Risk Analysis (HARA). In deze risico-inventarisatie worden de risico's en daarbij behorende mitigerende maatregelen beschreven. Een aantal aspecten in de beoordeling van de haalbaarheid van automatisch rijden op de route die misschien niet meteen voor de hand liggen worden hieronder behandeld.

### 3.2 Voertuig

De keuze voor een voertuig zal door experts moeten worden bepaald op basis van de specificatie of aanbestedingsdocumenten. Een aantal aandachtspunten moet altijd met de leverancier zijn besproken. Denk daarbij aan:

- *Veiligheid*  
de primaire randvoorwaarde. Aan veiligheidseisen moet altijd voldaan worden. Het aantonen van de veiligheid van het voertuig is allereerst een taak van de leverancier. Indien het type shuttle nog niet eerder door de RDW voor automatisch rijden op de openbare weg is beoordeeld, is het belangrijk daar in de planning mee rekening te houden; in Nederland worden deze voertuigen uitgebreid getest.
- *Snelheid*  
Idealiter rijdt een shuttle met dezelfde snelheid als het overige verkeer, maar dat is vaak nog niet mogelijk. De maximumsnelheid die door de fabrikant wordt opgegeven is vaak gebaseerd op het vermogen van de aandrijflijn; deze kan sterk afwijken van de daadwerkelijke opera-

tionele (veilige) maximumsnelheid. Daarbij rijdt een shuttle delen van de route meestal langzamer, bijvoorbeeld in bochten en bij smalle passages. Een groot snelheidsverschil tussen de shuttle en het overig verkeer is nadelig voor de veiligheid. Een verschil van 20 km/uur is fors en kan leiden tot irritatie en inhaalmanoeuvres.

- *Bidirectioneel rijden*

Veel shuttles hebben een symmetrisch koetswerk, aanpasbare verlichting en vierwielbesturing waarmee ze in beide rijrichtingen inzetbaar zijn. Als er echter maar aan één zijde een deur is voorzien, ontstaat het nadeel dat de deur bij rijden in de 'andere' rijrichting aan de verkeerde kant zit. In de meeste gevallen is keren mogelijk, ook al vanwege de vaak korte draaicirkel met vierwielbesturing. Als er ruimte is om het voertuig te laten keren, heeft dat de voorkeur.

- *Detectievelden*

De sensoren in de shuttle die de omgeving scannen hebben gemarkeerde zichtvelden die door de besturingssoftware tijdens de rit aangepast worden aan het traject. Bij kruisingen wordt het zichtveld in de breedte aangepast, zodat de shuttle als het ware de zijstraat inkijkt. Bij wisselende objecten die zich vlak naast de rijbaan bevinden kan het noodzakelijk zijn het zichtveld te versmallen. Dit kan effect hebben op de risicoanalyse en/of leiden tot verlagen van de voertuigsnelheid. Dit kan bijvoorbeeld optreden wegvakken waarlangs geparkeerd wordt of langs fietsstroken.

- *Spookobjecten*

De omgevingsensoren in de shuttle moeten alles detecteren wat een risico zou kunnen vormen voor de naderende shuttle. Dat vergt filtering van sensordata. In de praktijk op korte termijn kan dit ertoe leiden dat de shuttle reageert op objecten die er niet zijn of geen risico vormen, zogenaamde spookobjecten, ghost-obstacles of false-positives. Dit kan leiden tot snelheidsmindering of een heftige remreactie van de shuttle. Voorbeelden waarbij dit op kan treden zijn bewegende bermbegroeiing of scherp invoegen van een inhalend voertuig.

### 3.3 Rijbaan

Automatische voertuigen kunnen in de bebouwde kom in principe de gewone wegen volgen, zolang die een verhard wegdek hebben van goede kwaliteit. Er zijn wel een aantal specifieke aspecten om mee rekening te houden:

- *Verlichting*

Gewone straatverlichting is over het algemeen voldoende om ook in het donker de camera's goed te laten functioneren. Bij sommige beeldsystemen is contrast belangrijker dan de hoeveelheid licht, en kan het systeem soms zelfs beter werken bij minder straatverlichting.

- **Landmarks**

De LiDAR sensoren in de shuttle hebben een belangrijke rol in de positiebepaling door de afstand te meten van de shuttle tot objecten langs de weg. Het is daarom belangrijk dat er op regelmatige afstanden meetpunten zijn. Een wegwant die over een grotere lengte onveranderd blijft (weiland) kan problemen opleveren. Een oplossing kan zijn reflectievlakken bij te plaatsen.

- **Fysieke wegvakscheiding**

Het meest veilig rijdt een automatisch voertuig met een fysieke scheiding met het wegvak voor tegemoetkomend verkeer. Dat verkleint het risico voor een frontale aanrijding. Een fysieke scheiding kan ook verhinderen dat de shuttle ingehaald wordt en ook dat is een voordeel in de risicoanalyse.

- **Belijning**

De positiebepaling van het automatische voertuig wordt geholpen door duidelijke wegbelijning. Het best is een duidelijke witte (onderbroken) streep, maar ook een trottoirband af wegafscheiding kan als lijn worden geïnterpreteerd. Gebrek aan belijning kan leiden tot beperken van de snelheid.

- **Breedte**

Een shuttle kan precies sturen, maar is zelf vaak vrij breed en moet in de risicoanalyse rekeninghouden met een afwijking in zijn plaatsbepaling. Daarom kan de voertuigleverancier bezwaar maken tegen smalle wegvakken, of moet daar plaatselijk de snelheid worden verlaagd. Een wegvakbreedte van 2,7 meter is minimaal.

