

TNO-rapport TNO 2019 R11352

**Information & Communication
Technology**

Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
Postbus 96800
2509 JE Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 00 00

C-ITS en directe communicatie: stand van zaken en blik op de toekomst

Datum	4 november 2019
Auteur(s)	A.H. van den Ende, M.J.M. van Sambeek
Aantal pagina's	128
Aantal bijlagen	6
Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Projectnaam	Kennisvragen directe communicatie
Projectnummer	060.39498

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2019 TNO

Management samenvatting

Achtergrond

De Nederlandse overheid richt zich in deze kabinetsperiode op het beleidsterrein Mobiliteit sterk op de benutting van bestaande keten voor verkeersinformatiediensten en informatiediensten voor voertuigen ter ondersteuning van de rijtaken en zet zich in om zo snel mogelijk tot een volwassen markt te komen (ook wel aangeduid met het *hoofdspoor*¹). Deze volwassen markt kenmerkt zich met bewezen oplossingen voor verkeersveiligheid en doorstroming, met een groot aantal gebruikers, voldoende aanbieders en voldoende deelname van overheden/wegbeheerders. Deze bestaande keten is gebaseerd op het (centraal) ontsluiten van informatie van nationale, regionale, en lokale wegbeheerders aan marktpartijen, die hun eindgebruikers bereiken via bestaande oplossingen (lees: smartphone met apps) voor mobiel internet via 3G/4G mobiele netwerken. Daarnaast wordt een ontwikkelspoor onderscheiden dat zich richt op nieuwe toepassingen en nieuwe communicatietechnieken, zowel direct (PC5 en G5) en/of via 5G netwerken. Voor deze laatste groep van ITS-oplossingen is er momenteel nog geen ver ontwikkelde markt. In de afgelopen jaren en tot op heden zijn diverse mede door de Nederlandse overheid gesubsidieerde projecten uitgevoerd die hebben bijgedragen aan beide sporen.

ITS-toepassingen zijn gericht op het verhogen van de verkeersveiligheid en doorstroming door middel van de uitwisseling van **informatie** tussen zender en ontvanger (via berichten) in omliggende verkeerssituaties. De uitwisseling van berichten vindt plaats door het versturen van deze berichten via een **communicatiekanaal**. Daarnaast is het noodzakelijk dat de informatie betrouwbaar is door middel van **beveiliging** van de informatie (integriteit van informatie en identiteit van de zender). Wat betreft de communicatie wordt door Nederland evenals door de Europese Commissie het concept van hybride communicatie gevolgd, waaronder wordt verstaan *“het gebruik van meerdere communicatienetwerken voor specifieke C-ITS-diensten, om hiermee de kwaliteit van de informatie-uitwisseling van (C-)ITS-diensten te verbeteren”*². Het komt concreter neer op het combineren van zogenaamde oplossingen voor *directe communicatie* over ‘korte’ afstanden en netwerk gebaseerde oplossingen voor ‘lange’ afstandscommunicatie voor de distributie van informatieberichten voor C-ITS.

Vraagstelling

Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (MinlenW) heeft TNO benaderd met de vraag om inzicht te geven over de toegevoegde waarde van directe communicatie en inzet op de huidige en toekomstige vormen van directe communicatie in ITS-toepassingen ten behoeve van het wegverkeer in Nederland. Daarbij is in eerste instantie gevraagd terug te kijken naar wat er de afgelopen 10 jaar in uitgevoerde en nog lopende ITS-projecten in Nederland is geleerd op dit onderwerp en anderzijds een blik vooruit te werpen ten aanzien van wat nog noodzakelijk is voor bredere toepassing in de praktijk. De geïdentificeerde onderzoeksvragen en/of acties hebben betrekking op (i) aanvullende kennisontwikkeling, (ii) experimenten in de praktijk, of wellicht (iii) andere initiatieven en activiteiten vanuit overheid en markt (publiek, privaat of beide).

Aanpak

De gekozen aanpak is in lijn met de vraagstelling en komt neer op de beantwoording van de hoofdvraag in drie opeenvolgende fasen:

¹ Bron: TK, 2018-2019, 311305, 264

² Bron: M. Sambeek, P.P. Schackmann, *C-ITS Diensten – Hybride Communicatie*, samengesteld werkdocument opgesteld in opdracht van de Nederlandse overheid

1. *Terugkijken*: uitvragen van een selectie op Nederland (landelijk/regionaal) gerichte C-ITS-projecten voor de identificatie van actuele aandachtspunten en (kennis)vragen binnen die projecten, met focus op directe telecommunicatie.
2. *Vooruitkijken*: uitvoeren van een desktop analyse van relevante toekomstige ontwikkelingen. Nadruk is vooral gelegd op de ontwikkeling richting *Connected Cooperative Automated Mobility* (CCAM) en op bredere ICT ontwikkelingen (incl 5G) die van invloed zijn op het telecommunicatie-vraagstuk voor ITS.
3. *Slotbeschouwing*: combineren van inzichten uit de eerste en tweede fase om via een scenario gebaseerde beschouwing tot suggesties te komen wat betreft zinvolle acties met name voor MinlenW inzake C-ITS/CCAM en in het bijzonder betreffende het ontwikkelspoor.

De ITS-projecten die in dit onderzoek zijn meegenomen zijn: C-Mobile (aangevuld met voorlopers FREILOT, Compass4D, C-The Difference), Ensemble, A58 Spookfiles, PPA-1 en PPA-2, Concorda (regio Noord-Holland, aangevuld met voorlopers PPA-1 en PPA-2), 4G5, Concorda – regio Noord-Brabant, Talking Traffic, C-ITS Corridor en InterCor.

Bevindingen

De uitvraag (Fase 1) heeft een vrij breed inzicht opgeleverd ten aanzien van waar we nu met C-ITS staan in Nederland. Het beeld is dat er in Nederland in deze projecten - in een zekere samenhang - buitengewoon veel werk is verzet om ITS-toepassingen te ontwikkelen en de meerwaarde daarvan niet alleen te demonstreren maar ook zo dicht mogelijk te komen bij het niveau waarop opschaling een reële vervolgstap is.

We zien ook dat vanuit een aantal specifieke projecten sterk wordt bijgedragen aan harmonisatie op Europees niveau. Er is wat betreft ITS-communicatie *grosso modo* aan beide opties (directe en netwerk-gebaseerde communicatie) evenveel aandacht geschonken en er is serieus ingezet op hybride communicatie. Uit de uitvraag is gebleken dat weliswaar qua connectiviteit niet alle issues zijn opgelost, maar dat de complexiteit - zowel technisch als organisatorisch - op een ander niveau zit, namelijk in het operationeel brengen van informatiediensten met voldoende kwaliteit en betrouwbaarheid in een keten met overheden en meerdere marktpartijen uit verschillende sectoren en met specifieke commerciële belangen. Nu er een duidelijke groei is in het aantal *connected cars* en de opkomst van automatische voertuigen, neemt ook het belang van samenwerking met de automobiël industrie voor C-ITS-toepassingen toe en is C-ITS nog veel sterker een internationale aangelegenheid dan het al was.

De *terugblik* heeft geen scherp beeld opgeleverd ten aanzien van het specifieke nut en noodzaak van directe communicatie tegenover cellulair. In de beschouwde projecten waar ervaring is opgedaan met directe communicatie is de keuze voor deze vorm veelal eenvoudigweg een uitgangspunt geweest, om niet afhankelijk te zijn van de lokale beschikbaarheid van een mobiel netwerk. Er zijn weliswaar voor- (en nadelen) aan directe communicatie, maar concrete, onderbouwde antwoorden voor de keuze van alleen direct communicatie zijn niet zozeer vanuit de projecten via deze uitvraag naar voren gekomen.

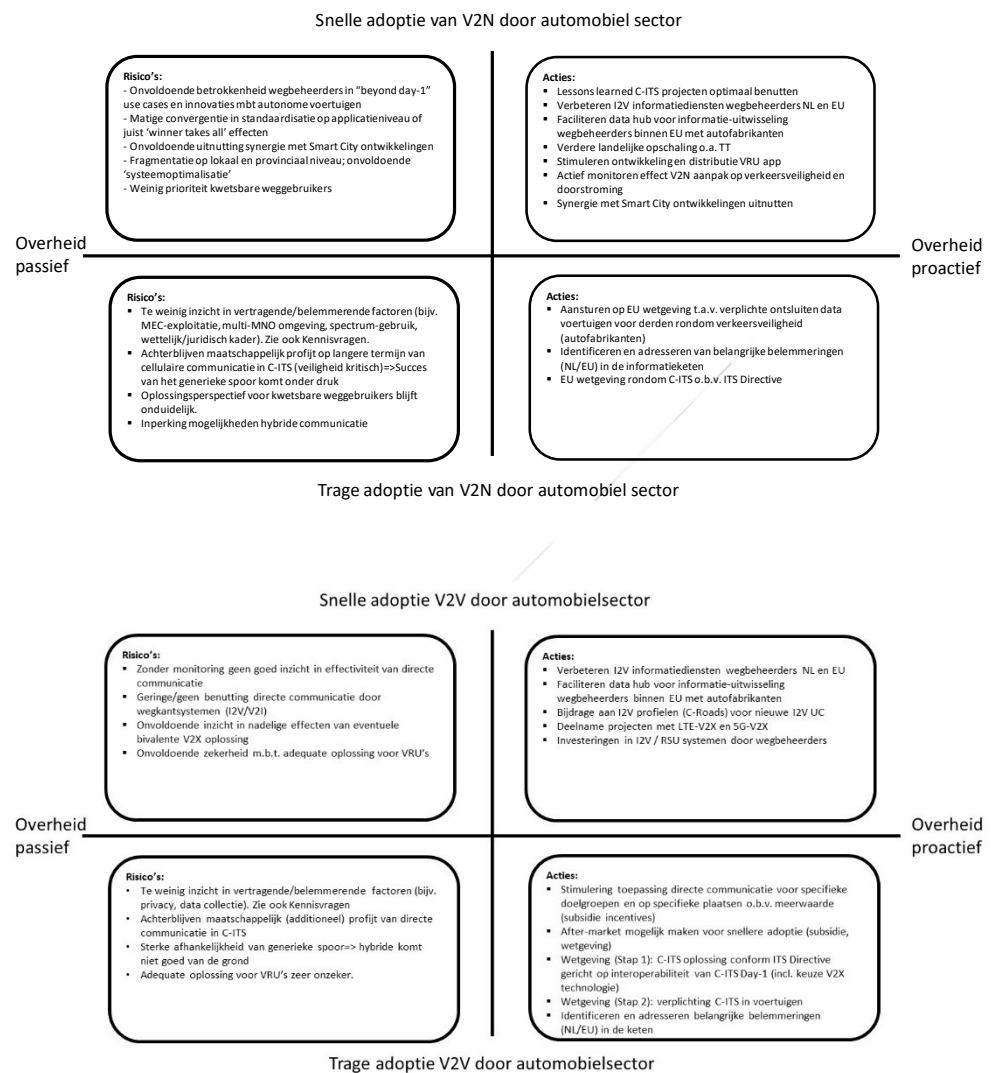
De *voorblik* heeft geresulteerd in de volgende observaties qua trends en ontwikkelingen:

- De *aangekondigde invoering van ITS-systemen* door diverse Europese autofabrikanten is een belangrijke ontwikkeling die onder andere in Oostenrijk ook door de wegbeheerders wordt opgepakt en waarbij de praktische ervaringen rondom organisatie, *conformance assurance* en uitrol van bijbehorende PKI-infrastructuur belangrijke inzichten zullen opleveren voor een succesvolle, grootschalige en toekomstvast uitrol van C-ITS-systemen.

- De nieuwe EU General *Safety Regulation* voor ADAS systemen is vanaf 2022 van kracht, die met name voor V2V en V2P use cases van belang is. Door deze verplichting van bepaalde ADAS systemen vanaf 2022 in nieuwe voertuigen worden deze systemen belangrijker. Dit beperkt enerzijds deels de noodzaak voor externe informatie voor operationeel gebruik in het directe bereik van de ADAS-sensoren in het voertuig, maar is anderzijds ook een kans om de potentiële waarde van externe informatie te benutten.
- *Connected, Cooperative and Automated Mobility*: het aantal voertuigen dat verbonden is met internet zal de komende jaren sterk groeien. Hiermee wordt de ontsluiting van informatie uit voertuigen eenvoudiger, maar wordt het ook eenvoudiger om externe informatie te delen met deze voertuigen. De manier waarop is nog onduidelijk, met name voor informatie rondom verkeersveiligheid, maar autofabrikanten lijken hier een belangrijke rol in gaan spelen. Vanuit C2C CC is een roadmap opgesteld van Day-2 en Day-3 use cases waarin automatisering, coöperatief gedrag en veiligheid centraal staan. Deze use cases zullen de komende periode verder ontwikkeld en beproefd moeten worden. De beleidsdoelstelling op Nederlands en Europees niveau om het verkeer intrinsiek veiliger te krijgen speelt ook in op die trend. Dit betekent dat de huidige en toekomstige ITS use cases opnieuw bekeken moeten worden om te bepalen of en in welke situaties deze informatie door autonome en geautomatiseerde systemen gebruikt kan worden en wat dit betekent voor de rolverdeling tussen voertuigen en de wegwijk (in ruime zin). De vraag is hoe deze ontwikkeling zijn weerslag krijgt in de Europese SRTI- en RTTI-specificaties of straks voor C-ITS³;
- *Generieke ICT-ontwikkelingen*: de trend naar cloud-based oplossingen op basis van steeds meer generieke ICT-technologie, ontsloten via mobiel 4G en later 5G internet in een globale markt, en verdere integratie met mobiele netwerken om te voldoen aan de hogere communicatie-eisen van sectorspecifieke toepassingen zoals bijvoorbeeld de consumentenmarkt, van de automobiellindustrie maar ook van andere sectoren. Een trend naar verschuiving van computing kracht naar de randen van netwerken;
- *5G-technologie en sectorspecifieke oplossingen* zoals C-V2X: vanuit de leveranciers in de mobiele industrie zijn er grote commerciële belangen om C-V2X tot een succes te maken. De ontwikkelingen in China en de Verenigde Staten zijn voor Europa interessant, om te zien waar de markt naar toe gaat, mede gezien regelgeving en aantoonbaarheid van effecten. Dat vraagt om actieve monitoring.

De *slotbeschouwing* heeft tot het inzicht geleid dat er meer dan voldoende mogelijke acties en tevens kennisvragen zijn maar dat de programmering ervan, los van prioritering op grond van het overheidsbeleid, niet triviaal is door diverse onzekerheden. Er is een overzicht gemaakt van risico's en mogelijke acties die afhankelijk zijn gemaakt van de mate van adoptie door de automobiellindustrie van V2X als externe/autonome factor en verder afhangen van de mate van pro-activiteit van de overheid. Dit is hieronder weergegeven voor zowel V2N als voor V2V.

³ SRTI: Safety Related Traffic Information; RTTI: Real-Time Traffic Information. Zie ook https://ec.europa.eu/transport/themes/its/road/action_plan/traffic-information_en



Aanbevelingen

De algehele situatie rond C-ITS is vrij complex waardoor ook het handelingsperspectief van de Nederlandse overheid en bedrijfsleven niet eenvoudig is vast te stellen. Niettemin menen we voldoende onderbouwing te hebben aangeleverd voor de volgende aanbevelingen die ondanks diverse onzekerheden als 'no regret' kunnen worden getypeerd:

- Pro-actieve deelname van Nederlandse overheid en bedrijfsleven (via Community for Standards and Practices⁴) aan het CCAM Single Platform initiatief van de Europese Commissie. Gebruik die deelname ook voor de invulling/beïnvloeding van de Nederlandse agenda voor CCAM.
- Aandacht richten op nieuwe use cases en de technologie-agnostische uitwerking daarvan, use cases die vooral voor Nederland van belang zijn. Dat betreft: use cases rond vrachtovervoer, use cases gericht op vergroting verkeersveiligheid op provinciale wegen, doorstroming (fileproblematiek) en kwetsbare weggebruikers in verstedelijk gebied.

⁴ Of hiermee vergelijkbaar.

- “ITS: Gewoon Doen!” Gaat hier niet perse om schaalgrootte maar om de leereffecten. Focus als overheid vooral op I2V-diensten van wegbeheerders op verschillende niveaus (landelijk, regionaal, lokaal). Besteed aandacht aan evaluaties om de meerwaarde en de leereffecten te kunnen expliciteren. Programmering en coördinatie van pilots en gewenste opschaling kan onder het initiatief Krachtenbundeling plaats vinden.
- Investeren in kennisopbouw (via experimenten) ten aanzien van de toepasbaarheid van 5G-technologie (in het bijzonder C-V2X) voor CCAM, waarbij de focus moet liggen op de typisch voor Nederland relevante use cases (zie tweede bullet) en gekeken moet worden naar zowel V2N- als V2V-vormen van communicatie. Betrek daar de telecomindustrie bij, via de landelijk opererende mobiele operators. Gebruik hiervoor de Innovation Actions in het kader van EU Horizon 2020 en Horizon Europe) en versterk die met nationale projecten waar ook wegbeheerders in participeren. Ons inziens kan de overheid hierin betrokken zijn, vanuit een technologieneutrale en leergierige houding.
- Meer werk maken van Nederland als test- en pilotland voor CCAM. Onderzoek hoe dit praktisch aantrekkelijker kan worden gemaakt voor buitenlandse partijen. Vergroot daarbij vooral de betrokkenheid van automobielfabrikanten.
- Internationale ontwikkelingen (met name in Azië en in de VS) zeer aandachtig blijven monitoren gezien de diverse onzekerheden en complicerende factoren.

Adressering van specifieke acties en van de gestelde kennisvragen kan het beste een afgeleide zijn van een discussie over beleidsprioriteiten voor Nederland in relatie tot Smart Mobility en CCAM.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	9
1.1	Achtergrond	9
1.2	Vraagstelling	10
1.3	Aanpak	11
1.4	Scope	12
1.5	Opbouw van het rapport	13
2	Terugblik	14
2.1	Beschouwde projecten	14
2.2	Resultaten uitvraag	14
2.2.1	Welk aandeel en rol hebben (directe) communicatiemiddelen in de projecten?	14
2.2.2	Welke ITS-toepassingen/use cases staan centraal in de projecten?	15
2.2.3	In hoeverre is gekeken naar de State-Of-The-Art (SOTA) qua R&D en markt?	16
2.2.4	Ten aanzien van in projecten <u>ontwikkelde</u> oplossingen	16
2.2.5	Ten aanzien van oplossingen die zijn <u>beproefd en geëvalueerd</u>	23
2.2.6	Wat zijn de belangrijkste keuzes en lessen die van belang zijn voor het vervolg?	25
2.2.7	Welke overige vragen staan nog open en verdienen aandacht?	26
2.3	Reflectie TNO op uitvraag	27
3	Blik vooruit	29
3.1	Inleiding	29
3.2	Connected, Cooperative and Automated Mobility (CCAM)	29
3.2.1	Inleiding	29
3.2.2	Toekomstige ontwikkeling van use cases onder invloed van automatisering	31
3.2.3	Gebruik van externe informatie door voertuigen; virtuele sensoren	33
3.2.4	Enkele implementatie-aspecten van geautomatiseerde voertuigen	34
3.2.5	V2X implicaties van Collaborative Perception	36
3.2.6	Consequenties geautomatiseerd rijden voor eisen aan V2X communicatie	37
3.2.7	Kwetsbare weggebruikers (Vulnerable Road Users)	39
3.2.8	Samenvattend overzicht van mogelijke toepassingen met directe communicatie ..	43
3.3	Externe ICT-ontwikkelingen met relevantie voor CCAM	45
3.3.1	Digitale transformatie	45
3.3.2	Ontwikkelingen ondersteunende communicatie-infrastructuren	47
3.3.3	Dominante standaarden voor draadloze infrastructuur: IEEE en 3GPP	48
3.3.4	Conclusie: Volstaan toekomstige generieke mobiele netwerken voor CCAM-doeleinden?	51
3.4	C-V2X communicatietechnologie	52
3.4.1	Inleiding	52
3.4.2	C-V2X standaardisatie	53
3.4.3	Spectrum voor V2X: co-existentie C-V2X met ITS-G5	53
3.4.4	Adoptie V2X door markt	54
3.5	Positionering directe communicatie t.o.v. netwerk-gebaseerde communicatie	55
3.5.1	Vergelijking	55
3.5.2	Ontwikkeling van V2N in relatie tot V2V/V2I	66
4	Slotbeschouwing	68
4.1	Samenvatting terugblik	68
4.2	Samenvatting vooruitblik	69
4.3	Kennisvragen en suggesties voor acties	70

4.3.1	Inleiding	70
4.3.2	Kennisvragen en suggesties per aandachtsgebied	72
4.3.3	Samenvattend: scenario's	80
4.4	Aanbevelingen	82
Bijlage A: Karakterisering van beschouwde projecten.....		83
Bijlage B: Resultaten uitvraag		91
Bijlage C: Lijst met use cases met veiligheidskritisch karakter		117
Bijlage D: C-V2X nader toegelicht		122
Bijlage E: Opgave van betrokken personen.....		125
Bijlage F: Afkortingenlijst.....		126

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Zoals in de Brief van de Minister aan de Tweede Kamer over Mobiliteitsbeleid is aangegeven, wordt door de Europese Commissie en ook in Nederland het concept van hybride communicatie in ITS ondersteund. ITS-toepassingen zijn gebaseerd op drie componenten: informatie, communicatie en beveiliging. ITS-toepassingen zijn gericht op het verhogen van de verkeersveiligheid en doorstroming door middel van de uitwisseling van **informatie** tussen zender en ontvanger (via berichten) in omliggende verkeerssituaties. De uitwisseling van berichten vindt plaats door het versturen van deze berichten via een **communicatiekanaal**. Daarnaast is het noodzakelijk dat de informatie betrouwbaar is door middel van **beveiliging** van de informatie (integriteit van informatie en identiteit van de zender).

Onder hybride communicatie verstaan we *“het gebruik van meerdere communicatienetwerken voor specifieke C-ITS-diensten, om hiermee de kwaliteit van de informatie-uitwisseling van (C-)ITS-diensten te verbeteren”*⁵ Het komt concreter neer op het combineren van zogenaamde oplossingen voor *directe communicatie* over ‘korte’ afstanden (lees: ad-hoc communicatie zonder netwerk, zoals gespecificeerd door ETSI ITS) en netwerk gebaseerde oplossingen voor ‘lange’ afstandscommunicatie (lees mobiele netwerken c.q. mobiel internet) voor de distributie van informatieberichten voor C-ITS. Directe communicatie op korte afstanden tussen ITS-systemen van weggebruikers - zonder gebruik van een mobiel netwerk - kan plaats vinden tussen voertuigen (personenauto's, vrachtwagens) onderling (V2V), tussen voertuigen en wegkantinfrastuctuur (V2I/I2V) en tussen voertuigen en andere kwetsbare verkeersdeelnemers (V2P) zoals voetgangers of fietsers met bijv. smartphones

Dit onderzoek is gericht op communicatie voor ITS en dan specifiek via *directe communicatie*. Echter, de technologie voor directe communicatie kan niet los worden gezien in de bredere context van ITS, met (tegenstrijdige) belangen van publieke (overheid, wegbeheerders) en private stakeholders (autofabrikanten, mobiele netwerk operators, aanbieders van informatie/navigatiediensten voor weggebruikers, leveranciers van technologie, en eindgebruikers).

Er is – vanuit functioneel oogpunt - enerzijds sprake van een bepaalde overlap tussen directe communicatie en netwerk-gebaseerde communicatie en anderzijds is eveneens sprake van een felle internationale marktconcurrentie tussen leveranciers van producten op het vlak van directe communicatie van twee verschillende technologieën in het ITS-domein, waar de recent ontwikkelde technologie LTE-V2X (een 3GPP⁶ gebaseerde technologie) sinds 2018 een alternatief vormt voor ITS-G5.

⁵ Bron: M. Sambeek, P.P. Schackmann, *C-ITS Diensten – Hybride Communicatie*, samengesteld werkdocument opgesteld in opdracht van de Nederlandse overheid.

⁶ 3GPP is de globale organisatie voor standaardisatie van mobiele netwerktechnologie. De 3GPP standaarden worden door leveranciers van netwerk- en randapparatuur (o.a. smartphones) geïmplementeerd in producten en oplossingen voor mobiele netwerk operators en consumenten. In dit rapport wordt de term 3GPP technologie gebruikt voor mobiele technologie voor 4G en 5G zoals gespecificeerd door 3GPP.

ITS-G5 is de op IEEE 802.11 gebaseerde technologie die door de ETSI ITS groep ontwikkeld is op basis van een EU-mandaat (M/453) aan ETSI en CEN uit 2010. De Nederlandse overheid hanteert een markt- en technologie-neutrale benadering maar heeft er anderzijds belang bij om waar nodig sturend op te treden om tot een voor Nederland zo optimaal mogelijke invulling van haar Mobiliteitsbeleid te komen.

De Nederlandse overheid richt zich in deze kabinetsperiode sterk op de benutting van bestaande keten voor verkeersinformatiediensten en informatiediensten voor voertuigen met ondersteuning van de rijtaken en zet zich in om zo snel mogelijk tot een volwassen markt te komen. Deze volwassen markt kenmerkt zich met bewezen oplossingen voor verkeersveiligheid en doorstroming, met een groot aantal gebruikers, voldoende aanbieders en voldoende deelname van overheden/wegbeheerders. Deze bestaande keten is gebaseerd op het (centraal) ontsluiten van informatie van nationale, regionale, en lokale wegbeheerders aan marktpartijen, die hun eindgebruikers bereiken via bestaande oplossingen (lees: smartphone met apps) voor mobiel internet via 3G/4G mobiele netwerken. De overheid draagt hier actief bij aan verbeteringen in de genoemde C-ITS-informatiediensten voor weggebruikers - en in beperkte mate voor voertuigen met rijtaakondersteuning - via samenwerkingsprojecten met beproeving in de praktijk met private partijen en nationale, regionale en lokale wegbeheerders en met afstemming op EU-niveau ten aanzien van interoperabiliteit.

Wat betreft ITS wordt door het Ministerie onderscheid gemaakt tussen het hoofdspoor en het ontwikkelspoor. Het hoofdspoor gaat over het optimaliseren van ITS-toepassingen in een commerciële context o.b.v. huidige 3G/4G middelen zoals hiervoor omschreven. Het ontwikkelspoor focust op nieuwe toepassingen en nieuwe communicatietechnieken, zowel direct (PC5 en G5) en/of via 5G netwerken. Voor deze laatste groep van ITS-oplossingen is er momenteel nog geen ver ontwikkelde markt.

1.2 Vraagstelling

Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (MinlenW) heeft TNO benaderd met de vraag om inzicht te geven over de toegevoegde waarde van directe communicatie en inzet op de huidige (ITS-G5 o.b.v. IEEE 802.11p en LTE-V2X) en toekomstige vormen (IEEE 802.11px en 5G-V2X) van directe communicatie in ITS-toepassingen ten behoeve van het wegverkeer in Nederland. Daarbij is in eerste instantie gevraagd terug te kijken naar wat er de afgelopen 10 jaar in uitgevoerde en nog lopende ITS-projecten in Nederland is geleerd op dit onderwerp en anderzijds een blik vooruit te werpen ten aanzien van wat nog noodzakelijk is voor bredere toepassing in de praktijk. Die inzichten komen uit deze projecten naar voren, aangevuld met een bredere vooruitblik van ITS-experts van TNO over hoe de *state-of-the-art* in technologie zich naar verwachting gaat ontwikkelen. De geïdentificeerde onderzoeksvragen en/of acties hebben betrekking op (i) aanvullende kennisontwikkeling, (ii) experimenten in de praktijk, of wellicht (iii) andere initiatieven en activiteiten vanuit overheid en markt (publiek, privaat of beide).

In de geselecteerde projecten op het terrein van ITS of Smart Mobility is het delen van informatie tussen weggebruikers en wegbeheerders essentieel en speelt de keuze in telecommunicatieoplossingen direct of indirect een rol. Dit onderzoek focust

op projecten waarbij de ontwikkeling van oplossingen voor directe communicatie en/of de (combinatie) met mobiele netwerken een sterke en dus bepalende rol vormt. De aan TNO gestelde vraag heeft betrekking op het ontwikkelspoor. MinlenW heeft gevraagd de scope zoveel mogelijk te beperken tot directe telecommunicatie, d.w.z. communicatie die niet via een publiek mobiel netwerk van bestaande mobiele operators in Nederland (KPN, T-Mobile en VodafoneZiggo) verloopt.

Het gevraagde onderzoek heeft een relatie met een ander parallel lopend traject namelijk de update van de draft “5G in Mobility” roadmap⁷ op basis van een analyse van een consultatie over 5G in dit domein⁸.

1.3 Aanpak

De gekozen aanpak is in lijn met de vraagstelling en komt neer op de beantwoording van de hoofdvraag in twee opeenvolgende fasen en een korte afsluitende fase:

1. *Terugkijken*: uitvragen van een selectie op Nederland (landelijk/regionaal) gerichte C-ITS-projecten voor de identificatie van actuele aandachtspunten en (kennis)vragen binnen die projecten, met focus op directe telecommunicatie. Het uitvragen geschiedt door middel van een vragenlijst gevolgd door een interview voor de ‘voice over’ bij de verstrekte antwoorden. Sommige interviews omvatten meer dan 1 project.
2. *Vooruitkijken*: uitvoeren van een desktop analyse van relevante toekomstige ontwikkelingen. Nadruk is vooral gelegd op de ontwikkeling richting *Connected Cooperative Automated Mobility* (CCAM) en op bredere ICT ontwikkelingen (incl 5G) die van invloed zijn op het telecommunicatievraagstuk voor ITS. Aanvullend op de desktopanalyse zijn de eerdere bevindingen uit de 5G Consultatie en reeds binnen TNO aanwezige kennis en inzichten.
3. *Slotbeschouwing*: combineren van inzichten uit de eerste en tweede fase om via een scenario gebaseerde beschouwing tot suggesties te komen wat betreft zinvolle acties met name voor MinlenW inzake C-ITS/CCAM en in het bijzonder betreffende het ontwikkelspoor. Een webinar is eveneens onderdeel van deze fase geweest, waarvoor vertegenwoordigers uit de ITS en telecomsector (incl. overheid) waren uitgenodigd en waarin in de vorm van een slidepresentatie voorlopige bevindingen zijn gepresenteerd. Genodigden voor die webinar is gevraagd om daarop feedback te geven, welke is meegenomen in de afronding van dit rapport.

De ITS-projecten die in dit onderzoek zijn meegenomen zijn: C-Mobile (aangevuld met voorlopers FREILOT, Compass4D, C-The Difference), Ensemble, A58 Spookfiles, PPA-1 en PPA-2, Concorda (regio Noord-Holland, aangevuld met voorlopers PPA-1 en PPA-2), 4G5, Concorda – regio Noord-Brabant, Talking Traffic, C-ITS Corridor en InterCor. Voor het (afgesloten) A58-project is het uitvraagproces via een vragenlijst en aanvullend interview niet doorlopen door het ontbreken van

⁷ 5G in Mobility – Draft Roadmap; Dutch implementation roadmap v0.9 (draft); Ministry of Infrastructure and Water Management (DG Mobility), in close collaboration with the Ministry of Economic Affairs and Climate Policy (DG for Enterprise & Innovation); 21 December 2018, available on <https://www.tenderned.nl/papi/tenderned-rs-tns/publicaties/156438/documenten/4078011/content>

⁸ Zie: 5G in Mobility - Dutch market consultation results (May 8, 2019), Ministerie van IenW

een contactpersoon via het project zelf. Hier is gekozen om gebruik te maken van beschikbare publieke documentatie, aangevuld met informatie uit een tweetal gesprekken met gekwalificeerde personen. Op deze manier kon alsnog input worden vergaard voor enkele vragen uit de vragenlijst. PPA-1 en PPA-2 zijn niet schriftelijk uitgevraagd maar in de interviews wel aan bod gekomen. Gezien het feit dat deze projecten een belangrijke opstap vormden naar PPA-3/Concorda-NH, is de publieke documentatie geraadpleegd en zijn ze beide meegenomen in dit rapport. Waar mogelijk zijn voor de beide projecten antwoorden verstrekt op de diverse vragen.

De informatie die in deze fase van het onderzoek ter beschikking stond betrof zelf verzamelde publicaties (online toegankelijk), de ingevulde vragenlijsten (in enkele gevallen met de toevoeging van aanvullende (publieke) documenten) en een gevalideerd verslag van het interview.

Het aantal ontvangen vragenlijsten en daarmee geassocieerde interviews is beperkt geweest tot gemiddeld één uitvraag per project. Dat heeft vanzelfsprekend consequenties voor de robuustheid van de bevindingen op het niveau van de individuele projecten. TNO neemt ook zelf deel aan bepaalde projecten (bijvoorbeeld als evaluator) en beschikt dus over project-specifieke kennis en inzichten. Daar is echter in de eerste hoofdactiviteit - het onderdeel 'terugkijken' - zeer voorzichtig mee omgegaan. De inhoudelijke inbreng van TNO zelf zit hoofdzakelijk in de reflectie op wat extern is 'opgehaald' en in het 'vooruitkijken'.

Ten aanzien van de derde activiteit – 'Slotbeschouwing' past hier de kanttekening bij dat er is gestreefd naar zo concreet mogelijke aanbevelingen over een zo breed mogelijk spectrum als haalbaar binnen de context van deze onderzoeksopdracht. Er zitten echter grenzen aan de voorspellende waarde van die aanbevelingen. In dit opzicht beoogt TNO de overheid vooral met advies te helpen de ontwikkeling in de gewenste richting te sturen.

1.4 Scope

Het uitgevoerde onderzoek heeft een focus op technische-functionele aspecten. Belangrijke vraagstukken bijvoorbeeld rond eigenaarschap en exploitatie van voorzieningen worden hier en daar wel aangestipt maar niet behandeld. MinlenW heeft TNO verzocht zich te richten op directe communicatie, dus bijvoorbeeld voertuig-voertuig (V2V) communicatie, voertuig-wegkant (V2I/I2V) en voertuig-persoon (V2P) communicatie. De scope van het onderzoek is echter wat breder genomen, aangezien afwegingen en ervaringen op een specifiek onderwerp als directe communicatie altijd binnen een bredere context van toepassing van ITS moet worden gezien. Deze bredere scope is terug te vinden in de gehanteerde vragenlijst.

Bij directe communicatie is sprake van een rechtstreekse radioverbinding tussen twee ITS-systemen, zonder tussenkomst van een mobiel netwerk met zendmasten om de verbinding te realiseren. De data-uitwisseling vindt bij directe communicatie rechtstreeks tussen het zendende ITS-systeem (bijv. OBU in voertuig A of RSU van wegbeheerder) en een of meer ontvangende ITS-systemen (bijv. OBU in voertuig B). Dit is anders dan *indirecte* communicatie omdat daar een mobiel communicatienetwerk deel uitmaakt van de end-to-end verbinding. Een I2V-informatiedienst tussen een centrale server en een voertuig kan dus wat betreft de radioverbinding op twee

manieren worden gerealiseerd, namelijk op de directe manier of door tussenkomst van een mobiel netwerk.

Het door ETSI gestandaardiseerde ITS-G5 protocol is een bekend protocol voor directe communicatie. Daarnaast kennen we tegenwoordig ook LTE-V2X dat door 3GPP is gestandaardiseerd. LTE-V2X kent twee varianten, namelijk *Mode 3* met directe communicatie onder netwerkaansturing en *Mode 4* met directe communicatie zonder afhankelijkheid van een mobiel netwerk. Mode 3 kan dus eigenlijk als een mengvorm worden opgevat.

De uitkomst van de “5G Consultatie” van MinlenW heeft laten zien dat een introductie en acceptatie door de markt (lees autofabrikanten) van op 4G- en 5G-technologie gebaseerde oplossingen voor directe V2X communicatie niet vanzelfsprekend is en ook dezelfde onzekerheden kent als ITS-G5 technologie. V2X technologie op basis van 4G en 5G moeten op dit moment ook tot het ontwikkelspoor worden gerekend, o.a. omdat LTE-V2X producten op dit moment in de ondervraagde projecten niet of zeer beperkt beschikbaar waren.

Voor de aanpak betekent dit dat er bij de bevraging van projecten rekening is gehouden dat er in de ITS-projecten nog niet of nauwelijks ervaring is opgedaan met directe communicatie op basis van deze 3GPP-technologie. Derhalve zijn in het ‘blik vooruit’ fase ter compensatie nadrukkelijk de bevindingen uit de recente 5G consultatie meegenomen.

Hoewel er – naast ITS-G5 en C-V2X (LTE-V2X en NR-V2X) – diverse andere technologieën en systemen voor directe communicatie bestaan (zoals Wi-Fi direct, Bluetooth, UWB), is in dit onderzoek alleen gekeken naar deze 2 technologieën welke specifiek ontwikkeld zijn voor toepassing in het ITS-domein.

1.5 Opbouw van het rapport

Dit rapport is als volgt opgebouwd: hoofdstuk 2 bevat de resultaten van de ‘terugblik’ in de vorm van een integraal verslag van de uitvraag van de geselecteerde en een overkoepelende reflectie daarop. De vragenlijsten en gevalideerde verslagen van de interviews zijn niet opgenomen in dit rapport. Hoofdstuk 3 is gewijd aan de ‘vooruitblik’ en hoofdstuk 4 bevat de slotbeschouwing en een overzicht van geïdentificeerde kennisvragen. Het rapport heeft zes bijlagen: bijlage A geeft een karakterisering van de beschouwde projecten, bijlage B de resultaten van de uitvraag, bijlage C bevat de lijst met use cases met een veiligheidskritisch karakter. Bijlage D geeft een nadere technische toelichting op C-V2X en bijlage E bevat een overzicht van personen die of op of andere wijze aan het onderzoek hebben bijgedragen. De laatste bijlage F bevat een lijst van gehanteerde afkortingen.

2 Terugblik

2.1 Beschouwde projecten

Omwillen van een voldoende breed blikveld is een ruime selectie van ITS-projecten genomen, zowel nationale projecten in Nederlandse als Europese onderzoeks- en ontwikkelprojecten (FP7, H2020, CEF) met een significante Nederlandse deelname van overheid, onderzoeksinstituten, universiteiten en bedrijven. Tevens geldt voor die projecten dat nieuwe toepassingen van communicatietechnologie een belangrijke drager zijn.

De ITS-projecten die in dit onderzoek zijn meegenomen zijn: C-Mobile (aangevuld met voorlopers FREILOT, Compass4D, C-TheDifference), Ensemble, A58 Spookfiles, PPA-1 en PPA-2, Concordia (regio Noord-Holland, aangevuld met voorlopers PPA-1 en PPA-2), Concordia (regio Noord-Brabant), Talking Traffic, C-ITS Corridor, InterCor en 4G5.

De periode die de geselecteerde projecten bestrijken is ca. 10 jaar (met FREILOT als vroegste project in de selectie en 4G5 als meest recente project). In bijlage A is van alle projecten een karakterisering opgenomen, dat wil zeggen relevante kentallen als looptijd, type project, start- en einddatum, projectdoelstellingen en ITS use cases. In bijlage B is de beantwoording van de individuele projecten op de vragenlijst weergegeven. Omwillen van de leesbaarheid van de hoofdttekst in paragraaf 2.2 is ervoor gekozen de opsomming van de uitvraag niet in de hoofdttekst zelf op te nemen, de hoofdttekst geeft het overall beeld per vraag over alle projecten en de specifieke verschillen. Voor een nadere oriëntatie op de projecten wordt verwezen naar bijlage A en B.

2.2 Resultaten uitvraag

De inhoud van deze paragraaf is gebaseerd op publieke, projectgebonden publicaties, op de verstrekte antwoorden op de vragenlijst en op gevalideerde gespreksverslagen. De resultaten per vraag zijn over alle beschouwde projecten geïntegreerd. Bijlage B bevat de 'ruwe' informatie in de vorm van de letterlijke antwoorden op de gestelde vragen (vragenlijst). In dit hoofdstuk geven we daar een integraal verslag van inclusief duiding, d.w.z. over alle projecten heen, en dat gaat gepaard met enige interpretatie van de auteurs.

2.2.1 Welk aandeel en rol hebben (directe) communicatiemiddelen in de projecten?

In alle beschouwde ITS-projecten speelt het gebruik van telecommunicatie-oplossingen in verschillende vormen een vanzelfsprekende rol en dan met name waar het gaat om de connectiviteit tussen weggebruikers en wegbeheerders om verkeersinformatie te versturen of te ontvangen. Het betreft zowel directe communicatie met communicatiesystemen langs de weg als ook indirect via centrale ontsluiting van informatie via derde partijen en mobiel internet over cellulaire netwerken (in de *cloud*). Het onderscheid tussen gebruik van directe communicatie (short range, via de technologie ITS-G5 of LTE-V2X) en netwerk-gebaseerde communicatie oplossingen (long range, via cellulaire netwerken van mobiele operators, d.w.z. mobiel internet) wordt herkend.

De aanpak van ITS-projecten lag initieel op het gebruik van directe communicatie van wegkantsystemen (RSU o.b.v. ITS-G5) naar voertuigen met On-Board Units. Recent is een duidelijke verschuiving zichtbaar van directe communicatie naar een hybride aanpak, gedreven door (i) de wens om pilots op grotere schaal met bestuurders uit te voeren via ontwikkelde of bestaande apps op smartphones (Over-The-Top toepassingen) in de Nederlandse markt en de eenvoudige keten om informatie van wegbeheerders te ontsluiten, onafhankelijk van autofabrikanten en leveranciers van randapparatuur en zoveel mogelijk onafhankelijk van mobiele operators. PPA, A58 en nadrukkelijker Talking Traffic zijn daar voorbeelden van. Ensemble daarentegen is een project met deelname van de 6 belangrijkste vrachtwagenfabrikanten in de EU en is expliciet gericht op gebruik van directe communicatie, om aan de strikte eisen voor *multi-brand truck platooning* met automatisch rijden te kunnen voldoen: lage latency en de eis dat *multi-brand truck platooning* onafhankelijk van mobiele netwerken dient te werken, ook werkt op locaties waar geen 4G of 5G dekking is. In C-TheDifference is bij de beproeving van diverse use cases aandacht voor het gebruik van beide opties (ITS-G5 en cellulair), hoewel voor de pilot site Helmond is gekozen voor uitsluitend ITS-G5. In C-Mobile is voor de Nederlandse pilot sites Helmond en Eindhoven wel gekozen voor beide opties.

De uitvraag heeft de indruk bevestigd dat voor projecten waarvoor de *deployment* van ITS op basis van de gekozen ITS-toepassingen of ITS use cases centraal staat, connectiviteit op het niveau van de radioverbinding eigenlijk geen issue is. Technische vraagstukken liggen vaak op een wat hoger niveau in het totaalsysteem, namelijk de koppeling tussen systemen en services van verschillende partijen, interoperabiliteit op berichtenniveau en zaken als het presenteren aan gebruikers van informatie dat via verschillende kanalen wordt verkregen (typisch bij hybride communicatie). In diverse projecten zien we dat het vooral gaat over de inrichting van een 'system of systems' op lokaal, regionaal of landelijk niveau met technische maar vooral ook organisatorische en zakelijke vraagstukken.

Veel van de bevraagde projecten zien ITS-G5 voor directe communicatie als een enigszins technisch volwassen en beschikbare technologie, ondanks het gebrek aan grootschalige uitrol door autofabrikanten om verschillende redenen. Met LTE-V2X is door de meeste ondervraagde projecten juist nog geen praktische ervaring opgedaan.