- **Parkeren**

Parkeerplaatsen langs de weg vormen een risico door in/uitstappende personen, laden/lossen van goederen en wegrijden. Dat geldt zowel voor langs- als haaks parkeren. Belangrijk is voldoende ruimte naast de parkeerplaatsen te voorzien. Shuttles verleggen niet of niet makkelijk hun koers. Parkeerplaatsen langs de weg kunnen leiden tot verlaging van de snelheid of zelfs het stoppen voor bijvoorbeeld een uitstekende trekhaak

- **Halte**

Net als bij gewoon OV komt de keuze aan bod van halteren op of naast de rijbaan. Dat laatste heeft voordelen, ook voor de veiligheid, maar vereist dat de voertuigbesturing daarmee om kan gaan. Raadpleeg de voertuigleverancier om te kijken of een verhoogde trottoirband (vanwege toegankelijkheid) mogelijke problemen geeft.

- **Hellingen**

Een helling heeft bij voorkeur een grote afrondingsstraat aan de top. Dat voorkomt dat de LiDAR sensoren bij het naderen van de top de lucht in kijken waardoor vlak voor de shuttle een blinde vlek kan ontstaan. Dit hoogteverschil kan ook parten spelen bij rotondes.



### 3.4 Omgeving

Tot slot nog omgevingsfactoren die van invloed kunnen zijn op het rijden van de shuttle.

- **Weer**

Het weer kan invloed hebben op de dienstverlening van de shuttle. Als het glad is kan positiebepaling van het voertuig in het geding komen, LiDAR kan last hebben van vochtdeeltjes in de lucht, zoals mist, regen of sneeuw. Daarnaast is het belangrijk dat de steward goed zicht houdt. Controle van de weersvoorspellingen en alert reageren op plotselinge weersverandering is een taak van de operator van de dienst. De verantwoordelijkheid en beslissingsbevoegdheid moeten duidelijk belegd zijn.

- **Gedrag**

On(aan)gepast gedrag van andere weggebruikers kan leiden tot een remactie van de shuttle. Genoemd is al het scherp voor de shuttle invoegen. Een remactie kan ook optreden bij slingerende fietsers of onverwacht oversteken voor de shuttle. De steward moet opletten en zo nodig anticiperend remmen.

Om het rijden met een automatisch voertuig op de openbare weg mogelijk te maken is een ontheffing of vergunning nodig. Er zijn momenteel twee methodieken voor het realiseren van automatisch rijdend vervoer op de openbare weg. De BOEV-ontheffing (Besluit ontheffingsverlening exceptioneel vervoer) is per 1 juli 2015 juridisch vormgegeven (Staatscourant, 2017) voor geautomatiseerde voertuigen en de RDW is aangewezen als centrale ontheffingsverlener. Daarbij wordt een ontheffing verleend voor het rijden met een automatisch rijdend voertuig waarbij een steward/safety operator het voertuig monitort. De experimenteerwet biedt de mogelijkheid om een vergunning te verkrijgen voor tests met een zelfrijdend voertuig. De vergunning wordt afgegeven door het ministerie, deze regeling is vanaf juli 2019 van kracht. Waar de BOEV al meerdere keren tot een ontheffing is gekomen is dit bij de Experimenteerwet nog niet het geval deze is nog niet in de praktijk aan een project toegekend.

In de ontheffing of vergunning staat beschreven onder welke strikte voorwaarde gereden mag worden met het voertuig op de openbare weg. Een ontheffing of vergunning is niet vereist voor het rijden op de niet openbare weg of privéterrein.

#### 4.1 BOEV (Besluit ontheffing exceptioneel vervoer)

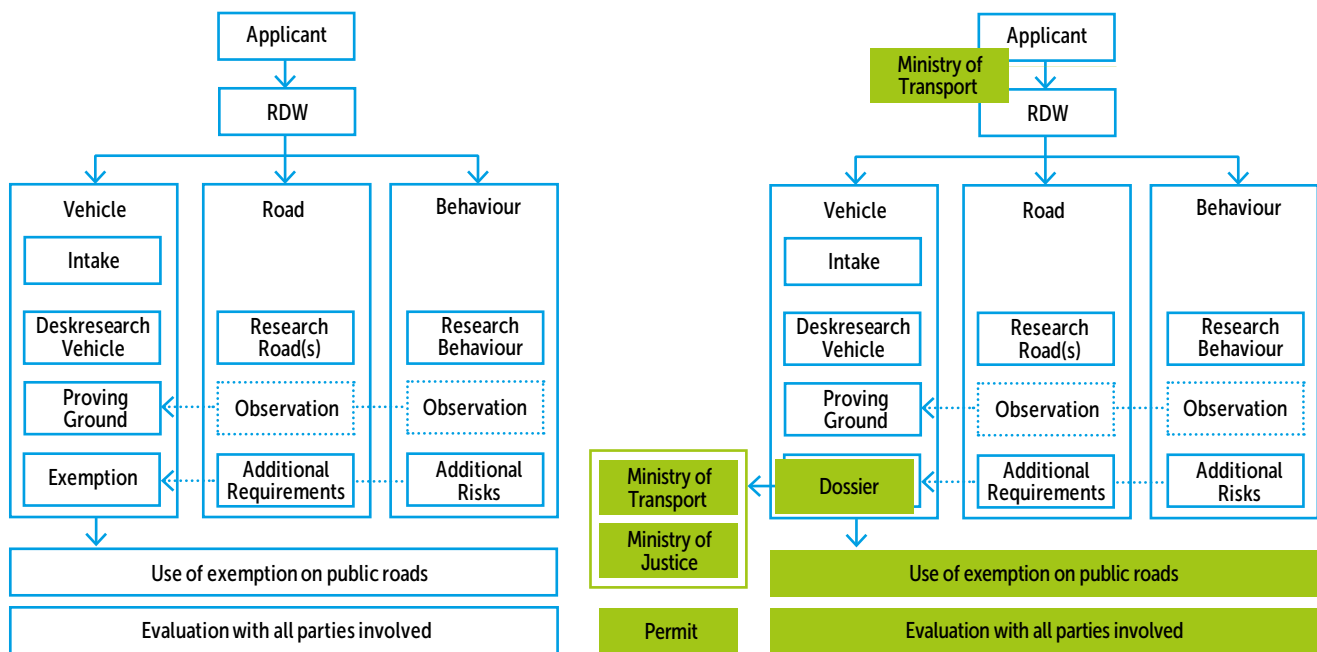
De RDW is het centrale loket voor de ontheffing om met een automatisch voertuig op de openbare weg te rijden met safety-driver of steward. Onderdeel van de ontheffing is in alle gevallen een risicoanalyse, daarin vraagt de RDW advies van SWOV (stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid) en CROW (Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water en Wegenbouw en de Verkeerstechiek) en zal de aanvrager moeten aantonen dat het veilig is in dit kader om een geregelde kruising (met iVRI) over te steken met bv een automatische shuttle, en welke mitigerende maatregelen daarbij nodig zijn in geval van storingen en welke bij incidenten (incidentmanagement plan).

De ontheffingsaanvraag wordt bij de RDW ingediend en vervolgens getoetst op factoren voertuig, weg en gedrag. Het voertuig wordt in het geval van automatische shuttle/pod getoetst op basis van voertuigeisen en standaarden. De RDW toetst het voertuig op remkracht, EMC (elektromagnetische compatibiliteit), controls en mechaniek. De wegbeheerder toets het (nieuwe) wegontwerp en de omgeving op risico's en verleent (mede in overleg met CROW) toestemming voor het rijden op de gemeentelijke grond. Daarnaast onderzoekt het de SWOV op basis van gedrag en draagt een advies over aan de RDW. De aanvrager levert een risicoanalyse aan waarin de mitigerende maatregelen beschreven staan, de RDW en SWOV toetsen deze, waarbij de RDW ook advies vraagt aan de CBR. Op basis van de bovengenoemde zaken verleent de RDW na het 'Examen', een kenteken en adviseert de lokale wegbeheerder de formele ontheffing op basis van adviezen van de betrokken partijen. Met dit kenteken kan ook een verzekering worden afgesloten.

#### 4.2 Experimenteerwet

De experimenteerwet is een aangenomen wetsvoorstel ter uitbreiding op de BOEV. Met de experimenteerwet is het mogelijk om proeven en experimenten uit te voeren zonder de fysieke aanwezigheid van een safety steward/operator aanwezig in het voertuig. In tegenstelling tot de BOEV wordt er een vergunning verleend en dus geen ontheffing. De experimenteerwet maakt het mogelijk om een safety steward/operator op afstand het voertuig te laten monitoren en indien nodig in te laten grijpen vanuit een controlekamer.

Voor het verlenen van de vergunning is het ministerie verantwoordelijk. Tijdens dit proces toetst de RDW, net als bij de BOEV, het voertuig, SWOV het gedragselement en de wegbeheerder het (nieuwe) wegontwerp (via CROW).



BOEV Besluit ontheffingverlening Exceptioneel Vervoer – bestuurder in voertuig – Proces volledig door RDW – afgifte ontheffing door RDW

Experimenteerwet – groen vlakken ministerie Infrastructuur en Waterstaat, witte vlakken RDW – bestuurder buiten voertuig – afgifte vergunning door ministerie

Ook bij de experimenteerwet verleent de wegbeheerder toestemming voor het rijden op gemeentelijke grond.

In bovenstaande figuur [Bron RDW] worden beide routes weergegeven met de betrokken instanties.

De kosten voor het verkrijgen van een ontheffing bestaan uit de kosten van de RDW, CROW en SWOV en de projectkosten, zoals die voor de voorbereiding (routebeoordeling en haalbaarheid), de uitvoering van de aanvraag, de risicoanalyse, de nodige maatregelen en het praktijkexamen.

### 4.3 Functional safety

Voor typegoedkeuring wordt in de wereld van de automatische voertuigen gebruik gemaakt van een framework voor functional safety. Hierin staat de vraag centraal of een systeem veilig doet waarvoor het is ontwikkeld (ISO 26262), waarbij ook aandacht is voor de kwaliteit van het ontwikkelproces om onveiligheid te voorkomen. Een ander risico ontstaat als een systeem iets doet waarvoor het niet is bedoeld of gemaakt; wanneer het bijvoorbeeld in omstandigheden komt die niet door de ontwerpers waren voorzien (Safety Of The Intended Functionality, SOTIF). Denk daarbij aan een shuttle op de snelweg of lane keeping waar de belijning niet op orde is. Als onderdeel van de ontheffings- of vergunningsaanvraag komen dit soort zaken terug in een Hazard And Risk Analysis (HARA) waarin risico's en daarbij behorende mitigerende maatregelen worden beschreven.

### 4.4 Juridische aspecten

Het laten rijden van een geautomatiseerde shuttledienst vraagt een intensieve samenwerking tussen veel verschillende partners uit de publieke en private sector. Dit zal altijd vragen oproepen ten aanzien van de wegenverkeerswet, zorgplicht en wettelijke aansprakelijkheid. Juridisch advies is daarbij noodzakelijk. Het verdient de aanbeveling om hierbij juristen te betrekken, die ervaring hebben met innovatieve projecten en redeneren vanuit een 'ja, mits' houding.

Dit is belangrijk omdat veel van de begrippen die bij zelfrijdende techniek komen kijken, nog niet of zeer beperkt zijn uitgewerkt in juridische zin. Zo werd gedacht bij een tekst over 'een bestuurder' dat die in het voertuig zat, wat bij traditionele auto's klopt, maar binnen de wettekst technisch gezien nu ook op afstand zou kunnen. Een ander voorbeeld is de definitie van (niveaus van) automatisch rijden: die zijn op internationaal niveau uitgewerkt als SAE levels maar juridisch nog niet vertaald naar Nederlandse wetgeving.