Er wordt ook verder verkend wat de grenzen in technische mogelijkheden van 4G en 5G mobiele netwerken zijn om V2V (en I2V) toepassingen te ondersteunen via het mobiele netwerk (V2N2V, I2N2V) door verdere optimalisaties in mobiele netwerken en in combinatie met automatische voertuigen, i.e. no human-in-the-loop (Concorda). Ondanks die focus op optimalisatie van 3GPP technologie, is ook aandacht voor hybride communicatie (Concorda-NH).

2.2.2 Welke ITS-toepassingen/use cases staan centraal in de projecten?

Een detail overzicht van de use cases per project zijn opgenomen in bijlage A. We zien wat betreft de oriëntatie van projecten op use cases ruwweg twee sporen. Een spoor richt zich op persoonlijke informatievoorziening, doorstroming en verkeersveiligheid op de hoofdwegen/interurban (C-ITS Corridor, InterCor, A58, Ensemble, PPA). Een ander spoor is juist sterker gericht op vergroting van

verkeersveiligheid en doorstroming in stedelijk gebied (C-TheDifference, C-Mobile, PPA). Bij dat laatste spoor is ook aandacht voor specifieke gebruikersgroepen zoals vrachtverkeer, hulpverleners en openbaar vervoer. Een mogelijk derde spoor betreft specifieke C-ITS-toepassingen om vraagstukken met C-ITS op te lossen zoals rondom verkeersveiligheid in tunnels, optimalisatie van logistiek transport met overslag van containers tussen vrachtwagens en schepen in containerhavens (MCTO, *Multi-modal Cargo Transport Optimization*) en C-ITS-toepassingen in combinatie met automatisch rijdende voertuigen.

Ook zien we een verschuiving zichtbaar van ontwikkeling en demonstratie van technische oplossingen van Day 1/1.5 toepassingen naar operationeel gebruik in de praktijk en de uitdagingen om C-ITS-toepassingen voor wegbeheerders mogelijk te maken in hun bestaande omgeving met verkeersmanagementsystemen, de acceptatie door weggebruikers en de effecten op grotere schaal op basis van lokale pilots.

2.2.3 *In hoeverre is gekeken naar de State-Of-The-Art (SOTA) qua R&D en markt?*

De praktijk is dat projecten worden gegund aan consortia waarvan de deelnemers een aantoonbare staat van dienst hebben en daarmee samenhangend een sterk besef van de SOTA in binnen- en buitenland. Bij uitstek private partijen die zich bezighouden met de ontwikkeling van nieuwe ITS-systemen en diensten, nemen deel in door de overheid ge(co-)financierde ITS-projecten om op technisch vlak die ontwikkelingen te continueren, te optimaliseren c.q. dichter bij de markt te brengen en op niet-technisch vlak om diverse operationele aspecten voor organisaties en gebruikers bij opschaling te onderzoeken (bijv. PPA, C-Mobile en TT).

Niet alleen op het niveau van individuele deelnemers maar ook op projectniveau zien we dat men doorbouwt op de uitgangspunten, oplossingen en op concrete resultaten uit andere projecten die beschikbaar en herbruikbaar zijn. De oplossingen van C-ITS Corridor (met AT en DE) zijn bijvoorbeeld binnen de EU verder ontwikkeld in InterCor (met FR, BE en UK) en worden vervolgens ook gebruikt in Concorda (NB, GLOSA) en 4G5 (IVS op A5 en A9). We zien ook dat de regio's Amsterdam (met PPA-1, PPA-2 en Concorda) en Helmond (FREILOT, C-TheDifference, C-Mobile en Concorda) sterk gericht zijn op continuïteit van ITS-ontwikkelingen door verder te ontwikkelen in opeenvolgende ITS-projecten om daarmee over langere tijd gedegen inzicht te krijgen in de meerwaarde van C-ITS om bepaalde beleidsdoelen rond Mobiliteit verwezenlijkt te krijgen.

Zaken die buiten de specifieke innovatiescope vallen van het project worden doorgaans, en voor zover beschikbaar, *off-the-shelf* aangekocht zoals bijvoorbeeld smartphones en mobiele netwerkdiensten voor dataverkeer.

2.2.4 *Ten aanzien van in projecten ontwikkelde oplossingen*

Hierna volgen enkele aspecten die betrekking hebben op oplossingen die in projecten zijn ontwikkeld, maar niet noodzakelijkerwijs ook al zijn beproefd.

2.2.4.1 *Wat waren/zijn de belangrijkste succes- en faalfactoren?*

Deze vraag is door de meeste projecten niet expliciet beantwoord. Succes- en faalfactoren lijken door projecten moeilijk aan te geven. Diverse keren is de vraag meer geïnterpreteerd als "Wanneer kan het project succesvol worden genoemd?",

en/of wordt gerefereerd naar beschikbare c.q. te verwachten evaluatieresultaten. Zie ook paragraaf 2.2.6.

2.2.4.2 *Hoe wegen beveiliging van informatie, privacy, dataprotectie en interoperabiliteit mee?*

Beveiliging van informatie en systemen, privacy en dataprotectie worden in diverse van de geselecteerde projecten gezien als belangrijk randvoorwaarde, vooral waar opschaling een rol speelt. Men past daarvoor de benodigde technische en organisatorische maatregelen toe, al dan niet in lijn met het *C-ITS Security Framework* zoals vastgelegd in de voorgestelde EU Delegated Regulation.

In een behoorlijk aantal van de beschouwde projecten is echter weinig of geen specifieke innovatie-aandacht voor informatiebeveiliging. Uitzonderingen daarop zijn de projecten A58 Spookfiles, Ensemble, Talking Traffic en Concorda. In A58 Spookfiles is voor de eerste keer praktische ervaring opgedaan met het PKI-concept dat in dit project ook is verbeterd. In Ensemble wordt een aanvullend *security framework* ontwikkeld (met symmetrische sleutels) voor beveiligde V2V communicatie tussen vrachtwagens in een peloton. In Talking Traffic zijn generieke security testen van systemen uitgevoerd om de beveiliging van informatiesystemen zelf te toetsen (penetratietesten) en zijn security audits verricht met ‘*comply or explain*’ verplichting. De echte uitdaging van het PKI-security *framework* is de opschaling naar EU-niveau, met bijbehorende organisatorische inrichting (uitgifte, beheer, *conformance assurance*). In Concorda is gekeken naar de beveiliging van hybride ketens.

Privacy is bij proeven met ‘friendly users’ een minder groot issue aangezien men zich expliciet opgeeft voor deelname. In relatie tot ITS-G5 (broadcast) is nog onduidelijkheid over de grenzen van wat uit oogpunt van wet- en regelgeving acceptabel is ten aanzien van het gebruik van deze data. AVG-wetgeving maakt partijen terughoudender om data te delen, met name met de overheid. In Talking Traffic is hier bijvoorbeeld sprake van.

Interoperabiliteit is in alle projecten een essentieel aspect waar ook veel effort bij komt kijken om daadwerkelijke onderlinge interoperabiliteit tenminste op berichtenniveau in de praktijk te realiseren. Men gebruikt waar mogelijk bestaande Europese standaarden (ETSI) en profielen (C-Roads) en/of draagt bij aan de vernieuwing daarvan. Het beste voorbeeld van dat laatste is InterCor waar veel aandacht uitgaat naar het internationaal harmoniseren (UK, NL, BE, FR) van nationale specificaties voor het kunnen leveren van een aantal Day 1 I2V toepassingen op basis van hybride communicatie. Systemen worden daarvoor aangepast en gezamenlijk getest (in ‘Testfests’ waar een groot aantal marktpartijen uit de automotive industrie aan deelnemen) en een gemeenschappelijke set van vernieuwde specificaties rondom hybride communicatie en security wordt ingebracht bij C-Roads.

Een praktisch probleem waar men tegenaan loopt is dat ETSI recent een update van de security standaard heeft ontwikkeld (in lijn met de oplossing in de VS) waarbij deze niet *backward compatibility* is met de vorige standaard. Hierdoor zijn oude en nieuwe systemen niet bruikbaar in één omgeving en zijn aanvullende afspraken nodig over overgang van oude naar nieuwe systemen in voertuigen en wegwijk c.q. centrale systemen.

2.2.4.3 *Welke eisen zijn gesteld vanuit de use cases t.a.v. connectiviteit en daarmee samenhangend?*

Het was bekend, althans blijkens publicaties, dat vanuit V2I/I2V use cases überhaupt nog geen harde eisen worden gesteld aan de onderlinge connectiviteit. Alleen van het Car2Car Communication Consortium (C2C CC) is bekend dat ze voor voertuig-voertuig use cases vrij uitvoerige eisen hebben opgesteld, inclusief eisen aan de onderliggende connectiviteit. Dat beeld is tijdens de beschouwing van deze projecten bevestigd. De beschouwde projecten werken vanuit een project-specifiek uitgangspunt wat betreft connectiviteit, zoals (i) een expliciete keuze alleen voor apps op smartphones en mobiele internet (cellulair) te gaan (Talking Traffic), of (ii) alleen voor ITS-G5 voor directe V2V communicatie (Ensemble) of (iii) een hybride aanpak om informatie te distribueren (InterCor). Projecten met een beproevend karakter genereren output die een opmaat kan zijn voor de uiteindelijke connectiviteitseisen die gelden voor latere operationele ITS-implementaties.

Onze waarneming en duiding hieromtrent is als volgt. In specifieke projecten zoals C-ITS Corridor en InterCor is ITS-G5 als technologie voor directe communicatie ook voor I2V toepassingen het uitgangspunt geweest om Day-1 toepassingen te ontwikkelen, testen en uit te rollen. De oplossingen waren bedoeld om in conventionele (hedendaagse) voertuigen de bestuurder te informeren en te waarschuwen en op termijn om automatische voertuigen zelf te laten ingrijpen o.b.v. ontvangen externe informatie. Uitgangspunt was hierbij dat autofabrikanten deze technologie vanaf 2019 in nieuwe voertuigen ook zouden invoeren voor V2V Day-1 toepassingen. Deze projecten hebben specificaties opgeleverd om interoperabiliteit te garanderen op EU-niveau voor a) informatie die deze toepassingen versturen (in welke situatie, wat is de trigger om informatie te sturen, en welke informatie staat in de uitgewisselde berichten) en b) de communicatietechnologie om deze informatie direct te versturen tussen auto's onderling en tussen auto's en wegkant. Deze oplossingen zijn in deze projecten in de praktijk getest en op EU-niveau afgestemd met andere landen/ wegbeheerders, en hiermee gereed voor uitrol door wegbeheerders. CEF-projecten hebben tot doel om oplossingen tot een hoger TRL-niveau te brengen, voldoende voor (grootschalige) uitrol. Dit niveau wordt in de praktijk echter niet in alle gevallen gehaald. Voor oplossingen gebaseerd op directe communicatie zijn wegbeheerders echter afhankelijk van de adoptie van deze systemen in voertuigen en daarmee dus direct afhankelijk van de automobieliindustrie die deze OBU-oplossingen in voertuigen dient in te voeren (en hierin geen eensgezind beeld laat zien). Voor wegbeheerders is het daarna noodzakelijk om te investeren in additionele netwerkinfrastructuur om directe communicatie te ondersteunen in de vorm van RSU's langs wegen en centrale systemen (CU). Voor lokale pilots zijn er hierdoor hoge initiële kosten om voertuigen en wegkant uit te rusten met deze OBU en RSU-systemen d.w.z. hoge kosten per voertuig om OBU-apparatuur in voertuigen in te bouwen (inclusief antennes en bekabeling) en kosten voor RSU voor wegbeheerders. Pilots waren hierdoor ook beperkt tot typisch 10-100 voertuigen.

Door de ontwikkelingen van mobiele netwerken, smartphones, apps, connected car en in-car informatiesystemen zijn er alternatieven voor wegbeheerders voor het informeren van bestuurders op grotere schaal via app van derde partijen zoals Google, Waze, TomTom, FlitsMeister en Flister. Hiermee kan ook in pilots slim en efficiënt gebruik worden gemaakt van bestaande smartphones met apps en mobiele netwerken, met apps die bestuurders al gebruiken ter ondersteuning van rijtaken

(bijv. navigatie of voor waarschuwingen). Om ook dit pad te ondersteunen ontwikkelen projecten oplossingen om informatie van deze toepassingen ook via dit pad te ontsluiten.

De hybride benadering op basis van zoveel mogelijk op Europees niveau gestandaardiseerde berichtensets biedt de mogelijkheid om een specifieke technologie en infrastructuurkeuze te omzeilen/uit te stellen.

2.2.4.4 *Wat is ontwikkeld en wat is commercial off-the-shelf aangekocht?*

Veel in de beschouwde projecten wordt ontwikkeld c.q. doorontwikkeld op basis van beschikbare halffabricaten en prototypes door de samenwerkende partijen (services en toepassingen, wegkantsystemen, end-to-end koppelvlakken, afhandeling van ITS berichten, HMI, centrale data-ontsluiting via NDW of via specifieke partij).

Momenteel zijn oplossingen voor directe communicatie o.b.v. ITS-G5 verkrijgbaar via marktpartijen (zowel RSU als OBU). De communicatieoplossing via 4G wordt off-the-shelf afgenomen (netwerkdiensten, smartphones en bepaalde informatiediensten). Het project Concorda is onder de beschouwde projecten een uitzondering omdat in dat project nadrukkelijk gekeken wordt naar nieuwe concepten in cellulaire netwerken zoals C-V2X (incl. de directe communicatievariant) en Mobile Edge Computing ten behoeve van tijdkritische toepassingen. Overigens geldt ook daarvoor dat de chipset c.q. software tools (Software Development Kit, SDK) moet worden aangekocht die de basale radio-interface biedt om zo de toepassing eromheen te kunnen bouwen. Zelf ontwikkelen van chipset en hardware is geen optie voor de ITS-projecten.

2.2.4.5 *Specifiek ten aanzien van oplossingen voor connectiviteit*

Welke afwegingen, marktonderzoeken en eigen analyses hebben ten grondslag gelegen aan eigen keuzes?

Zie antwoord hierboven. Verschuiving van ITS-G5 oplossingen naar hybride of cellulaire oplossingen. Er worden ook vergelijkingen gemaakt tussen de twee oplossingen in de praktijk.

In hoeverre zijn keuzes voor eigen ontwikkeling gebaseerd op informatie over onbeschikbaarheid of ontoereikende prestaties van bestaande oplossingen

Bij keuze voor ITS-communicatie op basis van directe communicatie is zeker in de recentere projecten (start na 2014) de beschikbare ITS-G5 technologie doorgaans toereikend. We zien in die projecten in ieder geval weinig of geen duidelijke ontwikkelinspanningen (meer) op de communicatielaag (wel op niveau van berichtenverkeer). Er zijn op het moment van schrijven nog geen praktische ervaringen opgedaan met LTE-V2X i.v.m. de problematische verkrijgbaarheid van die technologie. Bij ITS-communicatie op basis van cellulair kan worden gesteld dat mobiele netwerken in Nederland al een aantal jaren naar internationale maatstaven een goede tot zeer goede geografische dekking bieden, een behoorlijk kwaliteitsniveau en er sprake is van een ruim assortiment van geschikte toestellen, waardoor bestuurders nagenoeg overal al tijdig geïnformeerd kunnen worden via cellulaire pad. Projecten als PPA-1 en PPA-2, A58 Spookfiles en Talking Traffic zijn in sterke mate op die beschikbaarheid gebaseerd.

Informatiesystemen en koppeling van dergelijke systemen komen juist wel voor doorontwikkeling en optimalisatie in aanmerking. Talking Traffic stelt zelfs zeer expliciet dat de state-of-the-art ten tijde van de start volstrekt ontoereikend was. De complexiteit en de performance in de keten van systemen lijkt belangrijker te zijn voor bijv. het tijdig waarschuwen van bestuurders dan de performance van het communicatienetwerk zelf (mobiel of direct).

In hoeverre zijn relevante standaarden en/of profielen gebruikt of zelf ontwikkeld?

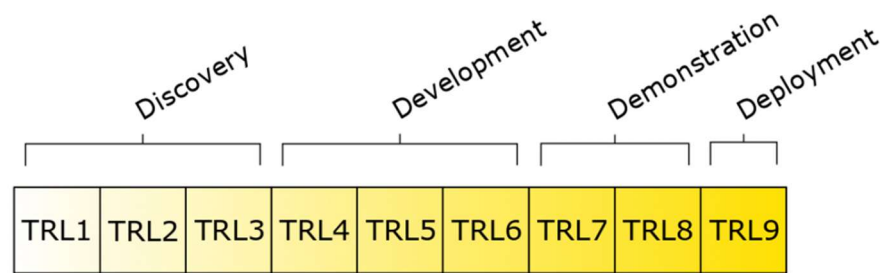
De benutting van standaarden is al jarenlang een belangrijk uitgangspunt in alle beschouwde ITS-projecten, met dien verstande dat vanuit de meeste van die projecten ook nog flink bijgedragen wordt aan de verbetering/voltooing van die standaarden. ETSI/CEN ITS-standaarden voor berichten zijn van belang, waarbij partijen in de markt de vrijheid hebben over de manier waarop informatie naar eindgebruikers wordt verstuurd (proprietary services over cellulair).

ITS-standaardisatie speelt minimaal op EU-niveau binnen ETSI ITS, CEN en ISO. Tevens zijn aanvullende profielen nodig op EU-niveau, met noodzaak van input vanuit de nationale projecten o.b.v. praktijkervaringen terug naar C-ROADS (en C2C CC). Profielen zijn binnen EU afgestemd binnen C2C CC voor V2V toepassingen, en via C-ROADS voor I2V toepassingen, met inbreng vanuit EU-corridor projecten. Binnen C-ROADS wordt dit werk vervolgd in nieuwe releases. Op nationaal niveau vond dit eerder plaats via updates van de zogenaamde *Dutch Profiles*.

2.2.4.6 *Wat is het TRL-niveau van de ontwikkelde oplossingen?*

Daarvoor lichten we eerst de definitie van TRL toe met de daarbij onderscheiden niveaus.

TRL staat voor Technology Readiness Level. Er worden negen niveaus onderscheiden. Zie daarvoor onderstaande figuur.



TRL	Toelichting
1	Fundamenteel onderzoek: Onderzoek van het basisprincipe, het idee.
2	Toegepast onderzoek: Formulering van het technologische concept. Welke toepassingen zijn mogelijk?
3	'Proof of Concept': Experimenteel bewijs van het concept. Testen in laboratorium en analyse van eigenschappen en geschiktheid.
4	Implementatie en test prototype: Design, ontwikkeling en validatie van de technologie in een laboratorium.
5	Validatie prototype: Validatie van de technologie in een echte omgeving (pilot). Functionaliteiten en de eerste look & feel van een product, proces of dienst zijn aanwezig.
6	Demonstratie prototype in testomgeving: Demonstratie van de technologie in een testopstelling, die lijkt op een operationele omgeving.
7	Demonstratie prototype in operationele omgeving: Demonstratie van het systeem in de vorm van een prototype in een gebruikersomgeving.
8	Product/dienst is compleet en operationeel: Het concept is getest en bewezen en voldoet aan gestelde verwachtingen, kwalificaties en normen (certificering).
9	Marktintroductie product/dienst/procedé: Demonstratie van het systeem in een gebruiksomgeving. Het concept is technisch en commercieel gereed; productierijp en klaar voor marktintroductie.

In lijn met hun specifieke doelstellingen verschilt het beoogde en bereikte TRL-niveau sterk tussen de projecten en ook binnen de projecten worden de use cases niet allemaal op gelijk TRL-niveau aangevlogen.

Bepaalde Talking Traffic oplossingen zijn/worden bijvoorbeeld feitelijk al uitgerold voor weggebruikers en hebben een hoog TRL-niveau, richting 8-9. Het TRL-niveau van C-TheDifference, C-Mobile en PPA-2 is ook vrij hoog aangezien daar grootschalige pilots zijn/worden uitgevoerd. Ensemble daarentegen is een lopend project dat een prototype op TRL-niveau 5-6 nastreeft voor platooning met automatisch rijdende vrachtwagens en gebruik van directe communicatie. Concorda is daarmee vergelijkbaar, de technologische innovatie op LTE-V2X en 5G netwerken ligt op TRL-niveau 5-6 en de ITS-toepassingen worden op kleinere schaal maar wel in een operationele omgeving op wegen beproefd.

Geen van de beschouwde projecten heeft het TRL-niveau 8-9 bereikt voor Day-1 toepassingen met autofabrikanten o.b.v. directe communicatie. Wel zijn er

voorbeelden van TRL-niveau 8-9 bij Day-1 toepassingen via mobiele netwerken, zoals Talking Traffic met GLOSA via 3 marktpartijen, NDW met IVS (matrixborden) en waarschuwingen voor naderende hulpdiensten met FlitsMeister (Emergency Vehicle Approaching).

2.2.4.7 *Wat is er geleerd van de complexiteit in de samenwerking om tot oplossingen te komen?*

Over alle projecten heen zijn de volgende issues en lessen gemeld (gegeven antwoorden beperken zich niet tot de ontwikkeling maar omvatten ook de ervaringen van testen):

- *Samenwerken is samen werken.* Duidelijk doel, strakke planning, heldere afspraken en gemotiveerde mensen zijn succesfactoren. Samenwerking is eenvoudiger voor sectorspecifieke oplossingen voor bijv. OV- of hulpdiensten, waarbij 1-op-1 oplossingen kunnen worden ontwikkeld. Samenwerken over de projecten heen is ook belangrijk.
- Testen is tijdrovend maar bijzonder belangrijk om het TRL-niveau op een zeker gewenst niveau te brengen. Testen begint al bij de uitdaging om te verifiëren of eenieder hetzelfde beeld heeft van de projectdoelstelling en van de afspraken. Tijdens praktische testen loop je tegen problemen aan die je niet vooraf vanachter het bureau bedenkt. Belangrijk dat in testen wordt geparticipeerd door *alle* partijen met een aandeel in de totale oplossing (Output is het product van de totale waardeketen, waarbij verzaken van een van de schakels de kwaliteit van de output sterk kan beïnvloeden). Een belangrijke praktische les is dat bedachte testprogramma's passen bij de test- omgeving (operationele veldtest versus labtest). Ook changemanagement en versiebeheer zijn essentieel bij operationeel gebruik van informatiediensten.
- Een faalfactor is de neiging in gelijkwaardig opgezette samenwerkingen tussen overheid- en marktpartijen terug te vallen op een (vertrouwde) opdrachtgever-opdrachtnemer relatie.
- Commerciële partijen zijn in sommige consortia elkaars concurrent wat het voor de betreffende partijen lastig maakt om het groepsbelang en het eigen belang in balans te brengen. Voor het opstellen van technische specificaties lukt dit vaak wel, gelet op het gezamenlijke belang, voor businessmodel en financiële analyses is dit (vaak) niet realistisch vanuit het oogpunt van concurrentie;
- Intensieve samenwerking op Europees niveau is en blijft cruciaal vanwege het grensoverschrijdende karakter van mobiliteit en vanwege het streven naar een *Single European Market*. In de praktijk ervaart men dat 'geografische afstand' vertraagt. Dat wordt extra gevoeld in Europese projecten waar Nederland in deelneemt en waar men afhankelijk is van andere buitenlandse of internationaal acterende partijen. Dit is overigens een zeer herkenbaar kenmerk van tal van Europese R&D-projecten. Een aanvullend specifiek probleem dat zich voordoet in EU-projecten met geautomatiseerde voertuigen is de complexiteit met tijdelijke toelating (via ontheffingen) van geautomatiseerde voertuigen op de weg die vanuit een ander EU-land aan testen in Nederland willen deelnemen.
- Veel standaarden en profielen hebben nog open plekken die het bereiken van interoperabiliteit tussen systemen van verschillende makelij bemoeilijken. Eenduidig gebruik van gemeenschappelijke specificaties tijdens ontwikkeling en testen is essentieel. We hebben overigens geconstateerd dat in enkele van de bevroegde C-ITS projecten sterk wordt bijgedragen aan standaardisatie en harmonisatie van standaarden op Europees niveau.

- Generiek is er in Europa te weinig aandacht voor impact van specificaties op de operationele prestaties van (in-car) systemen, er wordt te veel vanuit een generieke functionele blik gekeken: routing van berichten moet niet alleen functioneel goed werken, maar ook grootschalig efficiënt zijn te realiseren. Security oplossingen zoals het *C-ITS PKI security framework* moet niet alleen aansluiten bij ITS-G5, maar de oplossingen moeten ook effectief en efficiënt zijn.
- Geautomatiseerd rijden genereert nieuwe use cases en aanpassingen in bestaande use cases met nieuwe vragen over informatievoorziening, onderliggende techniek en rolverdeling. De samenwerking met CRF/FCA in PPA-3 is daar een illustratief voorbeeld van. Autofabrikanten en wegbeheerders moeten elkaar gaan leren begrijpen en ook binnen de automobiellindustrie is verdere consensus nodig, bijvoorbeeld als het gaat om de (data-) ontsluiting van voertuigen. Je merkt dat autofabrikanten de neiging hebben hun kaarten tegen de borst te houden i.v.m. onderlinge concurrentieverhoudingen. In C-ROADS participeert de automobiellindustrie niet rechtstreeks en dat is nadelig. Dit geldt voor C-ROADS overigens ook voor de verkeersindustrie, telecomindustrie en service providers.

2.2.5 *Ten aanzien van oplossingen die zijn beproefd en geëvalueerd*

2.2.5.1 *Welk deel van het ecosysteem is bij de proeven betrokken geweest?*

In de meeste projecten is het ITS-ecosysteem (wegbeheerder, ITS-service provider, communicatie services provider, systeemleveranciers (wegkant en voertuig), gebruikers) volledig vertegenwoordigd. Een deel van de projecten richt zich op specifieke doelgroepen qua Mobiliteit (Logistiek en Transport, OV, Hulpdiensten, forenzen) welke dan in de vorm van gebruikersgroepen aanvullend zijn betrokken. De betrokkenheid van autofabrikanten is in ITS-pilots niet vanzelfsprekend geweest (m.u.v. projecten die zich specifiek op V2V toepassingen richten zoals bijv. Ensemble), maar met het snel toenemende belang van Automated Driving is dit aan het veranderen (PPA-3 met FCA). Dit brengt wel specifieke uitdagingen met zich mee zoals het goedkeuringsproces voor de uitvoering van pilots in (semi-) openbare ruimte met gemodificeerde voertuigen van buitenlandse leveranciers.

Wat betreft betrokkenheid in proeven/pilots geldt ook voor de telecomindustrie dat leveranciers (typisch via de mobiele netwerk operators) meer worden betrokken omdat in die tak nadrukkelijker wordt gekeken naar innovaties in mobiele netwerken (met name 5G en C-V2X) om ze beter geschikt te maken voor tijdkritische toepassingen en Automated Driving in het bijzonder. Ook voor hen is uiteraard terugkoppeling vanuit de praktijk essentieel. Concordia is een goed, zij het nog kleinschalig voorbeeld van een project waar dit aan de orde is. Ook bijvoorbeeld in Finland wordt in nationale R&D projecten o.l.v. VTT nauw samen gewerkt met Nokia.

De structurele betrokkenheid van de overheid op verschillende niveaus (typisch vanuit de verantwoordelijkheid als wegbeheerder) in de diverse pilots is ook vermeldenswaardig.

2.2.5.2 *Zijn er alleen 'friendly users' bij betrokken geweest of ook andere gebruikers?*

In de meeste van de beschouwde projecten zijn de pilots relatief kleinschalig (evengoed soms nog honderden deelnemers zoals bij C-Mobile) en worden daar deelnemers voor geworven. In die situatie kan gesproken worden over 'friendly users', personen die belangstelling hebben voor nieuwe ontwikkelingen en in het algemeen begrip kunnen opbrengen voor technisch-functionele onvolkomenheden in pilots.

Alleen bij Talking Traffic is – naast pilots met bèta-users - sprake van een niet besloten groep van deelnemers waarvoor een deel van de ITS-toepassingen beschikbaar zijn voor gebruik. Daar is eigenlijk sprake van uitrol van een ITS-informatiedienst voor weggebruikers.

De evaluaties met ITS-G5 zijn vaak (zeer) kleinschalig met 10-100 gebruikers gedurende een korte periode of met evaluaties direct na specifieke testritten. De evaluaties met diensten over cellulair met gebruik van een smartphone zijn gemakkelijker en sneller grootschaliger te organiseren (A58 Spookfiles, PPA, TT). Dat geldt dan voor toepassingen gericht op de gebruiker (via de smartphone). Bij automated driving (en daaraan gerelateerd zoals *remotely controlled driving*) kunnen cellulaire netwerken van belang zijn voor de connectiviteit maar is evengoed geen sprake van grootschaligheid door de zeer beperkte schaal waarop dergelijke voertuigen nog kunnen worden ingezet

2.2.5.3 *Wat zijn de Key Performance Indicators geweest waar de nadruk op is gelegd?*

Hier zijn zeer verschillende (soorten) antwoorden op gegeven wat een integrale beantwoording op deze plek bemoeilijkt.

Uit de verstrekte antwoorden zijn er enkele projecten met KPI's die vooral gericht zijn op gebruikers en op verkeerskundig effect (FREILOT, Compass4D, C-TheDifference). Een enkel project zit meer op technische KPI's t.a.v. communicatie (Concorda NB). Een relatie met erkende KPI's op Nederlands of Europees niveau is over de gehele breedte niet als evident naar voren gekomen.

2.2.5.4 *Wat zijn t.a.v. die KPI's de belangrijkste bevindingen?*

Ruim de helft van de projecten heeft hierop geen antwoord gegeven omdat het een lopend project betrof en men nog niet zover is. Van de projecten waar wel een antwoord van beschikbaar is, zijn verschillende antwoorden gegeven of wordt verwezen naar beschikbare evaluatierapporten voor de details. In die rapportages zijn niet of nauwelijks KPI's aangetroffen die rechtstreeks verband houden met connectiviteit.

2.2.5.5 *In hoeverre is tijdens de evaluatie gekeken naar schaalbaarheid, gebruikersacceptatie en impact op verkeer en vervoer?*

Dit is in scope van vrijwel ieder project, maar impact op verkeer en vervoer is in de praktijk lastig te toetsen door externe afhankelijkheden en de kleinschaligheid en

korte duur van de uitgevoerde pilots. In enkele projecten is dit gemitigeerd door de uitvoering van simulaties.

2.2.5.6 *Wat is er geleerd t.a.v. de complexiteit om in de samenwerking tot een volledige pilot te komen?*

In aanvulling op de punten die eerder al werden genoemd voor gezamenlijke ontwikkeling (incl. testen) zijn over de projecten heen de volgende leerpunten opgetekend:

- Organisatorische implementatie van veranderingen is zeer ingewikkeld i.v.m. cultuur-, gedrags- en communicatieaspecten. Daarbij speelt ook het grote verschil in karakter tussen private en publieke organisaties;
- Het is van belang om lokale partners te betrekken in de pilots;
- Het geheel van onderling verbonden (informatie)systemen is technisch complex waardoor het testen veel meer tijd en inspanning vergt dan vooraf wordt voorzien. Goede onderlinge communicatie is essentieel en extra uitdagend in een internationale context. Het gebruik van oplossingen om informatie te ontsluiten via directe communicatie door wegbeheerders (lees: RSUs langs wegkant) in plaats van via centrale dataaansluiting vergroot de complexiteit van de oplossing en de taken voor de organisatie, met een zwaardere rol van overheden/ wegbeheerders;
- Er zit ook veel ontwikkelingsinspanning in de verwerking van data in back-end systemen;
- Evaluaties zijn noodzakelijkerwijs beperkt qua schaal; daardoor lastig om verkeerskundige effecten (overtuigend) aan te tonen.

2.2.6 *Wat zijn de belangrijkste keuzes en lessen die van belang zijn voor het vervolg?*

In Bijlage B is een uitvoerig overzicht van specifieke punten die in de beantwoording zijn genoemd. Als we die punten enigszins abstraheren en ook filteren op het karakter van een aanbeveling, dan zijn dit de hoofdpunten (zie ook de volgende vraag):

- Interoperabiliteit op toepassing en informatieniveau is essentieel, vooral ook op Europees niveau. Hier ligt nog veel specificatie- en testwerk in het verschiep; Interoperabiliteit is in de praktijk breder dan uitwisseling van data, ook de fusie van data en bestaande services (zoals navigatie met SRTI) alsmede operationele processen van verkeersmanagement en verkeersinformatie,
- Hybride communicatie werkt en strekt tot aanbeveling, maar deelname van de automotive industrie is voor de directe communicatiecomponent cruciaal. Wel hebben beide opties (directe communicatie o.b.v. ITS-G5 en cellulair) nog specifieke verbeterpunten,
- ITS: gewoon gaan doen, met aandacht voor borging van resultaten, werkwijzen en procedures in organisaties. Er is wel een sterke afhankelijkheid van deelname en afstemming tussen wegbeheerders op regionaal en lokaal niveau. Hier is behoefte aan oplijnen van beleid en realisering op nationaal, regionaal en lokaal niveau,
- Betrokkenheid van de automotive industrie wordt essentieel en genereert ook nieuwe vragen/issues.

2.2.7 Welke overige vragen staan nog open en verdienen aandacht?

Er zijn een aantal vervolgactiviteiten en -vragen gemeld, echter weinig die specifiek te maken hebben met (directe) communicatie:

De vanuit de projecten voorgestelde vervolgacties (vooral gericht op borging van de relevantie van C-ITS en van oplossingen en inzichten) zijn:

- **Regionaal:** PPA/ Metropool Regio Amsterdam (MRA) onderzoekt mogelijkheden in een eigen Smart Mobility programma. De gemeente Amsterdam heeft een eigen beleid rondom mobiliteit.
- **Nationaal:** RWS pleit ervoor ITS-oplossingen mee te nemen met regulier onderhoud via het MIRT (bijv. A4) en Smart Mobility oplossingen niet langer te beschouwen als losstaande projecten, ook niet qua business case. Ga in de praktijk door met waar je al overeenstemming over hebt. Vanuit Talking Traffic wordt bepleit om door te gaan met uitrol van iVRI's om randvoorwaarde voor deelname autofabrikanten in te vullen;
- **Internationaal:** Versterk de kracht op Europees niveau, onder andere/bijvoorbeeld via C-ROADS. Hier nemen nu vertegenwoordigers van lidstaten aan deel, maar Nationale overheden en wegbeheerders kunnen en moeten niet zelf alle specificaties bepalen. Experts vanuit projecten en bedrijven gelieerd aan de verkeersindustrie nemen deel op voorspraak van individuele lidstaten, o.a. door concrete ervaringen van C-ITS-pilots (met autofabrikanten) in te brengen. De Europese Commissie heeft als taak om binnen C-ROADS de verkeersindustrie en de overheid samen te brengen. De automotive industrie is verenigd via meerdere organisaties (C2C CC, 5GAA, ACEA), de verkeersindustrie daarentegen is op Europees niveau niet georganiseerd maar vooral landelijk met in veel EU-landen één dominant bedrijf per land (met >80% marktaandeel). Meer algemeen: doe in Europa aan gezamenlijke besluitvorming met partijen die van invloed zijn en organiseer een goede, representatieve betrokkenheid vanuit Nederland.

Vervolg vragen:

- Wat is de impact van ITS op het totale verkeersbeeld?
- Hoe kom je tot deployment?
- Wat gaat de automotive industrie doen?
- Hoe gaan *safety critical* use cases zich verder ontwikkelen?
- Op welke plekken – in voertuigen en in de wegkantinfrastuctuur - heeft **directe communicatie** meerwaarde?
- Hoe gaat de invulling van rollen en verantwoordelijkheden in de ITS-keten vorm krijgen?
- Hoe moet het verder met datazeggenchap?
- Hoe kun je intelligente VRIs met (te) dynamische regelen combineren met bruikbare adviezen voor bijv. gebruikers van GLOSA?

2.3 Reflectie TNO op uitvraag

De uitvraag heeft een vrij breed inzicht opgeleverd ten aanzien van waar we nu met C-ITS staan in Nederland. Het beeld dat hieruit ontstaat is dat er in Nederland in tal van projecten in een zekere samenhang, buitengewoon veel werk is verzet om ITS-toepassingen te ontwikkelen en de meerwaarde daarvan niet alleen te demonstreren maar ook zo dicht mogelijk te komen bij het niveau waarop opschaling een reële vervolgstap is.

We zien ook dat vanuit een aantal specifieke projecten sterk wordt bijgedragen aan harmonisatie op Europees niveau. Er is wat betreft ITS-communicatie *grosso modo* aan beide opties (directe en netwerk-gebaseerde communicatie) evenveel aandacht geschonken en er is serieus ingezet op hybride communicatie. Uit de uitvraag is gebleken dat weliswaar qua connectiviteit niet alle issues zijn opgelost, maar dat de complexiteit - zowel technisch als organisatorisch - op een ander niveau zit, namelijk in het operationeel brengen van informatiediensten met voldoende kwaliteit en betrouwbaarheid in een keten met marktpartijen uit verschillende sectoren en met specifieke commerciële belangen en met publieke entiteiten met een bepaalde rol en rolopvatting. De kritische succesfactor voor ITS is het reduceren van deze complexiteit zodanig dat publieke en private partijen overtuigd raken van een positief maatschappelijk respectievelijk zakelijk perspectief, met helderheid over de eigen rol en verantwoordelijkheden. Nu er duidelijk groei is in het aantal automatische voertuigen en *connected cars*, neemt het belang van samenwerking met de automotive industrie voor C-ITS-toepassingen toe en is C-ITS nog veel sterker een internationale aangelegenheid dan het al was.

De uitvraag heeft geen scherp beeld opgeleverd ten aanzien van het specifieke nut en noodzaak van directe communicatie tegenover cellulair. In de beschouwde projecten waar ervaring is opgedaan met directe communicatie is dit veelal een uitgangspunt of afweging (bijv. onduidelijkheid over business model bij een cellulaire oplossing) is geweest. Er zijn weliswaar in de sector meningen over het waarom van directe communicatie, maar concrete, onderbouwde antwoorden zijn niet zozeer vanuit de projecten via deze uitvraag naar voren gekomen.

Tot voor kort is directe communicatie synoniem geweest met ITS-G5 en zijn de beelden ten aanzien van wat met directe communicatie wel en niet mogelijk is, vooral bepaald door de ervaringen die met ITS-G5 zijn opgedaan. C-V2X biedt technologisch een alternatief maar is nog dermate nieuw, dat de technologie nog niet breed beschikbaar is, laat staan dat daar praktijkervaring mee is opgedaan. Het feit dat de eerste LTE-V2X oplossingen nog geen *Mode 3* ondersteunen - waarmee onder controle van een mobiel netwerk het gebruik van radio resources efficiënter kan worden toegekend aan mobiele nodes / ITS station - maakt dat de huidige LTE-V2X producten op basis van *Mode 4* een directe substituut technologie is van ITS-G5, zonder de voordelen van controle via een netwerk. Dit lijkt mede ingegeven door de vereiste snelle introductie door leveranciers van LTE-V2X producten en niet opgeloste uitdagingen bij gebruik van *Mode 3* met meerdere mobiele netwerken, en de 'toekenning' van resources in één gezamenlijke ITS frequentieband.

Mede in het licht van ontwikkelingen in mobiele netwerken die gericht zijn op het benaderen van directe communicatie via verbeteringen in mobiele netwerken (zogenaamde *network assisted direct communications*) is de aan TNO gestelde onderzoeksvraag ten aanzien van de behoefte en de meerwaarde van directe communicatie beslist relevant maar op dit punt zeker nog niet verhelderd. In het volgende hoofdstuk wordt hier verder op ingegaan.

3 Blik vooruit

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk kijken we naar de toekomst. We bespreken de ontwikkeling in het mobiliteitsdomein naar 'Connected, Cooperative and Automated Mobility' (CCAM) met een focus op veiligheidskritische toepassingen en we bespreken hoe die ontwikkeling de eisen aan telecommunicatie beïnvloedt. De ontwikkeling richting slimmere geautomatiseerde motorvoertuigen is leidend maar juist daarom verandert er ook iets in de relatie met andere weggebruikers. Wijst de ontwikkeling naar CCAM, in weerwil van de universeel wordende rol van moderne mobiele communicatienetwerken, toch in de richting van een zinvolle inzet van directe communicatie? Daarvoor is het nuttig om eerst te kijken hoe in het kader van de digitale transformatie generieke ICT-infrastructuren zich aan het ontwikkelen zijn. Vanuit het mobiliteitsdomein kan dit als een externe autonome ontwikkeling worden gezien die ook relevant is voor CCAM-diensten en toepassingen. Een interessant technologisch onderdeel daarvan is 5G. Deze technologie belooft dat mobiele netwerken straks in staat zijn de communicatiebehoeften van bedrijfskritische toepassingen in diverse uiteenlopende sectoren/domeinen af te dekken, inclusief het mobiliteitsdomein. Nadat we begrijpen wat wel en niet kan worden verwacht van 5G, gaan we in op de vraag wat dan de (relatieve) meerwaarde is van directe communicatie.

3.2 Connected, Cooperative and Automated Mobility (CCAM)

3.2.1 Inleiding

De leidende trend in het mobiliteitsdomein is richting *Connected, Cooperative & Automated Mobility* (CCAM), dat wil zeggen naar een verregaande mate van automatisering van vervoersmiddelen, die verbonden zijn met de cloud en zich, mede dankzij telecommunicatiemogelijkheden in het verkeer intelligenter gaan gedragen in een uitgekiende combinatie van autonomie en coöperatie. Die trend die zich over een lange periode zal uitstrekken, gaat hand in hand met ontwikkelingen als elektrificatie van de aandrijving, gewijzigde inzichten in verkeersmanagement, nieuwe servicemodellen voor mobiliteit gericht aan de gebruiker/consument en last but not least verhoging van de veiligheid. Onze aandacht in dit rapport beperkt zich tot CCAM en we richten ons met name op gemotoriseerde voertuigen, maar ook in samenhang met andere (kwetsbare) weggebruikers zoals voetgangers en fietsers.

In de context van het gebruik van communicatie voor mobiliteit kan vandaag de dag onderscheid worden gemaakt tussen informerende, optimaliserende en waarschuwende toepassingen en diensten, die zich historisch gezien richten op personen in hun rol als bestuurder of in algemene zin als deelnemers aan het verkeer. De indeling is grof en biedt geen plek voor een toepassing als platooning. Deze en andere toepassingen waarbij sprake is van ingrijpen op operationeel niveau van het voertuig mede op basis van extern aangereikte informatie positioneren we omwille van de overzichtelijkheid bewust als toekomstige ontwikkeling die nauw samenhangt met CCAM. Andere indelingen zijn ook mogelijk naar gelang het aspect waar men naar kijkt, maar in de context van deze studie is het onderscheid tussen veiligheidskritische diensten/toepassen en die welke dat niet zien, relevant. Veiligheidskritisch wil hier zeggen dat een (tijdelijke) sterke reductie van de prestaties

en kwaliteit van de onderlinge communicatie (in enigerlei vorm) tussen verkeersdeelnemers c.q. tussen verkeersdeelnemers en wegkant een forse impact kan hebben in de zin van materiële schade of zelfs slachtoffers in het verkeer. Factoren die hier van grote invloed zijn, zijn actie- en reactiesnelheid, de beschikbaarheid en latency van een communicatiekanaal en de eenduidigheid en integriteit van de gedeelde/gedistribueerde informatie. De categorie van veiligheidskritische diensten en toepassingen is, althans in de Nederlandse context, wat ons betreft de 'sweet spot' in de discussie over de specifieke meerwaarde van directe communicatie. Veiligheidsverhogende toepassingen kunnen sowieso rekenen op de warme belangstelling in het publieke domein. Vooral de Europese Commissie timmert daarbij aan de weg met haar "Vision Zero" strategie (terug naar 0 ongelukken in het jaar 2050, met een interim reductie van 50% in de periode 2020-2030) en heeft de automobielsector uitgedaagd tot de implementatie van zogenaamde advanced safety features in voertuigen, ter bescherming van inzittenden en van andere weggebruikers. Ook van de wegkant wordt een bijdrage verwacht middels veiligheidsverhogende maatregelen. Deze beleidsdoelstelling die wordt geflankeerd met een vernieuwd wettelijk kader⁹ staat overigens niet haaks op de CCAM-ontwikkeling maar speelt daar juist op in en biedt uitzicht op een implementatie roadmap voor de komende jaren. We mogen dus verwachten dat de categorie veiligheidskritische use cases goed zal zijn vertegenwoordigd in het totale scala.