De BOEV en Experimenteerwet zijn op dit moment de enige formele kaders. Deze veranderen nog traag en vaak binnen een specifiek deelsysteem. Er bestaat nog geen integraal regelgevend kader voor een weginfrastructuur en verkeerstechniek waarin beide innovaties samen komen. Zolang de kaders onduidelijk en/of in beweging zijn, is het aan te raden advies in te winnen bij specialisten die nauw betrokken zijn bij ontwikkeling van intelligente verkeerssystemen en automatisch rijden.

De steward aan boord van de shuttle heeft als taak de veiligheid te waarborgen van mens en materieel binnen en buiten het voertuig. Hij kan ingrijpen door het voertuig te stoppen, ook kan hij door oogcontact of handgebaren andere weggebruikers signalen geven. Zijn rol is noodzakelijk voor al die toepassingen waar de risicoanalyse nog niet kan aantonen dat veiligheid is gegarandeerd zonder menselijke supervisie aan boord.

Daarnaast heeft de steward een wettelijk vereiste rol als menselijke bestuurder, maar een nieuwe interpretatie is in opkomst, waarbij deze rol kan worden overgenomen door de voertuigcomputer of door een bestuurder op afstand (control room) mits de veiligheid daarbij is gegarandeerd.

### 5.1 Taken van de steward

Bij een bijna-incident kan de steward de noodknop indrukken om de shuttle snel en hard te stoppen. Hij kan ook anticiperen op een risico en dan een gewone 'comfort-stop' maken als daar tijd voor is, of de het stuur over te nemen met een joystick. Dat kan, afhankelijk van systeemspecificatie, ook tijdens de rit.

De steward heeft verder als taak om de passagiers voor de rit (niet tijdens) te informeren over o.a. de veiligheidsvereisten, er op toe te zien dat zij voor vertrek allen hun veiligheidsgordel hebben aangelegd en dat zij zich tijdens de rit volgens zijn instructies gedragen. Indien de shuttle is uitgerust om rolstoelen te ontvangen is het de taak van de steward om te helpen de rolstoel volgens de voorschriften vast te snoeren.

Tot slot moet hij, indien mogelijk in samenwerking met de operator in de control room, problemen oplossen en in geval van een incident de situatie in en rondom de shuttle veilig regelen, slachtofferhulp bieden en eerste aanspreekpunt zijn voor alarmdiensten. Hiertoe is een incidentenplan onderdeel van de ontheffing.

De rol van de steward lijkt eenvoudig, maar is dat niet:

- Hij/zij hoeft tijdens normaal functioneren van de shuttle niets te doen, maar moet wel alert blijven om zeer snel in te kunnen grijpen.
- Hij/zij heeft een natuurlijke rol als gastheer in het voertuig en zal daarom geneigd zijn om vriendelijk en gastvrij op te treden naar de reizigers. Toch mag de steward alleen bij stilstand met de reizigers praten, omdat hij/zij tijdens het rijden toezicht moet houden op de shuttle en niet afgeleid mag worden.



Stewards moeten een normaal rijbewijs B hebben en fit zijn; zowel om alert te kunnen reageren als vanwege het langdurig stabiel rechtop staan in het bewegende voertuig – er zijn maar weinig shuttles met een zitplaats voor de steward. Enige technische interesse in en vaardigheid met computers is aan te bevelen, evenals kennen van EHBO/BHV en de Engelse taal.

Stewards moeten hiervoor getraind worden en dat is een taak van de systeemleverancier. Maak daarvoor goede afspraken. In Nederland, bijvoorbeeld, heeft de Haagse shuttle B.V. een gecertificeerde trainer om stewards op te leiden in de Nederlandse taal. De steward moet op de voorgenomen route geëxamineerd worden door de systeemleverancier, waarna hij door zijn werkgever bij de RDW voor registratie wordt voorgedragen. Daarmee ligt de verantwoordelijkheid voor zijn prestaties allereerst bij zijn werkgever. Het is aan te bevelen dat een nieuwe steward eerst een periode onder supervisie van een ervaren steward dienst doet.

Voor complexe kruispunten is het niet altijd mogelijk om de Hazard And Risk Analysis rond te krijgen omdat er risico's voorkomen waarvoor enkel de voertuigtechniek onvoldoende mitigerende maatregelen kan bieden. Een shuttle kan twee soorten kruispunten oversteken: een geregeld kruispunt (met verkeerslichten) en een ongeregeld kruispunt (zonder verkeerslichten, maar eventueel voorzien van aanvullende sensoren voor dode hoeken). In beide situaties kan een intelligent wegkantsysteem de mitigerende maatregel zijn die het voertuig ondersteunt bij het veilig passeren van het kruispunt. Hieronder gaan we hier verder op in.

### 6.1 Geregelde kruispunten (verkeerslichten)

Mensen herkennen de status van een verkeerslicht door te kijken naar het rode, gele of groene licht. Op basis van de kleur of positie van de lamp bepalen wij of we afremmen, mogen rijden of moeten stilstaan. Daarnaast zullen menselijke bestuurders, bij een goed en logisch geregelde kruising, kunnen anticiperen op bijvoorbeeld de resterende groentijd of de volgorde waarin zij aan de beurt zijn om te gaan rijden.