Voor diensten/toepassingen gericht op gemak, efficiëntie en verkeersoptimalisatie met een niet tijdkritisch karakter is in de Nederlandse context wel aannemelijk te maken dat die via de generieke ICT-infrastructuren (cellulaire netwerken, Internet) succesvol kunnen worden gerealiseerd en benut. Het informeren van een voertuig over 'slow vehicles ahead' is bijvoorbeeld minder een veiligheidskritische toepassing¹⁰ als wel een die het rijcomfort kan verhogen omdat de snelheid tijdig geleidelijk kan worden aangepast. De beschikbaarheid van communicatiediensten via cellulaire netwerken is al op hoog niveau en zal verder verbeteren door marktwerking en door de uitwerking van beleidsambities van het Kabinet zoals verwoord in de meest recente Nota Mobiele communicatie¹¹.

De introductie van automatisering van vervoersmiddelen in het verkeer komt er voor wat betreft auto's, vrachtwagens etc. op neer dat de rol van de bestuurder wordt verlicht en op termijn uit het voertuig kan verdwijnen (denk ook aan remotely controlled voertuigen), door steeds meer rijtaken te gaan automatiseren. Wat we nu al zien is dat er systemen zijn die de bestuurder corrigeren bij risicovol gedrag (detectie van slaperig gedrag, automatische rembekrachtiging, stuurcorrectie bij gevaarlijk stuurgedrag). Het voertuig zal uiteindelijk steeds meer de taken (kunnen) overnemen van perceptie, interpretatie, besluitvorming en actie die tot voor kort volledig door de mens werden uitgevoerd. Breder bekeken zien we een virtualisering ontstaan van volledige fysieke verkeerssituaties, die tal van kunstmatig-intelligente interacties triggeren tussen de entiteiten in die situaties, interacties die tot voor kort niet mogelijk waren.

⁹ Gedoeld op revisie van General Safety Regulation (GSR) en Pedestrian Safety Regulation (PSR)

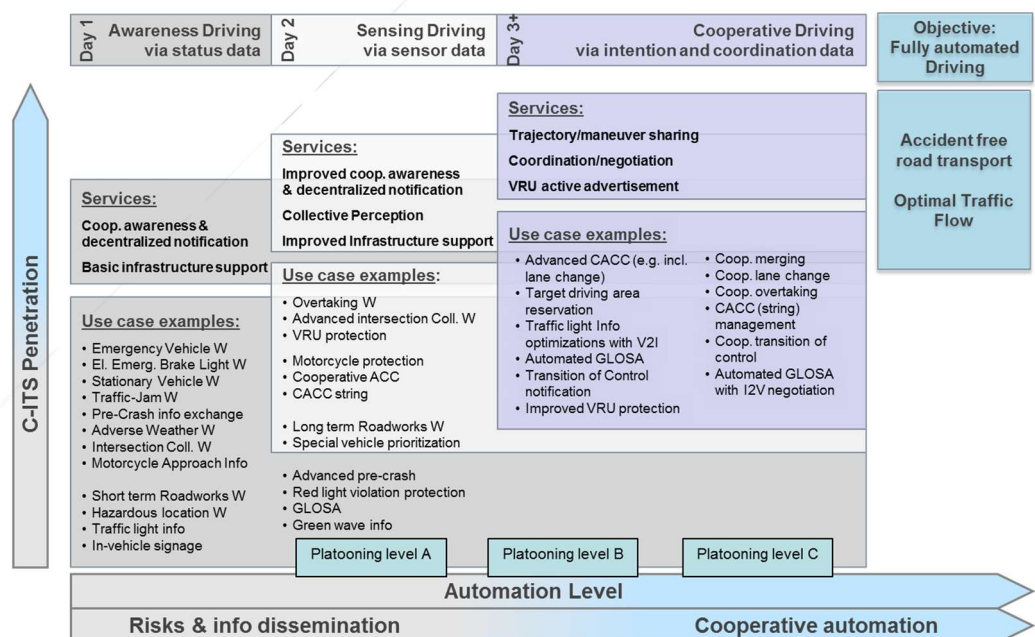
¹⁰ Rijcomfort bij ADAS en bij geautomatiseerde voertuigen (SAE≥3 kan een belangrijke commerciële drager blijken).

¹¹ Bron: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, *Nota Mobiele Communicatie*, Juni 2019

3.2.2 Toekomstige ontwikkeling van use cases onder invloed van automatisering

Dit resulteert in een nieuwe en grotere set van toekomstig relevante use cases¹² waar de rollen van alle entiteiten (driehoek van menselijk gedrag, voertuigsystemen en omgeving, waaronder de inrichting van de wegkant) en hun onderlinge interacties (gewenst en ongewenst) opnieuw tegen het licht aangehouden zijn, wat ook resulteert in een nieuwe indeling tussen wel en niet veiligheidskritisch, al was het maar omdat het gedrag van geautomatiseerde voertuigen anders zal zijn dan van conventionele voertuigen. De co-existentie van geautomatiseerde voertuigen met conventionele voertuigen komt om de hoek kijken en er zijn ook consequenties voor de wijze waarop de veiligheid van kwetsbare weggebruikers moet worden geborgd. Het is een gegeven dat op grond van functional safety eisen die geautomatiseerd rijden met zich meebrengt, de telecommunicatie-eisen zwaarder zijn in termen van beschikbaarheid van capaciteit, en garanties over toegelaten vertragingstijd. Hier komen we later uitvoerder op terug.

Onderstaand is een figuur opgenomen die door het C2C CC is gepubliceerd waarin een niet limitatieve roadmap van use cases is geïllustreerd.



Figuur 1: C-ITS Roadmap as seen by the C2C Communication Consortium

In dit overzicht van use cases is van links naar rechts sprake van een toenemende mate van automatisering, uiteindelijk resulterend in volledig automatische mobiliteit. In het kort komen de achtereenvolgende fasen hierop neer¹³:

Day 1 (Awareness driving based on status data): voertuigen wisselen onderling en met de infrastructuur (periodieke) statusinformatie uit en event getriggerde informatie. Ook worden vanuit de infrastructuur voertuigen voorzien van

¹² Zie daarvoor de gepubliceerde overzichten van use cases van 3GPP, Car2Car CC en 5GAA

¹³ Bron: Car 2 Car Consortium, *Guidance for Day 2 and beyond roadmap (draft)*, August 2019

statusinformatie. Een reeks van inmiddels bekende C-ITS use cases valt onder deze categorie zoals Road Works Warning, Traffic Jam Ahead, In Vehicle Signage en GLOSA.

Day 2 (Sensing driving based on sensor data): Day-2 use cases komen deels neer op verbeterde versies van Day 1 use cases, met bijvoorbeeld complexere c.q. dynamische topologie van wegen en met meer nauwkeurige situatie informatie die met sensoren is verkregen. Echt nieuwe use cases worden mogelijk door een nieuw concept genaamd Collaborative Perception waarbij voertuigen niet alleen hun eigen toestand uitsenden maar ook hun omgevingsbeeld zoals dit m.b.v. eigen sensoren is opgebouwd. Voorbeelden van use cases zijn Cooperative Merging en Cooperative Overtaking. Het kan hier uiteraard ook om wegkantsystemen gaan die lokaal en real-time dit beeld opbouwen en uitsenden.

Day 3 (Cooperative driving based on intention and coordination data): Hier wordt weer een extra dimensie toegevoegd namelijk dat voertuigen in staat zullen zijn elkaar te informeren over hun voorgenomen doelstellingen en manoeuvres en daarover onderling onderhandelen. Enkele voorbeelden daarvan zijn Cooperative Lane Change (planning, preparatie en executie van een rijstrookwijziging van 1 voertuig of een groep voertuigen) en begeleiding van automatische voertuigen op wegen met meerdere rijstroken of die een kruispunt naderen, waarvoor onderlinge coördinatie nodig is, c.q. begeleiding vanuit de Infrastructuur.

Het overzicht bevat diverse use cases die betrekking hebben op het beschermen van kwetsbare weggebruikers. Dat is altijd wel een specifiek aandachtspunt in C-ITS is geweest, maar blijft wel achter in ontwikkeling en testen van specificaties, terwijl het juist verder aan belang toeneemt wanneer gemotoriseerde voertuigen in hoge mate worden geautomatiseerd. Merk op dat verder naar rechts de veronderstelling is opgenomen dat de ontwikkeling naar meer geavanceerde use cases ook gepaard gaat met een hogere penetratiegraad van C-ITS.

Gremia als 3GPP, C2C CC, 5GAA en ETSI buitelen over elkaar heen met overzichten van toekomstige use cases, waarbij soms bepaalde accenten worden gelegd om het belang van bepaalde technologie beter onder de aandacht te brengen. Use cases voorbij Day-1 zijn daarbij nog maar matig of geheel niet uitgewerkt en gespecificeerd. Toch zijn dat juist vanuit CCAM-optiek de interessante gevallen omdat de noodzaak c.q. meerwaarde van directe communicatie zich opdringt. Een gehele use cases analyse inclusief articulatie van use cases gaat buiten de scope van dit onderzoek. Echter een aantal voorbeelden van use cases met een veiligheidskritisch karakter is geselecteerd en in een bijlage opgenomen met voor deze studie relevante kenmerken. Belangrijk is op te merken dat er geen sprake is van een rechtstreekse afleiding van de connectiviteitseisen omdat dit ook sterk afhangt van de implementatie van de use case functionaliteit.

Zoals gezegd zal deze transitie beslist een flinke periode beslaan en het tempo vooral worden bepaald door de automobielfabrikanten, maar voor de overheid is het zaak hierop te anticiperen om tijdig die sterk internationaal gedreven ontwikkeling binnenslands in goede banen te leiden en de potentiële voordelen te benutten op het gebied van verkeersmanagement en veiligheid. Recentelijk is een indrukwekkend

Fins rapport gepubliceerd over een breed scala van implicaties en aandachtspunten bij de introductie van geautomatiseerd vervoer¹⁴.

Een holistische blik op die CCAM- ontwikkeling is belangrijk omdat die bekeken vanuit een technisch-functioneel perspectief niet op zichzelf staat maar ook deel uitmaakt van een maatschappelijk brede en sterk door ICT-technologie gedreven digitale transformatie en veel facetten omvat. Het is zinvol om in relatie tot de Europese ambities rond CCAM de oprichting deze zomer van het CCAM Single Platform te noemen als initiatief van een viertal DG's binnen de EC¹⁵. Het heet een informeel platform te zijn met een looptijd van 3 jaar en dat uit een zestal werkgroepen zal bestaan die bemensd zullen worden door ca. 100 experts :

1. WG1: Develop an EU agenda for testing
2. WG2: Coordination and cooperation of Research and Innovation
3. WG3: Physical and Digital Road Infrastructure
4. WG4: Road Safety
5. WG5: Cyber security and access to in-vehicle data linked to CCAM
6. WG6: Connectivity and Digital Infrastructure for CCAM

Dit initiatief steunt deels op het in 2018 met EC-subsidie gestarte ARCADE project¹⁶. ARCADE is een zogenaamde Coordination and Support Action met eveneens een looptijd van 3 jaar dat tot doel heeft om binnen Europa de deployment van technologieën voor Connected Automated Driving op een geharmoniseerde en gecoördineerde wijze plaats te laten vinden. Wat opvalt is dat de telecomindustrie niet is vertegenwoordigd in dit consortium. Nederland neemt deel aan deze CSA via MinlenW.

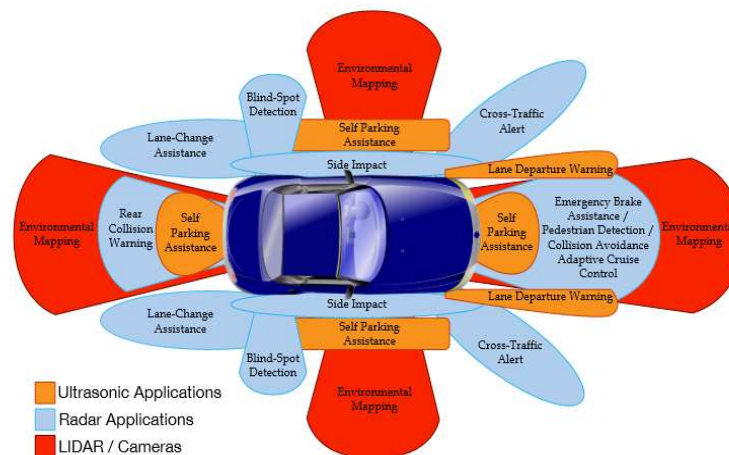
3.2.3 *Gebruik van externe informatie door voertuigen; virtuele sensoren*

Vanuit het perspectief van motorvoertuigen biedt externe informatievoorziening het voertuig additionele 'virtuele sensoren' voor 'beyond line of sight', d.w.z. dat informatie wordt verschaft over andere weggebruikers, bijvoorbeeld acceleratie, richtingsverandering, positie, snelheid, etc., en van wehkantsystemen, bijvoorbeeld actuele status van verkeerslichten, en afgeleide informatie zoals snelheidsadviezen o.b.v. dynamische cyclus VRI's. Veel informatie kan ook via de onboard sensoren worden binnengehaald. Hieronder is ter illustratie een voorbeeld weergegeven van de sensoruitrusting en daarmee geassocieerde applicaties van een volledig geautomatiseerd voertuig.

¹⁴ Bron: Kulmala et al, *The impact of automated transport on the role, operations and costs of road operators and authorities in Finland*, Traficom, EU-EIP Activity 4.2, Facilitating automated driving, June 2019.

¹⁵ Bron: <https://connectedautomateddriving.eu/mediaroom/european-commission-launches-ccam-single-platform/>

¹⁶ Bron: <https://connectedautomateddriving.eu/arcade-project/>



Figuur 2: Mogelijke Sensorsuite en daarmee geassocieerde applicaties in een volledig geautomatiseerd voertuig¹⁷

Deze sensoren hebben een eigen werkingsgebied en geven samen nog geen volledig beeld van de rijtsituatie onder alle omstandigheden. Een camera kan bijvoorbeeld verblind worden door de zon, een algoritme voor beeldherkenning kan verkeerde zaken herkennen (bijvoorbeeld maximum snelheidsbord op een vrachtwagen of een reclamebord in plaats van een verkeersbord langs de weg). Tevens is het verkregen omgevingsbeeld (3D) uitsluitend verkregen vanuit het eigen perspectief van het voertuig zelf. Verder is het lastig om 'door voertuigen heen' te kijken en om oogcontact met bijvoorbeeld bestuurders te hebben. V2X is daarom een welkome additionele sensor om daarmee het eigen wereldbeeld robuuster en completer te maken. V2X kan vanuit automotive optiek pas als volwaardige 'externe sensor' onderdeel uitmaken van het functional safety concept¹⁸ van het voertuig wanneer over de V2X sensor (een systeem dat zich uitstrekt naar systemen buiten het voertuig) metadata kan worden verstrekt die in de functional safety analyses kan worden meegenomen. Dit is een onderwerp voor verdere standaardisatie¹⁹. Een use case waarin V2X wel onderdeel uitmaakt van het functional safety ontwerp van een voertuig is (single brand) platooning.

3.2.4 Enkele implementatie-aspecten van geautomatiseerde voertuigen

Het fysieke voertuig kan niet als één homogeen systeem worden gezien, maar als een samenstel van functionele groepen van systemen (automotive, maintenance, infotainment, etc.), waarvoor zeer verschillende toepassingen en ICT-functionaliteiten aan de orde zijn, zowel aan boord als daarbuiten. Functionele decompositie/compartimentering is zeker in veiligheidskritische systemen is essentieel om de complexiteit en de testbaarheid van het totale systeem beheersbaar te houden. De informatie-uitwisseling van het voertuig met de buitenwereld voor

¹⁷ Bron: I. Mavromatis, *5G Communication Framework for Smarter Autonomous Vehicles*, Dissertation at the University of Bristol, October 2018

¹⁸ Zoals gedefinieerd in ISO 26262

¹⁹ Bron: H. Eriksson, A. Soderberg, *Remote Sensing and Functional Safety in ITS*, 12th ITS European Congress, June 2017

automotive doeleinden moet onafhankelijk kunnen functioneren van communicatie voor andere toepassingen om aan de strenge integriteitseisen te kunnen voldoen (bijvoorbeeld ook aan de orde bij de afhankelijkheid van GNSS bij de toelating van automatische voertuigen). Dat wil bijvoorbeeld zeggen dat multimedia-toepassingen op geen enkele manier het transport en de verwerking van sensor- en regelsignalen mag beïnvloeden. Ook hier vindt innovatie plaats bij het kijken hoe die scheiding kan worden bereikt zonder dat daarvoor volledige ICT-infrastructuren aan boord moeten worden gedupliceerd. Het voertuig als geheel zal naar verwachting gaan beschikken over verschillende draadloze interfaces (waaronder V2X-communicatie als aparte interface naast bijvoorbeeld een 4G-connectie voor andere doeleinden) en over een of meerdere netwerk gateways, afhankelijk van ontwerpkeuzes en de ontwikkeling daarin. De toepassing van meerdere gateways maakt dat ieder domein in het voertuig een eigen toegangspoort krijgt naar het externe netwerk (waarmee bijvoorbeeld wordt voorkomen dat een probleem in het ene domein direct ook van invloed is op een ander).

Daarnaast is een leidende filosofie dat er op het operationele voertuigniveau wel sprake mag zijn van *benutting* van externe informatie in de operationele functies maar niet van *afhankelijkheid* van en van *kwetsbaarheid* voor die informatie, wat wil zeggen dat de noodzakelijke informatie via de eigen gecertificeerde technologie (sensoren, processors, software, etc.) moet kunnen worden verkregen en dat externe (malicieuze) data geen vat kan krijgen op het gedrag van de auto. Op tactisch niveau (koersplanning) is die eis duidelijk milder maar moeten er mogelijkheden zijn om de betrouwbaarheid van de informatie en van de bron te valideren c.q. te beoordelen, te wegen. Op strategisch niveau (navigatie) zijn die eisen nog milder. Aldus wordt V2X als virtuele sensor, *mits goed geconditioneerd en ingebed*, in de automobiel wereld als potentiële added value gezien.

Complexe technieken als datafusie en kunstmatige intelligentie zullen specifiek, gedoseerd en afgebakend in voertuigen worden toegepast. Wat betreft externe informatiesystemen moet het voertuig in staat zijn het 'trustlevel' van de informatie vast te stellen, informatie die afkomstig kan zijn van verschillende bronnen (zoals backend servers van de OEM, andere authenticerbare ITS-systemen (voertuigen en wegkantssystemen), ITS Service providers en algemeen toegankelijke informatiediensten op het web). Belangrijke parameters die het trustlevel bepalen zijn kennis over de integriteit van de informatie, de afzender van de informatie en het tijdstip van verzending. Het is duidelijk dat automatische voertuigen in de (nabije) toekomst meer gebruik gaan maken van externe informatie, en ook dat externe informatie daarvoor onvoldoende juist, betrouwbaar en beschikbaar kan zijn. Het functional safety concept van een voertuig moet daarmee om kunnen gaan. Een volledig geautomatiseerd voertuig moet een besluit kunnen nemen op basis van de gefuseerde informatie van alle eigen sensoren en de gewogen externe informatie. Dit vergt perceptie- en beslissingsalgorithmen, die de 'perfecte' afweging maken, wat uiteraard dé uitdaging is. De zeer hoge veiligheidseisen compliceren derhalve de ontwikkeling naar volledig geautomatiseerde voertuigen omdat de state-of-the-art rond datafusie en kunstmatige intelligentie weliswaar snel voortschrijdt maar we nog ver verwijderd zijn van het moment waarop kan worden bewezen dat een bepaald slim systeem zich intrinsiek veilig kan gedragen, onder alle denkbare omstandigheden. Een dergelijke benadering lijkt specifiek te slaan op alleen de automobiellindustrie maar die geldt in zekere mate ook voor veiligheidskritische wegkantssystemen.

Kwaliteit en betrouwbaarheid van informatie wordt belangrijker bij een verschuiving van i) use cases van informeren van bestuurder (awareness), naar ii) use cases met gebruik van externe informatie voor verificatie (correctie van de bestuurder), naar iii) automatisch rijden. Deze laatste categorie vereist hogere nauwkeurigheid van locatie-informatie (minimaal op rijstrook) en tijd (seconden) bij 'events', gekoppeld aan *functional safety* ontwerp van veiligheidssystemen in voertuigen. Aldus is de verwachting dat er bij toekomstig geautomatiseerde voertuigen hoe dan ook sprake gaat zijn van een enorme vraag naar hoogwaardige informatie, van interne dan wel externe afkomst. Tevens zal er een verschuiving optreden van passieve naar actieve veiligheidssystemen. Dit is een niet te overschatten inspanning op het vlak van standaardisatie i.v.m. semantiek en interpretatie van de informatie. Daarnaast moet van meet af aan rekening gehouden worden met *end-to-end assurance*, wat welhaast neerkomt op een verlengstuk van het functional safety concept van voertuigen, naar informatiesystemen buiten die voertuigen.

3.2.5 V2X implicaties van Collaborative Perception

Bij collaborative perception gaat het om het delen van het eigen wereldmodel met dat van andere voertuigen zodanig dat het wereldbeeld van de afzonderlijke voertuigen wordt verbeterd. De meerwaarde zit daarbij in de redundantie als juist ook in het completer maken van het (2D-3D) wereldbeeld omdat ieder voertuig de wereld ziet vanuit het eigen perspectief en dat is afhankelijk van de beschouwde use case onvolledig. De telecommunicatie-eisen die uit het delen voortvloeien hangen sterk af van het soort informatie dat wordt uitgewisseld en dat is ook weer sterk implementatie-afhankelijk. De onderlinge uitwisseling van ruwe sensordata zoals camerabeelden is bijzonder bandbreedte intensief. Functioneel is het zeer de vraag of dat ook nodig is. Immers de sensordata kan ook aan boord eerst worden verwerkt en vertaald naar geparameteriseerde objectdata, om die vervolgens uit te wisselen. Daarmee wordt een forse datareductie bereikt. Het C2C CC zit op deze lijn met de Collaborative Perception Message, dat niet bedoeld is om videostreams over te zetten maar gedetailleerde object data. De verwerking van ruwe sensor data kost weliswaar computing resources en energie en introduceert een zekere delay, maar een voertuig uitgerust met een volledig sensorsuite zal hier sowieso op gedimensioneerd zijn, teneinde het eigen wereldbeeld op te bouwen. Dan is de verspreiding van die objectdata nog slechts een beperkte stap.

Bij de opstelling van eisen voor enhanced V2X door 3GPP (i.s.m. 5GAA) is rekening gehouden met de mogelijkheid dat voertuigen wel degelijk ruwe sensor data uitwisselen, bijvoorbeeld als onderdeel van een collision avoidance applicatie²⁰. Wij kunnen ons echter niet voorstellen dat dit in diverse use cases een normale praktijk zal zijn. Alleen in zeer specifieke toepassingen kan dat wellicht een belangrijke meerwaarde bieden zoals bijvoorbeeld de "See through for Pass Manoeuvre". Dit is echter geen use case die voortkomt uit automatisering van het voertuig, maar is een op de bestuurder gerichte toepassing. Immers wordt hem/haar een visueel beeld aangeboden dat overeenkomt met wat de voorganger frontaal ziet. Dit is dus een specifieke use case die niet model staat voor de wijze waarop toekomstige voertuigen hun wereldbeeld gaan uitwisselen en daarnaar gaan handelen.

²⁰ Bron: M. Boban et al., *Use Cases, Requirements and Design Considerations for 5G V2X, 5GAA*, December 2017

3.2.6 Consequenties geautomatiseerd rijden voor eisen aan V2X communicatie

De automatisering van voertuigen zoals hiervoor nader toegelicht heeft een aantal consequenties voor de eisen aan V2X-communicatie:

- *Omvang van berichten* neemt toe door opname van extra informatievelden (zoals voorgenomen traject data, omgevingsinformatie op niveau van objectbeschrijvingen) en hogere resolutie van informatie (bijvoorbeeld posities²¹). Dit betreft niet de doorgifte van sensordata. Hier gaan we apart op in.
- Toename van de *herhalingsfrequentie van berichten* bij specifieke use case, vanwege de eis om in veiligheidskritische scenario's (lees op korte afstanden) berichten met kortere tijdsintervallen te versturen om tot een actueler omgevingsbeeld te komen.
- Hogere eis aan tijdigheid van informatie en daaruit volgend eisen aan *maximale latencies* doordat externe informatie steeds vaker deel uitmaakt van automatische systemen van voertuigen (zonder tussenkomst van bestuurder) die zich kenmerken door gesloten regelsystemen met acties met korte tijdconstanten. Voor een zinvolle benutting van die informatie en ter voorkoming van destabilisering van de systemen, moet dit worden doorvertaald naar de *latency* eis die aan de externe informatie wordt gesteld. Daarnaast is tijdigheid van actie van het voertuig überhaupt van belang uit oogpunt van comfort van inzittenden.
- Met de trend naar coöperatief gedrag van voertuigen ontstaat een noodzaak tot *onderhandeling*, dat zich kenmerkt door een korte maar intensieve interactie tussen bepaalde voertuigen totdat afstemming heeft plaats gevonden. Afhankelijk van de use case is dit een tijdkritisch proces hetgeen een extra druk legt op *latencies* in die communicatie en op de capaciteit van het beschikbare radiokanaal (vooral op drukke punten).
- Hogere eisen aan de betrouwbaarheid van ontvangst van datapakketten. Hiermee wordt bedoeld dat de tolerantie voor incomplete datapakketten door transmissiefouten op applicatieniveau kleiner wordt. Bij delay tolerante communicatie is hertransmissie van datapakketten de remedie, maar niet wanneer end-to-end *latency* kritisch is omdat hertransmissie voor extra vertraging zorgt.

De trend richting volledig automatische voertuigen maakt dat de behoefte aan interactie tussen voertuigen en met andere weggebruikers sterk zal gaan toenemen. Het aantal use cases met een veiligheidskritisch karakter wordt groter. Het is dus logisch dat de belangstelling van de automobiellindustrie voor V2V-communicatie ook een sterke impuls heeft gekregen. Bovendien wordt die interactie ook veel informatie-intensiever dan bij de oorspronkelijke definitie van C-ITS use case ca. 10 jaar geleden de aanname is geweest.

De eerste voorkeur bij tal van use cases waar een vorm van onderlinge informatie-uitwisseling nodig is, gaat uit naar directe V2V-communicatie. De rol van de wegkant (in letterlijke dan wel ruime zin²²) blijft van belang, en zeker gedurende de (lange) hybride periode waarin geautomatiseerde en conventionele voertuigen samen voorkomen:

²¹ Accurate lokatiebepaling is buitengewoon relevant voor CCAM maar wordt in dit rapport niet nader uitgewerkt..

²² Onder 'wegkant in ruime zin' wordt de cloud bedoeld.

- Met intelligente camera's aan de wegwijk kan informatie worden vergaard over conventionele (niet-connected) voertuigen om als aanvulling in de nieuwe services te gebruiken. Afwijkende gedragingen van verkeersdeelnemers of het ontstaan van bijzondere situaties kunnen worden geregistreerd en genotificeerd.
- In diverse complexe lokale situaties waarbij verkeer met ongelijksoortige of tegengestelde intenties bij elkaar komt, zal een vorm van centrale verkeersbegeleiding (maar met lokale scope) van belang worden, waarbij een centrale entiteit gebruikers in die situatie voorschrijft hoe zij zich dienen te gedragen om veilig en efficiënt die situatie weer te kunnen passeren/verlaten. Praktisch gesproken hebben we het dan over kruispunten en rotondes, zowel binnen steden, alsook daarbuiten. Het gebruik van hoge resolutie 3D camerabeelden is daarbij van belang voor een nauwkeurige object/subject tracking²³.
- Wegkantsystemen kunnen lokaal op radiotransmissieniveau ondersteunen in de onderlinge uitwisseling tussen automatische voertuigen van omgevingsinformatie. Tot het moment dat de penetratiegraad van automatische voertuigen hoog is, zullen er in de praktijk tal van situaties zijn dat het V2V-bereik onvoldoende is om effectief te communiceren met andere automatische voertuigen, terwijl een dergelijke onderlinge communicatie al wel meerwaarde biedt. Toekomstige mobiele netwerken kunnen die relaisfunctie mogelijk (ook) gaan bieden.
- Via een cloud service met hoogwaardige floating car data²⁴ kunnen automatische voertuigen, in combinatie met de eigen sensoren, en die van andere automatische voertuigen in de omgeving aangereikte informatie een voldoende compleet en nauwkeurig wereldbeeld opbouwen.
- Via een cloud service kunnen updates van High Definition kaarten of PKI-certificaten worden gedistribueerd.

Hybride communicatie staat de laatste jaren sterk in de belangstelling en met de introductie van geautomatiseerd rijden is de vraag wat dat betekent voor het belang van de hybride-communicatie-benadering. Is hybride communicatie nuttig (nice to have) of noodzakelijk (need-to-have) en in hoeverre is voor de realisatie van hybride communicatie directe communicatie noodzakelijk of zijn daar alternatieven voor?

We hebben zojuist beredeneerd dat de eisen aan telecommunicatie sterk worden opgeschroefd met de ontwikkeling naar volledig geautomatiseerd rijden. Als we ons specifiek richten op de groep van veiligheidskritische use cases, dan is de belangrijkste meerwaarde van hybride de bijzonder sterke toename van de beschikbaarheid van de connectiviteit, afhankelijk van de verbindingsskwaliteit van de onderliggende connectiviteitsopties. Die meerwaarde is bij uitstek het geval wanneer meerdere van elkaar onafhankelijke opties beschikbaar zijn. Die toename is puur een kwestie van kansrekening. De kans dat communicatiepad A uitvalt bedraagt p_A , voor communicatiepad B is dat p_B . ($p_A < 1$, $p_B < 1$). Als communicatiepaden A en B parallel beschikbaar zijn, dan is de kans dat ze beide gelijktijdig uitvallen gelijk aan $p_A \times p_B$. Als we beide kanswaarden op 0,01 zetten dan is het product gelijk aan 0,0001. De kans op onbeschikbaarheid in de gecombineerde situatie is dus in dit voorbeeldje met een factor 100 afgenomen! Het is wel van belang hierbij op te merken dat op het

²³ Het gaat hier om een privacy-bestendig gebruik van camerabeelden.

²⁴ Floating car data faciliteert de detectie van legacy voertuigen. De eisen aan de kwaliteit van die data zijn echter hoog.

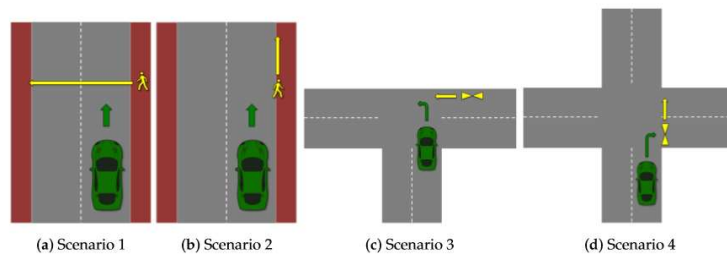
punt waar twee parallelle datapaden bij elkaar komen, er functionaliteit beschikbaar moet zijn die daarmee kan omgaan. Tevens mag deze dubbele ophanging niet op informatieniveau leiden tot juist vergroting van onzekerheid over de informatie.

Een hybride oplossing zou eruit kunnen bestaan dat directe V2V/V2I-communicatie wordt gecombineerd met een door een mobiele netwerk operator gefaciliteerde V2N-verbinding die uitkomt op een lokale V2X-server. Er zou goed gekeken moeten worden waar een dergelijke oplossing meerwaarde biedt in verhouding tot de extra kosten. Ook zou gekeken moeten worden hoe dit opweegt tegenover oplossingen waarbij gebruik gemaakt wordt van de aanwezigheid in Nederland van meerdere mobiele netwerken, waarbij de vraag is in hoeverre die netwerken onderling technisch onafhankelijk zijn en of national roaming kan worden toegelaten om afhankelijk van omstandigheden van netwerk te kunnen veranderen. Ook kan aan een constructie worden gedacht met een derde partij als MVNO²⁵, met roaming contracten met Nederlandse operators.

3.2.7 *Kwetsbare weggebruikers (Vulnerable Road Users)*

Wat betreft ITS-ondersteuning gaat de aandacht vooral uit naar het voorkomen van botsingen waarin kwetsbare weggebruikers (motorrijders, fietsers en voetgangers) ten opzichte van zwaarder gemotoriseerd verkeer duidelijk groter risico's lopen. De wetenschappelijke en technologische uitdaging is om toepassingen te realiseren die in zeer hoge mate betrouwbaar zijn wat betreft het correct en tijdig detecteren van een potentieel gevaarlijke situatie. Daarbij is een minimale kans op vals alarm ook essentieel. Immers als naar de mening van verkeersdeelnemers de toepassing te vaak onnodig waarschuwt voor gevaar, dan zal men geneigd zijn de toepassing te negeren of af te schakelen. Dat laatste is zeker het geval bij toepassingen waarbij ook automatisch in het voertuig wordt ingegrepen wat behalve ergernis ook andere onveilige situaties kan genereren. Bij de introductie van geautomatiseerd rijden (incl ADAS) wordt betrouwbare VRU detectie/protectie een prangender vraagstuk. Immers wordt dan sterk geleund op het vermogen van het voertuig om automatisch correct en tijdig te detecteren en vervolgens te acteren. Verder is een belangrijke voorwaarde voor een succesvolle toepassing de mogelijkheid een nauwkeurige inschatting te maken van de relatieve afstand tussen voertuig en subject en hoe die in de tijd verandert (naderingssnelheid).

²⁵ MVNO: Mobiele Virtuele Netwerk Operator



Figuur3: Veel voorkomende risicoscenario's voor kwetsbare weggebruikers²⁶. Scenario's 1 en 2 met voetgangers; scenario's 3 en 4 met tweewielers

Hierboven is afgebeeld wat veel voorkomende risicoscenario's zijn in het verkeer - internationaal gezien, maar bij uitstek ook geldig voor Nederland met veel stedelijk gebied en gemengd verkeer. Risico en impact hangen sterk af van scenariokenmerken. Door een recent onder ETSI geïnstalleerde Specialist Task Force STF 565 zijn een groot aantal relevante VRU use cases gecatalogiseerd en beschreven²⁷, die voor een belangrijk deel zijn ontleend aan het Europese FP7 project VRUITS. Motivatie voor de oprichting van STF565 is dat kwetsbare weggebruikers nog geen deel uit van de ETSI-standaarden voor C-ITS, die een voertuig-centrische insteek hebben. STF565 gaat de komende tijd aanvullende specificaties²⁸ ontwikkelen op basis van de lijst van use cases. Die zijn onlangs afgerond en er wordt nu een begin gemaakt met de eisen en functionele architectuur.

Onder andere uit recent literatuuronderzoek uitgevoerd door Sewalkar en Seitz is gebleken dat er al diverse veiligheidstoepassingen ontwikkeld zijn die tot doel hebben om tijdig een dreigende situatie van een botsing waarin een VRU is betrokken, te herkennen en daarvoor te waarschuwen. Veruit de meeste aandacht gaat daarbij vanwege de statistische relevantie uit naar Vehicle-to-Person scenario's (oplossingen aangeduid met V2P toepassingen), maar ook is ervaring opgedaan met oplossingen voor (gemotoriseerde) tweewielers. Het genoemde onderzoek heeft 34 referentiesituaties beschreven.

Verschillende oplossingen zijn ontwikkeld waarvan een onbekend aantal ook in de (regionale) markt schijnt te zijn geïntroduceerd. Van standaardisatie van oplossingen is nog niet echt sprake. De innovatie schrijdt uiteraard ook hier voort, met specifieke aandacht voor intelligente detectietechnieken en datafusie. Oplossingen onderscheiden zich onderling ten aanzien van:

- hoe detectie, tracking en beoordeling van de situatie plaatsvindt;
- er sprake is van actieve of passieve participatie van de VRU;
- hoe de opvolging geschiedt (waarschuwing/signalering, automatisch ingrijpen in de auto die de dreiging vormt);
- welke communicatietechniek wordt gebruikt en of daarbij sprake is van directe of netwerk-gebaseerde communicatie;

²⁶ Bron: P. Sewalkar, Jochen Seitz, *Vehicle to Pedestrian communication for Vulnerable Road Users*, Survey, Design Considerations, and Challenges, Sensors, December 2018

²⁷ Bron: ETSI, *Intelligent Transport System (ITS); Vulnerable Road Users (VRU) awareness; Part 1: Use Cases definition*, TS 103 300-1, July 2019

²⁸ Betreft de reeks TR 103 300-x

- welke devices deel uitmaken van de toepassing als geheel;
- en de mate van betrouwbaarheid, schaalbaarheid en privacy borging van de oplossing.



Figuur 4: Techniek van VRU-detectie in het kader van waarschuwingstoepassingen²⁹

De meest logische variant om mee te beginnen is waarbij de detectie van kwetsbare gebruikers (VRU's) plaatsvindt en de vervolgactie volledig bij het voertuig liggen, dus waarbij aan de VRU geen enkele eis wordt gesteld. Daar richt de automobiellindustrie zich al enige tijd op door toepassing van intelligente sensoren (in verschillende frequentiegebieden) die in staat zijn op basis van patroonherkenning de VRU te detecteren. Het is bekend dat dit complex is en dat men, in het kader van de ontwikkeling van geautomatiseerd rijden op zoek blijft naar mogelijkheden om dit intrinsiek betrouwbaar te krijgen. De huidige inspanning in de ontwikkeling van geautomatiseerd rijden is nog sterk gericht op specifieke technieken. Sensorfusie op het voertuig zelf is daarbij sowieso aan de orde maar een flinke stap zou in de toekomst kunnen worden gemaakt indien voertuigen (evenals wegkantsystemen waar aanwezig) hun objectdetecties zouden delen met andere voertuigen en die informatie aan het wereldmodel van het voertuig wordt toegevoegd. De eerder in dit rapport genoemde definitie van de *Collaborative Perception Message* (CPM) waar nu o.a. door het C2C CC aan wordt gewerkt faciliteert deze opzet. Tijdens het laatste ITS Europe congres is dit als Proof of Concept gedemonstreerd. Let wel dat dit concept niet noodzakelijkerwijze voorschrijft dat hiervoor directe communicatie wordt toegepast. Dit kan technisch ook als cloud service worden ingericht.

Er is blijkens voornoemd literatuuronderzoek wereldwijd ervaring opgedaan met de toepassing van verschillende draadloze (short range) communicatietechnieken in V2P-systemen. Als we kijken naar V2P-waarschuwingssystemen gebaseerd op onderlinge communicatie dan moet er nog onderscheid worden gemaakt tussen actieve en passieve participatie van VRU's met een of ander *device*. Actieve participatie heeft als voordeel dat in een bepaald scenario het voertuig periodiek informatie ontvangt van het VRU-device (zogenaamd bakensignaal of -bericht), waardoor het voertuig beter in staat is de VRU tijdig te detecteren en een vorm van tracking uit te voeren. Bij deze vorm is verlies van privacy van de VRU wel een aandachtspunt, omdat per definitie tracking & tracing mogelijk wordt. Daarnaast wordt meer gevraagd van het VRU-device wat betreft functionaliteit, beschikbaarheid en energiegebruik. Bij passieve participatie luistert het VRU-device alleen of het berichten ontvangt van een naderende auto waarna ofwel de VRU wordt gewaarschuwd en zich uit de voeten maakt (voertuig doet niets) ofwel een signaal of bericht terug gaat zenden (met een bepaalde tijdsvertraging) waardoor het voertuig alsnog de VRU detecteert en ingrijpt. Die laatste optie gaat t.o.v. de actieve

²⁹ Bron: PROSPECT

participatie zuiniger om met de communicatiecapaciteit en met de privacy van de VRU maar heeft wel een langzamere systeemresponsie en gaat ervan uit dat het VRU-device volledig bedrijfszeker/betrouwbaar is. Tevens is ervoor vereist dat het voertuig een voor de smartphone detecteerbaar signaal of bericht uitzendt. De combinatie van een actieve rol van zowel voertuig als VRU is uiteraard mogelijk, afhankelijk van de situatie. Er zijn diverse (experimentele) ontwikkelingen gaande op dit front, maar er is nog geen goed inzicht in de haalbare betrouwbaarheid en schaalbaarheid van detectie en tracking van VRU's. Tevens zijn nog geen resultaten gevonden over hoe verschillende waarschuwingsapplicaties in geautomatiseerde voertuigen (zullen) worden geïntegreerd en welke oplossingsrichting gaat prevaleren.

Wat betreft het VRU-device wordt de smartphone in het algemeen beschouwd als meest geschikte apparaat voor een waarschuwingstoepassing vanwege zijn veelzijdigheid qua HMI-functies, sensoren en draadloze interfaces én de grootschalige adoptie. Wel is met name bij tweewielers (al dan niet gemotoriseerd) de aanname dat de toepassing op de smartphone geen actieve bediening vergt en de telefoon bijvoorbeeld in verbinding staat met een in een helm geïntegreerde koptelefoon. De smartphone biedt voor wat betreft de communicatietechniek meerdere opties waarvan diverse zojuist genoemd. We gaan kort in op de inzet van de smart phone voor actieve VRU-applicaties, op basis van coöperatie (onderlinge communicatie), namelijk op basis van respectievelijk netwerk gebaseerde communicatie en directe communicatie.

Er is onder andere in projecten als Compass4D, Mobinet en recentelijk in C-Mobile ervaring opgedaan met cloud services gebaseerde VRU awareness toepassingsconcepten, wat eenvoudig gezegd neerkomt op een app op de smart phone die in verbinding staat met een applicatieserver in de cloud waarop de drager van de smart phone is geabonneerd. De toepassing stelt op basis van actuele situationele informatie vast of de betreffende weggebruiker een potentieel onveilige situatie nadert en waarschuwt daarop de drager. De prestaties van deze toepassing worden uiteraard bepaald (naast de toesteleigenschappen) door de kwaliteit (volledigheid, accuraatheid en actualiteit) van de data waar deze toepassing op leunt en de end-to-end latency en variaties daarin. De applicatieserver is niet noodzakelijkerwijze volledig gecentraliseerd; door middel van local break-out en mobile edge computing technieken kan dit concept ook worden gedecentraliseerd. De rol van Mobile Edge Computing (MEC) in V2P-waarschuwings-applicaties is voor zover wij kunnen beoordelen nog niet onderzocht.

Het alternatief is het gebruik van de smart phone in combinatie met directe communicatie³⁰. Bezien vanuit de smart phone zijn dan draadloze interfaces als WiFi (bijvoorbeeld WiFi direct) en Bluetooth relevant. Vanuit voertuigperspectief liggen 802.11p (c.q. opvolger) en LTE V2X/PC5 juist meer voor de hand. Smart phones zijn niet uitgerust met 802.11p en dat zien we ook niet als een nog te verwachten ontwikkeling. De kans dat PC5 (LTE of 5G) wel in smart phones terecht komt achten we weliswaar groter maar dit is ook met onzekerheid omgeven. Cruciaal is hoe chipfabrikant Qualcomm hierin zal gaan acteren. Er is weliswaar commerciële belangstelling voor directe communicatie mogelijkheden tussen smart phones (zogenaamde Proximity Services, o.a. voor gaming doeleinden), maar het is er

³⁰ De optie via directe communicatie belemmert als zodanig niet de toepassing van een cloud gebaseerde oplossing (door bijvoorbeeld een RSU te koppelen met een via het Internet bereikbare server), maar dit ligt minder voor de hand.

desondanks nog niet van gekomen, terwijl de V2X variant nog specifiek is. Het is ook denkbaar dat er voor de bediening van de automobiel markt een aparte C-V2X chipset komt die met zekerheid niet vanzelfsprekend ook geschikt is voor smart phones. Derhalve ligt actieve directe communicatie tussen voertuigen en smart phones ingewikkeld. De mogelijkheden voor communicatie tussen smart phones en wegkantssystemen zijn kansrijker maar ook hier kleven issues en beperkingen aan (zie ook paragraaf 3.4.4).

Actieve draadloze V2P-waarschuwingssystemen op basis van directe of indirecte communicatie moeten ongeacht hun technologische ontwikkeling ten alle tijden worden gezien als aanvulling op VRU detectiesystemen in voertuigen. Ten eerste zijn noodzakelijke zekerheden van VRU-device zelf aan de orde. Rekening moet worden gehouden met hoe het toestel wordt gedragen / meegenomen (body losses, of afscherming door een tas). Bij laag-vermogen technieken zoals WiFi of Bluetooth is dat bij uitstek een issue. Ten tweede is ook zekerheid van connectiviteit (inclusief instantaan beschikbare bandbreedte op het kanaal voor communicatie) vereist. Verder is het essentieel dat het VRU-device met grote en betrouwbare nauwkeurigheid (< 1 meter) onder vrijwel alle omstandigheden de eigen positie kan vaststellen, hetgeen zelfs met de support van het nauwkeurige Europese Galileo satellietplaatsbepalingssysteem niet triviaal is, juist in gebieden waar VRU-bescherming het meest speelt (verstedelijkt gebied).

Terugkomend op het initiatief van STF565 is het van belang dat er perspectief is op een aanvullende ETSI standaard. Op grond van voorgaande beschouwing is nog wel de vraag hoe de architectuur wordt gespecificeerd zodanig dat adoptie van de standaard door de industrie realistisch is en de standaard uiteindelijk niet verwordt tot dode letter. In het kader van een herziening van het Europese beleid ten aanzien van de veiligheid van personen in het verkeer, zou moeten worden nagegaan of de totstandkoming van een Europese norm op dit punt voor smart phone apparatuur kansrijk is.

3.2.8 *Samenvattend overzicht van mogelijke toepassingen met directe communicatie*

- Directe communicatie is zinvol voor C-ITS-toepassingen die ook communicatie nodig hebben als er geen geografische dekking is van mobiele netwerken. In EU is de geografische dekking van mobiele 4G-netwerken gemiddeld 84%, in Nederland is dit hoger (variërend tussen 85-98% per mobiele aanbieder).
- Directe communicatie kan onderdeel zijn van een hybride benadering: meerdere parallelle communicatiekanalen via zowel directe communicatie als mobiele netwerken i.v.m. Redundantie, performance en schaalbaarheid. De vraag is echter of hybride communicatie *nuttig* of *noodzakelijk* is/wordt.
- Directe communicatie is geschikt als primair communicatiekanaal voor toekomstige intelligente en coöperatieve voertuigen, vooral waar/wanneer sprake is van veiligheidskritische situaties, maar wel altijd aanvullend op de eigen sensorsuite. Denk aan behalve aan alertering ook aan coöperatief manoeuvreren: op korte afstand veilig achter elkaar rijden met C-ACC, gezamenlijk van richting veranderen, bijvoorbeeld van rijstrook wisselen en ritsen.
- Oplossing voor directe communicatie kan door voertuigfabrikanten onafhankelijk van mobiele netwerk operators worden ingevoerd: V2X-product i.p.v. V2X-dienst. Wegbeheerders kunnen hier ook bij aanhaken, maar dit vereist wel investeringen in V2X-systemen op die plaatsen waar dat nuttig/zinvol is. Daarbij kan al dan niet

- ook sprake zijn van een benodigde ontsluiting naar (de)centrale informatiesystemen. Voor wegbeheerders is belang/nut van I2V-toepassingen wel pas aanwezig bij grootschalige adoptie van V2X-systemen in voertuigen of voor gebruik in toepassingen voor specifieke doelgroepen (OV, hulpdiensten).
- Directe communicatie faciliteert het (automatisch) reageren op (dynamische) verkeersborden, verkeerslichten, etc.
 - Directe communicatie kan een aanvulling zijn op bestaande detectiesystemen, bijvoorbeeld voor verkeersmanagement doeleinden (verkeersmeting) of voor tal van toepassingen waarvoor de detectie van de passage of nadering van voertuigen relevant is. Dat veronderstelt echter wel dat voertuigen ten alle tijden een actief systeem hebben, wat maatschappelijk gevoelig ligt vanwege privacy. De effectiviteit is ook direct afhankelijk van de penetratiegraad en zal dus tijd vergen. Voorbeelden van detectiesituaties zijn bij kruispunten (aanvulling op lussen in de weg), maar ook bij bruggen en tunnels, toegangscontrole (milieuzones), intelligente straatverlichting (die aan gaat wanneer voertuig nadert). Vaak zijn er al detectiesystemen in gebruik op basis van camera en/of radar. Afhankelijk van de toepassing kan directe communicatie een aanvulling zijn waarmee de bedrijfszekerheid van het detectiesysteem kan worden verhoogd. Als blijkt dat directe communicatietechnologie op basis van PC5 (Mode 4) puur door schaalgrootte effecten op termijn goedkoper wordt, dan kan het interessant zijn te kijken naar vervanging van duurdere detectiesystemen, mits de functionele eisen dat toelaten.
 - Verband houdend met het voorgaande punt: daar waar nu camera's worden toegepast voor de detectie van voertuigen kan in een aantal gevallen (geheel afhankelijk van de toepassing en daarmee geassocieerde functionele eisen) mogelijk gekozen worden voor detectie van directe communicatie als alternatief voor, aanvulling op een camerasysteem. Het nadeel van camerasystemen is dat, ondanks privacybeschermende maatregelen, ze een duidelijke indruk afgeven dat mensen worden gadegeslagen. Directe communicatie kan, met dezelfde waarborging van privacy, een subtielere methode zijn. Daarnaast genereren camera's niet onder alle denkbare omstandigheden bruikbare beelden.
 - Directe communicatie kan een rol vervullen in de verhoging van de verkeersveiligheid van kwetsbare verkeersdeelnemers (*Vulnerable Road User, VRU*), maar de technische invulling is niet primair een technisch vaagstuk maar wordt vooral gedictieerd door marktontwikkelingen.

Het succes van directe communicatie wordt zeer bepaald door de penetratiegraad. Dit is een typisch kip-ei dilemma want in hoeverre zijn automobilisten bereid extra te betalen voor V2V communicatie in nieuwe voertuigen voor een (toekomstig) extra stukje veiligheid. Dat is helemaal de vraag voor het bestaande autopark. Onderlinge afspraken binnen de automobiel branche of wettelijke maatregelen lijken hier noodzakelijk om dit te doorbreken.

Use cases met een 'eenvoudige' keten met bilaterale afspraken tussen partijen in de keten ten aanzien van uitwisseling van informatie, hebben een grotere kans op eerste toepassing, gekoppeld aan de bereidheid of verplichting van partijen om informatie direct met elkaar te delen. Denk aan use cases met specifieke weggebruikers, zoals een groene golf voor hulpdiensten, OV of transport in samenwerking met lokale wegbeheerders in een stedelijke omgeving, goederenvervoer in drukke havens. Of

aan use cases met toegang tot informatie uit voertuigen voor verkeersveiligheid via afspraken tussen autofabrikanten onderling en met nationale wegbeheerders.

3.3 Externe ICT-ontwikkelingen met relevantie voor CCAM

3.3.1 *Digitale transformatie*

De maatschappij zit in een digitaal transformatieproces dat alle aspecten van de samenleving raakt. Door de combinatie van verschillende technologische ontwikkelingen zien we al geruime tijd een uitbreiding van aantallen steeds slimmer wordende toepassingen in onze omgeving voor uiteenlopende doeleinden. Belangrijke (bekende) technologische trends zijn voortdurende miniaturisering, steeds verder verfijnde sensortechnologie, toename van computing kracht en goedkope data-opslagcapaciteit en communicatiebandbreedte. 'Dingen' klein en groot, en zelfs materialen worden voorzien van geïntegreerde elektronica en verbonden met het Internet (de cloud). Er is sterke progressie op het vlak van *data analytics*, data fusie en kunstmatige intelligentie en we zien dat op steeds grotere schaal toegepast worden. De IT-functionaliteit die zich in de cloud blijft ontwikkelen versterkt de toepassingskracht van 'dingen' die daarmee verbonden zijn enorm, terwijl die 'dingen' die aan het Internet hangen zelf ook steeds complexer, slimmer en autonomer worden met een steeds beter omgevingsbesef, waardoor onderlinge interactie van die dingen ook meer betekenis krijgt. Softwareprocessen, datastructuren en toepassingen virtualiseren en het klassieke onderscheid tussen cloud en randapparatuur vervaagt voor de eindgebruiker. Er ontstaat bovenop een gedistribueerde netwerklag als het ware een eveneens gedistribueerde 'data fabriek'. Een slim Internet of Everything (IoE) is een gestage maar niet te stuiten ontwikkeling.

De dynamiek van die ontwikkeling wordt het sterkst ervaren in steden, door de combinatie van specifieke stedelijke issues (milieu, veiligheid, mobiliteit) en kansen om die issues het hoofd te bieden (economische tractie, kennisinfrastructuur, adoptiesnelheid innovaties). In de stedelijke ontwikkeling IoT een belangrijk thema als enabler van nieuwe toepassingen (luchtvervuiling, geluid, parkeren, energie, afval, verlichting). Het Smart Cities gedachtegoed is weliswaar de hype voorbij en heeft wat idealistische trekjes maar zal zich geleidelijk aan steeds nadrukkelijker in de praktijk manifesteren. Buiten steden neemt de relevantie van Internet of Things ook toe zoals bijvoorbeeld in de landbouw en in de energiesector met de verspreiding van duurzame energiesystemen (windmolens, zonnepanelen), zij het met beduidend kleinere dichtheden.

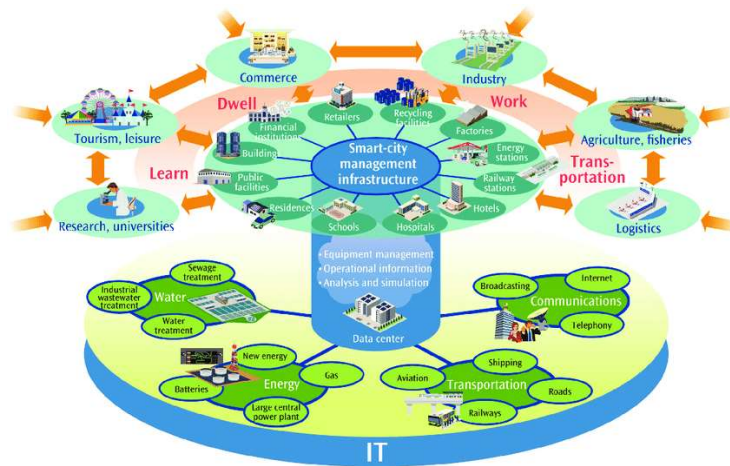
De IT-sector (IBM, Dell, Microsoft) oriënteert zich nadrukkelijk op synergie-mogelijkheden qua IT en ICT-infrastructuur in een Smart Society context. Het is zeker voorstelbaar dat er samenwerkingen ontstaan tussen toonaangevende IT-bedrijven met andere domeinspecifieke spelers om bijvoorbeeld voor steden interessante en voor de IT-industrie schaalbare proposities te ontwikkelen. Deze ontwikkeling dat resulteert in een geheel vernieuwd ecosysteem, kan niet worden genegeerd door de kracht van schaalgrootte die hierachter schuilgaat. In onderstaande figuur is die ontwikkeling geïllustreerd.



Figuur 5: Ontwikkeling van een vernieuwd ecosysteem rond Smart Society toepassingen, gebaseerd op generieke ICT technologie. Bron: TNO/Dialogic, 2017

De stelling die we hier neerleggen is dat in het komende decennium nog sterker dan nu het primaat zal komen te liggen bij relatief goedkope (puur door schaalgrootte) en krachtige, intelligente ICT-technologie die puur softwarematig kan worden aangepast naar sectorspecifieke wensen. De pluriformiteit op applicatieniveau wordt groter maar onder de motorkap vindt juist consolidatie plaats. Het wordt een proces van vallen en opstaan (uitval ICT, hacking, privacy) maar de trend is onomkeerbaar. ICT wordt hiermee op de lange duur ‘ambient’, ‘ubiquitous’: Het is er straks overal om ons heen, met (bijna) alles verweven.

De razendsnelle ontwikkeling van ICT voor generieke doeleinden die door schaalgrootte effecten betaalbaar blijft voor consumententoepassingen en generieke bedrijfsprocessen, staat echter op gespannen voet met de noodzaak in veiligheidskritische sectoren (Energie, Mobiliteit, Gezondheidszorg) om ook nieuwe systemen die hun intrede doen intrinsiek veilig en betrouwbaar te maken. Het mobiliteitsdomein (Smart Mobility) is een goed voorbeeld. De autobedrijven zijn in een felle concurrentiestrijd verwickeld rond de ontwikkeling, productie en marktintroductie van duurzame en steeds verder geautomatiseerde voertuigen, gebruikmakend van moderne ICT-technologie. Men loopt door de toenemende productcomplexiteit en het marktmechanisme een hoger risico dan vroeger dat nieuwe modellen nog behept zijn met bepaalde kinderziekten met soms een hoger veiligheidsrisico.



Figuur 6: Toekomstvisie op urban IT: concept van een Urban Operating Systems³¹

3.3.2 Ontwikkelingen ondersteunende communicatie-infrastructuren

Een belangrijke randvoorwaarde voor een succesvolle digitale transformatie is een redelijk toekomstvast communicatie-infrastructuur. Het knelpunt is enerzijds de vereiste fijnmazigheid omdat een toekomstig stedelijk ecosysteem door de oprukkende digitalisering over de hele breedte op zoveel plekken data genereert en om data vraagt, maar anderzijds ook de kwaliteit van connectiviteit, in termen van datasnelheid, latency tijden en bedrijfszekerheid. Die fijnmazigheid maakt de aanwezigheid van draadloze toegangsnetwerken extra relevant omdat de aanleg van extra vaste infrastructuur kostbaarder is, meer tijd vergt en vergunningstechnisch lastiger is. Wat betreft de kwaliteit: deze is nu nog sterk op de menselijke maat afgestemd maar zal die in de toekomst ook toereikend moeten zijn voor hoogwaardiger vormen van machine-to-machine communicatie door de opkomst van autonome, mogelijk mobiele, data-intensieve systemen met steeds hogere eisen aan real-time interactie. De voor 5G technologie opgestelde eisen zijn volledig op dit toekomstbeeld afgestemd. In het onlangs gepubliceerde handvest en lobbydocument ("Samen op weg naar hoogwaardige digitale connectiviteit") is die infrastructuuruitdaging met name in verstedelijkt gebied onder woorden gebracht.

Verschuiving van cloud services naar de randen van netwerken

De steeds zwaardere IT-functionaliteit van alles wat aan het IoE komt te hangen maakt dat de conventionele inrichting van de Internetinfrastructuur waarbij sprake is van een zekere centralisatie van cloud services in grote datacenters niet meer toereikend is, althans niet meer voor alle diensten en toepassingen. Er is al een decentralisatie gaande van de cloud waarbij we zien dat opslag en computing faciliteiten vanuit een gecentraliseerde cloud meer naar de randen, dus dicht bij de op het Internet aangesloten randapparatuur, verschuift. Ontwikkelingen als *edge computing* en *fog computing* doen dus hun intrede, met potentieel grote dichtheden van kleine tot zeer kleine computing platforms op de rand van het netwerk of daar voorbij, in de hierop aangesloten devices. Belangrijke drivers voor deze ontwikkelingen zijn: anticiperen op grote dichtheden van devices, nabijheid van eindgebruikers, veel kortere latencies, meer grip op *quality of service* omdat er geen of weinig invloed is van de belasting elders in de cloud, en besparing op kosten van

³¹ Simon Marvin, Andres Luque, *Urban Operating Systems: Diagramming the City*, International journal of Urban and Regional Research

connectiviteit met datacenters. Fog computing is rond 2010 geïntroduceerd vanuit de IT-wereld, gestimuleerd door de gehele IoT ontwikkeling, nadrukkelijker ook industrial IoT. Het OpenFog Consortium heeft een referentie architectuur gepubliceerd voor fog computing die inmiddels door IEEE is overgenomen in standaarden.

Edge en fog computing maken het mogelijk om 'lokaal te doen wat vanuit de applicatie ook lokaal kan of zelfs wenselijk is' en niet afhankelijk te zijn van ver weg gelegen computing faciliteiten die via complexe routes moeten worden bereikt. Bijgevolg van deze ontwikkeling is dat ICT-ketens korter kunnen worden, wat de bedrijfszekerheid ten goede komt evenals *end-to-end latency* tijden of *quality of service* beheersing in algemenere zin. Het beperken van de lokale scope van toepassingen kan overigens ook de privacybescherming ten goede komen. Het is al met al een generieke ontwikkeling die ook van belang kan zijn voor de verwezenlijking van ITS-ambities in het mobiliteitsdomein, omdat hier wellicht synergie kan worden behaald.

Een aardig maar nog enigszins futuristisch voorbeeld van fog computing in de context van ITS/CCAM is die van Vehicular Fog Computing zoals beschreven door Ning et al. Het concept komt erop neer dat voertuigen hun data naar de dichtstbijzijnde Roadside Unit sturen waar afhankelijk van de dataverkeersdruk in de cloud, computing taken op die data ofwel naar beschikbare servers in de cloud gaan ofwel worden toegekend aan voertuigen die als fog node fungeren die, voor zover beschikbaar, deze taken overnemen³². Geclaimde voordelen van deze methode ten opzichte van gecentraliseerde vormen van cloud computing zijn vooral *load balancing* (optimaal verdelen van de rekenlast, vooral tijdens piektijden in steden), lage latency en kostenreductie³³.

De technische mogelijkheden van edge en fog computing laten nog wel de vraag onbeantwoord hoe het zit met de exploitatie van deze faciliteiten. Voor zover ze een rol spelen in veiligheidskritische use cases, moet er een duidelijke verantwoordelijke partij zijn. Dat staat op gespannen voet met het *multi-tenancy* principe³⁴ dat we steeds meer zullen gaan zien in generieke ICT oplossingen.

3.3.3 *Dominante standaarden voor draadloze infrastructuur: IEEE en 3GPP*

Er zijn wat betreft het draadloze deel van die infrastructuur twee dominante en concurrerende smaken namelijk IEEE- (en dan met name Wi-Fi met o.a. Wi-Fi 6) en 3GPP- gestandaardiseerde technologie (en dan met name 5G/6G mobiele netwerken).

De Wi-Fi Alliance sorteert met Wi-Fi 6³⁵ (binnen IEEE bekend onder de naam 802.11ax) duidelijk voor op het zojuist geschetste IoT tijdperk en richt zich daarbij geheel op short range access voor statisch en nomadisch gebruik en op toepassing in vergunningvrij spectrum tussen de 1 en 7 GHz. De Wi-Fi Alliance claimt dat Wi-Fi 6/802.11ax veel door 3GPP gepubliceerde 5G use cases zal ondersteunen

³² Relayering van verkeer zoals hier bedoeld wordt momenteel niet toegepast, ivm dataprotectie issues.

³³ Bron: Zhaolong Ning, Jun Huang, and Xiaojie Wang, *Vehicular Fog Computing: Enabling Real-Time Traffic Management for Smart Cities*, IEEE Wireless Communications, June 2018

³⁴ Met Multi-tenancy wordt bedoeld op het (simultaan) gebruik van een bepaalde door een partij in eigendom zijnde ICT voorziening door meerdere gebruikers.

³⁵ Bron: Paper Wi-Fi Alliance: *Next Generation Wi-Fi: the future of connectivity*, December 2018

(opmerkelijk genoeg ook wat betreft low latency, high reliability) maar wel al eerder dan 5G-technologie in de markt beschikbaar zal zijn. Vast staat wel dat Wi-Fi hoe dan ook niet is bedoeld voor communicatie tussen/met weggebruikers met hoge snelheden. Dat neemt niet weg dat Wi-Fi 6 meerwaarde zou kunnen bieden in ITS-use cases met voetgangers vanwege de lage verplaatsingssnelheid (< 30 km/uur), wellicht ook in meer veiligheidskritische scenario's. Dat zou nader onderzocht kunnen worden.

In het mobiliteitsdomein heeft vooral de ITS-G5 standaard een prominente rol gespeeld. De standaardisatie van ITS-G5 technologie is redelijk ver gevorderd en de technologie is in principe verkrijgbaar. Het werk is hier met name gericht op werk binnen C2C CC over praktische verbeteringen rondom antennes in voertuigen, locatiebepaling en integratie met bestaande ADAS-systemen of autonome voertuigen.

Juridische aspecten rondom ontsluiting van informatie ten behoeve van verkeersveiligheid voor C-ITS en de AVG zijn nog in onderzoek. Ook de praktische invoering van *conformance assessment* met de bijbehorende invoering van het *PKI-security framework* (met certificaten) binnen de EU voor C-ITS zijn nog in ontwikkeling.

Verder is er een nieuwe werkgroep gestart binnen IEEE (802.11px / 802.11bd³⁶) om te werken aan een opvolger van IEEE 802.11p, o.a. om hogere datasnelheden te kunnen ondersteunen en tot lagere *packet error rates* te komen bij een gegeven ontvangen signaalniveau. In verband hiermee worden ook aanpassingen voorzien in *Distributed Congestion Control*³⁷. Deze opvolger die overigens backwards compatible moet zijn met 802.11p doet de huidige actuele industriële strijd tussen IEEE oplossing en die van 3GPP (LTE V2X) verder continueren.

Aan 3GPP-zijde zit men zoals bekend ook niet stil. Belangrijk verschil met IEEE is dat deze familie van standaarden wordt gedreven door de ambities (en commerciële belangen) van de telecommunicatiesector, dat wil zeggen de industrie en mobiele operators. Men richt zich hierbij expliciet op mobiele diensten voor volledig mobiele gebruikers, met snelheden tot 500 km/uur. De vijfde generatie (5G) technologie trekt bijzonder veel aandacht, omdat 5G ten opzichte van zijn voorganger invulling kan geven aan een veel breder scala aan prestatie-eisen, wat de technologie geschikt maakt in meerdere domeinen voor business- en zelfs *mission critical* toepassingen voor de OOV-sector waar communicatie levens kan redden. Relevant voor het mobiliteitsdomein zijn de *ultra Reliable Low Latency* (uRLLC) en *massive IoT/Machine Type Communicatie* (mMTC) eigenschappen van 5G. uRLLC functionaliteit zorgt dat netwerken een beduidend hoger niveau van verbindingbetrouwbaarheid kunnen gaan leveren en tevens communicatiediensten met ultrakorte latencies (doel: < 1 ms). Daarnaast wordt *Local Break Out* ondersteund waarmee *Mobile Edge Computing* mogelijk wordt. Tot slot doet het *slicing concept*³⁸ zijn intrede waardoor een fysiek mobiel netwerk in meerdere virtuele mobiele

³⁶ Vermoed wordt dat de oorspronkelijke 802.11px benaming is verlaten en is vervangen door 802.11bd.

³⁷ Bron: J. Harri et al, *IEEE 802.11p roadmap*, Car2Car Communication Consortium, 29 november 2017

³⁸ Betreft hier de 3GPP invulling van slicing, d.w.z. gedefinieerd binnen 1 operator domein. De toepassing ervan in het RAN is overigens nog onderwerp van standaardisatie.

netwerken kan worden opgesplitst die zo goed als onafhankelijk van elkaar kunnen worden geconfigureerd en gedimensioneerd. Het meest relevante is echter de toevoeging van specifieke V2X-functionaliteit in de standaarden, die overigens eigenlijk al voorafgaand aan 5G waren toegevoegd. Daar komen we later op terug.

De standaarden zijn geen dictaten, opgelegd aan de industrie voor de te implementeren functionaliteit. De ontwikkeling van verkoop van netwerkfunctionaliteiten is sterk vraaggestuurd. Daarenboven maken de operators als afnemers van die systemen nog eigen keuzes qua netwerk ontwerp en dimensionering. Dat impliceert dat uiteindelijk 5G-connectiviteitsdiensten zullen worden aangeboden waar de markt behoefte aan heeft. In relatie tot ITS/CCAM betreft dat connectiviteitsdiensten ter ondersteuning van comfort, vermaak en efficiëntie. Dergelijke toepassingen kunnen de functionaliteit van mobiele netwerken nodig voor veiligheidskritische toepassingen mee helpen op gang te brengen.

De mobiele operators in Nederland bereiden zich op de komst van 5G voor. Hier zijn al diverse aankondigingen over gedaan maar we verwachten dat de ontwikkeling van operationele mobiele communicatienetwerken in Nederland een impuls krijgt zodra de 3,5 GHz frequentieband hier beschikbaar komt, naar verwachting in 2022. Deze band wordt gezien als de belangrijkste pioniersband voor 5G³⁹. Dit is ten opzichte van andere belangrijke landen aan de late kant, en dus ligt een inhaalslag voor de hand. Dat geldt ook voor de doorontwikkeling in toepassingen over de hele breedte, toepassingen die vaak al wel mogelijk zijn over een 4G-infrastructuur maar die over een volwaardige 5G infrastructuur beter tot hun recht gaan komen. De commerciële tractie zit vooral in stedelijke gebieden en in mindere mate op de hoofdwegen tussen de steden. Landelijke operators streven weliswaar naar landelijke dekking maar of dat in de 3,5 GHz band het geval gaat zijn, is nog de vraag vanwege de hoge investeringen in relatie tot de (lokale) marktvraag naar connectiviteit. Iedere operator hanteert hiervoor een eigen marktstrategie. Het zou bijvoorbeeld kunnen dat een operator in plaats van te beginnen met een 'dunne' dekking over heel Nederland, zich eerst zal richten op een goede dekking in steden en wellicht ook langs belangrijke verkeersroutes, wat overigens vanuit de optiek van mobiliteit goed zou matchen, om daarna verder uit te breiden. Daar waar in verstedelijkt gebied lokaal veel vraag gaat ontstaan van services op 5G-niveau, zal men op zeker moment moeten overgaan naar small cells, dus naar verdere verdichting van het netwerk om de capaciteitsvraag aan te kunnen. Small cell technologie bestaat al enige tijd maar is nog niet doorgebroken, vooral door complexiteiten in de uitrol. Het kabinetsbeleid is erop gericht om dit vanwege de verwachte capaciteitsvraag beter te gaan faciliteren door gemeenten landelijke spelregels op te leggen, die neerkomen op vergunningvrije plaatsing van small cells⁴⁰. Deze ontwikkeling past in het eerder geschetste beeld van een steeds fijnmaziger wordende ICT-infrastructuur. Als op deze manier op steeds meer (drukke) plekken netwerktoegangspunten worden gecreëerd (cellulair en/of Wi-Fi gebaseerd) die dan gemakshalve ook zijn uitgerust met computing en storage functies, dan ontstaat er op die manier een schaalbare infrastructuur die interessant wordt voor ITS/CCAM-doeleinden, met daarbij opgemerkt dat er een heldere en bestendige rolverdeling en dito kosten/baten verhouding moet zijn bij de exploitatie van die infrastructuur. Dit is ook een ontwikkeling over langere tijd, als deze puur door marktvraag wordt gedreven. Daar

³⁹ De 700 MHz band is eveneens een pioniersband voor 5G en zal volgend jaar worden geveild, maar de beschikbare bandbreedte per operator is met 10 MHz zeer beperkt.

⁴⁰ Bron: Ministerie van Economische Zaken, *Wetsvoorstel Implementatie Telecomcode*, juli 2019

komt bij dat de commerciële vooruitzichten van de sterk op de consumentenmarkt gerichte “enhanced Mobile Broadband” (eMBB) propositie van 5G op dit moment het meest overtuigend is. De adoptie in de breedte van de voor ITS/CCAM belangrijke uRLLC-propositie zal zich zeer waarschijnlijk langzamer verlopen omdat deze propositie zich nog in diverse business critical/mission critical domeinen (waaronder het mobiliteitsdomein met ITS/CCAM) in de praktijk zal moeten bewijzen en men in die sectoren ziet dat de propositie bepaalde verdienmodellen versterkt of vernieuwt. Het lastige hierbij is dat in de telecomwereld juist ITS/CCAM wordt gezien als een belangrijke vraag stimulerende ontwikkeling (vraag naar uRLLC type diensten). Dit, terwijl in het mobiliteitsdomein de justificatie voor het gebruik van uRLLC services juist ligt op het vlak van veiligheidskritische toepassingen waarvoor echter de verdienmodellen nog niet helder zijn. Dit is een belangrijk kip- en-ei effect met een zekere tijdsduur: het is niet ondenkbaar dat we pas tegen 2030 aanzitten voordat mobiele netwerken vrijwel overal hun uRLLC services aanbieden op basis van NR-technologie⁴¹.

Verwacht wordt dat niet alleen de bestaande mobiele operators 5G-technologie actief gaan inzetten maar ook andere partijen, zoals IT-bedrijven, application service providers of zelfs grote system integrators. De Nederlandse overheid stimuleert dit ook via het spectrumverdelingsinstrument. We gaan dus ook netwerken zien op veel kleinere, lokale schaal mits daar valide businessmodellen voor worden gevonden. We zien dus dat 5G-technologie zich positioneert als substitutie van Wi-Fi technologie, waarbij 5G zich laat voorstaan op veel betere Quality of Service niveaus ten opzichte van Wi-Fi.

3.3.4 *Conclusie: Volstaan toekomstige generieke mobiele netwerken voor CCAM-doeleinden?*

In verstedelijkt gebied zal er door de verwachte zeer brede pluriforme vraag naar draadloze connectiviteit sprake zijn van netwerken met hoge datasnelheden waarbij op veel plaatsen toegangspunten (Wi-Fi en/of 5G gebaseerd) zullen worden gerealiseerd, waar de toevoeging van lokale computing faciliteiten eerder regel dan uitzondering zal worden. Door verbeterde quality-of-service mechanismen in 5G maar ook in Wi-Fi 802.11ax, kan een hoge capaciteitsvraag samengaan met betrouwbare connectiviteitsprestaties voor individuele toepassingen. De beschikbaarheid en betrouwbaarheid van de communicatie zal dan vooral afhangen van hoe netwerkfunctionaliteit en investeringen in netwerkcapaciteit geografisch is georganiseerd. Het ligt voor de hand dat in gebieden met veel gebruikers en bijbehorend verkeer ook de netwerkdekking en capaciteit adequaat zal zijn. Echter, de continuïteit van communicatiedienstverlening zoals voor veiligheidskritische CCAM-applicaties (op grote schaal) zal zijn vereist is niet triviaal, niet voor 5G-netwerken en zeker niet voor Wi-Fi netwerken met een beperkt bereik tot 100-300 m, de beperkte ondersteuning van mobiliteit en het gelijktijdig gebruik van die netwerken voor consumenten en zakelijke toepassingen. De zakelijk gedreven keuzes in technologie- en mate van uitrol van aanbieders van internet connectiviteit zullen sterk bepalend zijn voor de lokale netwerkprestaties. Zonder een mede op CCAM gebaseerd en voldoende geborgd verdienmodel voor deze aanbieders zal dit niet automatisch goed komen. Ergo, de technologie zelf zal niet de beperkende factor zijn, maar het onderliggende verdienmodel.

⁴¹ Bij de implementatie van uRLLC komt meer kijken dan alleen de technologie. Het ontwerp van het netwerk moet hier ook op afgestemd zijn.

Het is niet aan te bevelen de optimale oplossing te verwachten van één enkelvoudig communicatienetwerk. Niet alleen zou een enkel netwerk door zeer hoge connectiviteitseisen zeer kostbaar worden, het is uit oogpunt van bedrijfszekerheid ook moeilijk om zeer hoge beschikbaarheidscijfers te realiseren vanuit een faciliteit die daar oorspronkelijk niet op is ontworpen. De aanbeveling is derhalve om de hybride communicatiefilosofie die enkele jaren geleden zijn intrede heeft gedaan in het ITS-domein verder te verfijnen en door te ontwikkelen. Dit zou inhouden de mogelijkheid om situationeel van 5G naar Wi-Fi en vice versa te switchen zoals we dat nu al kennen voor smartphones (Wi-Fi roaming) en ook tussen mobiele operators onderling. Op dit moment is dat wettelijk niet toegestaan. In die hybride benadering kan ook directe communicatie een plek krijgen, bijvoorbeeld in die situaties dat geen van de aanwezige mobiele netwerken dekking biedt of anderszins connectiviteit is vereist.

Buiten verstedelijkt gebied is de vanzelfsprekendheid van voldoende dekking en capaciteit evident minder. Ondanks het feit dat het kabinetsbeleid is gericht op het invoeren van prestatie-eisen in de vorm van een dekkings- en capaciteitsverplichting, is een voor veiligheidskritische CCAM-applicaties adequate uitrol/ uitbreiding van netwerkinfrastructuur in de buitengebieden vooral in economisch opzicht geen realistische opgave voor individuele operators. In die omgevingen is voor directe communicatie een grotere rol weggelegd, behoudens belangrijke knooppunten op (snel)wegen in buitengebieden. Dat neemt niet weg dat er maatregelen denkbaar zijn op de bruikbaarheid van mobiele netwerken voor CCAM op zijn minst te vergroten. Denk daarbij bijvoorbeeld aan de ondersteuning van QoS-predictie en de mogelijkheid om gemakkelijk tussen netwerken te switchen bij onvoldoende dekking van een enkel netwerk (national roaming).

3.4 C-V2X communicatietechnologie

3.4.1 Inleiding

We gaan hier nader in op V2X communicatie met het zwaartepunt op het door 3GPP gestandaardiseerde C-V2X communicatie. C-V2X communicatie omvat alle in ITS/CCAM bekende verbindingstypen, met daarbij een zinvol onderscheid tussen V2N enerzijds en V2I/V2V/V2P anderzijds. V2N is de netwerk-gebaseerde communicatie onder regie van een mobiele operator, waarbij enkele mobiliteit-specifieke eisen in de standaarden zijn opgenomen. De tweede categorie zijn alle vormen van directe communicatie die juist niet onder de regie vallen van een mobiele operator en functioneel gelijkwaardig zijn aan ITS-G5. Het gaat ons hier in deze sectie vooral om de directe communicatiefunctie. In bijlage D is de werking van C-V2X iets nader toegelicht.

De inzichten t.a.v. wat er mogelijk is met directe communicatie op basis van C-V2X zijn bepaald nog geen gemeengoed, in vergelijking tot ITS-G5 waar al veel meer van bekend is en waar ook de nodige ervaring mee is opgedaan. Bij de onderstaande behandeling van C-V2X is van belang dat er in tegenstelling tot ITS-G5 in Nederland juist nog nauwelijks praktische ervaring mee is opgedaan (wel voornamelijk in Azië/China).

Binnen de C-ITS-technologie is het belangrijk om een onderscheid te maken tussen enerzijds de applicaties met de bijbehorende informatieberichten en anderzijds de onderliggende communicatietechnologie. De informatieberichten van de Day-1 applicaties kunnen onafhankelijk van de communicatietechnologie worden ontwikkeld. Binnen CEN, ISO en ETSI wordt op dit moment gewerkt aan specificaties voor nieuwe C-ITS-applicaties, zoals *platooning*, *collective perception* (om sensorinformatie van bijv. camera's van voertuigen en wegkantsystemen onderling te delen) en C-ITS-applicaties gericht op veiligheid van motorvoertuigen en kwetsbare verkeersdeelnemers (motorfietzers, fietsers, voetgangers).

3.4.2 C-V2X standaardisatie

Vanuit de leveranciers in de mobiele industrie is er de laatste jaren gewerkt aan C-V2X, d.w.z. de ondersteuning van V2X communicatie via mobiele netwerken (LTE en 5G) en via directe communicatie. De LTE-V2X variant is nu beschreven in 3GPP standaarden, en de eerste producten zijn beschikbaar. De C-V2X producten kennen nu nog een relatief laag TRL-niveau, maar de leveranciers zijn wel globale spelers met veel invloed (marketing en ontwikkeling) en een directe samenwerking met autofabrikanten (in o.a. 5GAA), waardoor de verwachting is dat deze producten snel zullen evalueren naar volwassen oplossingen. De belofte van C-V2X is dat voor directe communicatie er een elegante koppeling met cellulaire netwerken mogelijk wordt om radio resources via het netwerk efficiënt en snel toe te kennen aan terminals (mode 3), maar de eerste LTE-V2X producten ondersteunen deze functionaliteit niet. Mogelijk komt dit later van de grond met C-V2X op basis van 5G, dat in tegenstelling tot 802.11p/bd niet backwards compatible is met LTE V2X. De producten ondersteunen alleen functionaliteit waarbij radio resources via een gedistribueerde functie in terminals worden gealloceerd (mode 4) en hiermee is C-V2X op dit moment een vergelijkbare technologie als ITS-G5.

Ondertussen wordt de standaardisatie door 3GPP verder vervolgd voor 5G, met de ontwikkeling van standaarden die het gebruik van 5G New Radio voor directe communicatie mogelijk maakt en nieuwe standaarden voor V2X via mobiele 5G (en 4G) netwerken met verbeteren om V2X- applicaties te ondersteunen door middel van *edge computing* en ondersteunende functies voor het ontdekken van V2X server, deelnemen aan *group-based* V2X communicatie (bv voor vrachtwagens in een treintje - platooning), en het slim ontsluiten van geografisch gebonden informatie van bewegende voertuigen via een mobiel netwerk.

3.4.3 Spectrum voor V2X: co-existentie C-V2X met ITS-G5

De technologiestrijd introduceert een groot risico op interoperabiliteitsproblemen met V2X communicatie. Immers, het is afhankelijk van de marktontwikkeling, denkbaar dat V2X communicatie in drie onderling niet compatibele vormen voor gaan komen (IEEE 802.11, LTE V2X en 5G V2X). Dit ondermijnt de potentie van coöperatieve communicatie en kan alleen met dubbele zender/ontvanger configuraties en protocolbruggen worden opgelost, wat evident kostenverhogend werkt. Het algemene beginsel van technologieneutraliteit kan hier dus averechts uitpakken.

De interoperabiliteitskwestie heeft zich toegespitst op het spectrum voor ITS, de 5,9 GHz band. De wettelijke richtlijnen schrijven voor dat producten aan een aantal technologie-neutrale eisen moeten voldoen, met tot doel dat verschillende producten en technologieën gebruik kunnen maken van deze frequentieband en deze naast elkaar kunnen bestaan. Dit is om te voorkomen dat 1 zender/ontvanger of technologie

de volledige band gebruikt. ITS-G5 o.b.v. IEEE802.11p (en toekomstige varianten zoals IEEE802.11px) voldoet aan deze eisen door gebruik te maken van de zogeheten *listen-before-talk* technologie (waarbij een zender luistert of het kanaal vrij is) en een maximale tijd mag zenden. De mobiele technologie LTE-V2X hanteert echter een ander principe wat co-existentie in dezelfde band bemoeilijkt. De EC heeft nu aan ETSI gevraagd om te onderzoeken welke aanpassingen mogelijk zijn om co-existentie te ondersteunen van LTE-V2X en IEEE 802.11p in de 5,9 GHz band. Een andere mogelijkheid is dat binnen 3GPP de LTE-V2X radiospecificaties worden aangepast, zoals ook is gebeurd voor zogeheten LTE “*unlicensed*” producten (LTE-LAA en MuLTEfire producten) die gebruikt worden in de 5 GHz band waar ook Wi-Fi producten gebruik van maken. ETSI werkt nu aan een aanpassing van EN 302 571 waardoor spectrale co-existentie wordt gewaarborgd (waarmee het interoperabiliteitsprobleem nog niet is opgelost).

Verder wordt er binnen ITU en CEPT onderzocht of de huidige 30 MHz voor ITS in de nabije toekomst moet worden uitgebreid met 2x20 MHz, of dat dit aanvullende gereserveerde spectrum na 15 jaar beschikbaar wordt gesteld voor WLAN om verbeteringen van Wi-Fi (met kanalen van 160 MHz) te kunnen ondersteunen.

3.4.4 *Adoptie V2X door markt*

Bovenstaand onderscheid tussen enerzijds de applicaties met de bijbehorende informatieberichten en anderzijds de onderliggende communicatietechnologie is ook van toepassing voor de markt en de keuzemogelijkheden die stakeholders hebben. De informatieberichten van de Day-1 applicaties kunnen in principe over ieder netwerk verstuurd worden, de manier is hoofdzakelijk afhankelijk van de (bilaterale) afspraken over ontsluiting van informatie tussen stakeholders (autofabrikanten, aanbieders van ITS-informatiediensten, wegbeheerders), eventueel opgelegd door aanvullende wetgeving. Naar verwachting zullen vanaf 2023 vrijwel alle nieuwe auto's *connected*⁴² zijn, waardoor het eenvoudig wordt om informatie uit voertuigen via internet te ontsluiten en om informatie naar deze voertuigen te sturen. Dit is de eenvoudigste weg om op korte termijn informatie van/naar voertuigen te krijgen, en er worden afspraken gemaakt tussen autofabrikanten en overheden om informatie die de veiligheid op de weg verhogen te delen, bijv. bij een gestrand voertuig, een ongeval, of gevaarlijke situaties op de weg (gladheid, mist, slecht wegdek).

Rondom de adoptie van directe communicatie ziet men dat de auto-industrie momenteel verdeeld is, zowel in het invoeren van producten o.b.v. directe communicatie in voertuigen als een keuze voor een specifieke technologie, d.w.z. i) ITS-G5 gebaseerd of ii) C-V2X gebaseerd. Oplossingen voor ITS-G5 zijn op dit moment verder beproefd in projecten. De inzet van LTE V2X technologie is momenteel nog sterk markt-gedreven en is hier nog beperkt beschikbaar voor praktijktesten. In China is veel activiteit: een C-V2X pilot door China Mobile⁴³, een C-V2X security testfest nog dit jaar⁴⁴ en de aankondiging van een dertien tal Chinese/Aziatische autofabrikanten aangekondigd om C-V2X in hun voertuigen in te gaan bouwen vanaf Q2/2020⁴⁵.

Het zal enige tijd vergen voordat C-V2X een plek heeft gekregen in C-ITS projecten waar ook andere (bijvoorbeeld publieke) stakeholders in participeren. ITS-G5 kent

⁴² Bron: PWC, *Five trends transforming the Automotive Industry*, 2017

⁴³ Bron: <https://technode.com/2019/06/28/china-wuxi-v2x-2019/>

⁴⁴ Bron: Qualcomm, IMT-2020/C-SAE Security Plugfest

⁴⁵ Bron: <https://e.huawei.com/se/news/ebg/2019/launching-mass-production-c-v2x-car-from-2020>

op dit moment ook echter ook nog geen noemenswaardige adoptie, waardoor onduidelijk is of C-ITS-oplossingen met directe communicatie op korte termijn in voertuigen beschikbaar komen. Gezien de eerder genoemde verwachte aanwas van *connected* voertuigen en de snel groeiende markt in China is een toekomstige transitie van de sector naar LTE V2X goed voorstelbaar. Ongeacht de technologische variant, een hoge penetratiegraad (use case afhankelijk) is wel noodzakelijk voor C-ITS om effectief te zijn, en meer dwang van de overheid lijkt noodzakelijk om de verwachte voordelen van C-ITS o.b.v. directe communicatie voor de verkeersveiligheid (de maatschappelijke business case) te behalen. Het verleden heeft namelijk geleerd dat een hoge penetratie van veiligheidssystemen (zoals gordels, airbag, en eCall) in voertuigen alleen op die manier haalbaar is.