Een automatische shuttle gebruikt momenteel geen camera's om de status van het verkeerslicht te bepalen. Het voertuig is dus afhankelijk van andere informatie, zoals digitale berichtjes van het verkeerslicht en/of control room. Indien er verkeerslichten geplaatst zijn op een kruising waar

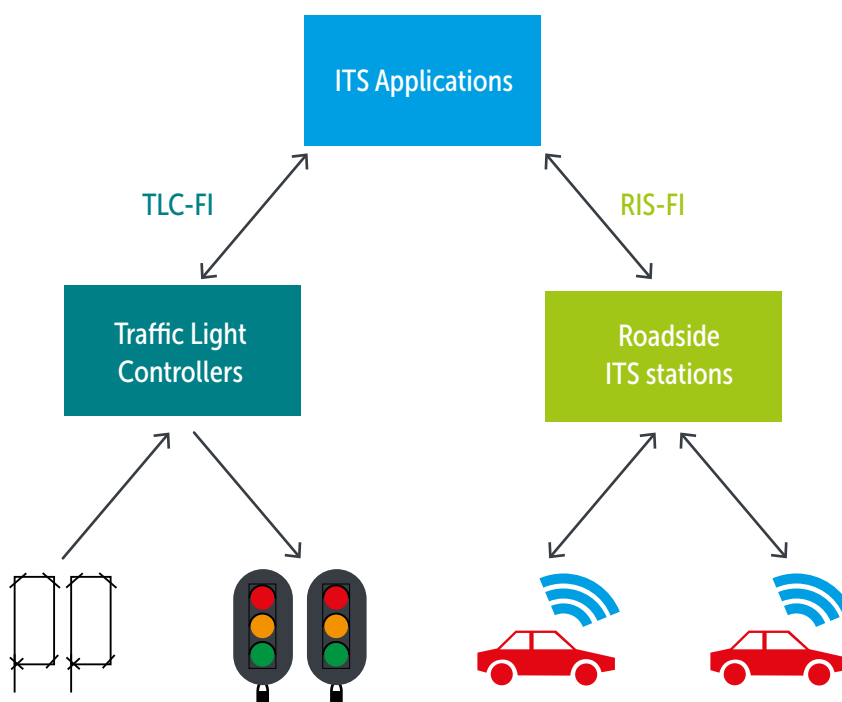
de shuttle een oversteek zal maken is het van belang dat de shuttle status- en voorspellingsberichten ontvangt.

Om de communicatie tussen automatisch shuttles en verkeerslichten te realiseren zijn op Europees en internationaal (ITS) communicatieprotocollen opgesteld voor V2I (vehicle-to-infrastructure). De met verkeerslichten geregelde kruispunten dienen te worden voorzien van een verkeersregelininstallatie (VRI) van het type iVRI. Dit houdt in dat de VRI voortdurend informatie uitstuurt die ontvangen kan worden door aankomende voertuigen en andersom. De iVRI wordt voorzien van een Roadside ITS Station (RIS) en ontsloten met een lokaal(wifi-p) of cellulair (3g/4g) netwerk waarmee communicatie met de voertuigen wordt gerealiseerd. De RIS ontvangt CAM (Co-operative Awareness Message) berichten met informatie over de positie en snelheid van de shuttle en stuurt SPAT (Signal Phase And Timing) en MAP (lay-out) berichten met daarin de status van het verkeerslicht en de daarbij behorende tijden. Daarnaast verloopt de prioriteitsafhandeling van de shuttle middels SRM (Signal Request Message) berichten met prioriteit aanvragen en SSM (Signal Status Message) berichten en prioriteit status informatie. Om de informatie van het verkeerslicht te ontvangen wordt er in de automatisch rijdende shuttle een OBU (on board unit) geïnstalleerd. Naast de fysieke installatie wordt de software aangepast, waardoor de shuttle op basis van de ontvangen berichten exact en zeker kan berekenen of hij moet afremmen voor



het verkeerslicht of veilig en op snelheid kan doorrijden. Als de voertuigbesturing van de shuttle de SPAT informatie niet automatisch verwerkt, kan de steward dat doen of informatie krijgen van een control room. De steward on board heeft zelf zicht op het verkeerslicht en de SPAT informatie op zijn scherm geeft de steward extra informatie over wat er de komende seconden gaat gebeuren om in te schatten of de shuttle veilig en op tijd de oversteek kan maken.

naamde iFAT® (Factory Acceptance Test) en iSAT® (Site Acceptance Test). Pas als de iFAT® succesvol is afgerond, mag een iVRI worden aangesloten op het nationale overnamepunt voor iVRI data waarop alle iVRI's in Nederland zijn aangesloten en hun data leveren en ontvangen: Urban Data Access Platform (UDAP). Middels afdrachten per geplaatste iVRI worden de standaarden actueel gehouden en kan verdere doorontwikkeling worden ondersteund.



Aan de verkeersregeling van de VRI kunnen instellingen worden toegevoegd die de oversteek van een shuttle faciliteren. Bijvoorbeeld door het tijdens de oversteek hogere ontruimingstijden toe te passen aangezien de oversteek van een shuttle meer tijd vergt dan de oversteek van een auto. Idealiter monitort het verkeersregelprogramma de oversteek van de shuttle en laat deze conflicterend verkeer pas oprijden als de shuttle het kruisingsvlak heeft verlaten.

Voor het implementeren van een iVRI gelden in Nederland regels (en communicatie standaarden) en procedures om de kwaliteit en veiligheid te borgen. CROW beheert de iVRI standaarden zoals toegepast in Nederland. Om te kunnen waarborgen dat een geplaatste iVRI ook echt aan de standaarden voldoet, is een landelijk gestandaardiseerd afnameprotocol beschikbaar dat leveranciers en wegbeheerders gebruiken voor afnamen 'in de fabriek' van de leverancier en afnamen op straat: respectievelijk de zoge-

## 6.2 Ongeregelde kruispunten

Bij kruispunten die niet zijn voorzien van verkeerslichten, of in situaties waar verkeerslichten (tijdelijk) niet functioneren, kan het een risico zijn om de oversteek te maken met een automatische shuttle. Door op deze plekken een wegkantsysteem te plaatsen met sensoren voor het detecteren van andere weggebruikers kunnen bepaalde risico's verminderd worden.