Een specifiek relevant aandachtspunt is de toepassing van 802.11p technologie in smartphones die zoals eerder opgemerkt als user device duidelijk in aanmerking komen voor V2P waarschuwings-toepassingen. Qualcomm is marktleider wat betreft chipsets voor smartphones, met qua toepassing twee belangrijke typen chips namelijk voor 4G/5G communicatie en voor Wi-Fi-Bluetooth. Wat betreft Wi-Fi houdt Qualcomm zijn chipsets etalage up-to-date met betrekking tot de ontwikkeling van IEEE 802.11 standaarden (bijvoorbeeld Wi-Fi 6). Qualcomm heeft vrij recent aangekondigd de support voor 802.11p te beëindigen en zich geheel toe te leggen op C-V2X als totale oplossing voor alle V2X toepassingen, inclusief V2P.

Wi-Fi Direct (officieel aangeduid met IBSS) is een alternatief maar met als nadeel dat voor de totstandkoming van een directe verbinding de rol van Access Point moet worden uit onderhandeld en dat kost tijd. Bovendien is de vraag hoe deze mode functioneert bij meer dan twee systemen in elkaars nabijheid. Bij TNO is op dit moment niet bekend of Wi-Fi Direct op grond van zijn karakteristieken een zinvol alternatief is voor OCB in ITS-VRU use cases. Dit zou nader bekeken kunnen worden. Het grote voordeel van Wi-Fi direct is dat het nu al bestaat. PC5 support in smartphones laat nog even op zich wachten.

3.5 Positionering directe communicatie t.o.v. netwerk-gebaseerde communicatie

3.5.1 *Vergelijking*

Onderstaande tabel karakteriseert directe communicatie aan de hand van een aantal aspecten. Voor directe communicatie voor C-ITS staat ITS-G5 technologie weliswaar model, maar is een en ander zoveel mogelijk technologie-afhankelijk genoteerd. Om de karakterisering van directe communicatie duidelijker uit de verf te laten komen is tevens een vergelijking op diezelfde aspecten gemaakt met netwerk-gebaseerde communicatie. De beschikbaarheid van landelijke mobiele 4G/5G netwerken, zonder *Local Breakout* naar een decentraal datacenter ten behoeve van MEC, hanteren we hier als uitgangssituatie. Tevens is een kolom toegevoegd voor mobiele netwerken uitgerust met *Local Breakout* t.b.v. MEC omdat met die functionaliteit bepaalde kenmerken van directe communicatie kunnen worden benaderd/nagebootst⁴⁶. Wat betreft de prestaties en kwaliteit van de implementatie is hier sprake van een sterke afhankelijkheid van technologiekeuze (geldt met name voor directe communicatie

⁴⁶ Hier zijn we uitgegaan van de toepassing van MEC door landelijk mobiele netwerken, maar in dedicated netwerken kan die technologie uiteraard ook worden toegepast.

waarvoor de opties ITS-G5 of PC5 gelden) en van implementatiekeuzes. Derhalve gaat het hier om globale indicaties.

	Directe Communicatie	Netwerk-gebaseerde communicatie (uitgangssituatie)	Toevoeging Local Breakout/MEC
Communicatieprincipe	Abonnementenvrije communicatie waarbij terminals ("stations") met dezelfde radio interface en voor zover binnen elkaar radiobereik rechtstreeks met elkaar kunnen communiceren. Het heeft een intrinsiek lokaal (short range) en ad-hoc karakter.	Commerciële service waarbij aangesloten en geabonneerde terminals uitsluitend onderling en met servers in de cloud kunnen communiceren via het core netwerk en onder controle van het core netwerk van de netwerkaanbieder. Communicatie tussen terminals aangesloten op verschillende netwerkaanbieders is mogelijk maar verloopt dus indirect.	Biedt de mogelijkheid om vanuit terminals die aan 1 basisstation zijn gekoppeld of in een lokaal cluster zitten om een communicatiesessie op te zetten met een lokale server die zich fysiek al direct voorbij dit basisstation of het lokale cluster bevindt.
Nut	Directe communicatie is nuttig voor informatie-uitwisseling met een zeer plaatselijke en vaak tijdelijke context en relevantie, zoals bij kruispunten en elders waar verkeersdeelnemers elkaar tot op korte tot zeer korte afstand naderen ⁴⁷ . Directe communicatie wordt zinvol als informatie veiligheidskritisch wordt, maar staat wel (nog) op gespannen voet met huidige veiligheidsaxioma's	Nut van netwerk-gebaseerde communicatie is dat het door de aanwezigheid van een netwerk-infrastructuur geen eis oplegt aan de relatieve positie van de zender van informatie ten opzichte van de ontvanger(s), althans binnen de geografische scope van het netwerk. Daarnaast kan het netwerk specifieke waarde toevoegende diensten aanbieden aan de aangesloten terminals (en gebruikers).	Dit concept maakt het mogelijk om op zeer lokaal niveau processing en opslag toe te passen. Hiermee kan ook via een specifieke lokale toepassing directe communicatie worden nagebootst (lokale informatie-uitwisseling tussen terminals met vertragingstijden die beduidend korter zijn dan in netwerken zonder LBO/MEC).

⁴⁷ Bij toepassing van directe communicatie is de toepassing van een centrale applicatieserver ook mogelijk, maar wordt dit technisch anders gerealiseerd (in de vergelijking met een mobiel netwerk).

Effectiviteit van informatie-uitwisseling				
	Bereik weggebruikers	Beperkt tot weggebruikers die zijn uitgerust met een OBU die voldoet aan dezelfde standaard. Bij ITS-G5 is deze populatie vooralsnog zeer beperkt, maar kent wel een groeiprognoze op basis van aankondigingen van bepaalde autofabrikanten. Bij C-V2X technologie is momenteel überhaupt nog geen sprake van bereik.	Beperkt tot gebruikers die beschikken over een device (smartphone of een OBU) met een xG wireless interface. Bereik onder weggebruikers is in potentie zeer groot door de zeer hoge adoptiegraad zowel van connected cars als ook van smartphones.	Bereik beperkt tot gebruikers die zijn aangesloten op een mobiel netwerk dat LBO/MEC toepast en dan binnen het geografische gebied waarin LBO wordt ondersteund.
	Eigenaarschap	Eigenaar van het vervoersmiddel is tevens eigenaar van communicatieapparatuur (OBU). Bij wegkantsystemen is de eigenaar van die systemen (exploitant, typisch de wegbeheerder) automatisch eigenaar van die apparatuur. Dit is momenteel en op korte termijn lang niet voor alle typen weggebruikers een triviale aangelegenheid i.v.m. aanschafkosten en mogelijkheden voor hosting (vooral voetgangers maar ook fietsers).	De apparatuur aan gebruikerszijde is (smartphone, modem) evenals de SIM-kaart is i.h.a. in eigendom van de eigenaar van het vervoersmiddel ⁴⁸ . Dat geldt ook voor wegkantsystemen. De netwerkinfrastructuur is in eigendom van de netwerkaanbieder.	Zie kolom links, met dien verstande dat de nabootsing van directe communicatie een dienst/toepassing van het mobiele netwerk <i>kan</i> zijn, maar dat is niet per se het geval. Het kan ook een applicatie zijn die door een derde partij op een MEC-node wordt geëxploiteerd (en waar abonnees van verschillende netwerken op kunnen zijn aangesloten)

⁴⁸ Bij onder andere Tesla is sprake van een gebruiksrecht of licentie voor voertuigsystemen. Dit is een afwijkende vorm van eigendomsverhoudingen.

	Toegang tot informatie	Is in beginsel beperkt tot de informatie waarover de deelnemende, onderling communicerende stations zelf (op het hosting platform) beschikken. Echter indien een of meerdere stations ook een koppeling hebben met het vaste Internet (bijv. een RSU) dan wordt daarmee ook de toegang tot cloud-based informatie ontsloten voor alle stations die daarmee in verbinding staan. Communicatie met de cloud is technisch mogelijk indien bijvoorbeeld een RSU ook verbinding kan maken met het vaste Internet (bijvoorbeeld RSU). Die protocolconversie is voor ITS-G5 echter niet gestandaardiseerd.	Mobiele netwerken bieden bijv. default toegang tot het vaste internet en dus tot cloud-based informatie op basis van het client-server model. Rechtstreekse toegang van terminals tot elkaars informatie kan alleen via het core netwerk.	Zie kolom links, met daarbij de opmerking dat de informatie waar men toegang toe heeft kan zijn beperkt tot wat de lokale applicatie genereert c.q. verzamelt. Er is niet noodzakelijkerwijs ook toegang tot het publieke internet.
	Kosten vs. effectiviteit	Vanuit het perspectief van de weggebruiker kunnen de kosten van directe communicatie beperkt blijven tot de kosten van de benodigde (OBU) apparatuur. Abonnementkosten zijn hier niet aan de orde omdat er geen rol is voor een commerciële service provider. Als we wegkantsystemen buiten beschouwing laten dan zijn de totale systeemkosten dus proportioneel met de participatiegraad. De effectiviteit van directe communicatie neemt meer dan proportioneel toe met de	Vanuit het perspectief van de gebruiker zijn de kosten beperkt tot de aanschaf van het device (OBU of smartphone) en de abonnementskosten plus eventuele kosten buiten de bundel. De kosten gemoeid met de uitrol en exploitatie van een landelijk mobiel netwerk zijn voor de mobiele operator en die zijn zeer hoog (ordegrootte miljarden euro's), maar deze kosten worden omgeslagen over zeer grote aantallen gebruikers die deze netwerken grootschalig en voor uiteenlopende toepassingen benutten. De effectiviteit van de communicatie is afhankelijk	Kosten van LBO zijn afhankelijk van de granulariteit waarop het wordt toegepast en hoe zwaar de faciliteit (MEC-nodes) worden opgetuigd. Hoe de LBO/MEC-infrastructuur er uit zou moeten zien puur vanuit de optiek van nabootsing van directe communicatie is voor TNO nog niet duidelijk vanwege verschillende afwegingen en complicaties (zoals handover). Dat bepaalt zowel de kosten als de effectiviteit.

		participatiegraad. Voor de wegkantsystemen zijn investeringen in RSUs op een nader te bepalen aantal locaties noodzakelijk en zijn er operationele kosten voor updates en onderhoud.	van de eisen die de use case stelt. Deze is typisch voor informerende diensten zeer hoog, maar voor waarschuwende diensten kan dit aanzienlijk lager zijn.	
	Privacybescherming	Houdt in de basis geen rekening met privacy omdat bij directe communicatie verkeersdeelnemers actief zendgedrag toepassen en uitgezonden berichten per definitie vrij te ontvangen zijn door derden. Er zijn wel technische maatregelen om het verlies van privacy te beteugelen, met name door gebruik van pseudo identiteiten bij de ondertekening van berichten, maar zijn volgens opinie⁴⁹ van de autoriteiten persoonsgegevens, niet voldoende voor compliance met AVG. De eisen voor privacy beperken het soort en de exactheid van data en vragen om extra rekenkracht en beveiliging van systemen in de hardware en software.	Biedt wel privacybescherming. In ieder geval tussen aangesloten abonnees onderling. Tevens zijn uitzendingen niet met eenvoudige middelen door derden af luisterbaar, en verder op basis van de aanname dat de mobiele operator als trusted party wordt beschouwd. Bovendien vallen mobiele netwerken onder bescherming van Wbni/Bbni als overige vitale infrastructuur.	De mate van privacybescherming is afhankelijk van de implementatie en de betrokkenheid van een derde partij naast de mobiele operator. Het is in principe technisch realiseerbaar met een hoge mate van privacybescherming.

⁴⁹ Bron: https://ec.europa.eu/newsroom/article29/item-detail.cfm?item_id=610171

Interoperabiliteit	Voorwaarde voor interoperabiliteit is onderlinge compatibiliteit van de protocolstacks aan zend en ontvangzijde. Specifiek issue bij directe communicatie is de incompatibiliteit van ITS-G5 en C-V2X (PC5) op de radiolaag. Interoperabiliteit op hogere lagen door keuze identieke standaarden en profiles voor berichten.	Interoperabiliteit op de radiolaag is (vooralsnog) uitsluitend aan de orde binnen 1 operator domein. Op hogere lagen te bereiken door keuze van identieke standaarden en profiles voor berichten (daarmee niet wezenlijk anders t.o.v. directe communicatie)	Zie kolom links. De toepassing van LBO/MEC resulteert niet in aanvullende/specifieke interoperabiliteitsissues.
Spectrum	Wordt geacht te worden gebruikt in licentievrij en exclusief voor ITS-doeleinden gealloceerd spectrum in de 5,9 GHz band (in EU max. 50 MHz). Actueel vraagstuk is hoe moet worden omgegaan met de co-existentie van C-V2X (Pc5) en ITS-G5 technologie in hetzelfde spectrum (wordt nu door ETSI geadresseerd door aanpassing van de norm EN 302 571) en hoe met deze technologiemix interoperabiliteit kan worden bewerkstelligd. Dat is dan nog niet opgelost.	Mobiele netwerken gebruiken een reeks van gelicenseerde frequentiebanden op basis van een verdienmodel. Gebruik van licentievrij spectrum behoort hier ook tot de mogelijkheden maar dit betreft ander spectrum dan voor ITS (5,9 GHz) is bedoeld.	Zie kolom links.
Storingsgevoeligheid	Systemen voor directe communicatie zijn gevoelig voor storing. Wellicht belangrijker nog is het vermogen om storing te detecteren. Dat is bij directe, ad-hoc communicatie in een ongelicenseerde band intrinsiek lastig.	Mobiele communicatienetwerken zijn eveneens gevoelig voor storing. De detectie van storing, althans in de gelicenseerde frequentiebanden, is wel beter te doen in vergelijking tot directe communicatie.	Zie kolom links.

Prestaties en kwaliteit van communicatie (typisch)				
	Latency ⁵⁰ (alleen radiodeel)	Typisch < 10 ms	Typisch 50-70 ms bij 4G met backend systemen, <30 ms in 4G netwerk. In 5G netwerken met actieve inzet van uRLLC gaat dit terug naar enkele milliseconden (e.e.a. afhankelijk van hoe het is geconfigureerd).	Typisch < 20ms
	Geografische dekking	Er is veel debat over de prestaties van individuele technologieën, maar wij houden hier een bereik aan van ca. 300-500m (individuele verbinding). Directe communicatie is onafhankelijk van de lokale aanwezigheid van een publieke en typisch commercieel geëxploiteerde toegangs-infrastructuur (in casu mobiele netwerken) en kan dus in beginsel overal worden toegepast, dus ook waar geen dekking is van mobiele netwerken (behoudens aansluiting op energienetwerk voor zover natuurlijk gewonnen energie niet toereikend is).	Gebied opgespannen door stelsel van basisstations met in theorie volledige dekking. Dekking op specifieke locatie is in de praktijk afhankelijk van connectiviteitsvraag en daarmee samenhangende planningsparameters. In de EU is de dekking van mobiele netwerken gemiddeld 84%. In Nederland is die hoger (variërend tussen 85 en 98% per mobiele aanbieder)	De geografische scope waarbinnen LBO kan werken kan op het niveau zijn van een individuele cel of van een celgroep. Dit is afhankelijk van de gekozen dimensionering.
	Capaciteit	Door toepassing van moderne modulatie- en coderingstechnieken is de kanaalcapaciteit binnen een kanaal van 10	Mobiele operators kunnen de netwerkcapaciteit, o.a. door benutting van 4G/5G technologie, de beschikbare frequentieruimte en verdere	Zie kolom links voor wat betreft capaciteit op de radiolaag. LBO en MEC leveren een positieve

⁵⁰ Latency an sich is voor ITS minder relevant dan tijdigheid van de ontvangen informatie. Op systeemniveau wordt die tijdigheid echter beïnvloed door vertragingen van individuele systemen in een volledige keten. Hier wordt alleen gesproken over het radiocommunicatiedeel in de keten.

		MHz in de orde van tientallen Mbit/s. Die capaciteit wordt gedeeld door het aantal lokaal actieve stations. De capaciteit kan worden verhoogd door bijschakelen van extra frequentiekanalen en door vermogensreductie (onderdeel van DCC). Slim gebruik van multichannel voor capaciteitsvergroting staat bij ITS-G5 nog in de kinderschoenen.	netwerkverdichting extreem ver opvoeren (Gigabits per basisstation zijn zonder meer haalbaar)	bijdrage aan de totale capaciteit van een mobiel netwerk.
	Redundantie	Redundantie bij directe communicatie zit vooral in de meervoudigheid van het aantal stations die een uitgezonden bericht kunnen ontvangen. Afhankelijk van de C-ITS-applicatie is die redundantie zinvol.	Afhankelijk van de mate van gebiedsoverlapping die een netwerkplanner heeft ingecalculeerd is er sprake van redundantie in een mobiel netwerk in die zin dat er zeker in stedelijk gebied vaak meerdere basisstations binnen bereik liggen van een terminal. Na het wegvallen van een verbinding met een bepaald basisstation kan dan een beter alternatief worden gekozen. In de toekomst kunnen mobiele terminals ook simultaan aan meerdere basisstations gekoppeld zijn (voor aggregatie datasnelheid of voor redundantie). Het is denkbaar dat er ook meer mogelijkheden komen om van netwerk te switchen bij onvoldoende dekking van 1 netwerk.	LBO en MEC dragen bij aan redundantie, afhankelijk van hoe e.e.a. is gedimensioneerd. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat MEC nodes elkaars back-up vormen als een MEC-node uitvalt.

Schaalbaarheid	Er zijn grenzen aan de schaalbaarheid van directe communicatie die overigens sterk technologie-afhankelijk zijn. Directe communicatie werkt op basis van zelfsturing, d.w.z. dat individuele stations hun gedrag moeten aanpassen (proactief of reactief), hetgeen in beide gevallen consequenties heeft voor de communicatieprestaties. Vergroting schaalbaarheid door toepassing DCC. Nog zeer weinig praktische ervaring mee	Voor mobiele netwerken zijn ook grenzen aan schaalbaarheid waarbij niet zozeer het aantal aangesloten terminals de bottleneck is maar de throughput. Een operator heeft instrumenten om verkeerspieken en congestie te managen (bijvoorbeeld door ITS-verkeer separaat te behandelen). Voor zover wij weten zijn er geen cijfers bekend uit de praktijk die meer inzicht geven in de schaalbaarheid.	
Betrouwbaarheid ⁵¹	Op het niveau van informatie is dit geborgd via PKI. PKI is technisch uitgewerkt. Issues zijn impact op in-band capaciteit op directe verbindingen en organisatorische implementatie.	SIM-kaart draagt zorg voor authenticatie van de op het netwerk aangesloten terminals. Betrouwbaarheid van de informatie hangt af van toegepaste beveiliging op sessieniveau	De LBO/MEC-constructie verhoogt waarschijnlijk de kwetsbaarheid van het netwerk voor cyber crime. Of dit daadwerkelijk zo is, c.q. wat eraan kan worden gedaan is op dit moment nog niet bekend.
Bedrijfszekerheid	Directe communicatie is in vergelijking met infrastructuur gebaseerde communicatie een relatief eenvoudig en recht-toe-recht-aan-concept, wat een positieve bijdrage levert aan de bedrijfszekerheid van die communicatie. Dat is ook de reden waarom ad-hoc netwerken in het militaire domein favoriet zijn.	Moderne 4G netwerken zijn platte (niet hiërarchische) netwerken met een relatief eenvoudige architectuur en met de mogelijkheden om basisstations onderling rechtstreeks te koppelen (eventueel dubbel). De bedrijfszekerheid van het netwerk wordt ten eerste in belangrijke mate bepaald door dat van het core netwerk waar weliswaar aandacht wordt geschonken aan redundantie, maar 0% kans of	Een specifiek aandachtspunt is de bedrijfszekerheid van Mobile Edge Computing faciliteiten die extra worden aangebracht aan de rand van een mobiel netwerk. De impact van uitval wordt sterk bepaald door het verzorgingsgebied van een LBO/MEC-oplossing. Door decentralisatie van opslag en processing faciliteiten neemt de bedrijfszekerheid van het systeem als geheel

⁵¹ Het gaat hier specifiek om de betrouwbaarheid (of verlies daarvan) in relatie tot de communicatie. Het zegt dus niets over de betrouwbaarheid van informatiebronnen.

			uitval is niet realistisch. De bedrijfszekerheid wordt op lokaal niveau beïnvloed door uitval van individuele basisstations of van een cluster. Congestie, interferentie en signaalblokkering hebben ook invloed op de bedrijfszekerheid van individuele communicatieverbindingen, maar dat is universeel voor radio gebaseerde infrastructuur. 5G technologie biedt de operator extra handvaten om de bedrijfszekerheid van communicatieverbindingen te verhogen.	toe. Op lokaal niveau waar directe communicatie wordt toegepast is dit niet relevant en zou zelfs kunnen worden gesteld dat de bedrijfszekerheid onder druk komt te staan omdat gecentraliseerde toepassing van redundantie maatregelen kostbaar is.
	QoS garanties	Er zijn bij directe communicatie geen QoS-garanties. De manier waarop met QoS wordt omgegaan is technologie-afhankelijk.	Bij 4G netwerken kan de onzekerheid in QoS wel worden verminderd. In 5G netwerken komen er meer mogelijkheden om QoS "garanties" af te geven.	Zie kolom

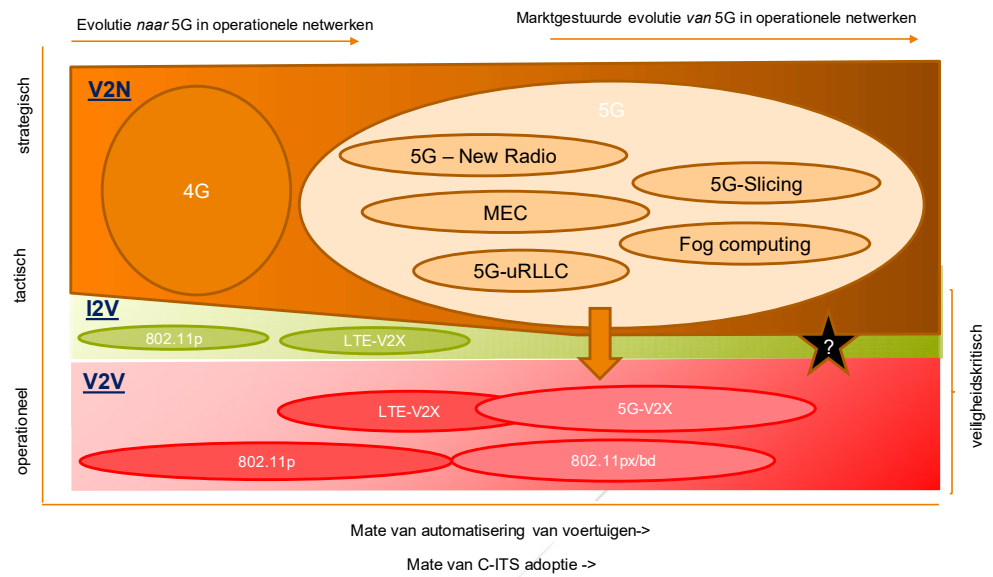
3.5.2 *Ontwikkeling van V2N in relatie tot V2V/V2I*

Zoals hiervoor geschetst is er sprake van een autonome, en sterk door technologische vooruitgang gedreven doorontwikkeling van mobiele communicatienetwerken. Wat betreft de onderliggende standaardisatie wordt sinds enkele jaren rekening ook gehouden met specifieke toekomstige connectiviteitseisen uit het ITS/CCAM-domein. Die ontwikkeling roept de vraag op hoe de facilitering van V2N communicatie via die netwerken zich gaat verhouden tot vormen van directe communicatie (V2V en V2I/I2V). Via enkele diagrammen is die ontwikkeling en de onzekerheid daarin, weergegeven met de kanttekening dat we ons hebben laten leiden door het technisch-functionele perspectief. Langs de horizontale as verloopt de tijd en veronderstellen we 1) een toenemende mate van automatisering van voertuigen en 2) een eveneens toenemende adoptie van ITS in het mobiliteitsdomein. We veronderstellen dus dat in de loop van de tijd de vraag naar connectiviteit vanuit de ITS/CCAM sector sowieso zal toenemen. Verticaal is een driedeling gemaakt tussen “strategisch”, “tactisch” en “operationeel”. Dit zijn begrippen uit de automobielwereld en duiden op het niveau van gedrag van voertuigen. Het strategische niveau betreft routeplanning en daarmee samenhangend (niet tijd-kritisch, niet veiligheid kritisch). Het operationele niveau duidt op direct voertuiggedrag (sturen, remmen; veiligheid kritisch en mogelijk tijdkritisch). Het tactische niveau zit daar tussen in (kiezen van rijbaan, inhalen).

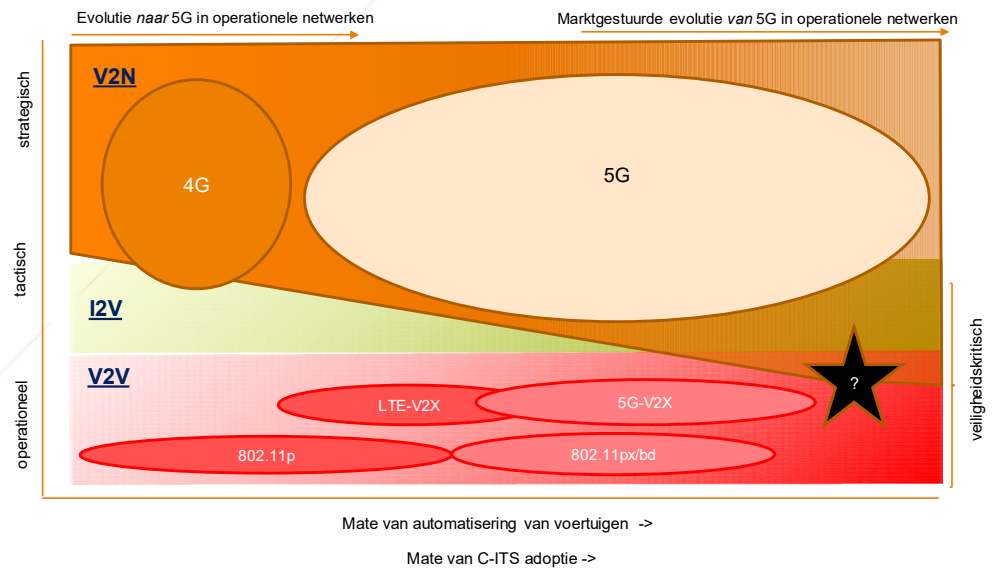
In het linker diagram worden in deze opgespannen ruimte V2N- en V2V-communicatie gepositioneerd en zijn relevante technologische ontwikkelingen weergegeven. Wat de eerste figuur laat zien is dat met de transitie van 4G- naar 5G-gebaseerde netwerken en ook binnen de 5G generatie de functionele doorontwikkeling daarvan, de *capabilities* van mobiele netwerken opschuiven richting het operationele niveau. Hoever die verschuiving zich daadwerkelijk voltrekt hangt sterk af van de commercieel gedreven implementatie roadmaps van mobiele operators en hoe daarmee de vraag naar kwaliteitskritischer CCAM connectiviteit kan worden bediend.

Als we gegeven die ontwikkeling in de Nederlandse context dan eerst naar het perspectief van V2I/I2V-communicatie kijken, dan rijst er tenminste twijfel of V2I/I2V op termijn in algemene zin relevant blijft, vanwege het substitutie-effect van mobiele netwerken. Een tegenargument kan hier zijn dat het in een hybride communicatiebenadering intrinsiek zijn relevantie behoudt als tweede onafhankelijke communicatieoplossing. Gezien echter de redundantie van volledig overlappende en functioneel gelijkwaardige mobiele netwerken in Nederland zou dit ook opgevangen kunnen worden via dubbele verbindingen naar verschillende netwerken, eventueel in combinatie met ‘fast roaming’ technieken. Dit kan, mits sprake is van voldoende onderlinge ontkoppeling van deze netwerken. Verder kan V2I/I2V-communicatie meerwaarde behouden in specifieke ITS niche applicaties.

Als we vervolgens naar het perspectief voor V2V-communicatie kijken, dan is het denkbaar dat er zelfs ook op operationeel niveau sprake is van een substitutie-effect, maar dat zou dan puur op basis van technische prestaties het geval kunnen zijn. Dat kan echter op dit moment niet overtuigend worden aangetoond. We achten het aannemelijk dat V2V-communicatie bestaansrecht heeft en houdt voor directe communicatie tussen voertuigen op operationeel-tactisch niveau.



Figuur 7: Evolutie in de benutting van communicatietechnologie voor V2N- en V2I/V2V-communicatie: substitutie-effect op V2I/I2V



Figuur 8: Evolutie in de benutting van communicatietechnologie voor V2N- en V2I/V2V-communicatie: substitutie-effect op V2V

4 Slotbeschouwing

MinlenW heeft TNO benaderd met de vraag om inzicht te geven in de toegevoegde waarde van directe communicatie en inzet van de huidige (ITS-G5 o.b.v. IEEE 802.11p en LTE-V2X) en toekomstige (IEEE 802.11px en 5G-V2X) vormen van directe communicatie in ITS-toepassingen ten behoeve van het wegverkeer in Nederland. Daarbij is gevraagd in eerste instantie terug te kijken naar wat erin uitgevoerde en nog lopende ITS-projecten in Nederland is geleerd op dit onderwerp en anderzijds een blik vooruit te werpen ten aanzien van wat nog noodzakelijk is voor bredere toepassing in de praktijk.

Dit rapport geeft ten dele antwoord op deze vraag. Het bevat vooral een overzicht van ervaringen en ontwikkelingen rond telecommunicatie voor ITS, met daarin specifieke aandacht voor directe communicatie. In dit hoofdstuk is een slotbeschouwing opgenomen met de voorgaande bevindingen als hoofdingrediënten.

4.1 Samenvatting terugblik

De ITS-projecten die in dit onderzoek zijn meegenomen zijn C-Mobile (aangevuld met voorlopers FREILOT, Compass4D, C-The Difference), Ensemble, A58 Spookfiles, PPA-1 en PPA-2, Concorda - regio Noord-Holland (aangevuld met voorlopers PPA-1 en PPA-2), 4G5, Concorda – regio Noord-Brabant, Talking Traffic, C-ITS Corridor en InterCor.

De uitvraag heeft een vrij breed inzicht opgeleverd ten aanzien van waar we nu met C-ITS staan in Nederland. Het beeld is dat er in Nederland in deze projecten - in een zekere samenhang - buitengewoon veel werk is verzet om ITS-toepassingen te ontwikkelen en de meerwaarde daarvan niet alleen te demonstreren maar ook zo dicht mogelijk te komen bij het niveau waarop opschaling een reële vervolgstap is.

We zien ook dat vanuit een aantal specifieke projecten sterk wordt bijgedragen aan harmonisatie op Europees niveau. Er is wat betreft ITS-communicatie *grosso modo* aan beide opties (directe en netwerk-gebaseerde communicatie) aandacht geschonken en er is serieus ingezet op hybride communicatie. Uit de uitvraag is gebleken dat weliswaar qua connectiviteit niet alle issues zijn opgelost, maar dat de complexiteit - zowel technisch als organisatorisch - op een ander niveau zit, namelijk in het operationeel brengen van informatiediensten met voldoende kwaliteit en betrouwbaarheid in een keten met overheden en meerdere marktpartijen uit verschillende sectoren en met specifieke commerciële belangen. De kritische succesfactor voor ITS is het reduceren van deze complexiteit zodanig dat publieke en private partijen overtuigd raken van een positief maatschappelijk respectievelijk zakelijk perspectief, met helderheid over de eigen rol en verantwoordelijkheden. Nu er een duidelijke groei is in het aantal *connected cars* en de opkomst van automatische voertuigen, neemt ook het belang van samenwerking met de automotive industrie voor C-ITS-toepassingen toe en is C-ITS nog veel sterker een internationale aangelegenheid dan het al was.

De uitvraag heeft geen scherp beeld opgeleverd ten aanzien van het specifieke nut en noodzaak van directe communicatie tegenover cellulair. In de beschouwde

projecten waar ervaring is opgedaan met directe communicatie is de keuze voor deze vorm veelal eenvoudigweg een uitgangspunt geweest, om niet afhankelijk te zijn van de lokale beschikbaarheid van een mobiel netwerk. Er zijn weliswaar voor- (en nadelen) aan directe communicatie, maar concrete, onderbouwde antwoorden voor de keuze van alleen direct communicatie zijn niet zozeer vanuit de projecten via deze uitvraag naar voren gekomen.

Tot voor kort is directe communicatie voor C-ITS synoniem geweest met ITS-G5 en zijn de beelden ten aanzien van wat met directe communicatie wel en niet mogelijk is, vooral bepaald door de ervaringen die met ITS-G5 zijn opgedaan. C-V2X biedt technologisch een alternatief maar is nog vrij nieuw. In Nederland is daar nog zeer weinig operationele ervaring mee opgedaan zo is uit de bevraging duidelijk geworden.

Tot slot geven wat betreft wet- en regelgeving diverse betrokkenen in de projecten aan dat aanvullende EU-wetgeving op basis van de ITS Directive noodzakelijk zou zijn voor verplichte introductie van in-car systemen om de beoogde doelen rondom verkeersveiligheid - verminderen van (dodelijke) slachtoffers in het verkeer - te behalen.

4.2 Samenvatting vooruitblik

In de vooruitblik is gekeken naar trends en autonome ontwikkelingen in technologie en in de markt. Voor MinlenW en wegbeheerders is het belangrijk om hierop aan te haken, met als doel dat binnen een termijn van 10 jaar er een hoge mate van verkeersveiligheid is bereikt tegen acceptabele kosten. De overheid kan bepaalde ontwikkelingen ook sturen, bijv. door subsidies voor specifieke veiligheidssystemen in voertuigen of langs snelwegen, of door uitbreiding van huidige wetgeving ten aanzien van verplichte veiligheidssystemen in voertuigen. Belangrijk is daarbij wat het beoogde einddoel is en een zo goed mogelijk inzicht in belangrijke consequenties van sturing.

Binnen deze studie zijn een aantal trends en ontwikkelingen beschreven:

- De *aangekondigde invoering van ITS-systemen* door diverse Europese autofabrikanten is een belangrijke ontwikkeling die onder andere in Oostenrijk ook door de wegbeheerders wordt opgepakt en waarbij de praktische ervaringen rondom organisatie, *conformance assurance* en uitrol van bijbehorende PKI-infrastructuur) belangrijke inzichten zullen opleveren voor een succesvolle, grootschalige en toekomstvaste uitrol van C-ITS-systemen.
- De nieuwe EU General *Safety Regulation* voor ADAS systemen is vanaf 2022 van kracht, die met name voor V2V en V2P use cases van belang is. Door deze verplichting van bepaalde ADAS systemen vanaf 2022 in nieuwe voertuigen worden deze systemen belangrijker. Dit beperkt deels de noodzaak voor externe informatie voor operationeel gebruik in het directe bereik van de ADAS-sensoren in het voertuig.
- *Connected, Cooperative and Automated Mobility*: het aantal voertuigen dat verbonden is met internet zal de komende jaren sterk groeien. Hiermee wordt de ontsluiting van informatie uit voertuigen eenvoudiger, maar wordt het ook eenvoudiger om externe informatie te delen met deze voertuigen. De manier

waarop is nog onduidelijk, met name voor informatie rondom verkeersveiligheid (zie vorige punt inzake nieuwe GSR), maar autofabrikanten lijken hier een belangrijke rol in gaan spelen. Vanuit C2C CC is een roadmap opgesteld van Day-2 en Day-3 use cases waarin automatisering, coöperatief gedrag en veiligheid centraal staan. Deze use cases zullen de komende periode verder ontwikkeld en beproefd moeten worden. De beleidsdoelstelling op Nederlands en Europees niveau om het verkeer intrinsiek veiliger te krijgen speelt ook in op die trend. Dit betekent dat de huidige en toekomstige ITS use cases opnieuw bekeken moeten worden om te bepalen of en in welke situaties deze informatie door autonome en geautomatiseerde systemen gebruikt kan worden en wat dit betekent voor de rolverdeling tussen voertuigen en de wegwijk (in ruime zin). De vraag is hoe deze ontwikkeling zijn weerslag krijgt in de Europese SRTI- en RTTI-specificaties⁵² en straks ook die voor C-ITS;

- *Generieke ICT-ontwikkelingen*: de trend naar cloud-based oplossingen op basis van steeds meer generieke ICT-technologie, ontsloten via mobiel 4G en later 5G internet in een globale markt, en verdere integratie met mobiele netwerken om te voldoen aan de hogere communicatie-eisen van sectorspecifieke toepassingen zoals bijvoorbeeld de consumentenmarkt, van de automobiellndustrie maar ook van andere sectoren. Een trend naar verschuiving van computing kracht naar de randen van netwerken;
- *5G-technologie en sectorspecifieke oplossingen* zoals C-V2X: vanuit de leveranciers in de mobiele industrie zijn er grote commerciële belangen om C-V2X tot een succes te maken. De ontwikkelingen in China en de Verenigde Staten zijn voor Europa interessant, om te zien waar de markt naar toe gaat, mede gezien regelgeving en aantoonbaarheid van effecten. Dat vraagt om actieve monitoring.

4.3 Kennisvragen en suggesties voor acties

4.3.1 Inleiding

Op basis van dit onderzoek is aan TNO gevraagd om kennisvragen te identificeren en om aanbevelingen te doen voor benodigde acties o.a. van de overheid.

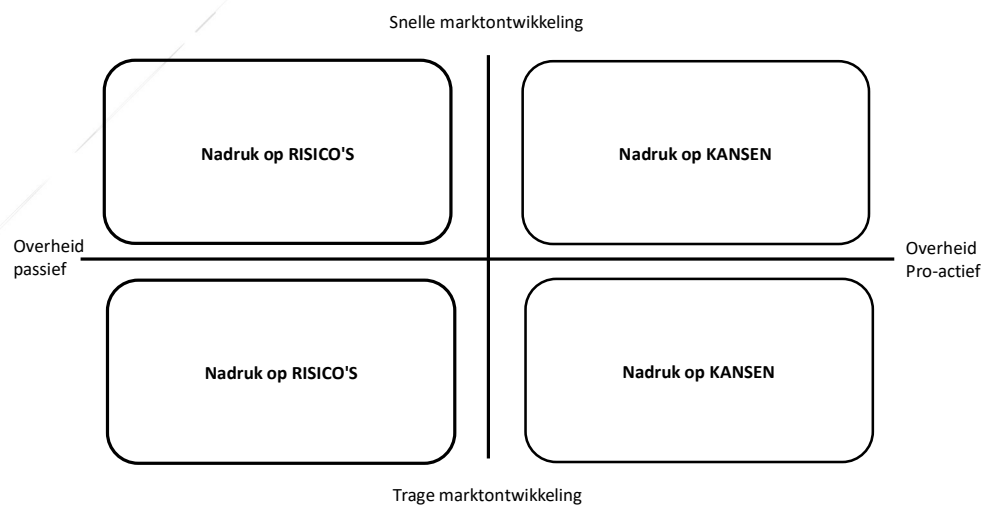
Er zijn in dit onderzoek een groot maar zeker niet volledig aantal (kennis-)vragen geïdentificeerd op diverse deelonderwerpen. Die zijn in dit hoofdstuk op een samenhangende manier weergegeven. We claimen niet dat er in de wereld nog geen antwoorden zijn op dergelijke vragen, maar wel dat ze naar de inschatting van TNO *in de Nederlandse context* nog niet zijn beantwoord.

Aanbevelingen o.a. aan de overheid zijn echter sterk afhankelijk van hoe bepaalde (markt)ontwikkelingen met een autonoom en/of internationaal karakter gaan verlopen. Denk hierbij aan de geschetste ontwikkeling van de uitrol van generieke ICT infrastructuur (cloud oplossingen), de uitrol en functionele uitbouw van 5G-technologie, incl. voor ITS relevante functionaliteiten en ontwikkelingen in de automobiellndustrie, in het algemeen en specifiek t.a.v. V2X. Voor het ministerie van MinlenW zijn overkoepelende maatschappelijke doelstellingen rondom vergroting

⁵² SRTI: Safety Related Traffic Information; RTTI: Real-Time Traffic Information. Zie ook https://ec.europa.eu/transport/themes/its/road/action_plan/traffic-information_en

van verkeersveiligheid van alle verkeersdeelnemers en doorstroming de basis voor acties, waarbij een scala van overwegingen wordt meegenomen. De scope van deze uitgevoerde studie doet onvoldoende recht aan het scala van overwegingen die normaliter ten grondslag liggen aan nieuw beleid. Derhalve kunnen de suggesties in dit hoofdstuk niet als rechtstreeks beleidsadvies worden gezien maar hopelijk wel een zinvolle bijdrage leveren aan die overwegingen. Daarnaast kan de attitude van een overheid m.b.t. realisatie van de doelstellingen variëren tussen passief (zoveel mogelijk overlaten aan de markt) naar proactief (actieve sturing van de ontwikkeling via meerdere rollen). Hier zijn beide attitudes tegenover elkaar gezet om enerzijds risico's bij uitblijven van actief beleid onder de aandacht te brengen en anderzijds bij actief beleid aan te geven waaraan kan worden gedacht.

Wat betreft de ontwikkeling van de internationale markt hebben we op dezelfde wijze een onderscheid gemaakt tussen een actieve internationale markt rond CCAM en juist een zich traag ontwikkelende markt. Op deze manier ontstaan een viertal scenario's opgespannen door markt en overheid. Voor de twee scenario's die relateren aan een "passieve" overheid leggen we de nadruk op bepaalde risico's (in relatie tot de overkoepelende maatschappelijke doelstelling) en voor de beide andere scenario's die relateren aan een "pro-actieve" overheid leggen we de nadruk op bepaalde kansen. Gezien de scope van dit onderzoek is dit canvas concreet toegepast op de snelheid waarmee de internationale automobiel industrie V2N (Connected Car; cellulair) respectievelijk V2V (directe communicatie) technologie adopteert⁵³, aangezien dit in onze visie een belangrijke impact heeft op hoe C-ITS zich in een nationale context verder ontwikkelt.



Figuur 9: Canvas met scenario's op basis van tempo marktontwikkeling en attitude van de overheid

De twee gekozen toekomstscenario's zijn:

- 1) *Scenario A*: Markt (incl. autofabrikanten) gaat vooral voor het cellulaire spoor: C-ITS toepassingen worden via cellulaire netwerken (V2N) geboden via het bestaande spoor van 'connected car' oplossingen. Huidige connected car oplossingen zijn gericht op infotainment (in-car Wi-Fi met 4G verbinding vanuit voertuig) en monitoring van voertuig. 5G netwerken en verbeteringen

⁵³ Het gaat in deze scenario's dus niet om de diensten maar om de connectiviteitsoplossing ondersteunend aan die diensten. Dus bijv 'trage V2N adoptie' slaat op een trage adoptie van de automobiellndustrie van het gebruik van cellulaire netwerken.

in 4G netwerken ontwikkelen zich in dit scenario zodanig dat deze V2N oplossingen ook geschikt worden voor C-ITS toepassingen met zijn striktere eisen aan betrouwbaarheid, beschikbaarheid, geografische dekking en snelheid van communicatie (ms). De adoptie van deze V2N oplossingen kan hierbij snel of langzaam verlopen, waarbij andere risico's én acties horen.

- 2) *Scenario B*: Markt (incl. autofabrikanten) gaat voor veiligheidskritische toepassingen voor het V2V spoor: de markt (lees autofabrikanten) kiezen voor C-ITS via directe communicatie. Autofabrikanten kiezen (unaniem) voor V2V oplossingen o.b.v. directe communicatie (ITS-G5 en/of C-V2X). De nadelen van mobiele netwerken (dekking, performance) en afhankelijkheid van mobiele operators (kosten, diensten) wegen zwaarder dan de verwachte voordelen voor C-ITS via mobiele netwerken.

4.3.2 Kennisvragen en suggesties per aandachtsgebied

Hierna wordt ieder aandachtsgebied kort besproken en worden kennisvragen, risico's en suggesties voor acties gepresenteerd.

4.3.2.1 Ten aanzien van toekomstige C-ITS Use cases

Zoals eerder gesteld zullen mede onder invloed van de ontwikkeling naar geautomatiseerde mobiliteit nieuwe use cases ontstaan die om nadere uitwerking vragen. Tevens zullen bestaande uitwerkingen van inmiddels bekende use cases in verband met die ontwikkeling opnieuw bekeken moeten worden. Gezien de forse effort die hiermee gemoeid is, is van belang om a priori over duidelijke zo specifiek mogelijke *hypothesen* te beschikken over het te verwachten effect van C-ITS, hypothesen die vervolgens op basis van pilots en daadwerkelijk uitgerolde oplossingen (op kleinere schaal) kunnen worden getoetst. Hiermee wordt gewaarborgd dat de energie zoveel mogelijk wordt gericht op die use cases waar (op termijn) de meeste maatschappelijke impact wordt behaald.

Bij een **snelle V2N adoptie** bestaat de mogelijkheid dat de autonome belangstelling in de sector ook sterk uitgaat naar 'V2N friendly' use cases. Dat kan een risico in zich houden dat veiligheidskritische use cases (waaronder VRU use cases) minder aandacht krijgen. Dat risico is bij uitstek het geval als dan ook nog sprake is van een **trage V2V adoptie**.

Aldus zijn de kennisvragen de volgende (tussen haakjes is aangegeven of de vraag vanuit de bevraging van een project is gekomen of een generieke betekenis heeft):

- Wat gaat de automotive industrie doen, met de verschillende ontwikkelingen van *automated* en *connected cars* (Generiek):
 - *Automated cars* met gebruik van eigen sensoren en hogere veiligheidsmarges (volgafstanden, snelheid, comfort) => direct voordeel voor bestuurder/inzittenden
 - *Connected car*: versturen en ontvangen van informatie in verschillende stappen: i) uit eigen voertuigen via cloud van autofabrikant, ii) delen van informatie met derden via cloud, iii) delen van informatie direct tussen voertuigen
- Hoe gaan *safety critical* use cases zich verder ontwikkelen, ook in acht genomen de effecten van de vernieuwde GSR?

- Welke use cases hebben een voorspelde substantiële impact op mobiliteit?
- Op welke manier zijn de huidige Day1 *safety-related* use cases bruikbaar voor ADAS en/of automatische voertuigen?
 - Externe C-ITS-informatie voor voertuigen in combinatie met *functional safety* systemen in voertuigen (CONCORDA, ENSEMBLE);
 - Externe C-ITS-informatie voor voertuigen op grotere afstanden i.v.m. tijdige, geleidelijke aanpassing van snelheid en rijbaan (comfort), i.p.v. veiligheid gerelateerde informatie op korte afstand van voertuig (CONCORDA);
 - Externe C-ITS-informatie van wegkantsystemen specifiek in combinatie met truck platoons en specifieke I2V-informatie voor truck platoons (ENSEMBLE).
- Op welke manier kan de volgende generatie van C-ITS use cases (*beyond Day1*) bijdragen aan verbetering van verkeersveiligheid en doorstroming en in welke vorm:
 - Coördinatie van bewegingen tussen voertuigen (Generiek)
 - Delen van informatie (*collective perception* o.a. voor kwetsbare weggebruikers) tussen voertuigen (Generiek)
 - Specifieke C-ITS use cases voor kwetsbare weggebruikers (Generiek)
 - Multi-brand truck platooning: communicatie is gereed, andere aspecten zijn nog open zoals integratie met *functional safety* en afstemming over informatie-uitwisseling en vertalen naar veilige marges voor Multi-brand truck platooning op kortere afstanden (ENSEMBLE).

Gezien de complexiteit van use case analyses is enige prioritering onvermijdelijk. Naast de toets op verwachte positieve impact op mobiliteit, zou de aandacht specifiek kunnen worden gericht op use cases in *verstedelijkt gebied* (kruisingen), *truck platooning* en kwetsbare verkeersdeelnemers. De betrokkenheid van de overheid (wegbeheerders) in de uitwerking van use cases is altijd al van belang geweest maar veel nadrukkelijker dan in het verleden wordt de betrokkenheid van partijen uit de automobielenindustrie essentieel. Zij hebben belang bij een minimale fragmentatie van use cases binnen hun markt. Voor Nederland zou hier de aanpak kunnen zijn om een trekkende rol te nemen/houden in de doorontwikkeling van de hiervoor genoemde categorieën use cases en verder zo veel mogelijk aan te sluiten bij wat er op Europees niveau gedefinieerd gaat worden. Nederland kan zich inzetten (NL en EU) voor het verbeteren van met deze use cases samenhangende I2V-informatiediensten van wegbeheerders: de kwaliteit (tijdige en juiste informatie), uniformiteit en opschaling zijn belangrijke punten voor verbetering.

Als de aansluiting van Nederland op deze ontwikkeling verzwakt, dan leidt dit onherroepelijk tot een suboptimale inrichting van het toekomstige C-ITS/CCAM ecosysteem, met consequenties voor de haalbaarheid van belangrijke mobiliteitsdoelstellingen.

Een specifiek aandachtspunt is de nieuwe EU General *Safety Regulation* voor ADAS systemen vanaf 2022, die met name voor V2V en V2P use cases van belang is. Door deze verplichting van bepaalde ADAS systemen vanaf 2022 in nieuwe voertuigen worden deze systemen belangrijker. Dit beperkt deels de noodzaak voor externe informatie voor operationeel gebruik in de directe bereik van de ADAS-sensoren in

het voertuig. Het is advies is om specifiek te kijken hoe externe informatie bij deze ADAS-systemen een toegevoegde waarde heeft, ook omdat deze ADAS-specificaties voor de wetgeving op dit moment worden opgesteld. Denk aan toegevoegde waarde door i) beperkte bereik van sensoren (geen 360 graden, alleen beperkte zichthoek voor en achter) en ii) op grotere afstanden (buiten eigen gezichtsveld). De externe informatie (en communicatie) is op dit moment niet veiligheidskritisch omdat de bestuurder wordt geïnformeerd / gewaarschuwd en de informatie nog niet wordt gebruikt in ADAS-systemen (met uitzondering voor vrachtwagens bij platooning en mogelijk bij detectie van VRU's). Het is nog niet duidelijk aan welke eisen precies moet worden voldaan om externe informatie daarvoor bruikbaar te maken.

4.3.2.2 *Ten aanzien van informatievoorziening*

De uitwerking van use cases zoals hiervoor genoemd omvat afspraken over uit te wisselen berichten tussen actoren/entiteiten. Die uitwerking zelf is buitengewoon kostbaar maar slaat ook neer in concrete systeemimplementaties die moeten gaan functioneren en een zekere levensduur gaan krijgen. Aldus is een bepaalde visie, onderlinge samenhang en een bepaalde mate van regie blijvend nodig om voldoende toekomstvastheid en flexibiliteit te waarborgen.

Gerelateerd aan de marktontwikkeling rond V2N en V2V is bij een **snelle V2N en/of V2V adoptie** sprake van een opportuniteit die kan worden benut zoals opschaling van bewezen effectieve C-ITS projecten met regionale en lokale overheden / wegebeheerders en andere betrokkenen met gebruikmaking van alle lessons learned (samenwerking, effect op verkeer, acceptatie gebruikers, etc), alsmede de verbetering van de kwaliteit, uniformiteit en opschaling van I2V informatiediensten van wegbeheerders in Nederland en in andere lidstaten. Op internationaal niveau is specifieke aandacht voor verbetering van de informatie-uitwisseling (afspraken rondom delen van informatie) tussen wegbeheerders en autofabrikanten binnen de EU verdienen om in die snelle adoptie het risico op silovorming tegen te gaan.

Met een snelle adoptie kan dus ook een risico ontstaan dat er te weinig tijd wordt genomen voor het op orde krijgen van de informatiehuishouding die met CCAM complexer wordt, waardoor fragmentatie kan ontstaan (meerdere parallelle oplossingen) of juist dominantie van een de facto suboptimale standaard. Het kan langer duren voordat een bepaalde mate van systeemoptimalisatie is bereikt. Als daarentegen de autonome marktontwikkeling rond **V2N en/of V2V** juist **traag verloopt**, bestaat er weliswaar een kans dat de bijdrage van C-ITS aan de verwezenlijking van de mobiliteitsdoelstellingen onder de maat blijft, maar kan dit paradoxaal gezien wel ten goede komen aan de inrichting van de informatiehuishouding simpelweg omdat er meer tijd voor is, mits wel de aandacht daar consequent naar uitgaat (dat is juist lastig aangezien de drijfveren en het handelen van marktpartijen proportioneel is met het marktperspectief). Het is dan zaak dat de overheid die aandacht opeist maar wel vanuit een goed begrip van wat belemmerende factoren zijn. Een mogelijk actie is bijvoorbeeld aansturen op EU-wetgeving ten aanzien van verplichte ontsluiting van data, maar dan moet dat wel als (belangrijke) belemmerende factor zijn herkend.

Ten aanzien van het onderwerp informatievoorzieningen zien we de volgende acties en vragen:

- Identificeren en adresseren van belangrijke belemmeringen (NL/EU) in de informatieketen: C-ITS oplossingen vereisen een voldoende schaalgrootte om effectief te zijn. De ontsluiting van informatie tussen autofabrikanten, wegbeheerders en derden kent belemmeringen (bijvoorbeeld de vraag hoe aftermarket oplossingen kunnen worden bediend). Deze moeten worden opgelost om te komen tot opschaling binnen NL en op EU-niveau. Wij hebben er op dit moment geen zicht op wat die belemmeringen precies zijn. Dit aandachtspunt is vooral bij een trage adoptie van V2N van belang omdat onvolkomenheden in de informatieketen een mogelijke oorzaak kunnen zijn.
- Herziening van visie(s) op C-ITS informatiearchitectuur in het licht van CCAM in het licht van (sterk) veranderende eisen aan die architectuur. In het kader van C-ITS is in het verleden door de Community en in specifieke projecten veel aandacht geweest voor de IV-architectuur en voor concrete implementatie-architecturen. In het licht van CCAM wordt aanbevolen die visie(s) te herijken en tot een zo goed mogelijke convergentie te komen, waarbij de essentie uiteraard ligt bij de koppelvlakken. Blijvende deelname in Europese projecten stimuleert toetsing van die “nationale visie” met het gedachtegoed in andere relevante Europese landen.
- Hiermee samenhangend: Hoe gaat de keten functioneren, met name met betrekking tot (Application) Service Providers, de automobiel industrie en de IT en telecomindustrie (inclusief telecom operators)? Niet alleen technisch (zie vorige punt), maar ook qua toepassing en verdienmodellen?
- Hoe is informatieketen in de praktijk ‘veilig en betrouwbaar’ te krijgen in organisaties: informatie gedeeld in keten, informatie kan onjuist zijn (door foutieve updates, bugs, verstoringen). Maatregelen nodig om dit te signaleren/detecteren, d.w.z. terugkoppeling als informatie NIET juist is (bug, verstoring, etc.). Hoe kun je afwijkingen in informatie in de keten en in systeem in die keten detecteren? Hoe kan de informatieketen qua structuur worden vereenvoudigd. Hoe complexer de keten in elkaar steekt, hoe moeilijker het is deze intrinsiek betrouwbaar te laten functioneren en, niet onbelangrijk, ook te kunnen *bewijzen* dat de keten end-to-end correct in elkaar steekt.
- Verband houdend met het voorgaande: hoe werkt het PKI-security framework in de praktijk, in relatie tot ‘goedkeuring’ C-ITS-systeem en daadwerkelijk gebruik (hoe omgaan met zwakke schakels in keten, black list, white list, bugs, etc.) en praktische performance van PKI. Hoe worden de rollen en verantwoordelijkheden concreet ingevuld? Voldoen de eisen die gesteld worden voor goedkeuring van C-ITS systemen en is het systeem daarmee robuust genoeg wanneer er sprake is van bijvoorbeeld zwakke schakels. Welke aanpakken werken daarbij het beste om de gevolgen van manipulatie van informatie in de keten op te vangen?
- Hoe kan het gat worden gedicht tussen aangedragen oplossingen-/implementaties en de vigerende wetgeving rond privacy (AVG)?
- Hoe moet het verder met datazeggenschap? Goede afspraken hierover is een cruciale enabler voor C-ITS/CCAM gezien de voorziene enorme toename van databronnen, uitwisseling en verwerking.
- Kan een Europese V2X interchange (hub) bijdragen aan de harmonisatie van standaarden voor ITS data binnen Europa? Zo ja, hoe kan dit vanuit Nederland worden bevorderd? Bijvoorbeeld op basis van ervaringen in NordicWay (inter-

- country). Nationale programma's zoals Talking Traffic en PPA zijn namelijk te regionaal voor OEMs. Een Europese aanpak is van belang.
- Welke open plekken zijn er nog in bestaande standaarden en profielen die interoperabiliteit tussen implementaties bemoeilijken?
 - Hoe kunnen updates van C-ITS profielen voor informatie, communicatie en security op lange termijn worden geborgd in onafhankelijke en geaccepteerde organisaties, buiten de technologie-gebonden industrie-consortia (C2C CC en 5GAA) en (tijdelijke) EU platformen voor overheden (zoals C-Roads). Gevestigde organisaties die zich hiervoor kwalificeren zijn ETSI en CEN. Daarbij moet helder zijn hoe de taken worden verdeeld (wie doet wat) en hoe de samenhang wordt bewaakt.

Ten aanzien van de hier opgesomde vraagstukken ligt een mooie taak voor de Nederlandse *Community for Standards and Practices*. Indien dit onderwerp te weinig aandacht krijgt dan is er, zoals bekend, sprake van een risico van blijvende fragmentatie van oplossingen die leiden tot implementatiecomplexiteit in de totale keten, in vendor lock-in en mogelijk zelfs 'winner takes all' effecten. Gezien de snelheid van ontwikkelingen is dit een blijvend aandachtsgebied.

4.3.2.3 *Ten aanzien van (directe) communicatie*

Zoals in het vorige hoofdstuk verwoord is er veel beweging op het front van telecommunicatie en de inzet daarvan in C-ITS/CCAM, wat overigens niet los kan worden gezien van de bredere ontwikkeling binnen ICT naar 'cloudificatie' en decentralisatie van rekenkracht, en toenemende intelligentie van end devices. We constateren dat er een grote, niet te miskennen beweging is richting een door 5G-technologie (en beyond) gedomineerd systeem van communicatienetwerken, in aanvulling op doorontwikkelde IEEE gebaseerde netwerken voor lokale toepassing. De beloftes vanuit de industrie, vooral ook in de combinatie van 5G en CCAM, roept tal van vragen op en plaatst bovendien de overheid voor een zeker dilemma als het gaat om keuzes rond C-ITS deployment voor de korte en lange termijn. Een recent lijvig document dat is opgesteld in het kader van het 5GCAR project laat overtuigend zien dat er nog veel R&D werk moet worden verzet op het gebied van 5G in relatie tot CCAM voordat dit helemaal in kannen en kruiken is. Wat daarin overigens opvalt is dat de relevantie van directe communicatie (V2V en V2I/I2V) nevens geschikt is gemaakt aan netwerk gebaseerde communicatie. Dat zien we ook terug in recent werk in het kader van het ConVeX project evenals in verschillende wetenschappelijke publicaties. Zoals eerder in dit rapport is betoogd, zien we weliswaar dat V2N communicatie een zeker substitutie-effect heeft op directe communicatie, maar het lijkt zeer onwaarschijnlijk dat in het licht van de ontwikkeling in de automatisering van voertuigen dat directe communicatie op langere termijn overbodig wordt. Zonder detailanalyses van specifieke use cases kan worden gesteld dat alle interactie tussen dynamische ITS entiteiten op zeer korte afstanden ('short range') bij voorkeur (ook vanuit de optiek van mobiele netwerken) via directe communicatie wordt afgehandeld. Wat betreft veiligheidskritische V2I/I2V-toepassingen is de vraag in hoeverre MEC een alternatief gaat zijn voor directe communicatie. Dat is niet uitsluitend en alleen een technische afweging.

Een belangrijke factor is de roadmap van de automobieliindustrie op dit punt, waarvan bekend is dat binnen die sector verschillende visies worden aangehangen. Daarin

hebben we onderscheid gemaakt tussen de adoptie van respectievelijk V2N en V2V voor veiligheidskritische C-ITS/CCAM toepassingen, waarbij we de extremen hebben genomen namelijk voor elk een trage of juist snelle adoptie. Bij een **snelle adoptie van V2N** (wat kansrijk is gezien de Connected Car ontwikkeling en de wettelijke verplichting voor een koppeling met Internet voor voertuigen vanaf 2023) wordt de kwestie hoe daar vanuit de generieke, op 5G gebaseerde telecominfrastructuur zo goed mogelijk op kan worden ingespeeld, belangrijk. Verwacht mag worden dat telecompartijen hierop zullen gaan acteren maar het kan op grond van de mobiliteitsdoelstellingen nodig zijn dat de overheid dit bijstuurt of bepaalde voorwaarden stelt. Tevens is er vanuit de overheid actie gewenst om de synergie met parallelle smart city ontwikkelingen te onderzoeken en aandacht te vragen voor VRU protectie op basis van V2N gebaseerde technieken. Bij een **snelle adoptie van V2V** ontstaat de vraag of dit gebeurt op een wijze die daadwerkelijk bijdraagt aan de verkeersveiligheid (niet vanzelfsprekend bij meerdere de facto standaarden), hoe hier vanuit verkeersmanagement optiek van zou kunnen worden geprofiteerd en wat dit vervolgens moet betekenen voor de inrichting van wegkantsystemen waarmee lokaal met voertuigen kan worden geïnteracteed. Ook is er onvoldoende zekerheid of de V2V-adoptie ook gaat resulteren in adequate oplossingen voor de bescherming van kwetsbare weggebruikers.

In een combinatie van een **snelle adoptie van V2N en V2V** wordt de toekomst van C-V2X Mode 3 nadrukkelijker van belang, evenals de omgang met hybride communicatie vanuit het perspectief van de toepassing.

Bij juist trage adopties van de ene vorm of de andere (om welke reden dan ook), is er een risico dat het langer duurt voordat bepaalde mobiliteitsdoelstellingen d.m.v. C-ITS tijdig kunnen worden behaald en ontstaat bij de overheid een prikkel om dit te stimuleren of af te dwingen. Mogelijke acties bij een **trage adoptie van V2N** voor veiligheidskritische toepassingen zijn:

- Aansturen op EU wetgeving t.a.v. verplichte ontsluiten data voertuigen voor derden rondom verkeersveiligheid (autofabrikanten): momenteel is de ontsluiting van data rondom verkeersveiligheid door autofabrikanten vrijwillig in zoverre dat er wel een verplichting bestaat op basis van 886/2013 maar die geldt alleen als er data is en die vindbaar gemaakte dient te worden via de NAP's. Een aantal autofabrikanten neemt actief deel en deelt informatie onderling en met wegbeheerders in bepaalde landen. Als deze vrijwillige deelname tot onvoldoende informatie uit voertuigen leidt kan de EU besluiten om aanvullende wetgeving op te stellen. Dit traject zal echter lange tijd duren, en het ontsluiten van informatie moet ook aansluiten met privacy wetgeving (GDPR). Bij eCall is de verplichte minimale set van informatie ook zeer beperkt (locatie).
- De huidige ITS Directive kan worden gebruikt om informatie van Day-1 C-ITS toepassingen via mobiele netwerken te ontsluiten door het zogeheten "long-range" profiel uit te werken, naast het reeds uitgewerkte "short-range" profiel.
- Het opleggen van specifieke dienstverleningstaken aan mobiele operators in het kader van C-ITS/CCAM. Dit kan rechtstreeks gekoppeld worden aan spectrumlicenties (zie bijvoorbeeld de huidige dekkingsverplichting in de lage banden, maar is geen triviaal traject) of via aanvullende maatregelen van bestuur, mits die tijdig zijn gecommuniceerd aan de markt.

Mogelijkheden voor actie bij een **trage adoptie van V2V** zijn:

- Stimulering toepassing directe communicatie voor specifieke doelgroepen en op specifieke plaatsen o.b.v. meerwaarde (subsidie incentives)
- After-market mogelijk maken voor snellere adoptie (subsidie, wetgeving)
- Wetgeving (Stap 1): C-ITS oplossing o.b.v. V2V conform ITS Directive gericht op interoperabiliteit van C-ITS Day-1 (incl. keuze V2X technologie): minimale set van richtlijnen en specificaties rondom C-ITS systemen om interoperabiliteit binnen de EU te waarborgen, zodat investeringen beschermd zijn.
- Wetgeving (Stap 2): verplichting C-ITS in voertuigen: naast de richtlijnen kan de EU ook besluiten om systemen verplicht te stellen. Dit dient dan aan te sluiten op bestaande wetgeving van veiligheidssystemen zoals bijv. verplicht vanaf 2022. Dit kan ook gekoppeld worden aan V2V-gerelateerde eisen die aan geautomatiseerde voertuigen (SAE niveau 3 en hoger) gesteld moeten gaan worden en kunnen helpen om sterker te gaan focussen op informatieuitwisseling tussen voertuigen (M2M) in plaats van het informeren van de bestuurder (M2H), waarmee de onzekerheid over ontvangst van en reactie op informatie wordt weggenomen.

De geïdentificeerde (kennis-)vragen rond de toekomstige toepassing van (directe) communicatie zijn de volgende:

- Hoe ontwikkelen operationele generieke 5G-netwerken zich de komende jaren qua functionaliteit die voor het ITS/CCAM domein van belang is (denk aan uRLLC)?
- In het verlengde hiervan: Hoe ontwikkelt de standaardisatie, profiling en daadwerkelijke uitrol in Nederland van 5G-V2X zich en hoe sluit dit aan bij de (toekomstige) vraag in de markt?
- Hoe relevant wordt voor ITS/CCAM de mogelijkheid om specifieke 5G technologie dedicated in te zetten, naast de reguliere 5G netwerken?
- Welke C-V2X functionaliteit kunnen we in Nederland daadwerkelijk gaan verwachten in randapparatuur en in netwerkapparatuur/software, en wanneer?
- Hoe werkt C-V2X in de praktijk (mode 3 en 4): interoperabiliteit van producten en performance in de praktijk (CONCORDA)? Praktijktesten van C-V2X (LTE-V2X) door autofabrikanten en met wegbeheerders met huidige producten (D2D oplossing zonder gebruik van mobiele netwerk); idem voor netwerkoplossingen (LTE-MEC, QoS) met UCs met V2N2V i.c.m. UCs met I2N2V van wegbeheerders. Meer inzicht in gedrag bij opschaling (bijvoorbeeld met simulaties in combinatie met praktijktest ter validatie van simulatiemodel).
- Op welke manier kan *network-assisted* V2X worden gebruikt: V2X in mode 3 of V2N2V met netwerkoptimalisaties zoals QoS en edge computing (CONCORDA)? Behalve CONCORDA zal onder andere ook het project 5G-MOBIX (precursor voor CEF call) tot meer inzicht leiden in network assisted V2X.
- Wat zijn de redenen dat V2X PC5 Mode 3 niet aanslaat in de markt? Wat voor consequenties heeft een eventueel achterwege blijven van deze Mode 3 voor de geclaimde synergie met cellulaire connectiviteit? Mogen we met de introductie van 5G V2X hier een inhaalslag verwachten.
- Hoe gaat V2N functioneren met meerdere mobiele netwerken?

- Hoe ontwikkelt de vraag zich (in brede zin) naar MEC-oplossingen, als autonome ontwikkeling? In hoeverre is dit sterk afhankelijk van de vraag vanuit het ITS/CCAM domein?
- In welke specifieke situaties kan hybride communicatie effectief worden ingezet? (CONCORDA, InterCor/C-Roads). Is hybride communicatie noodzakelijk of nuttig? In hoeverre hangt dat af van de situatie (HWN, OVN)
- Is co-existentie van technologieën voor directe communicatie in dezelfde frequentieband mogelijk en op welke manier: dit is in onderzoek bij ETSI naar oplossingen voor ITS-G5 o.b.v. IEEE802.11p (en toekomstige opvolger IEEE 802.11px) en C-V2X op basis van LTE-V2X en opvolger 5G-V2X. Hoe wordt in een situatie met meerdere (defacto) standaarden interoperabiliteit gewaarborgd?
- Hoe kan de bestaande Wi-Fi interface in smartphones praktisch worden benut voor VRU-protectie?
- Wat is de mogelijke meerwaarde van de Wi-Fi 6 ontwikkeling voor ITS/CCAM?
- Hoe kan de beschikbare glasvezel infrastructuur van Rijkswaterstaat worden gebruikt/ingebracht in de verdere ontwikkeling van telecommunicatie-infrastructuur voor C-ITS/CCAM?

Het advies aan de overheid en aan de sector is om op het niveau van use cases en informatie-uitwisseling in ieder geval uit te blijven gaan van / rekening te houden met het hybride communicatie paradigma omdat dat de meerwaarde daarvan reeds is aangetoond, ook de toekomstige meerwaarde in het kader van CCAM wordt gezien (in het kader van vergroting van de betrouwbaarheid in de communicatie) en last but not least dit in deze onzekere periode de beste houvast biedt. Vasthouden aan het paradigma zeggen dat de uitwisseling van informatie tussen ITS-entiteiten ook in de toekomst, zoveel mogelijk onafhankelijk van de onderliggende communicatiedienst wordt gespecificeerd.

4.3.2.4 *Ten aanzien van deployment*

Hier ondersteunen we de oproep die tijdens de terugblik werd geopperd vanuit een van de projecten: "ITS: gewoon gaan doen", waarbij zoveel mogelijk lering moet worden getrokken uit eerdere ervaringen in C-ITS projecten, bijvoorbeeld rondom samenwerking in de internationale keten, effect op verkeer, acceptatie gebruikers en bruikbaarheid van een specifieke C-ITS toepassing in de praktijk. Voorkomen moet worden dat de focus sterk of zelfs uitsluitend op technische aspecten ligt. Wat betreft bruikbaarheid: vanzelfsprekend moet er gezocht worden naar realisaties die een specifieke praktische meerwaarde hebben. Geïmplementeerde C-ITS oplossingen dienen aantoonbaar bij te dragen aan specifieke lokale/regionale mobiliteitsproblemen (veiligheid/doorstroming/milieu). Daarbij is grootschaligheid niet noodzakelijkerwijs prioriteit, maar wel de mogelijkheid om te blijven leren ten behoeve van de koers op de langere termijn. Belangrijk is dat in realisaties (pilots en volledig operationele systemen) gekozen wordt voor een bepaalde mate van flexibiliteit/adaptiviteit zodat tot op zekere hoogte kan worden meebewogen met bepaalde (technologische trends). De overheid (ongeacht niveau) kan hier zelf acteren als launching customer en dit aldus stimuleren. Wachten totdat alle standaarden zijn uitgekristalliseerd is af te raden omdat we verwachten dat die permanent en voor langere duur in ontwikkeling zullen blijven. Verder is van belang dat praktijkervaringen systematisch (dus op basis van een vooraf afgesproken goed werkbaar methode) worden uitgewisseld op nationaal en internationaal niveau.

De oproep “ITS: gewoon gaan doen” roept bij een **snelle adoptie van V2N en/of V2V** minder belemmering op. Indien juist sprake is van een **trage adoptie van V2N** dan is ook hier van belang dat begrepen wordt waar dit door komt. Een zinvolle actie om internationaal de belangstelling aan te wakkeren kan zijn om werk te maken van opschaling en borging van projecten als Talking Traffic en PPA, in combinatie met export van het ontwikkelde gedachtengoed en een actieve bijdrage in Europese harmonisatie van belangrijke interfaces (bijvoorbeeld voor koppeling backend systemen). Bij een **trage adoptie van V2V** ligt het voor de hand zich te richten op meer specifieke toepassingen (met eventueel bijbehorende kleinschalige deployments van wegkantapparatuur) op basis van specifieke, aantoonbare meerwaarde van directe communicatie. Verder strekkend is om over te gaan tot meer dwang via wetgeving (zie volgende punt). Dat is denkbaar als bijvoorbeeld zou blijken dat in het licht van CCAM hybride communicatie een ‘must have’ is, naast V2N communicatie, voor de veiligheid in bepaalde lokale situaties die wel vaak kunnen voorkomen. Dat zou uit onderzoek/experimenten nader moeten blijken.

4.3.2.5 *Ten aanzien van wetgeving*

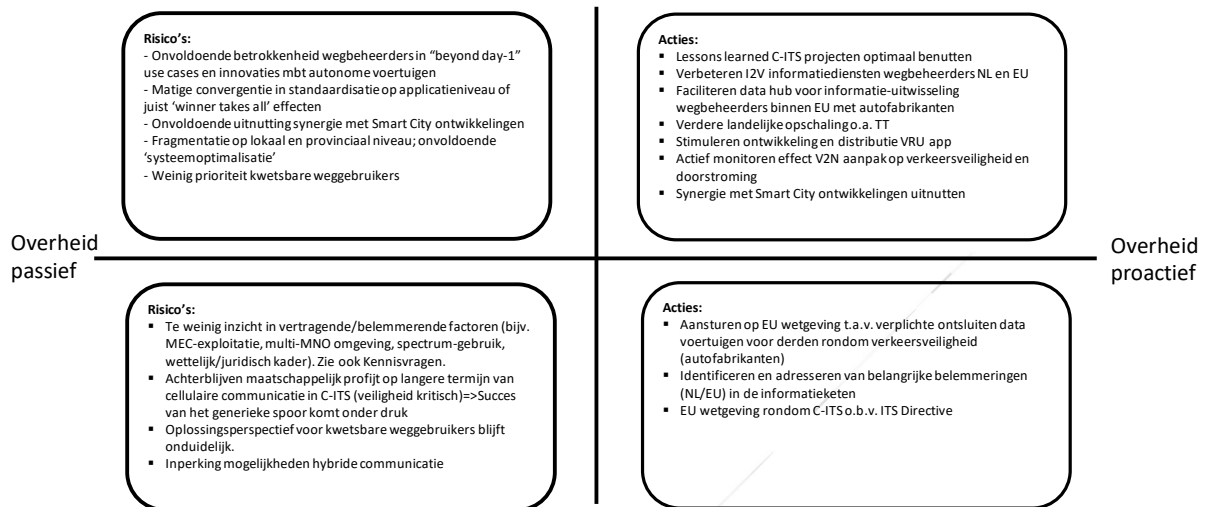
Wetgeving wordt vooral van belang indien de markt niet zelf tot ontwikkeling komt waardoor bepaalde maatschappelijke doelen niet eenvoudig langs die weg worden bereikt. Vanzelfsprekend is wetgeving een uiterste middel en zijn er meer mogelijkheden (nudging, zachte dwang). We focussen hier met name op wetgeving. Concrete vragen die zijn geïdentificeerd:

- Veiligheidssystemen in voertuigen vereisen een wetgevend kader (EU/2018/858). Welke herzieningen zijn nodig van de GSR 661/2009?
- In hoeverre is wens van technologie-neutrale wetgeving mogelijk, in combinatie met interoperabiliteit in coöperatieve systemen. Relevant in dit geval is wat er ten aanzien van eCall heeft gespeeld (EU 2015/758) en waarop voort kan worden geborduurd. Daarvoor is eerder op Europees niveau het belang onderstreept van een gestandaardiseerd, interoperabel en beveiligd platform dat breder kan worden ingezet dan alleen voor eCall.
- Op welke manier is wetgeving voorzien voor C-ITS use cases rondom informatievoorziening van weggebruikers (en idem voor wat betreft de combinatie met toekomstige automatische voertuigen):
 - Invulling huidige wetgeving voor Safety Related Traffic Information (SRTI) gekoppeld aan verplichtingen voor lidstaten?
 - Mogelijke uitbreiding wetgeving om SRTI-informatie uit voertuigen te ontsluiten voor connected cars?
 - Invoer nieuwe wetgeving rondom in-car systemen met directe communicatie?
- Hoe kan VRU-protectie via de wettelijke route worden afgedwongen? Men kan hierbij denken aan verplichtingen opgelegd aan voertuigen m.b.t. VRU-detectie en/of verplichtingen opgelegd aan smart phones.

4.3.3 *Samenvattend: scenario's*

In Figuur 10 zijn de mogelijke risico's en acties bij scenario A (mate van adoptie van V2N door de automobiel sector) weergegeven.

Snelle adoptie van V2N door automobiel sector

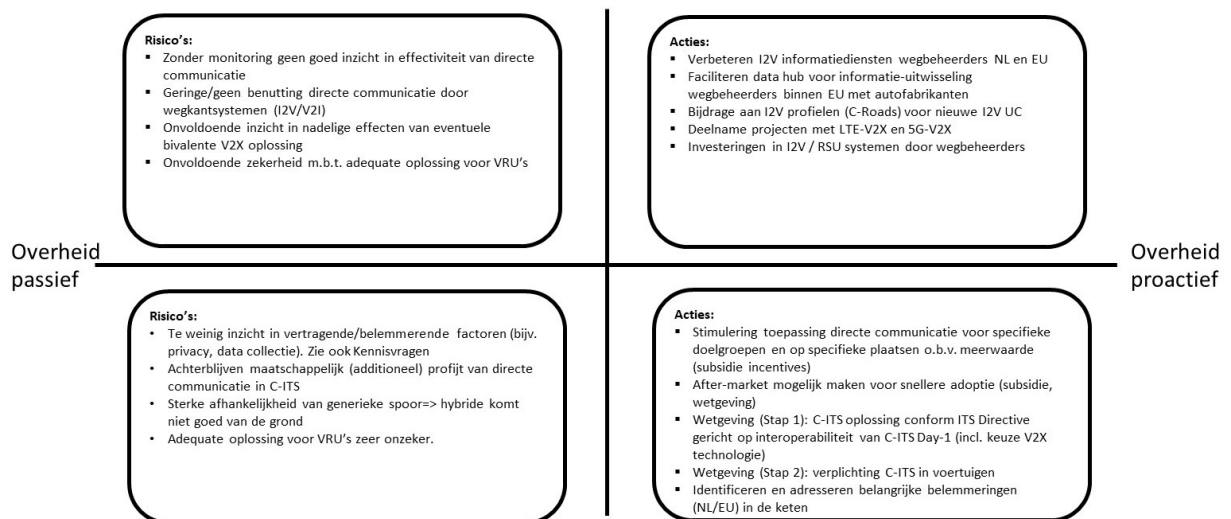


Trage adoptie van V2N door automobiel sector

Figuur 10: Scenario A: Adoptie van V2N met risico's (passieve overheid) en acties bij proactieve overheid.

In Figuur 11 zijn de mogelijke risico's en acties bij scenario B (mate van adoptie van V2V door de automobiel sector) weergegeven.

Snelle adoptie V2V door automobielsector



Trage adoptie V2V door automobielsector

Figuur 11: Scenario B: Adoptie van V2V met risico's (passieve overheid) en acties bij proactieve overheid

4.4 Aanbevelingen

De algehele situatie rond C-ITS is vrij complex waardoor ook het handelingsperspectief van de Nederlandse overheid en bedrijfsleven niet eenvoudig is vast te stellen. Niettemin menen we voldoende onderbouwing te hebben aangeleverd voor de volgende aanbevelingen die ondanks diverse onzekerheden als 'no regret' kunnen worden getypeerd:

- Pro-actieve deelname van Nederlandse overheid en bedrijfsleven (via Community for Standards and Practices⁵⁴) aan het CCAM Single Platform initiatief van de Europese Commissie⁵⁵. Gebruik die deelname ook voor de invulling/beïnvloeding van de Nederlandse agenda voor CCAM.
- Aandacht richten op nieuwe use cases en de technologie-agnostische uitwerking daarvan, use cases die vooral voor Nederland van belang zijn. Dat betreft: use cases rond vrachtvervoer, use cases gericht op vergroting verkeersveiligheid op provinciale wegen, doorstroming (fileproblematiek) en kwetsbare weggebruikers in verstedelijkt gebied.
- "ITS: Gewoon Doen!" Gaat hier niet perse om schaalgrootte maar om de leereffecten. Focus als overheid vooral op I2V-diensten van wegbeheerders op verschillende niveaus (landelijk, regionaal, lokaal). Besteed aandacht aan evaluaties om de meerwaarde en de leereffecten te kunnen expliciteren. Programmering en coördinatie van pilots en gewenste opschaling kan onder het initiatief Krachtenbundeling⁵⁶ plaats vinden.
- Investeren in kennisopbouw (via experimenten) ten aanzien van de toepasbaarheid van 5G-technologie (in het bijzonder C-V2X) voor CCAM, waarbij de focus moet liggen op de typisch voor Nederland relevante use cases (zie tweede bullet) en gekeken moet worden naar zowel V2N- als V2V-vormen van communicatie. Betrek daar de telecomindustrie bij, via de landelijk opererende mobiele operators. Gebruik hiervoor de Innovation Actions in het kader van EU Horizon 2020 en Horizon Europe) en versterk die met nationale projecten waar ook wegbeheerders in participeren. Ons inziens kan de overheid hierin betrokken zijn, vanuit een technologie-neutrale en leergierige houding.
- Meer werk maken van Nederland als test- en pilotland voor CCAM. Onderzoek hoe dit praktisch aantrekkelijker kan worden gemaakt voor buitenlandse partijen. Vergroot daarbij vooral de betrokkenheid van automobielfabrikanten.
- Internationale ontwikkelingen (met name in Azië en in de VS) zeer aandachtig blijven monitoren gezien de diverse onzekerheden en complicerende factoren.

Adressering van specifieke acties en van de gestelde kennisvragen kan het beste een afgeleide zijn van een discussie over beleidsprioriteiten voor Nederland in relatie tot Smart Mobility en CCAM.

⁵⁴ Of hiermee vergelijkbaar.

⁵⁵ Europese Commissie: *Single platform for open road testing and pre-deployment of cooperative, connected, automated and autonomous mobility (CCAM) July 2019-July 2020*.

⁵⁶ Zie ook: <https://platformwow.nl/nieuws/bestuurlijk-overleg-smart-mobility-meer-impact-maken-door-krachtenbundeling-5327>

Bijlage A: Karakterisering van beschouwde projecten

<i>Project:</i>	FREILOT	Looptijd	4/2009-10/2011
		Omvang	2 MEUR (grant)
<i>Consortium:</i>	ERTICO – ITS Europe (Coordinator), VOLVO, PEEK Traffic, Clusteril, CTAG, CERTH, CNRS-LET, Interface Transport, Ville de Lyon, Grand Lyon, Gemeente Helmond, City of Bilbao, Transportes AZKAR, Transportes Nanuk, Van den roek Logistics, POLIS, GERTEK, THETIS	Type	FP7
		TRL	7
		CAD (ja/nee)	Nee
<i>Doelstelling:</i>	Tot 25% brandstofbesparing voor trucks, diensten in stand houden na het einde van het project en de diensten uitbreiden buiten de consortium deelnemers.		
<i>Rol directe communicatie:</i>	Er is in het project zowel directe communicatie toegepast op basis van een vroege versie van ITS-G5, alsmede cellulair (3G/4G) daar waar latency minder relevant was.		
<i>Use Cases:</i>	Energie efficiëntie bij het passeren van geregelde kruisingen. Adaptieve acceleratie en snelheidsbegrenzer. Ondersteuning van de chauffeur bij het energiezuinig rijden. Real time boeken van laad en los plekken.		

<i>Project:</i>	Compass4D	Looptijd	01/2013-12/2015
<i>Consortium:</i>	Lead: ERTICO . Partners: 31 NL: Gemeente Helmond, Peek Traffic, Vialis, Imtech, TNO, V-tron	Omvang	1 MEUR
		Type	EU (CIP Pilot Actions)
		TRL	8
		CAD (ja/nee)	Nee
<i>Doelstelling:</i>	Verzekeren succesvolle en blijvende uitrol van de drie beproefde services (zie use cases), uitgaande van winst in veiligheid en energie efficiëntie. Harmoniseer op wereldwijde schaal de specificaties van de drie services. Installeer en volg een geharmoniseerde strategie voor testen, installeren, bewaken en evaluatie, alsmede een strategie voor uitrol over alle pilot sites Toon aan jegens alle relevante stakeholders de winst m.b.t. veiligheid en energie-efficiëntie. Werk samen met relevante standaardisatie organen om volledige interoperabiliteit van de uitgerolde coöperatieve oplossingen te bewerkstelligen. Creëer een set van <i>best practices</i> op basis van de pilot site operaties, inclusief richtlijnen, businessmodellen, handboeken en training materiaal.		
<i>Rol directe communicatie:</i>	In dit project is uitsluitend directe communicatie toegepast op basis van ITS-G5.		
<i>Use Cases</i>	Road Hazard Warning Red Light Violation Warning Energy Efficient Intersection Service		

<i>Project:</i>	C-The Difference	Looptijd	10/2016-9/2018
<i>Consortium:</i>	MAPtm , Bordeaux Metropole, Gemeente Helmond, DYNNIQ, TNO, GEOLOC SYSTEMS, CEREMA, IFSTTAR, BLERVAQUE sprl	Omvang	1,3 MEUR (grant)
		Type	EC DG MOVE tender
		TRL	7-8
		CAD (ja/nee)	Nee
<i>Doelstelling:</i>	Lever begrijpelijke en geïntegreerde impact assessment; overbrug het gat tussen de meest geavanceerde C-ITS-implementaties in stedelijk gebied en grootschalige uitrol en operaties; overtuig Europese steden om te investeren in volwassen en bewezen C-ITS-oplossingen.		
<i>Rol directe communicatie:</i>	In Helmond is directe communicatie op basis van ITS-G5 toegepast door uitrusting van 28 VRI's met ITS-G5 apparatuur en 100 voertuigen (vrachtwagens, voertuigen hulpdiensten) met een ITS-G5 OBU-unit. In Bordeaux is connectiviteit op basis van 4G en ITS-G5 toegepast.		
<i>Use Cases</i>	Green Light Optimum Speed Advisory Red Light Violation Warning Approaching Emergency Vehicle Traffic Signal Priority		

<i>Project:</i>	C-Mobile	Looptijd	6/2017-12/2020
<i>Consortium:</i>	Lead: Idiada . Partners: 37 NL: Gemeenten Helmond en Eindhoven, Dynniq, Peek Traffic, MAPtm, Technolution, TNO, TASS, TU Eindhoven	Omvang	12,5 MEUR (grant)
		Type	H2020
		TRL	8-9
		CAD (ja/nee)	Nee
<i>Doelstelling:</i>	Verbeter wegtransport: maak het veiliger, efficiënter en duurzamer. Demonstreer volledig geïntegreerde C-ITS-technologieën onder realistische wegverkeerscondities.		
<i>Rol directe communicatie:</i>	Directe communicatie (via ITS-G5) is voor een aantal van de hieronder beschouwde use cases in scope, naast cellulair en hybride oplossingen.		
<i>Use Cases (NL)</i>	Rest Time Management (A58/A67) Motorway Parking Availability (A58/A67) Road Works Warning (A58/A67) Road Hazard Warning (A58/A67) Truck Platooning (Tilburg) Emergency Vehicle Warning (Helmond) Signal Violation Warning (Helmond) Green Light Optimum Speed Advisory (Helmond) Green Priority (Helmond) Urban CACC (Helmond) Traffic Lights for VRU's (Eindhoven) Warning System for Pedestrians (Eindhoven)		

<i>Project:</i>	Ensemble	Looptijd	06/2018-05/2021
<i>Consortium:</i>	TNO , DAF, Daimler, Iveco, MAN, Scania, Volvo, Clepa, ERTico, IDIADA, Ifsttar, NXP, ZF, Wabco, KTH, VUB, Fleetboard, Brembo, Bosch, Continental.	Omvang	20 MEUR (grant)
<i>Doelstelling:</i>	Wegbereider voor de adoptie van multi-brand truck platooning in Europa, door besturen van 7 verschillende merken trucks in 1 of meer pelotons onder realistische wegverkeerscondities en over landsgrenzen.		
<i>Rol directe communicatie:</i>	Directe communicatie is in scope vooral voor de voertuig-voertuig communicatie.		
<i>Use Cases</i>	Truck Platooning		

<i>Project:</i>	A58 Spookfiles	Looptijd	01/2014-12/2016
<i>Consortium:</i>	Meerdere.	Omvang	10 MEUR
<i>Doelstelling:</i>	Het ontwikkelen, testen en implementeren van een Spookfiledienst die de frequentie en lengte van files ontstaan door schok-golfvorming effectief kan terugdringen. De technologie en infrastructuur achter deze dienst dienen opschaalbaar, continueerbaar en overdraagbaar te zijn.		
<i>Rol directe communicatie:</i>	In het A58 Spookfiles project was directe communicatie op basis van ITS-G5 in scope, naast de toepassing van connectiviteit via cellulair (4G).		
<i>Use Cases</i>	Shockwave Damping (Spookfiles) CACC Road Works Warning		

<i>Project:</i>	PPA-1 & -2	Looptijd	2014-2016
<i>Consortium:</i>	Meerdere.	Omvang	50 MEUR (incl. PPA-3)
<i>Doelstelling:</i>	Bijdragen aan het behalen van beleidsdoelstellingen van Rijk en regio in de omgeving van Amsterdam wat betreft verkeersdoorstroming middels Gecoördineerd Netwerk-breed Verkeersmanagement in combinatie met gepersonaliseerd reis/route advies.		
<i>Rol directe communicatie:</i>	Er is in PPA-1 en PPA-2 uitgegaan van communicatie met weggebruikers via cellulaire communicatie. Directe communicatie was niet in scope.		
<i>Use Cases</i>	Pre- en on-trip gepersonaliseerde routeinformatie.		