De shuttle is zelf al uitgerust met radar en LiDAR om naderende verkeersdeelnemers te detecteren, hun positie en snelheid te meten en zo een eigen omgevingsbeeld te maken. De sensordata van het wegkantsysteem kan dat aanvullen voor dode hoeken in het zichtveld van de shuttle of ter validatie van de waarnemingen van de shuttle. In de shuttle wordt de data van het wegkantsysteem doorgestuurd naar de computer die het voertuig bestuurt en zichtbaar gemaakt op het scherm van de steward. Met deze

informatie kan de voertuigbesturing van de shuttle vroegtijdig risico's herkennen en eerder, veiliger, een reactie inzetten.

Ook voor het wegkantsysteem zijn radar en LiDAR geschikte sensoren voor betrouwbare detectie.

### 6.3 Compatibiliteit

Het voertuig van een leverancier is waarschijnlijk niet direct in staat om met een iVRI systeem te communiceren. Daarom wordt geadviseerd om een compatibiliteitscheck uit te laten voeren door de voertuigleverancier en de leverancier van het wegkantsysteem, met name voor de OBU en RIS. Als er een match is kunnen deze onderdelen berichten verzenden en ontvangen. Voor de meeste shuttleleveranciers is het nodig om een software update uit te voeren en het kruispunt in te laten regelen door een ingenieur van de voertuigleverancier.

Compatibiliteit verdient ook aandacht bij de keuze sensoren aangezien deze afkomstig zijn van verschillende leveranciers. Ieder apparaat kent zijn eigen aansluitingen, kalibratie methodiek, interface en ontsluiting van beelden/ data. De belangrijkste reden hiervoor is dat nog niet overal standaarden voor bestaan. Een goede relatie met en assistentie van de betreffende leverancier is belangrijk. Ten behoeve van verwerking van sensor data in applicaties van derden dient het mogelijk te zijn om de data 'ruw' te ontsluiten.



### 7.1 Stewardvrij rijden is een ambitie

De verplichte aanwezigheid van een steward maakt dat autonome voertuigen nog niet grootschalig kunnen worden toegepast. Pas als de rol van de steward verder kan worden geautomatiseerd en meer op afstand (in een control room) kan worden geplaatst, wordt de business case voor deze toepassingen op meer locaties interessant.

De Operator in de Control room wordt in dat geval het eerste menselijke aanspreekpunt bij vragen, incidenten en operationele problemen. Dat zal, in gemengd verkeer, voor het eerst mogelijk zijn op eenvoudige routes. Op complexere en experimentele routes zal zijn inzet nog langere tijd nodig zijn.

Als de voertuigbesturing het rijden volledig zelfstandig kan uitvoeren (SAE level 4) behoudt de Operator de taak van management van de dienstverlening, vlootbeheer en, heel belangrijk, het afhandelen van incidenten.

Als het voertuig in een situatie komt die het niet zelf kan oplossen moet de Operator op afstand commando's kunnen geven of handmatig de besturing overnemen (dat hoeft niet in real time (Stuur/gas/rem) te zijn, maar bij lage connectiesnelheid bv ook door het voertuig missies te sturen, waarna het voertuig b.v. een alternatief geprogrammeerde route volgt). Voor dergelijke 'tele-operations' is de combinatie van gegarandeerde betrouwbaarheid en snel-

heid van de draadloze dataverbinding een vereiste. Dat moet worden aangetoond middels de risicoanalyse.

Het op afstand monitoren en ondersteunen van shuttles wordt tevens een kansrijke oplossing beschouwd om het Operational Design Domain (ODD) van SAE level 4 shuttles te vergroten. Dat wil zeggen dat wanneer een shuttle (incidenteel) een situatie tegenkomt die het zelf niet kan oplossen, een operator het voertuig op afstand kan adviseren, ondersteunen of zelfs besturen. Ook bij het oversteken van een kruispunt kan een shuttle ondersteund worden door een operator in een control room.

### 7.2 Control Room

Voor de control room geven camerabeelden de basisinformatie voor het overzicht van de verkeerssituatie dat de operator nodig heeft. Hij kan daarmee alles zien wat er op en rondom de kruising gebeurt. Ten minste het kruispuntvlak en de kruispuntarmen moeten zichtbaar zijn. Het aantal benodigde camera's dient hierop afgestemd te worden. Daarnaast is het belangrijk dat de camera's voldoende resolutie bieden en in real-time verwerkt kunnen worden. Tezamen met de bandbreedte van de beschikbare communicatieverbinding moeten deze factoren worden gewogen. Verder beschikt de operator over informatie uit andere bronnen die het omgevingsbeeld aanvullen: visualisering



van de sensorinformatie, statusinformatie van wegkant-systemen (bijvoorbeeld een iVRI) en sensorinformatie en statusinformatie van de shuttle. Deze informatie wordt getoond op een dashboard en vormt bij nadering van het automatische voertuig de basisinformatie om de operator in staat te stellen de steward of het voertuig een Go/NoGo advies te geven.

### 7.3 Operator

Wanneer de shuttle het kruispunt nadert wordt de operator erop geattendeerd dat de shuttle in aantocht is en deze ondersteuning nodig heeft. De operator besluit op basis van de verkeerssituatie, camerabeelden, sensorinformatie over naderende verkeersdeelnemers en hun snelheid, en expert ervaring of het voor de shuttle veilig is om het kruispunt over te steken.

Wat er dan gebeurt, is afhankelijk van de aanwezigheid van een steward:

- 1 in de shuttle is een steward aanwezig die de shuttle handmatig bedient;
- 2 er is geen steward aanwezig, de shuttle dient zelf het kruispunt over te steken of kan op afstand door een operator worden bediend.

#### 7.3.1 Steward bedient shuttle

In de shuttle is er een applicatie aanwezig waarop de steward kan zien of er vanuit de control room een Go/NoGo is gegeven om het kruispunt over te steken. Zodra de operator in de control room de situatie veilig heeft geacht geeft de operator vanuit de control room een 'Go-sig-naal' aan de steward in de shuttle. Vervolgens kan de steward met de shuttle het kruispunt over steken. Hierbij dient de steward altijd eerst nog zelf de veiligheid om het kruispunt over te steken in te schatten.

#### 7.3.2 Operator bedient shuttle

Ook hier zijn twee situaties:

- 1 de shuttle dient zelf het kruispunt over te steken; of
- 2 op afstand kan de shuttle vanuit de control room door de operator bediend worden.

In beide gevallen schat de operator vanuit de control room in of het voor de shuttle veilig is om over te steken. Dit resulteert in een Go-sig-naal naar de shuttle. In het eerste geval vervolgt de shuttle zelf de weg op basis van het omgevingsbeeld van de shuttle. In het tweede geval bestuurt de operator de shuttle vanuit de control room op basis van het omgevingsbeeld van de shuttle en het omgevingsbeeld van de control room.

## 7.4 Schaalbaarheid

Door inzet van een operator in een control room worden de taken van de steward verlegd naar de operator. De menselijke factor in de keten is daarmee ook verplaatst naar de control room. Operators moeten worden opgeleid om verkeerssituaties op afstand in te schatten op basis van camerabeelden en sensordata. Daarnaast dienen de operators getraind te worden in het op afstand bedienen van de shuttle en moeten operators (technisch) bekwaam zijn met het voertuig en de route die het voertuig aflegt.

Als één operator meerdere shuttles kan monitoren zonder inzet van stewards, kan een schaalspromg worden gemaakt en kan autonoom vervoer rendabel worden. Maximale werklast van de operator, optimaal ontwerp van het dashboard en realistische responsetijd zijn voorbeelden van onderwerpen die nog verder onderzoek vragen.

In een controlroom kan bovendien de ritplanning en de aansturing van de automatische shuttle worden gecombineerd met verkeersmanagement. Daarmee kan de route optimaal worden gekozen in relatie tot ander verkeer, eventuele verstoring in het netwerk en afhankelijke van verkeersdrukte en aanwezige verkeerssystemen voor afhandeling bij kruisingen.



Automatische voertuigen mogen alleen op de openbare weg rijden met een ontheffing van de RDW. De ontheffing geeft precies aan waar en onder welke omstandigheden het systeem door de exploitant gebruikt mag worden. Aan de basis van de ontheffing ligt de veiligheidsanalyse die de exploitant, als aanvrager van de ontheffing, zelf heeft opgesteld of laten opstellen. Daarmee heeft hij aangetoond en dus in principe zelf verklaard, dat het systeem veilig voertuigen kan laten rijden. Daarmee ligt de algemene verantwoordelijkheid voor de inzet van de voertuigen bij de exploitant of de rechtspersoon op wiens naam de ontheffing staat.

### 8.1 Algemeen

De exploitant moet er zelf op toezien dat de ontheffingsvoorwaarden strikt worden nageleefd. De exploitant is dus, als rechtspersoon, verantwoordelijk voor alle operationele beslissingen rondom de inzet van de voertuigen. Dat betreft bijvoorbeeld beslissingen over:

- Weersomstandigheden waarbij wel/niet gereden kan worden. Is, of wordt het weer te slecht om te rijden? Grenswaarden daarvoor zijn waarschijnlijk in de ontheffing vastgelegd.
- De inzet van een voertuig als daar een technisch mankement in is geconstateerd. Levert het mankement een veiligheidsrisico op?
- Beslissingen over de status van het wegdek, bijzondere verkeerssituaties e.d.

### 8.2 Schade of letsel bij een botsing

Als er een verkeersincident plaats vindt waarbij een shuttle betrokken is, is de exploitant van het voertuig het aanspreekpunt voor de verzekering en de aansprakelijkheid. In de praktijk zal de steward in de shuttle worden aangesproken of de operator in de control room indien er geen steward in het voertuig is. Het is aan te raden dat hij direct zijn leidinggevende belt en dat die de rol van aanspreekpunt overneemt. Binnen de organisatie van de exploitant moet vooraf geregeld zijn wie nu verder welke beslissingen neemt. Dit wordt opgenomen in een incidentmanagementplan. Daarin wordt bv onderscheid gemaakt tussen de communicatie bij ongevallen met en of zonder persoonlijk letsel.

In de ontheffing is vastgelegd wat er na een verkeersincident moet gebeuren. In de regel staat daar dat de ontheffing per direct wordt ingetrokken totdat door de RDW is vastgesteld dat voortzetting van de dienstverlening weer veilig kan gebeuren. Bij schade aan veiligheidskritieke systeemonderdelen, te beginnen bij het voertuig, moet de

leverancier geraadpleegd worden, voordat kan worden beslist over schadeherstel en verdere inzetbaarheid.

### 8.3 Schade door uitval

Als door uitval van een systeemonderdeel bedrijfseconomische schade ontstaat komt die ten laste van de exploitant tenzij die dit heeft afgedekt in zijn verzekering of in de contracten met zijn leveranciers. De exploitant kan bijvoorbeeld een garantie ten aanzien van de beschikbaarheid van het systeem overeenkomen en afspraken maken over vervanging en termijnen voor reactie en reparatie.