<i>Project:</i>	PPA-3/Concorda-NH	Looptijd	10/2017-06/2020
		Omvang	50 MEUR (heel PPA)
<i>Deelname:</i>	PPA: RWS, PNH, Amsterdam, vervoerregio. Pilot site Amsterdam: PPA, FCA/CRF en NXP.	Type	CEF
		TRL	6-7
		CAD (ja/nee)	Ja
<i>Doelstelling:</i>	Geschikt maken van snelwegen voor automated driving. De wegbeheerders hebben tot doel te onderzoeken in hoeverre de infrastructuur aangepast moet worden om met auto's te kunnen communiceren om ITS use cases mogelijk te maken. Specifieke doelstellingen voor PPA-3: Krachtenbundeling van projecten; Samenwerking met FCA/CRF en de realisatie van use cases die bijdragen tot de ontwikkeling van de Interurban Chauffeur; Integratie van wegkant en InCar systemen; Mobilisering van gehele keten voor Automated Driving.		
<i>Rol directe communicatie:</i>	De iVRI's in het pilotgebied worden hybride ontsloten, d.w.z. op basis van directe communicatie (ITS-G5) en via het cellulaire pad (TT-oplossing).		
<i>Use Cases</i>	<u>RWS:</u> - Dynamic Speed Limit Info (A5-A9) - Dynamic Lane Management (A5-A9) - Slow or stationary vehicle (A5-A9) - Traffic Jam Ahead (A5-A9) <u>PNH:</u> - Slow or stationary vehicle (N201-N205) - Signalized intersection (N201-N205)		

<i>Project:</i>	4G5	Looptijd	01/2019-01/2020
<i>Consortium:</i>	MAPtm , Swarco, V-Tron, Be Mobile, TNO	Omvang	200 keur
		Type	NL (PNH)
		TRL	8
		CAD (ja/nee)	Nee
<i>Doelstelling:</i>	Inzicht krijgen op welke hybride GLOSA kan worden geïmplementeerd en wat de effecten hiervan zijn op 1) de veiligheid en doorstroming; 2) de werking van de iVRI; 3) de weggebruiker en 4) de organisatie. Er zijn zeven specifieke onderzoeksvragen die niet of onvoldoende in andere projecten zijn meegenomen en voor PNH van belang in het kader van het Smart Mobility programma. Deze vragen zijn om opmaak-technische redenen onderaan deze tabel toegevoegd.		
<i>Rol directe communicatie:</i>	In 4G5 wordt hybride communicatie bekeken vanuit de SI-GLOSA use case. In de pilot is een systematische vergelijking gepland tussen de GLOSA-prestaties met directe communicatie o.b.v. ITS-G5 versus die o.b.v. 4G. Gekeken wordt in hoeverre integratie van long range en short-range toegevoegde waarde biedt. Denk aan snelheidsadvies via 4G op grotere afstanden (meer dan bereik van short-range RSU van max. 300 m), en lokale update/waarschuwingen via short-range RSU. Verkeersmanagement wordt eveneens meegenomen (wachtrijinfo in GLOSA).		
<i>Use Cases</i>	Signalized Intersection-GLOSA		
<i>Extra Onderzoeksvragen</i>	1. Hoe ziet de functionele architectuur eruit (Talking Traffic gekoppeld aan Wi-Fi-p) en welke invloed heeft dit op de architectuur van de Provincie? 2. Welke invloed heeft GLOSA op de samenwerking tussen de wegbeheerder en de serviceprovider? 3. In hoeverre zijn de kruispunten met iVRI's, waarin voertuigafhankelijke regelingen actief zijn, geschikt voor GLOSA (ITS-G5 en 4G) en op welke wijze kunnen ze hiervoor beter geschikt worden gemaakt? 4. Wat zijn de effecten van GLOSA op de doorstroming en veiligheid en wat is de toepasbaarheid hiervan op provinciale wegen en kruispunten? 5. Op welke wijze zijn in de iVRI binnenkomende CAM-berichten (ITS-G5 en 4G) bruikbaar in een voertuigafhankelijke verkeersregeling en is de kwaliteit van de CAM-berichten voldoende voor deze toepassing? Wat is het verschil in exploitatiekosten tussen klassieke detectieinputs bij iVRIs en in de iVRI binnenkomende CAM-berichten? 6. Welke functionele, technische en operationele voor- en nadelen (bijv. m.b.t. datavalidatie en fall back) heeft de hybride uitvoering van GLOSA (ITS-G5 en 4G)? 7. Op welke wijze draagt hybride GLOSA bij aan het op juiste en actuele wijze informeren van de weggebruiker en welke invloed heeft dat op de weggebruiker? Hoe ziet het "juiste" of "meest wenselijke" GLOSA-advies aan de weggebruiker eruit?		

<i>Project:</i>	Concorda-NB	Looptijd	10/2017-06/2020
<i>Consortium:</i>	Leader: ERTICO NL: Siemens, KPN, TU Eindhoven, OPTN	Omvang	20 MEUR (grant)
<i>Doelstelling:</i>	Zie algemene doelstelling Concorda hierboven. Specifieke doelstelling van Concorda-NB is toepasbaarheid nagaan van cellulaire netwerk innovaties voor tijdkritische use cases (low latency).		
<i>Rol directe communicatie:</i>	In Concorda Noord-Brabant is de R&D focus op directe communicatie (3GPP variant) en op network assisted directe communicatie (Mobile Edge Computing o.b.v. 3GPP technologie). Er wordt geen ontwikkeling gedaan op ITS-G5. ITS-G5 wordt uitsluitend voor vergelijkingsdoeleinden gebruikt.		
<i>Use Cases</i>	CACC met personenvoertuigen Intersection crossing		

<i>Project:</i>	Talking Traffic	Looptijd	06/2016-12/2020
<i>Deelname:</i>	13 gecontracteerde marktpartijen, IenW, RWS, de wegbeheerders in de 12 Beter Benutten regio's, alsmede enkele gecontracteerde leveranciers van specifieke datasoorten. Diverse sectoren betrokken bijv. OV (via OV-NL), Hulpdiensten (o.a. via IFV en veiligheidsregio's), Logistiek (via Talking Logistics), Parking: ontsluiten informatie van Parkeer-Route Informatie Systeem (PRIS) in steden, ook informatie van private parkings zoals Q-Park; via RDW	Omvang	60 MEUR
<i>Doelstelling:</i>	Verbeteren doorstroming van het verkeer, reduceren van schadelijke emissies van het verkeer, vergroten van de verkeersveiligheid.		
<i>Rol directe communicatie:</i>	In Talking Traffic wordt uitgegaan van cellulaire communicatie. Het concept staat directe communicatie toe maar wordt niet actief ontwikkeld.		
<i>Use Cases</i>	In Vehicle Signage Hazardous situation. Traffic Light Priority Traffic Light Information Traffic Light Optimization Parking		

<i>Project:</i>	C-ITS Corridor	Looptijd	01/2015-08/2019
<i>Deelname:</i>	Nederland (RWS), Oostenrijk, Duitsland	Omvang	6,8 MEUR
		Type	NL
		TRL	7-8
		CAD (ja/nee)	Nee
<i>Doelstelling:</i>	Uitrol RWW en PVD op Transport Corridor Nederland-Duitsland-Oostenrijk.		
<i>Rol directe communicatie:</i>	In het C-ITS Corridor project wordt uitgegaan van directe communicatie op basis van ETSI ITS-G5, en van cellulair (middels 4G).		
<i>Use Cases</i>	Road Works Warning Probe Vehicle Data		

<i>Project:</i>	InterCor	Looptijd	09/2016-08-2019
<i>Deelname:</i>	Verenigd Koninkrijk, Nederland, België, Frankrijk	Omvang	30 MEUR
	NL: RWS , Connect, Provincies Noord-Brabant en Utrecht	Type	EU
		TRL	7-8
		CAD (ja/nee)	Nee
<i>Doelstelling:</i>	Realiseren van een houdbaar netwerk van corridors in Europa dat continuïteit biedt van C-ITS-diensten en een testbed biedt voor Beyond Day 1 C-ITS-ontwikkeling. Bereiken van de kick-off van uitrol van C-ITS (V2V, V2I en V2X) communicatie op Europese wegen en zekerstellen dat nieuwe diensten en systemen compatible en interoperabel zijn op Europees niveau.		
<i>Rol directe communicatie:</i>	In het InterCor project staat het hybride communicatieconcept centraal, op basis van ETSI-standaarden en in de combinatie van directe communicatie (middels Wi-Fi-p) en cellulair (middels 4G).		
<i>Use Cases</i>	Road Works Warning Probe Vehicle Data Green Light Optimum Speed Advisory		

Bijlage B: Resultaten uitvraag

Vraag: Project:	In hoeverre is gekeken naar de SOTA qua R&D en markt?
<i>FREILOT</i>	Er is gebruik gemaakt van ITS-G5 voor de communicatie tussen trucks en de verkeerslichten. Hierbij is gebruik gemaakt van prioriteit en terugkoppeling van de voorspelling van de toestand van de lichten naar de chauffeur.
<i>Compass4D</i>	Er is gebruik gemaakt van producten van verschillende partners in het consortium, en van state-of-the-art producten van andere Europese leveranciers.
<i>C-The Difference</i>	De C-ITS-toepassingen (Day-1 en Day 1.5 van C-ITS-platform) worden gezien als volwassen en in lijn met mobiliteitsbeleid in de betrokken steden Helmond en Bordeaux en de eerder ontwikkelde oplossingen.
<i>C-Mobile</i>	Bouwt voort op eerdere projecten (FREILOT, Compass4D, C-theDifference, InterCor en Talking Traffic). Grote diversiteit van systemen. Apps op de NL-markt, maar ook naar buitenlandse alternatieven.
<i>Ensemble</i>	Bouwt voort op eerdere R&D-projecten rondom truck platooning. Hierbij is rekening gehouden door te relateren aan normen zoals ETSI. ITS-G5 wordt gebruikt zoals het is voor directe communicatie tijdens het rijden in een peloton (operationele laag), lange afstand communicatie (cellulair) wordt gebruikt voor andere informatie-uitwisseling (strategische laag, bijvoorbeeld statische gegevens bijwerken, software-updates, route-info).
<i>A58 Spookfiles</i>	Een aantal basisbouwblokken voor het A58 Spookfiles project zijn doorontwikkeld c.q. aangepast vanuit bestaande technologie, in overeenstemming met de koppelvlakken zoals gedefinieerd in de High Level Architectuur. De A58 specifieke services/toepassingen (zoals de Spookfilediensten) zijn ontwikkeld in dit project.
<i>PPA-1&-2</i>	Niet bekend bij de onderzoekers.
<i>PPA-3</i>	Bij PPA-3 is gebruik gemaakt van oplossingen uit TT, van de bestaande ITS-G5 technologie en in bredere zin van "building blocks" uit TT, C-ITS Corridor en InterCor. Het in-car deel zal waarschijnlijk grotendeels nieuwe ontwikkeling betreffen, gericht op geautomatiseerd rijden. Onduidelijk is in hoeverre daar is gekeken naar de internationale state-of-the-art, maar NXP en FCA zijn beide belangrijke spelers op hun eigen terrein dus representatief voor de huidige SOTA.
<i>4G5</i>	4G5 is een kortlopend en relatief klein project en bouwt sterk voort op ontwikkelde (communicatie-)oplossingen en ervaringen in eerdere projecten (InterCor, C-ROADS en eerdere pilots). Deze pilot is vrij specifiek gericht op evaluatie van de GLOSA-service waarvan uit eerdere testen/pilots bekend is dat die niet triviaal is in combinatie met intelligente VRI's.
<i>Concorda NB</i>	Meegenomen in de beslissingen. Geen specifieke survey gemaakt.
<i>Talking Traffic</i>	Is naar gekeken en als volstrekt ontoereikend verworpen: op diverse fronten was in 2016 nog nergens gerealiseerd wat met Talking Traffic beoogd werd.
<i>C-ITS Corridor</i>	Er is door RWS functioneel gespecificeerd en er is gebruik gemaakt van beschikbare 'bouwstenen' vanuit de markt. Afstemming heeft plaatsgevonden met zusterprojecten in andere landen (DE, AT, FR, BE, UK) over SotA en de beschikbaarheid van vergelijkbare oplossingen. Verder zijn 'marktdagen' georganiseerd en is er een project website met informatie en voor interactie met tientallen nationale en internationale leveranciers.
<i>InterCor</i>	Zie C-ITS Corridor.

Vraag: Project:	Ontwikkelde oplossingen: wat waren/zijn de belangrijkste succes- en faalfactoren? ⁵⁷
<i>FREILOT</i>	Succesfactoren: aantoonbare brandstofbesparing (13%) door o.a. prioriteitsaanvragen door trucks. Tevens ook aantoonbare vermindering van de uitstoot (13%).
<i>Compass4D</i>	Succesvolle uitrol en doorgaand gebruik na het einde van het project. Harmoniseren van de gebruikte standaarden en specificaties. Een eenduidige test en uitrol strategie. Bewijzen van het effect op veiligheid en energiegebruik. Samenwerken met standaardisatie instituten. Samenstellen van een set 'best practices'
<i>C-The Difference</i>	Niet opgegeven
<i>C-Mobile</i>	Nog niet bekend (project nog niet afgerond)
<i>Ensemble</i>	Real life demonstratie (cross border) met alle EU-fabrikanten voor vrachtwagens
<i>A58 Spookfiles</i>	Naast de projecthoofddoelstellingen werden a priori de volgende succesfactoren genoemd (bron: Leidraad): • RWS als 'early adopter' Exportmogelijkheden ontwikkelde technologie en versteviging vestigingsklimaat Brabant • Verbetering betrouwbaarheid van reistijden • Verminderen van de emissies • Verbeteren van de verkeersveiligheid • Bijdrage aan transitie VI/VM en publiek/private samenwerking
<i>PPA-1&-2</i>	Zie Projectdoelstellingen PPA-1/-2
<i>PPA-3</i>	Niet opgegeven
<i>4G5</i>	Project is nog in volle gang maar op basis van het projectplan zal een verkeerstechnisch effectieve GLOSA-service een belangrijke succesfactor zijn.
<i>Concorda NB</i>	Niet opgegeven.
<i>Talking Traffic</i>	Geen succes- en faalfactoren t.a.v. de techniek, wel t.a.v. organisaties en de mensen: succesfactoren: zeer sportieve planning; zeer frequente onderlinge afstemming; strikte zakelijke houding t.a.v. gemaakte afspraken; inzet van gemotiveerde en deskundige medewerkers. Faalfactoren: terugvallen* in klassieke opdrachtgever-opdrachtnemer relatie; informatieoverdracht aan en kennisniveau van achterban; groot verschil in <i>sense of urgency</i> en handelingssnelheid bij uiteenlopende publieke en private partners; prevaleren van eigen commerciële belangen en behoud van oude situatie, weerstand in de beheerafdelingen t.a.v. als opgelegd ervaren transitie. Terugvallen*: marktpartijen nemen deels afwachtende houding aan bij investeringen in innovatie. In het Innovatie Partnership TT zijn overheid en markt in principe gelijkwaardige partijen, die beiden bijdragen aan innovatie, geen klant-leverancier relatie. Overheid/wegbeheerders leveren data niet alleen aan, markt heeft op basis van toezeggingen in hun initiële inschrijvingen ook taak om de kwaliteit en

⁵⁷ Deze vraag is vaak opgevat als 'Wanneer kan het project succesvol genoemd worden?' waarmee de antwoorden vaak relateren aan de projectdoelstellingen. Derhalve is aan deze interpretatie vast gehouden bij alle projecten.

	bruikbaarheid van de data te verbeteren in de waardeketen van wegbeheerder naar weggebruiker.
<i>C-ITS Corridor</i>	Niet opgegeven
<i>InterCor</i>	Niet opgegeven

Vraag: Project:	Ontwikkelde oplossingen: Hoe wegen beveiliging, privacy, dataprotectie en interoperabiliteit mee?
<i>FREILOT</i>	Beveiliging, privacy en dataprotectie waren minder in beeld. De chauffeurs die deelnamen aan de proef hebben hiervoor toestemming verleend. Interoperabiliteit was belangrijk, maar nog vooral op basis van prototype standaarden (de eerste ETSI plugtest was in 2014).
<i>Compass4D</i>	Beveiliging, privacy en dataprotectie waren minder in beeld. De chauffeurs die deelnamen aan de proef hebben hiervoor toestemming verleend. Interoperabiliteit was een eis, verschillende partners hebben deelgenomen aan de ETSI plugtest voor C-ITS, en actief bijgedragen aan de ETSI en wereldwijde ITS-standaarden.
<i>C-The Difference</i>	Omdat het hier om pilots ging, liepen geen van de services, noch de C-ITS-stations en andere componenten onder een beveiligings- en legitimatiebeheersysteem en werden ze ook niet opgenomen in een vertrouwensmodel (bijvoorbeeld PKI-services) en daarom niet voldoen aan de vertrouwens- en privacy managementdomeinen die vereist zijn voor volledig operationele systemen in de implementatiefase.
<i>C-Mobile</i>	Beveiliging, privacy, dataprotectie en interoperabiliteit wegen mee als eis. PKI gaat toegepast worden.
<i>Ensemble</i>	Het beveiligingskader van truck platooning is een afzonderlijk product waar de nieuwste kennis bij betrokken is. De voorgestelde beveiligingsoplossing is gebaseerd op de uitwisseling van symmetrische sleutels tijdens de oprichting van het peloton met behulp van het vertrouwde C-ITS-beveiligingskader met publieke en private sleutels.
<i>A58 Spookfiles</i>	Beveiliging, privacy, dataprotectie en interoperabiliteit zijn alle essentiële aspecten geweest in A58Spookfiles. Rond privacy en security zijn specifieke studies uitgevoerd als onderdeel van de haalbaarheidsstudie en zijn de eerste praktische ervaring met een PKI-infrastructuur voor ITS. De HLA heeft de grondslag gelegd voor interoperabiliteit welke ook in de implementatie en testfase is gevolgd (en geoptimaliseerd).
<i>PPA-1&-2</i>	In PPA zijn privacy en security geen specifieke focuspunten geweest. Interoperabiliteit nadrukkelijk wel. Beveiliging, privacy, dataprotectie en interoperabiliteit zijn randvoorwaardelijk. Interoperabiliteit is een voorwaarde. Voor beveiliging, privacy en dataprotectie wordt gevolgd wat er beschikbaar is. (Bron: beantwoording vragenlijst). Privacy i.h.b. is gebaseerd op AVG-regelgeving (i.v.m. FCD, CAM).
<i>PPA-3</i>	Idem
<i>4G5</i>	Idem
<i>Concorda NB</i>	Beveiliging wordt als randvoorwaarde meegenomen. Privacy en dataprotectie zijn wel relevant, maar geen issue. Interoperabiliteit op applicatie niveau is uitgangspunt, op communicatieniveau van tweede orde (eerst oplossingen uitwerken, daarna interoperabiliteit met andere sites afstemmen)
<i>Talking Traffic</i>	In zeer hoge mate. Beveiliging en Dataprotectie: er zijn per partner in de waardeketen penetratietests en security audits uitgevoerd met 'comply or explain' verplichting; Privacy is vanaf start ontwikkelfase primair ontwerpcriterium en het ontbreken van verwerkersovereenkomst bij verschillende publieke partners is voor marktpartijen aanleiding om nu in de implementatiefase specifieke data nog niet aan hen te leveren; Interoperabiliteit: essentiële randvoorwaarde waar in het verificatieproces intensief op getest en getoetst is, en die in de ontwikkelfase aanleiding vormde om waar mogelijk en bruikbaar internationale (ETSI, ISO) normen en standaards te hanteren.
<i>C-ITS Corridor</i>	Zowel als randvoorwaarde als eis
<i>InterCor</i>	Idem

Vraag: Project:	Ontwikkelde oplossingen: Welke eisen zijn gesteld vanuit de use cases t.a.v. connectiviteit en daarmee samenhangend?
<i>FREILOT</i>	Vooral dekking van de short range technologie was van belang.
<i>Compass4D</i>	Er is uitsluitend gebruik gemaakt van ITS-G5. Er is een eerste begin gemaakt met het implementeren en testen van de ETSI PKI.
<i>C-The Difference</i>	Keuze voor ITS-G5 in Helmond, combinatie van 3/4G en ITS-G5 in Bordeaux afhankelijk van use cases. Alle partners (industrie, publiek en private partijen) in beide pilot sites hebben de gekozen use cases geïmplementeerd op basis van een gemeenschappelijke functionele beschrijving van de use cases, waarbij gebruik is gemaakt van C-ROADS specificaties en door het ontwikkelen van C-ITS-toepassingen met een passende HMI in lijn met de voor de implementatie gekozen communicatietechnologie (ITS-G5, cellulair 3G/4G of hybride).
<i>C-Mobile</i>	Er is zowel aandacht in het project voor long-range als short-range communicatie
<i>Ensemble</i>	Geen, de specificaties van berichten zijn netwerkonafhankelijk. ITS-G5 wordt gebruikt omdat het volwassen is, C-V2X-producten zijn niet beschikbaar zijn (zie rapport voor EC, april 2019) en ITS-G5 kan op alle locaties worden gebruikt, ook op wegen met geen 4G of slechte (2G) netwerkdekking.
<i>A58 Spookfiles</i>	Er zijn geen specifieke eisen aangetroffen vanuit de use case t.a.v. connectiviteit tussen de wegkant (cloud) en de verkeersdeelnemers. Wel zijn er eisen gesteld aan het backbone netwerk om wegkantssystemen met de cloud te verbinden.
<i>PPA-1&-2</i>	De ontwikkeling van een betrouwbare en gecombineerde publieke en private reis- en routeinformatie in PPA-1 en 2 stelt hoge eisen aan de totale keten (datalevering, SLA's). Geen nadere specificatie gevonden.
<i>PPA-3</i>	Voor PPA-3 is dit niet helemaal helder geworden uit de informatie. Voor zover use cases in C-Roads zijn gespecificeerd, komen daar geen bijzondere latency eisen uit (< 100 ms). Nieuwe CAD use cases zijn mogelijk dermate experimenteel dat use case eisen uit de technische evaluatie moeten volgen. Evaluatie van techniek/performance betreft b.v. end-to-end latency (zowel netwerk als in-car en centraal systeem, d.w.z. tot gebruiker), packet error rate, bereik, etc. Andere eisen worden gesteld vanuit het project, beheer en AVG. Zoals gebruik van PKI signatures op ITS-G5. Hierbij is vanuit de provincie de focus op de SI-GLOSA use case en HLN-SV. Zie verder ook antwoord op vraag rond KPI's.
<i>4G5</i>	Bouwt voort op andere projecten. Concorda is gericht op hybride communicatie, waarbij een combinatie van netwerk-gebaseerde (long range) en directe communicatie (short range) gebruikt wordt. In ons geval via 4G en ITS-G5 zoals beschikbaar op locaties en geleverd door infrastructuur en voertuigen. De use cases zoals beschreven vanuit C-Roads stellen niet veel eisen anders dan end-to-end latency < 100 ms voor GLOSA.
<i>Concorda NB</i>	Met name op gebied van latency, jitter, en dekking
<i>Talking Traffic</i>	Vooropgestelde eis: alle communicatie tussen apparatuur in de voertuigen en de leveranciers van informatiediensten dient plaats te vinden op basis van cellulaire communicatie (4G/LTE of hoger). Daarnaast zijn aanvullende eisen gesteld ten aanzien van maximale latency, geformuleerd per link en per schakel in de waardeketen. Tevens zijn expliciet eisen gesteld ten aanzien van landelijke dekking (van informatiedienst, niet gerelateerd aan mobiele netwerk), zeer hoge beschikbaarheid van de volledige dienstverlening, security en privacybescherming.
<i>C-ITS Corridor</i>	Geen 'smart' eisen, dit is juist onderdeel van de evaluatie van het project
<i>InterCor</i>	Idem

Vraag: Project:	<u>Ontwikkelde oplossingen:</u> Wat is ontwikkeld en wat is commercial off the shelf aangekocht?
<i>FREILOT</i>	Bijna alles is in het project ontwikkeld omdat het nergens verkrijgbaar was (of alleen tegen extreem hoge kosten). Er is wel gebruik gemaakt van off the shelf hardware.
<i>Compass4D</i>	Systemen zijn samengesteld uit producten van de deelnemende partners en off-the-shelf modules voor ITS-G5 communicatie.
<i>C-The Difference</i>	Helmond met 24 ITS-G5 RSU, 28 kruispunten, geen mobile app users, ca. 100 zakelijke voertuigen met ITS-G5 (vrachtwagens, hulpverleners); Bordeaux met 580 kruispunten, 600 mobiele app gebruikers (personenauto's), 100 mobiele app gebruikers (zakelijke voertuigen), 9 met ITS-G5.
<i>C-Mobile</i>	C-Mobile architectuur is in het project ontwikkeld. Het systeem is zo ontwikkeld dat meerdere systemen/apps hier gebruik van kunnen maken (bijvoorbeeld via de SDK-server). Ook is het zo ontwikkeld dat het aansluit bij andere projecten, zoals InterCor en Talking Traffic
<i>Ensemble</i>	a. Zelf ontwikkeld: het platooning protocol zal worden ontwikkeld uitgaande van reeds gevestigde berichten en protocollen (bijvoorbeeld ETSI EN 302 637-2 V1.3.2, Cooperative Awareness Message, CAM) met gebruik van algemeen bekende elementen zoals een ITS PDU-header. Verder is het security framework verder ontwikkeld. b. ITS-G5 is COTS
<i>A58 Spookfiles</i>	Een aantal basisbouwblokken voor het A58 Spookfiles project zijn doorontwikkeld c.q. aangepast vanuit bestaande technologie, in overeenstemming met de koppelvlakken zoals gedefinieerd in de High Level Architectuur. De A58 specifieke services/toepassingen (zoals de Spookfilediensten) zijn ontwikkeld in dit project. De RWW-applicatie is geadopteerd van het C-ITS Corridor project.
<i>PPA-1&-2</i>	Uit de PPA-1 en 2 documentatie kan worden opgemaakt dat er aan de wegkantzijde een drietal hoofdonderdelen zijn ontwikkeld te weten de basissystemen (op orde gebracht), de keten van datalevering (ontwikkeld), het PPA-regelconcept (ontwikkeld). Het is daaruit niet duidelijk welke zaken bij aanvang reeds beschikbaar waren. T.b.v. het InCar spoor zijn de informatiediensten ontwikkeld (incl. apps), op basis van de toenmalige state-of-the-art. Eveneens bij de onderzoekers niet bekend of bepaalde informatiediensten in premature vorm al beschikbaar waren bij aanvang project. [Bron: Eindevaluatie PPA Wegkant, Maart 2016, Overkoepelend Eindrapport InCar]
<i>PPA-3</i>	In PPA-3 zijn building blocks gebruikt uit C-ITS Corridor, InterCor en TT (deels ontwikkeld; deels COTS). 4G, Wi-Fi-p en TT-onderdelen worden off-the-shelf afgenomen. Ontwikkeling aan wegkant zit vooral in service provider software. In testvoertuigen (CRF) is eveneens sprake van ontwikkeling en wordt daarop verder ontwikkeld (Bron: beantwoording vragenlijst).
<i>4G5</i>	a) OTS, nu beschikbaar: 4G, ITS-G5, Talking Traffic componenten (TLEX). iVRI is product dat gekocht wordt van leveranciers. b) Zelf ontwikkeld: service provider software, test apparatuur/software voor on-board-units, hardware voertuigen, iVRI regelingen c) Connected pad is gereed voor 4G5 via TLEX en beta-users FlitsMeister; ITS-G5 pad nog deels in ontwikkeling (o.a. PKI). d) Er wordt binnen 4G5 geen nieuwe communicatietechnologie toegevoegd. Geen gebruik van C-V2X.

<i>Concorda NB</i>	CACC-applicatie: bestaand, maar niet of the shelf. Intersection crossing: nieuw ontwikkeld, als automated driving dienst. Communicatie: 4G netwerk: dedicated ingericht door KPN. ITS G5: bestaand, niet of the shelf. LTE-V2X: pre-commercial oplossing van Qualcomm
<i>Talking Traffic</i>	Er is niets COTS afgenomen: alle onderdelen in de waardeketen zijn voor Talking Traffic ontwikkeld. Hetzij van de grond af aan (zoals TLEX, PBC en PrioTalker), hetzij op basis van bestaande producten of diensten (zoals iVRI's en gebruikte informatiediensten). Ontwikkeling techniek ging goed, met specialisten van verschillende bedrijven. Grotere uitdaging op vlak van "organisatie" om betrokkenen voldoende kennis van en inzicht in de werking en betekenis van de TT use cases te laten krijgen en de vereiste datalevering gerealiseerd en geborgd te krijgen in bestaande organisaties. 400 wegbeheerders in NL in 12 regio's, nieuwe toepassingen vormen kansen en geen bedreiging op bestaande positie van wegbeheerder. Transitie nodig bij bedrijven en overheid, van product naar dienst, techniek gereed, meer aandacht voor beleid en gebruik oplossingen om doelen in de praktijk (veiligheid, doorstroming) sneller en grootschaliger te kunnen realiseren. Op aanvullende vraag of operators nog aanpassingen hebben moeten plegen: Daar was en is volstrekt geen noodzaak toe om tegemoet te komen aan de vereisten van Talking Traffic, ook niet als het gaat om de vereiste lage latency en de vereiste hoge beschikbaarheid. Op aanvullende vraag of er aanpassingen aan de OBU's nodig zijn geweest: Er is binnen Talking Traffic op geen enkele wijze noodzaak geweest tot het doorvoeren van enige aanpassing aan enige actuele smartphone. Slechts het embedden van de Talking Traffic functionaliteit in bestaande on-board voorzieningen in voertuigen van Nood- en Hulpdiensten, OV en Logistiek vraagt in sommige gevallen om (overwegend softwarematige) aanpassingen van bestaande apparatuur. Maar zelfs dat veelal niet eens.
<i>C-ITS Corridor</i>	RSU is COTS, OBU met HMI voor RWS (testen, evaluatie) is doorontwikkeld op basis van bestaande applicatie. Ook CU is doorontwikkeling van bestaande functionaliteit.
<i>InterCor</i>	Idem

Vraag: Project:	Ontwikkelde connectiviteitsoplossingen: Welke afwegingen, marktonderzoeken en eigen analyses hebben ten grondslag gelegen aan eigen keuzes?
<i>FREILOT</i>	Er is gebruik gemaakt van experimentele ITS-G5 technologie, die was op dat moment state of the art. Er is bewust gekozen voor het gebruiken van open source en bestaande hardware om de kosten te drukken.
<i>Compass4D</i>	Er is gekeken naar de kosten en verkrijgbaarheid van ITS-G5 technologie.
<i>C-The Difference</i>	Voortbouwend op de eerdere ervaring met C-ITS-pilots (bijv. COMPASS4D, SCOOP@F), paste het consortium een gemeenschappelijke evaluatiemethode toe op basis van onderzoeksvragen, hypothesen en prestatie-indicatoren voor elke geïmplementeerde C-ITS-dienst om te verzamelen gegevens te identificeren tijdens de uitvoering van de C-ITS-pilot.
<i>C-Mobile</i>	Keuze voor oplossingen volgen uit eerdere projecten in Helmond.
<i>Ensemble</i>	Niet opgegeven.
<i>A58 Spookfiles</i>	In het A58 project hebben de deelnemende consortia binnen elk van de percelen eigen keuzes gemaakt voor de invulling van de gevraagde functionaliteit. De consortia hebben dus eigen analyses gedaan om tot implementatiekeuzes te komen.
<i>PPA-1&-2</i>	Niet bekend bij de onderzoekers
<i>PPA-3</i>	PNH heeft voor haar iVRIs voor hybride ontsluiting gekozen. Dat sloot aan bij de doelen van Concorda. Verder is gekeken naar beschikbaarheid van technieken vanuit de pre-deployment.
<i>4G5</i>	Idem
<i>Concorda NB</i>	Voor beveiliging: technical performance is het belangrijkste aandachtspunt, in combinatie met functionele eisen.
<i>Talking Traffic</i>	Geen specifieke connectiviteitsoplossingen ontwikkeld.
<i>C-ITS Corridor</i>	Directe communicatie was uitgangspunt. Uitwerken van ITS-toepassingen (berichten, trigger condities, EU-interoperabiliteit) en integratie met bestaande operationele wegkant- en centrale verkeersmanagementsysteem zijn breder inzetbaar in hybride context
<i>InterCor</i>	Idem

Vraag: Project:	<u>Ontwikkelde connectiviteitsoplossingen:</u> In hoeverre zijn keuzes voor eigen ontwikkeling gebaseerd op informatie over onbeschikbaarheid of ontoereikende prestaties van bestaande oplossingen?
<i>FREILOT</i>	Er waren nog een bestaande oplossingen, behalve de hardware uit het CVIS-project. Die hardware was ver boven het projectbudget.
<i>Compass4D</i>	Er is vooral gekeken naar beschikbaarheid en betaalbaarheid van de oplossingen.
<i>C-The Difference</i>	De bestaande C-ITS-services in de pilot-sites van Helmond en Bordeaux werden aanzienlijk opgeschaald in het aantal C-ITS-services, het aantal gebruikers en geografische dekking. Dit maakte de monitoring en evaluatie van C-ITS onder operationele omstandigheden mogelijk in twee heel verschillende, realistische stedelijke omgevingen.
<i>C-Mobile</i>	Deze spelen een grote rol.
<i>Ensemble</i>	Niet opgegeven
<i>A58 Spookfiles</i>	In 2013 stond ITS veel meer in de kinderschoenen en moest deze markt nog tot stand komen. Voor het A58 project was feitelijk geen precedent wat betreft proefopstellingen.
<i>PPA-1&-2</i>	Wat betreft connectiviteitsoplossingen is in PPA-1 en -2 uitgegaan van het gebruik van OTT-diensten over cellulair. Geen eigen ontwikkeling.
<i>PPA-3</i>	Niet opgegeven
<i>4G5</i>	Geen eigen ontwikkeling.
<i>Concorda NB</i>	Voor beveiliging: work in progress, nog geen eindoordeel beschikbaar
<i>Talking Traffic</i>	Geen specifieke connectiviteitsoplossingen ontwikkeld.
<i>C-ITS Corridor</i>	Niet, m.u.v. aanpassingen van centrale (RWS) systemen in de keten van centraal systeem naar weggebruiker
<i>InterCor</i>	Idem

Vraag:	<u>Ontwikkelde connectiviteitsoplossingen: In hoeverre zijn relevante standaarden en/of profielen gebruikt of zelf ontwikkeld?</u>
Project:	
<i>FREILOT</i>	Er is gebruik gemaakt van de prototype standaarden uit het CVIS project, aangevuld met eigen oplossingen voor die zaken die nog niet bestonden.
<i>Compass4D</i>	Er is gebruik gemaakt van ETSI-standaarden op het gebied van C-ITS, deze standaarden zijn getest in de praktijk en feedback is gegeven op het functioneren.
<i>C-The Difference</i>	Er is geen specifiek antwoord op deze vraag gegeven, maar uit de volledige beantwoording blijkt dat in C-The Difference de ETSI-standaarden voor C-ITS heeft gevolgd.
<i>C-Mobile</i>	Geen, er is hierbij voortborduurde op andere projecten zoals C-Roads, InterCor, C-theDifference en Talking traffic
<i>Ensemble</i>	ITS-G5 standaarden voor communicatie (o.a. Intelligent Transport Systems (ITS); Radiocommunications equipment operating in the 5 855 MHz to 5 925 MHz frequency band; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU ETSI EN 302 571 V2.1.1)
<i>A58 Spookfiles</i>	Er is gebruik gemaakt van destijds beschikbare vroege ETSI-standaarden, welke op basis van verkregen project-(tussen-)resultaat zijn geactualiseerd. Tevens zijn er belangrijke aanvullingen op standaarden ingebracht.
<i>PPA-1&-2</i>	Uit de PPA-1 en -2 documentatie (volledig cellulaire spoor) kan niet worden opgemaakt dat er bestaande ITS-standaarden zijn gebruikt. Voor wat betreft het onderdeel wegkant-gebruikers zeer waarschijnlijk niet.
<i>PPA-3</i>	Bij PPA-3 is dit nadrukkelijk wel het geval. Er is gebruik gemaakt van bestaande standaarden en profielen waar mogelijk. Zoals de Dutch Profiles en C-Roads profielen en standaarden. Doel is om verbeteringen weer in te brengen vanuit NL in bijv. C-Roads.
<i>4G5</i>	Er is gebruik gemaakt van bestaande standaarden en profielen waar mogelijk. Zoals de Dutch Profiles en C-Roads profielen en standaarden. Doel is om verbeteringen weer in te brengen vanuit NL in bijv. C-Roads.
<i>Concorda NB</i>	Voor beveiliging: er wordt gekeken naar aanpassing van bestaande standaarden
<i>Talking Traffic</i>	Default zijn overal bestaande standaarden gebruikt, slechts waar nodig aangepast (meestal: downwards compatible uitgebreid) voor gebruik in combinatie met gebruik van cellulaire technologie en daarop ingerichte data- organisatiemodel en businessarchitectuur.
<i>C-ITS Corridor</i>	Input voor I2V profielen in C-Roads (RWW, IVS GLOSA) en Delegated Regulation.
<i>InterCor</i>	Idem

Vraag: Project:	Ontwikkelde oplossingen: Wat is er geleerd van de complexiteit in de samenwerking om tot oplossingen te komen?
<i>FREILOT</i>	Het is gebleken dat er naast de technische samenwerking ook een duidelijke noodzaak is voor het samenwerken van de betrokken partijen: de wegbeheerders, de logistieke bedrijven en de technologie leveranciers. Er was veel enthousiasme om door te gaan, en om anderen bij deze use cases te betrekken.
<i>Compass4D</i>	Het is gebleken dat er naast de technische samenwerking ook een duidelijke noodzaak is voor het samenwerken van de betrokken partijen: de wegbeheerders, de deelnemende bedrijven en de technologie leveranciers. Er was veel enthousiasme om door te gaan met de Energy Efficient Intersection Service, en om anderen bij deze use case te betrekken. De Red Light Violation use case blijkt erg moeilijk te realiseren met de gebruikte GPS technologie: er is een GPS systeem met een veel kortere tijd tussen 'fixes' noodzakelijk.
<i>C-The Difference</i>	Niet opgegeven.
<i>C-Mobile</i>	Er wordt voor gezorgd dat hetgeen ontwikkeld wordt compatible is met andere projecten/initiatieven.
<i>Ensemble</i>	Nog niet van toepassing momenteel. Het in de praktijk brengen van <i>truck platooning (deployment)</i> is moeilijk omdat zoveel aspecten en parameters een rol spelen (leidend tot complexe modellen) in praktische scenario's, terwijl de veiligheidseisen het strengst zijn voor dit gebruik (grotendeels vanwege de aanwezigheid van de bestuurder in de vrachtwagen).
<i>A58 Spookfiles</i>	Het A58 project heeft een groot aantal leerpunten gepubliceerd, waarvoor wordt verwezen naar "A58 Spookfiles: Resultaten en leerpunten". We noemen hier enkele (ook technische) leerpunten die vrij specifiek zijn gerelateerd aan connectiviteit: • De opsplitsing vergemakkelijkt de innovatie van de technologie. Stel dat een nieuwe communicatietechnologie zijn intrede doet, dan zal dat alleen het component raken dat de communicatie verzorgt. • Wegbeheerders en marktpartijen hebben waardevolle ervaring opgedaan met het bouwen en uitrollen van zowel hardware (het systeem, voertuigapparatuur, Wi-Fi-p-bakens) als software (toepassingen). • Door het gebruik van prototypes van wegkantbakens en on-board units, in combinatie met de stringente databeveiliging met PKI, was het aantal berichten dat het systeem maximaal kon verwerken beperkt. Binnen de kleinschalige projectomgeving heeft dit niet tot problemen geleid. Dit is wel een punt voor nader onderzoek bij een grootschalige uitrol. • Aangevoerd is dat met het opgeleverde systeem diensten op basis van 3G/4G en Wi-Fi-p mogelijk zijn. • Het hele proces van data-inwinning tot het afleveren van berichten verloopt technisch gezien foutloos. Uit de logdata blijkt dat de berichten geografisch correct worden verspreid: als een bericht bedoeld is voor een bepaald deel van de A58, dan wordt het ook daar op het scherm getoond. Wel blijft de latency (vertraging) een aandachtspunt. Zo gaf een deel van geëvalueerde gebruikers aan dat de filewaarschuwingen soms te laat werden getoond. Er is gedurende het project al veel tijdswinst behaald, maar het terugdringen van de latency in de keten blijft een aandachtspunt voor tijdskritische diensten als de spookfiledienst. • De Europese standaard voor de databeveiliging van een op Wi-Fi-p gebaseerd systeem is voor het eerst toegepast en gevalideerd.