Gevolgschade van slecht weer, of het niet beschikbaar zijn van de weg is bij automatische voertuigen niet anders dan bij een reguliere vervoersdienst en blijft doorgaans voor rekening van de exploitant. Dat geldt ook voor uitval van of vertraging in de ICT lijnen, tenzij vooraf anders is overeengekomen of de exploitant (van het vervoerssysteem) kan aantonen dat sprake is van nalatigheid. Hierbij wordt nog opgemerkt dat in de risicoanalyse en dus in de specificatie van het systeem waarschijnlijk is opgenomen dat het systeem stopt als een ICT verbinding uitvalt. Lastiger is het om te gaan met mogelijke vertraging op veiligheid kritische ICT verbindingen. Daarvoor dient een waarschuwingssysteem te zijn ingebouwd.

## Samenvattend



Om autonome voertuigen zoals shuttles te laten rijden op de openbare weg, bijvoorbeeld als onderdeel van een openbaarvervoersysteem, is het nodig dat deze voertuigen zonder steward kunnen rijden. Om dit mogelijk te maken, zullen deze voertuigen meer zelfstandigheid moeten hebben bij lastige onderdelen op een route.

De inzet van iVRI communicatietechniek bij geregelde kruisingen geeft de mogelijkheid om de verkeerssituatie beter te overzien, waardoor beslissingen over het al dan niet oprijden van een kruising kunnen worden verlegd naar een control room. Via een control room zou één operator meerdere voertuigen kunnen monitoren, waardoor de exploitatiekosten van een systeem lager kunnen worden. Op termijn zou dit nog verder kunnen worden geautomatiseerd.

Deze techniek vraagt, meer nog dan bij de routes die tot nu toe onderzocht zijn, om een goede afstemming tussen het wegkantsysteem (RIS) en het voertuig. Dit vraagt om een risicoanalyse die veel meer is ingestoken op het samenspel tussen het voertuig, de weg/omgeving en de toegepaste wegkantsystemen. Daarmee is de rol van de wegbeheerder bij dit type proeven niet te combineren met die van de ontheffingverlenende rol richting de RDW.

Aanvullend op deze conclusie is het van belang om goede werkafspraken te hebben over de onderlinge aansprakelijkheden voor voertuigeigenaar enerzijds en wegbeheerder anderzijds.

## Begrippenlijst

- Aansprakelijkheid 1, 4, 10, 17
- Batterijcapaciteit. Zie Actieradius
- berichten 12, 14
  - CAM 12
  - MAP 12
  - SPAT 12, 13
  - SRM 12
  - SSM 12
- BOEV 9, 10
  - Besluit ontheffing exceptioneel vervoer 9
- Commissioning 3
  - vaste route 3, 4
  - virtuele trambaan 3
- Communicatie 5, 12, 13, 17
- Control room 11, 13, 15, 16, 17
- Detectieveld 7
- Dode hoeken 13
- Driedimensionale kaart 3
- Experimenteerwet 9
- Experimenteerwet 9, 10
- Free floating 4
- Global Positioning System. Zie GPS
- HARA 7, 10
  - Hazard And Risk Analysis 7, 10, 12
  - veiligheidsanalyse 17
- Incidentmanagementplan 17
- Internal measurement unit. Zie IMU
- ISO 26262 10
- ITS 12
- iVRI 9, 12, 13, 16
  - iFAT 13
  - iSAT 13
  - UDAP 13
- Landmark 3, 7
- Last mile 3
- Level of service 4
- OBU 12, 14
- Ontheffing 3, 5, 7, 9, 10, 11, 17
- Openbare weg 1, 3, 4, 7, 9, 17
- ODD 3, 7, 15
  - Operational Design Domain 3, 7, 15
- Profiel van vrije ruimte 7
  - vrije laterale ruimte 4
- RDW 3, 7, 9, 10, 11, 17
  - Rijksdienst voor het wegverkeer 3
- RIS 12, 14
  - Roadside ITS Station 12
- Risicoanalyse 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 15
- Rollen
  - engineer 3
  - exploitant 17
  - operator 8, 9, 11, 15, 16, 17
  - steward 3, 8, 9, 11, 13, 15, 16, 17
  - systems integrator 3
  - wegbeheerder 4
- SAE 3
  - Society of Automotive Engineers 3
- SAE levels 1, 3, 10
  - level 0 3
  - level 3 3
  - level 4 3, 15
  - level 5 3
- Safety case 3
- Sensoren
  - camera 3, 7, 12, 15
  - GPS 3
  - IMU 3
  - LiDAR 3, 7, 13
  - odometrische 3
  - RADAR 3
  - ultrasoon 3
- Snellaadsysteem 5
- SOTIF 10
  - safety of the intended functionality 10
- Systeemontwerp
  - actieradius 5
  - bedrijfstijden 5
  - frequentie 4, 5
  - reistijd 4
  - snelheid 4, 5, 7, 8, 12, 13, 15, 16
  - voertuigcapaciteit 5
  - wachttijd 4, 5
- V2I 12
  - vehicle-to-infrastructure 12
- Weer. Zie Weersomstandigheden
- Weersomstandigheden 3, 5, 17
- Wegbeheerder 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9
- Wegkantsysteem 1, 4, 16
- Zichtveld. Zie Detectieveld
- Zorgplicht. Zie Aansprakelijkheid



# Colofon

Zelfrijdende voertuigen en wegkantsystemen –  
Ervaringen met praktijkproeven

## [uitgave](#)

CROW, Ede

## [artikelnummer](#)

D509

## [tekst](#)

Jaap Vreeswijk, Martijn Harmenzon

– MAP traffic management

Joop Veenis, Redouan Bokhezzou

– Future Mobility Network

Jan Willem van der Wiel – Spring Innovation

## [eindredactie](#)

Marco van Burgsteden, CROW

## [fotografie](#)

Redouan Bokhezzou

Jaap Vreeswijk

## [vormgeving](#)

Inpladi bv, Cuijk

## [productie](#)

CROW

## [downloaden](#)

Deze uitgave is gratis te downloaden via

[www.crow.nl](http://www.crow.nl)