	• De opgeleverde PKI-oplossing is als 'component' in het op Wi-Fi-P gebaseerde systeem goed opschaalbaar. • Ook op het vlak van privacybescherming zijn oplossingen bedacht. Het systeem is technisch en functioneel getest op het frequent wisselen van het ID (= het MAC-adres) van de op Wi-Fi-p gebaseerde systemen in voertuigen. • Toevoegen van PKI is nodig, maar het vormt ook een extra belasting van het systeem: het berichtenverkeer neemt fors toe.
<i>PPA-1&-2</i>	PPA heeft de realisatie van de uiteindelijke ambitie gefaseerd aangevlogen door eerst InCar en Wegkant onderling te scheiden en in een vervolgfases de nadruk te leggen op verdere integratie. Wat er binnen de consortia is geleerd van de onderlinge samenwerking is niet bekend. Een leerervaring uit PPA-2 is dat de wil tot samenwerking en het 'in de keuken laten kijken' van deze marktpartijen beperkt was als gevolg van het feit dat zij concurrenten van elkaar zijn. Dit leidt tot de vraag op welke wijze een constructieve samenwerking wel zou kunnen worden bereikt. Dit issue is ook in het latere Talking Traffic geïdentificeerd.
<i>PPA-3</i>	T.a.v. PPA-3: geografische afstand vertraagt (i.e. partners in verschillende landen). Duidelijke afspraken maken op basis van een afgestemde architectuur. Zoveel mogelijk testen. Afhankelijkheden t.o.v. andere projecten worden niet ervaren (Bron: Interviews). Wel afhankelijkheid t.o.v. partners zoals NXP, FIAT, RWS voor evaluatie en testen. Ook het gebruik van autonome voertuigen vanuit andere landen kent problemen. Omvang project is ook een lastige, d.w.z. hoe meer partners hoe complexer door afstand, cultuurverschillen en aanpak vanuit overheid versus markt.
<i>4G5</i>	Bouwt voort op Concorda, zie Concorda. Nationaal is samenwerking tussen wegbeheerders belangrijk.
<i>Concorda NB</i>	Per partner verschillend.
<i>Talking Traffic</i>	• Samenwerken vereist samen werken. • Gezamenlijk afstemmen en tot afspraken komen is niet het moeilijkst, maar verifiëren of eenieder daarbij ook precies hetzelfde beeld bij heeft kost enorm veel tijd en energie. Zowel aan publieke als aan private zijde wordt nog altijd makkelijk teruggevallen in de klassiek opdrachtgever-opdrachtnemer relatie. Over alle schakels van de waardeketen heen blijken zowel publieke als private partijen erg te moeten wennen aan het feit dat de output een product van een grotere waardeketen is, waarbij verzaken van een van de schakels de kwaliteit van de output doorgaans zeer sterk beïnvloedt. • Begrip dat de eigen producten en diensten voortaan onderdeel zijn van een keten en dat anders functioneren van deze eigen producten en diensten dan gezamenlijk afgesproken, direct van invloed is op producten en diensten van anderen in deze keten. • Splitsing in clusters in TT was bewust, om op iedere schakel van de waardeketen "best of breed" te kunnen selecteren, heldere afspraken over interfaces te krijgen en nimmer afhankelijk te hoeven zijn van het prestatieniveau van een enkele individuele partij (geen monopolie bij 1 partij). Samenwerken over clusters heen: alles kan, maar iedere deelnemende partij moet wel voldoen aan de contractueel overeengekomen eisen, afgestemd op het cluster waarvoor hij heeft ingeschreven. Een partij kon besluiten niet mee te doen als die partij zich niet kan verenigen met het architectuurmodel. De op samenwerking in de waardeketen

	gerichte aanpak perkt inderdaad de individuele vrijheid ten aanzien van interfaces in, maar deze manier van uitvragen komt zeker in aanmerking voor herhaling.
<i>C-ITS Corridor</i>	Details beschreven in evaluaties van testfest, generiek
<i>InterCor</i>	Idem

Vraag:	Beproefde/geëvalueerde oplossingen: Welk deel van het ecosysteem is bij de proeven betrokken geweest?
Project:	
<i>FREILOT</i>	Er was toen nog niet echt een ITS-ecosysteem. Er is wel veel tijd gestoken in disseminatie.
<i>Compass4D</i>	Standaardisatie, zowel Europees als wereldwijd.
<i>C-The Difference</i>	Overheid, verkeersindustrie, transport/brandweer
<i>C-Mobile</i>	Overheid, verkeersindustrie, kennisinstellingen (37 partners)
<i>Ensemble</i>	Autofabrikanten, geen overheid/wegbeheerders (mogelijk indirect); kans voor NL om als wegbeheerder betrokken te raken voor I2V toepassingen i.c.m. truck platooning.
<i>A58 Spookfiles</i>	Het gehele ecosysteem is vertegenwoordigd geweest in de proeven, vertegenwoordigd in de verschillende percelen.
<i>PPA-1&-2</i>	In PPA was/is bij uitstek het doel om tot een zo compleet mogelijke deelname van typen actoren uit het ITS-ecosysteem te komen. Niet duidelijk hoe de uiteindelijke deelname zich verhoudt tot de oorspronkelijke ambitie.
<i>PPA-3</i>	Idem
<i>4G5</i>	Zie InterCor/TT (TLEX data 1); hybride aanpak GLOSA, alle stakeholders waren betrokken.
<i>Concorda NB</i>	CACC: alles binnen het consortium. Intersection crossing: aangesloten op InterCor en Talking Traffic voor cellulair en ITS G5 oplossingen in Helmond.
<i>Talking Traffic</i>	De volledige waardeketen, van publieke databron tot informatiedienst in de auto bij een weggebruiker. Er is immers geen sprake van proeven, maar van landelijk dekkende implementatie. Telecompartijen (KPN, T-systems, VodafoneZiggo) waren betrokken voor-datacommunicatie met iVRI's. Auto-industrie nog niet zelf betrokken, maar dat wordt wel essentieel bij automatisch rijden. Kwaliteit van data moet wel zo goed zijn om ook gebruikt te worden voor automatische voertuigen, dat is wel het kwaliteitsniveau waarop TT aanstuurt (use cases moeten uiteindelijk ook zonder chauffeur betrouwbaar kunnen functioneren) maar automatisch rijden is niet het doel van TT. Nu nog geen automatische voertuigen. Voor GLOSA is wel externe partij geïnteresseerd om TLEX info op te halen en aan te bieden aan zijn klanten voor connected car data. Grote partijen zoals Waze, Google, HERE, TomTom zijn naar verwachting pas geïnteresseerd als data niet alleen in NL, maar EU breed beschikbaar is. Vergt internationale afstemming met andere wegbeheerders, niet via wetgeving (opleggen van standaardisatie), maar door tonen van resultaten in TT, zodat rijksoverheden in andere landen zelf gemobiliseerd worden. Voorbeelden zijn MoU met Zuid-Korea voor pilots in enkele steden om daar eveneens Smart Mobility in de praktijk te brengen, Vlaanderen is gestart met voorbereiding van de implementaties van Mobilidata, delen van ervaringen met andere landen (Nordics, Spanje) met connected / cellulaire oplossingen.
<i>C-ITS Corridor</i>	Deelname van de Nederlandse overheid, de markt (verkeersindustrie, autofabrikanten indirect via Duitsland). Daarnaast ook een MoU met C2C CC.
<i>InterCor</i>	Nederlandse overheid, de verkeersindustrie, autofabrikanten indirect via Frankrijk, en via deelname testfest. Zelfevaluatie door RWS met eigen OBU en HMI.

Vraag: Project:	Beproefde/geëvalueerde oplossingen: Zijn er alleen 'friendly users' bij betrokken geweest of ook andere gebruikers?
<i>FREILOT</i>	Er waren vrachtwagenchauffeurs bij betrokken die het systeem hebben gebruikt tijdens hun normale werkzaamheden.
<i>Compass4D</i>	Er is gebruik gemaakt van friendly users. Er waren vrachtwagenchauffeurs betrokken die het systeem hebben gebruikt tijdens hun normale werkzaamheden. Naast vrachtwagens heeft ook de brandweer met een aantal voertuigen meegedaan (prioriteit).
<i>C-The Difference</i>	Voornamelijk friendly users. 104 voertuigen (vrachtwagens en brandweerauto's) hebben in Helmond deelgenomen.
<i>C-Mobile</i>	Er zijn/worden ook andere gebruikers bij betrokken (target: 250 cars, 250 trucks, 10 emergency vehicles, 10 motorcycles, 2000 pedestrians, 500 cyclists).
<i>Ensemble</i>	Demonstratie via TRL 5-6, geen gebruikersevaluatie
<i>A58 Spookfiles</i>	De deelnemers aan de A58 proeven zijn geworven. Aldus zijn alleen 'friendly users' betrokken geweest.
<i>PPA-1&-2</i>	De deelname aan de PPA-proeven (1 en 2) was op vrij grote schaal, op basis van mensen die zich daar actief voor hebben aangemeld.
<i>PPA-3</i>	Bij PPA-3 is voor Automated Driving sprake van klein team (test drivers van CRF/FCA) met beperkt aantal voertuigen (2). Voor nieuwe diensten over 4G wordt grotere groep betrokken.
<i>4G5</i>	4G5 gaat onder andere testen met een groep bèta-gebruiker via pilot in Q3/4 2019. ITS-G5 keten zal kleinschaliger worden getest met friendly users in auto's met OBU en experts (user interface).
<i>Concorda NB</i>	Alleen 'friendly users'
<i>Talking Traffic</i>	In het verificatietraject voorafgaand aan landelijke implementatie zijn uiteraard friendly users en beta-testers betrokken geweest. Maar inmiddels zijn alle diensten en Use Cases vrij beschikbaar voor iedereen die dat wil. Effect van gebruik App onderzocht, ook gedrag. Evaluatie door TNO o.a. via enquêtes. Rapportages door cluster 2 en 3 partijen over tal van KPI's, waaronder aantallen gebruikers. TT richt zich voor de evaluatie anders dan middels gebruikers-enquêtes niet zo rechtstreeks op tot de eindgebruikers, mede omdat de deelnemende partijen met eigen verdienmodellen het gebruikersaspect al expliciet meenemen in hun oplossingen.
<i>C-ITS Corridor</i>	Ja, alleen friendly users (RWS) en evaluatie met gebruikers in korte testritten.
<i>InterCor</i>	Idem

Vraag: Project:	Beproefde/geëvalueerde oplossingen: Wat zijn de Key Performance Indicators geweest waar de nadruk op is gelegd?
<i>FREILOT</i>	Er is vooral gekeken naar de behaalde brandstofbesparing. Het ITS-G5 bereik was voldoende voor de prioriteitstoepassing. Er is ook gebruik gemaakt van het 3G/LTE data netwerk, dit werkte goed voor fixed time regelingen (vrij grote latency voor 3G netwerken).
<i>Compass4D</i>	Er is vooral gelet op de werking van de use cases, waarbij de Red Light Violation Warning het minst presteerde (o.a. vanwege GPS nauwkeurigheid).
<i>C-The Difference</i>	In Helmond zijn GLOSA, TSP, Red Light Violation Warning (RLVW) en Approaching Emergency vehicle Warning (AEV) beproefd en geëvalueerd, ook in combinaties. GLOSA is geëvalueerd door de vergelijking van de situatie <u>zonder</u> GLOSA in het voertuig <u>met</u> de situatie met GLOSA. Key Performance Indicators berekend voor uitgeruste voertuigen waren gericht op doorstroming, reistijd, gebruikersacceptatie en brandstofverbruik: - Aantal stops (op uitgeruste kruispunten) - een stop wordt gedefinieerd als rijden onder 2 km/u gedurende minstens 2 seconden; - Door middel van een vragenlijst werd de acceptatie van de gebruiker beoordeeld, evenals andere subjectieve waarden. De interactie tussen GLOSA en verkeerssignaalprioriteit werd ook beoordeeld; - Aangezien elke kruising waar GLOSA opereert zijn eigen kenmerken heeft, zijn de resultaten (indien voldoende gegevens beschikbaar waren) opgesplitst per soort kruising. Gemiddelde reistijden (op uitgeruste kruispunten) - Gemiddelde reistijden (voor routes) - Gemiddeld brandstofverbruik (voor routes) Voor TSP waren de KPI's: - Het aantal stops (bij geïstrumenteerde kruisingen) waarbij een stop is gedefinieerd als een snelheid beneden de 2 km/uur voor tenminste 2 seconden - Gemiddelde reistijd (bij geïstrumenteerde kruisingen) - Gemiddelde reistijd (langs de routes) - Gemiddeld brandstofgebruik (langs de routes) Tevens is ook hier een vragenlijst uitgereikt voor de evaluatie van subjectieve aspecten. Voor RLVW en AEV is in Helmond uitsluitend geëvalueerd op basis van vragenlijsten.
<i>C-Mobile</i>	In ontwikkeling
<i>Ensemble</i>	Hier is geen rechtstreeks antwoord op gegeven. Scope (als proxy voor KPI's) van Ensemble is gericht op het gebruik van ITS G5 voor communicatie over korte afstanden (as-is) voor het rijden met vrachtwagens van meerdere merken in één peloton. Ontwikkeling op het gebied van communicatie in meerdere radiokanalen (multichannel operation), beveiliging van V2V-communicatie en functionele veiligheid van systemen voor automatisch rijden vallen onder de scope. Functionele veiligheid is een belangrijk onderwerp, gerelateerd aan het gebruik van externe informatie (opgevraagd via directe communicatie) en is ook in scope.
<i>A58 Spookfiles</i>	Dit zijn naar onze waarneming vooral de aspecten die ook in de hoofddoelstelling zijn genoemd, te weten: - Spookfiledienst die de frequentie en lengte van files ontstaan door schok-golfvorming effectief kan terugdringen. - De technologie en infrastructuur achter deze dienst dient schaalbaar, continueerbaar en overdraagbaar te zijn.

	Specifiek uit de interviews is nog naar voren gekomen dat hoewel in A58 Spookfiles de hybride benadering van belang werd gevonden (communicatie-opties wederzijds aanvullend), er geen enthousiasme was voor/behoefte aan een systematische vergelijking tussen ITS-G5 en cellulair. Dit is dan ook niet nader uitgewerkt. ITS-G5 kwam minder goed uit de verf in A58 Spookfiles mede omdat de beproefde ITS-diensten beperkt waren tot V2I/I2V. In dat opzicht waren ITS-G5 en cellulair ook redelijk vergelijkbaar.
<i>PPA-1&-2</i>	De bron "PPA De essentie" is een proxy voor de KPI's die voor PPA van belang zijn geweest. Onduidelijk is of alle oorspronkelijke indicatoren hier zijn genoemd.
<i>PPA-3</i>	Voor PPA-3 zijn de KPI's de volgende: • Accurate en betrouwbare informatie over long en short range pad ontvangen. • Latency over de verschillende paden (short en long range) • Betrouwbaarheid data, positionering (nauwkeurige locatiebepaling voertuigen) en klokken (lees: synchronisatie van tijd) in de keten • Toegevoegde waarde van hybride voor GLOSA: welke informatie via welk pad, beperking short-range in bereik (tot 300m), long-range mogelijk een beperking qua latency. (Bron: antwoorden op vragenlijst)
<i>4G5</i>	Niet opgegeven
<i>Concorda NB</i>	Netwerk en applicatie performance, zoals latency, jitter en packet loss. Vooral in relatie tot applicatie performance en packet size.
<i>Talking Traffic</i>	Evaluatie is nog niet afgerond, maar lopend. KPI's komen direct voort uit eerder vermelde doelstellingen: levert de dienstverlening positieve bijdrage aan doorstroming, veiligheid en leefbaarheid?
<i>C-ITS Corridor</i>	Zie evaluatierapport
<i>InterCor</i>	Idem

Vraag: Project:	Beproefde/geëvalueerde oplossingen: Wat zijn t.a.v. die KPI's de belangrijkste bevindingen?
<i>FREILOT</i>	De brandstofbesparing rond kruisingen met prioriteit was ca. 13 %. Qua connectiviteit viel vooral de rol van de GPS ontvangst op: een goede GPS ontvangst is erg belangrijk voor de kwaliteit van de dienstverlening. Het 3G/LTE netwerk is bruikbaar als de vrij grote latency acceptabel is.
<i>Compass4D</i>	De use cases werken goed, behalve de Red Light Violation Warning. Het bereik van ITS-G5 is goed. Het is van belang om goede antennes te gebruiken, met name een goede GPS ontvangst is belangrijk.
<i>C-The Difference</i>	Bevindingen zijn specifiek per beproefde use case. Zie details in apart evaluatierapport
<i>C-Mobile</i>	Nog niet bekend.
<i>Ensemble</i>	Nog niet begonnen, maar er zijn geen problemen voorzien met ITS-G5, aangezien dit al is meegenomen in de evaluatie in andere projecten, bijvoorbeeld in Sarthre (2009-2012) waarin een Proof-of-Concept is ontwikkeld. De focus van ENSEMBLE ligt op ondersteuning van meerdere merken en integratie met functionele veiligheidsvereisten van een autonome vrachtwagen.
<i>A58 Spookfiles</i>	Als de aspecten uit de hoofddoelstelling als prestatie-indicatoren worden opgevat, dan wordt daarover het volgende samenvattend gemeld in het document "A58 Spookfiles: Resultaten en leerpunten": <i>De tests hebben aangetoond dat het opgeleverde systeem werkt en dat de spookfiledienst inderdaad de potentie heeft spookfiles terug te dringen. Maar ten minste zo relevant is dat het Spookfiles A58-systeem schaalbaar, continueerbaar, overdraagbaar en 'privacy bestendig' is gebleken. Dankzij de slimme architectuur is het namelijk geen systeem-op-maat geworden dat slechts op de A58 zijn nut kan bewijzen, maar een open en generiek systeem dat zowel geografisch (geschikt voor andere regio's) als functioneel (geschikt voor andere diensten) gemakkelijk is uit te breiden.</i> Uit aanvullende gesprekken is echter gebleken dat de privacy bestendigheid is echter wel een belangrijk zorgpunt is gebleven, juist vooral ook door de introductie van de PKI-oplossing.
<i>PPA-1&-2</i>	Zie evaluatie-uitkomsten (verderop in deze bijlage).
<i>PPA-3</i>	Voor PPA-3 moet pilot nog starten.
<i>4G5</i>	Pilot start in Q3/Q4 2019
<i>Concorda NB</i>	Nog niet afgerond
<i>Talking Traffic</i>	Nog niet afgerond
<i>C-ITS Corridor</i>	Zie evaluatierapport
<i>InterCor</i>	Idem

Vraag: Project:	Beproefde/geëvalueerde oplossingen: In hoeverre is tijdens de evaluatie gekeken naar schaalbaarheid, gebruikersacceptatie en impact op verkeer en vervoer?
<i>FREILOT</i>	Er zijn simulaties gedaan om uit te zoeken in hoeverre er prioriteit verleend kan worden aan trucks. Hierbij is rekening gehouden met het overige verkeer (wachtijden, doorstroming). De oplossing lijkt goed schaalbaar. De metingen tonen aan dat een duidelijke besparing op brandstof (en uitstoot) mogelijk is. Een groot deel van de chauffeurs was erg te spreken over de dienst.
<i>Compass4D</i>	Idem (FREILOT)
<i>C-The Difference</i>	De evaluatiemethodiek die voor C-The Difference was gekozen was gebaseerd op de FESTA methodologie voor het opzetten en evalueren van Field Operational Tests (FOT's) en pilots. De studie heeft impacts en benefits vastgesteld voor beproefde C-ITS-services op het gebied van veiligheid, reductie van verkeerscongestie, reductie van brandstofgebruik en emissies, toename in efficiëntie in logistieke operaties, en gebruikersacceptatie.
<i>C-Mobile</i>	Al deze aspecten zullen worden meegenomen in de evaluatie.
<i>Ensemble</i>	Niet in scope; uitgangspunt is dat truck platooning leidt tot betere benutting van capaciteit van de snelweg, besparing van brandstof, etc.
<i>A58 Spookfiles</i>	Tijdens de proeven in het A58 project is gekeken naar schaalbaarheid en gebruikersacceptatie, en naar het effect op verkeer en vervoer. Ten aanzien van <i>schaalbaarheid</i> wordt opgemerkt dat dit het geval is, met dien verstande dat de dataverkeersbelasting van het PKI-concept een belangrijk aandachtspunt is bij opschaling. Ten aanzien van <i>gebruikersacceptatie</i> is gemeld dat bij ca 40% van de deelnemers aantoonbaar sprake is van gedragsverandering als gevolg van de dienst. Het effect op <i>verkeer en vervoer</i> was echter niet meetbaar door de beperkte schaal van de proef.
<i>PPA-1&-2</i>	Hier is in PPA uitvoerig naar gekeken. Zie hiervoor PPA-2 Evaluatierapport uit 2017.
<i>PPA-3</i>	Voor PPA-3 moet pilot nog starten.
<i>4G5</i>	Pilot start in Q3/Q4 2019. Er zal gekeken worden naar gebruikersaspecten alsmede naar verkeerskundige impact.
<i>Concorda NB</i>	Nog niet afgerond
<i>Talking Traffic</i>	Evaluatie is nog niet afgerond maar lopend. Middels enquêtes onder een deel van de gebruikers van de informatiediensten wordt subjectieve kant van Talking Traffic beoordeeld, o.a. ten aanzien van gebruikersacceptatie, -begrip en -tevredenheid.
<i>C-ITS Corridor</i>	Resultaten evaluatie zijn nog niet beschikbaar.
<i>InterCor</i>	Idem

Vraag: Project:	Beproefde/geëvalueerde oplossingen: Wat is er geleerd t.a.v. de complexiteit om in de samenwerking tot een volledige pilot te komen?
<i>FREILOT</i>	Het volgende is geleerd: • Het is belangrijk om lokale partners te betrekken, zoals wegbeheerders. • Het is belangrijk om alle partners vaak te informeren. • Let op regelgeving
<i>Compass4D</i>	Het volgende is geleerd: • Het is belangrijk om lokale partners te betrekken, zoals wegbeheerders. • Standaardisatie is erg belangrijk voor een voldoende grote markt. • Niet achterwaarts compatibele wijzigingen in de standaarden kunnen aanzienlijke gevolgen hebben.
<i>C-The Difference</i>	Niet opgegeven
<i>C-Mobile</i>	Nog niet bekend
<i>Ensemble</i>	Niet opgegeven
<i>A58 Spookfiles</i>	Geen specifieke informatie over.
<i>PPA-1&-2</i>	De realisering van de PPA-ambitie is complex gebleken omdat de uiteindelijke verkeerskundige effectiviteit nauw samenhangt met het functioneren van de totale keten waarin verschillende actoren met verschillende systemen en databronnen een rol hebben. Er is geleerd van verschillende samenwerkingsvormen. Voor Business-to-Government type projecten is een conventionele OG-ON relatie adequaat. Wanneer facilitering van private bedrijven in hun B2C-activiteiten het doel is, dan werkt een gelijkwaardige samenwerkingsvorm tussen overheid en bedrijven beter. Betrokkenheid van lokale stakeholders bij pilots is belangrijk voor het succes ervan, maar is wel lastiger te organiseren vanwege uiteenlopende belangen.
<i>PPA-3</i>	Nog niet aan de orde
<i>4G5</i>	Nog niet aan de orde
<i>Concorda NB</i>	Nog niet afgerond
<i>Talking Traffic</i>	Gaat bij Talking Traffic niet om een pilot, maar landelijk dekkende implementatie. Zie antwoorden bij vraag 6 (<u>Ontwikkelde oplossing</u>). Meest ingewikkelde is nog wel de organisatorische implementatie gebleken. Deelnemende partijen moeten er echt voor gaan en ook bereid zijn kritisch naar de eigen processen te kijken. Het is niet 'zomaar even een projectje erbij doen'. Bedrijven zie je wel heroriënteren en schuiven; het bereiken van de juiste personen binnen het grote aantal betrokken overheden is veel lastiger.
<i>C-ITS Corridor</i>	Zie InterCor
<i>InterCor</i>	Zie "Lessons Learned InterCor Cross-border Interoperability Testfest". De daarin genoemde belangrijkste resultaten en lessons learned zijn: Door deelname in dit TestFest hebben we geleerd dat in principe het overall C-ITS-concept werkt en grensoverschrijdende interoperabiliteit mogelijk maakt. Dit is zowel waar voor ITS-G5 (inclusief PKI) als voor cellulaire communicatie. Vier implementaties van vier verschillende landen, in combinatie met systemen van andere partijen zoals onafhankelijke leveranciers, bleken in staat te zijn de gevraagde services te leveren in elke kruislingse landencombinatie. Echter heeft het TestFest ook laten zien dat de 'duivel in de details schuilt'. Hoewel de interoperabiliteitstesten positief zijn verlopen, waren er nog steeds detailpunten in de interpretatie van de specificaties en verschillen in implementaties die een goede

	interactie tussen systemen verhinderden. De deelnemers kwamen tot de conclusie dat er nog veel werk te doen is wat betreft het fine tunen van testen, specificaties en documentatie. Enkele specifieke leerpunten uit het TestFest zijn geweest: • Het aantal benodigde testen met betrekking tot tal van complexe technische aspecten van de in het TestFest relevante services is onderschat; • De beschikking over een 'ontwikkelproeftuin' zoals geboden door de InterCor TestFests creëert veel gelegenheden om te netwerken tussen alle private en publieke partijen; • De onbeschikbaarheid van een onafhankelijk validerend orgaan is een gemis; • Internationale eenduidige overeenstemming over de specificaties, profielen en methoden om logdata te collecteren moet worden verbeterd, om nog betere resultaten te verkrijgen en tevens voor evaluatiedoeleinden.
--	--

Vraag: Project:	Wat zijn de belangrijkste keuzes en lessen die van belang zijn voor het vervolg?
<i>FREILOT</i>	Het bereik van de gebruikte ITS-G5 techniek is voldoende voor de toepassing (prioriteitsverlening). Daarbij is het belangrijk om te zorgen voor goede antennes in het voertuig, met name een goede GPS antenne.
<i>Compass4D</i>	Interoperabiliteit is van groot belang voor een betaalbare uitrol van C-ITS. Integratie met bestaande systemen, zowel langs de weg als in voertuigen is van belang om de uitrol van C-ITS-systemen praktisch haalbaar te maken.
<i>C-The Difference</i>	Zie uitgebreid evaluatierapport
<i>C-Mobile</i>	Nog niet bekend, project loopt tot 2020
<i>Ensemble</i>	ITS-G5 werd geselecteerd voor directe communicatie op operationeel en tactisch niveau, omdat dit volwassen is en er ook nog geen C-V2X producten beschikbaar waren en bovendien vrachtwagenfabrikanten in andere projecten bezig zijn met het onderzoeken naar de voordelen van LTE-V2X. De cellulaire optie werd gekozen voor alles op strategisch niveau. Betere mobiele dekking op wegen in EU (dicht bij 100%) is randvoorwaarde voor <i>multi-brand truck platooning</i> , en dit wordt door vrachtwagenfabrikanten niet op korte termijn verwacht.
<i>A58 Spookfiles</i>	Bij de evaluatie van A58 Spookfiles zijn diverse aanbevelingen verstrekt maar in de context van deze studie iets minder relevant. Verwezen wordt naar de betreffende eindrapportages van dit project. Uit gesprekken zijn nog de volgende punten naar voren gekomen: • Een duidelijke leerervaring was de organisatie en werkwijze tussen publiek en privaat. Dit gaat een stuk verder dan normale R&D-projecten. • Aan beide zijden van diverse koppelvlakken werd door verschillende partijen gewerkt en het geheel moest werkend opgeleverd worden. De complexiteit van een innovatieproject dat in feite geacht wordt een 'eindproduct' op te leveren werd onderschat. Men name private partijen hebben er aanzienlijk meer effort in gestoken dan aanvankelijk rekening mee was gehouden. Gezien de bewust nadruk op de afzonderlijke bouwblokken (onder architectuur) waren er ook geen mogelijkheden om short cuts te nemen om iets werkend te krijgen. • Goed communiceren en blijven bewaken van je oorspronkelijke doelstelling. Druk vanuit overheid nam toe om al zo concreet mogelijk bij te dragen aan Mobiliteitsdoelstellingen. Dat is voor een innovatieproject net te ambitieus. Je wilt als consortium die positieve impact wel aantonen, maar daar zitten grenzen aan.
<i>PPA-1&-2</i>	Bij de evaluatie van <u>PPA-2</u> zijn diverse aanbevelingen verstrekt maar zijn in de context van deze studie iets minder relevant. Verwezen wordt naar de betreffende evaluatierapportages van PPA. Wel halen we i.v.m. de relatie met andere projecten de aanbeveling hieraan om tot een goede afstemming te komen tussen PPA en Talking Traffic (dan nog niet gestart) bij de vormgeving van fase 3. Geef PPA-fase 3 zodanig vorm dat gebruik wordt gemaakt van elkaars kennis en ervaringen ('haasje over'). PPA kan bijvoorbeeld gebruik maken van de iVRI-ontwikkelingen in cluster 1 en de 'cloud data' van de marktpartijen uit cluster 2 van Talking Traffic. Andersom kan Talking Traffic gebruik maken van de innovaties van PPA en de ervaringen bijvoorbeeld van PPA Noord m.b.t. VRI's.
<i>PPA-3</i>	Uit de interviews zijn t.a.v. PPA-3 de volgende aanbevelingen opgetekend. Concorda loopt nog, dus dit zijn punten die zowel betrekking hebben op het lopende project als ook daarbuiten/daarna:

	• Er is nog veel te ontwikkelen en testen => o.a. verkeerskundige kant voor wegbeheerder, borging van oplossingen in organisaties en afspraken tussen organisaties (publiek-privaat), • GLOSA bleek in de praktijktesten in Helmond bv niet praktisch bruikbaar met dynamische regelingen die (te) dynamisch zijn om een bruikbaar advies te geven. In 4G5 en Concorda verder onderzoek naar optimalisatie doorstroming o.b.v. GLOSA-snelheidsadvies en minder dynamische regelingen. • De combinatie van short en long range (hybride) biedt een aantal voordelen. Zie 4G5 paper/presentatie ITS Congress Europe • Directe communicatie op basis van 4G (LTE-V2X) is nog niet commercieel beschikbaar in tegenstelling tot de verwachting bij start van het project. • De security en certificering van directe communicatie is nog niet goed belegd • Als het gaat om interfaces en security is het cellulaire pad nog niet Europees gestandaardiseerd. Concorda kijkt wel naar verbeteringen PKI via cellulair • Naast de kwaliteit van communicatie is nauwkeurige plaatsbepaling en betrouwbaarheid van klokken en data zijn ook cruciaal. • We krijgen veel nieuwe inzichten door de samenwerking met CRF: CRF wil alleen weten waar je wel en niet mag rijden en met welke (maximale) snelheid, maar hebben geen interesse in RWW; welke informatie is nodig om rijtaken te ondersteunen. Spannende vraag is of dit straks allemaal met elkaar gaat werken. • Testen van automatische voertuigen afkomstig uit het buitenland is nog niet goed geregeld • De automobiellindustrie bepaalt in hoge mate de ontsluiting van het voertuig en is daar niet eensgezind over.
4G5	Nog niet bekend, project loopt tot 2020. Onderzoeksvragen (7) zijn beschreven in projectplan. Zie karakterisering 4G5 project in Bijlage A
Concorda NB	Uit interviews zijn de volgende punten opgetekend: • Veel landen in de EU zijn bezig met ITS-G5 oplossingen over cellulair, wat niet tot optimale oplossingen leidt. Daar staat tegenover dat een op ITS-G5 geënte toepassing niet zomaar op een andere drager te zetten is. De kunst is om in een hybride communicatieconcept de steeds de optimale drager slim te kiezen. Voor cellulair is het wel een hele uitdaging om de gehele architectuur werkend te krijgen, ook met het oog op de multi-operator context. • Oplossingen voor ITS-G5 deels niet ontwikkeld met oog voor operationele performance (optimalisatie performance en schaalbaar). Voorbeelden: ○ Versturen van statische berichten als MAP via ITS-G5 niet effectief terwijl dit wel 50% van de berichten omvat bij GLOSA (50% MAP, 50% SPAT). Versturen via cellulair veel effectiever ○ Security: gebruik van een handtekening per bericht is niet effectief voor client-server verbindingen met eenmalige authenticatie/autorisatie. Dit gaat ten koste van performance in OBU (10-20 ms extra latency i.v.m. toevoegen en analyse signature) • Geodistributie van berichten is technisch op verschillende manier mogelijk en aangetoond: via MQTT-server (tiles) of GeoNetworking-over-IP. In Concorda is gekeken naar optimalisatie t.b.v. opschaling bij gebruik van MQTT-server, met standaard ASN1 berichten (ASN1 heeft tot 30x minder bandbreedte nodig dan bv JSON berichten), slim gebruik van header voor filtering (volgorde aangepast in Concorda), en klein gebied als Relevance Area (alleen tiles op weg, niet een heel gebied). Het is uiteindelijk de ontvanger die de relevantie moet bepalen, niet de zender, en de zender weet niet wie een bericht ontvangt.

	• Ten aanzien van het efficiënt krijgen van de message distributie valt de komende tijd nog veel te leren. Talking Traffic heeft hier overigens wel goed over nagedacht.
<i>Talking Traffic</i>	• Op gebied van techniek: geen knelpunt factoren • 5G voor TT niet nodig, wel wenselijk i.v.m. verhoging performance en QoS garanties • Op gebied van organisaties en mensen: voortgang-, kosten- en succesbepalend Specifieke vraag: wat is de wil om door te gaan? Groot en volledig. Overheid blijft ook na afloop van huidige contracten (31 december 2020) intensief bij TT betrokken, als wegbeheerder; financiële aspecten van oude werkwijzen en nu geboden nieuwe oplossingen worden in TT ook in kaart gebracht (wel uitdagend omdat lang niet altijd transparant is waar kosten van huidige werkwijzen precies landen). Voor de iVRI begint inmiddels het adagium te gelden “de iVRI is het nieuwe normaal”. Aanvullende vraag: Wat zijn daarbij de afhankelijkheden ten opzichte van andere projecten of organisaties? • Datalevering kent een zeer sterke afhankelijkheid van wegbeheerders en andere overheden. • Uitrol van iVRI's kent een zeer sterke afhankelijkheid van wegbeheerders en een klein aantal marktpartijen. • Borging van Privacy en Security aan publieke zijde kost waarschijnlijk nog veel tijd en energie. Bijkomende uitdaging is dat Privacy en Security bij overheden veel verder gaat dan alleen scope van TT en betrokkenheid vraagt van ook andere medewerkers (o.h.g.v. Privacy en Security) die geen directe betrokkenheid hebben bij TT. Aanvullende vraag: TT is nogal sterk op Nederland gericht. Aandacht voor export van TT-resultaten naar buitenland (bijv. C-ITS Corridor en InterCor landen)? De aandacht van TT voor 'export'-mogelijkheden van de behaalde resultaten is van meet af aan groot geweest, aangezien op voorhand duidelijk was dat na 2020 de overheidsbijdrage (vrijwel) volledig zou verdwijnen en marktpartijen dan een gezond verdienmodel ontwikkeld moeten hebben. Er is (m.u.v. Vlaanderen) nog geen signaal dat duidt op plannen tot implementatie van ontwikkelde oplossingen in C-ITS Corridor & InterCor landen Duitsland, Oostenrijk, Verenigd Koninkrijk en Frankrijk.
<i>C-ITS Corridor</i>	Evaluaties zijn beschikbaar, zowel via rapportages Testfest en interne evaluatie RWS; 4 belangrijkste lessen zijn: a) Harmoniseren binnen EU essentieel voor <i>cross-border interoperability</i> b) ITS: gewoon doen (learning by doing) c) ITS is alleen zinvol als automotive industrie echt betrokken is d) Hybride concept werkt
<i>InterCor</i>	Idem

Vraag: Project:	Welke overige vragen staan nog open en verdienen aandacht?
<i>FREILOT</i>	Niet relevant i.v.m. afgesloten project
<i>Compass4D</i>	Niet relevant i.v.m. afgesloten project
<i>C-The Difference</i>	C-theDifference (zie details in apart evaluatierapport): a) Impact van de maatregelen/services op het totale verkeersbeeld (dus niet alleen voor de gebruiker van de services). Integratie van de HMI in het onboard systeem van het voertuig (dus niet een extra device). b) Gebruikers zijn heel positief over de combinatie GLOSA – Green priority. Echter de dynamische verkeerslichten in NL hebben wel invloed op de werking van de GLOSA-services. c) Ook het effect van het gebruik van strings van verkeerslichten dient onderzocht te worden. Met name op de overgang tussen de verschillende strings zagen we 'slechtere' resultaten. d) Ook de services zelf dienen uitgebreid te worden. Bijvoorbeeld EVW, nu alleen maar beschikbaar voor voertuigen met een OBU. e) Interoperabiliteit. Businessmodel. Kosten-baten analyse.
<i>C-Mobile</i>	Een van de vervolgacties zou kunnen zijn het onderzoeken naar verstarren van de VRI-regeling, voor GLOSA
<i>Ensemble</i>	Technisch: integratie met functional safety; niet-technisch: financiële overwegingen rondom invoering door fabrikanten in voertuigsystemen, gebruik en acceptatie vrachtwagenchauffeurs, juridische aspecten rondom (testen met) automatische voertuigen, I2V toepassingen en truck platooning
<i>A58 Spookfiles</i>	Niet relevant meer.
<i>PPA-1&-2</i>	Niet relevant meer.
<i>PPA-3</i>	Meerdere vragen (4G5 samen met Concorda-NH):
<i>4G5</i>	a) Wat gaat de automotive industrie doen? b) Hoe geven we de komende tijd invulling aan rollen in ITS keten: single access point voor ITS-data, PKI-autoriteiten, certificering? c) Hoe gaan safety critical/related use cases zich ontwikkelen? Techniek en specificaties zijn gereed, nu implementatie in praktijk met bestaande verkeersmanagement systemen en organisaties. Ook acceptatie gebruiker en effect op doorstroming is beperkt duidelijk. d) Hoe zit het met data-eigenaarschap en verantwoordelijkheden en eisen rond betrouwbaarheid en beschikbaarheid? Bijv. ontsluiten van data door regionale en nationale wegbeheerders via centraal punt e) Op welke plekken in infrastructuur heeft directe communicatie toegevoegde waarde voor V2X?
<i>Concorda NB</i>	Niet nader opgegeven (buiten wat onder geleerde lessen is vermeld).
<i>Talking Traffic</i>	Geen, anders dan die welke gericht zijn op snelle uitrol van iVRI's en daarmee het creëren van een randvoorwaarde om te komen tot deelname van autofabrikanten en de grotere leveranciers van informatiediensten en daarmee een nog groter aantal gebruikers, die de effecten van en verdien capaciteiten binnen het Talking Traffic systeem verder positief kunnen beïnvloeden. T.b.v. vastleggen van standaarden, het naleven van standaarden door overheden en bedrijven en het stimuleren van (juist en verantwoord) gebruik van diensten, zou het opnemen van zaken in wet- en regelgeving zinvol kunnen zijn.
<i>C-ITS Corridor</i>	Niet relevant i.v.m. einde project zomer 2019 (Bron: vragenlijst)
<i>InterCor</i>	Idem



Bijlage C: Lijst met use cases met veiligheidskritisch karakter

Opmerking: use cases kunnen in veel use case scenario's worden opgesplitst, met specifiekere waarden voor diverse parameters. Deze globalere lijst is derhalve indicatief.

SLR: Service Level Reliability. Alleen gespecificeerd voor use cases die (ook) door 5GAA zijn gedefinieerd.

Fase	Naam Angelsaksisch)	Bron(nen)	Korte toelichting	X2Y	Omgeving	Eisen m.b.t. signalering	Opmerkingen
Day 1	Vulnerable Road User (Passive role)	ETSI, 5GAA	VRU of RSU waarschuwt omringende/naderende voertuigen over aanwezigheid VRU	P2V / I2V	Typisch in verstedelijkt gebied	CAM, min 1Hz, max 100 ms latency, 20 ms aanbevolen (5GAA), 99,9% SLR	Opm: hier wordt uitgegaan van actieve VRU of RSU beschikt over bijv. camerabeelden
Day 1	Motorcycle Warning	ETSI	Voertuigen in omgeving worden gewaarschuwd voor naderende motorfiets	V2V	Bijvoorbeeld Slecht weer omstandigheden	CAM, min 2Hz, max 100 ms latency	Opm: Bij LOS obstructie fungeert RSU als relay
Day 1	Signal Violation	ETSI	Een wegkantsysteem waarschuwt verkeer in omgeving over optredende rood-licht overtreding bij een kruispunt	I2V	Kruispunten	DENM broadcast, min 10Hz, max 100 ms latency	
Day 1	Emergency Electronic Brake Light	ETSI, 5GAA	Signalering harde remingreep naar achterliggende voertuigen	V2V	Met name op hoofdwegen met risico op filevorming. In, stedelijk gebied bij plotseling overstekende personen	DENM broadcast, min 10Hz, max 100 ms latency (5GAA: 120 ms). SLR: 99.99%	

Day 1	Slow/stationary vehicles	ETSI	Langzaam of stilstaand voertuig waarschuwt naderend verkeer	V2V		CAM broadcast, min 2Hz, max 100ms latency	
Day 1	(Other) hazardous location notifications	ETSI, 5GAA	Voertuigen worden gewaarschuwd voor gevaarlijke locatie(s), bijv gat in de weg.			DENM broadcast, min 10 Hz, max latency: 100ms (5GAA), 99% SLR	Latency en SLR waarden gelden in geval van instantane detectie van hazardous location. Voor doorgifte reeds bekende hazardous locaties via de cloud geldt dit niet.
Day 1	Emergency Vehicle Approaching	ETSI	Naderend Noodhulp voertuig signaleert overige voertuigen over zijn nadering	V2V		CAM broadcast, min 10 Hz, max 100 ms latency	
Day 1	Traffic Jam Ahead Warning	ETSI, 5GAA	Signaleren van navolgend verkeer dat zich verderop een file vormt	V2V / I2V		DENM broadcast, min 1Hz, max 2000 ms latency (5GAA). 50% SLR	Deze signalering kan zowel door voertuigen als door de wegkant worden gegenereerd. SLR waarde is laag, maar veronderstelt V2V en dat meerdere voertuigen onafhankelijk van elkaar berichten uit sturen.
Day 1	RWW (waarschuwend)	ETSI	Signaleren van naderend verkeer van (rijdende) wegafzetting	I2V/ V2V		DENM broadcast, min 2Hz, max 100 ms latency	Betreft hier vooral lokale acute waarschuwing voor wegafzetting

Day 2	Cross Traffic Left Turn Assist	ETSI, 5GAA	In situatie waarin voertuig A linksaf wil, wordt naderend voertuig B op andere rijstrook gewaarschuwd indien berekende TTC een veilige grens onderschrijdt	V2V / I2V	Typisch in verstedelijkt gebied	CAM broadcast, min 10Hz, max 100 ms latency, 90% SLR.	Bij LOS obstructie fungeert RSU als relay.
Day 2	Merging Traffic Turn Collision Risk Warning	ETSI	Naderende voertuigen worden gewaarschuwd voor voertuig dat vanuit zijweg de hoofdweg op draait	V2V / I2V	Typisch in verstedelijkt gebied waar zicht op zijwegen is verhinderd door bebouwing	CAM-broadcast, min 10 Hz, max 100 ms latency	Bij LOS obstructie fungeert RSU als relay.
Day 2	Emergency Break Warning	5GAA					
Day 2	Hazardous Location Warning	5GAA, ETSI	Voertuigen worden gewaarschuwd voor gevaarlijke locatie(s), bijv gat in de weg.	I2V of V2V		DENM broadcast, min 10 Hz, max latency: ?	I2V igv wegbeheerder, of V2V voor rechtstreekse waarschuwing voertuigen onderling
Day 2	See through for Pass Manoeuvre	5GAA	Doorgifte van videobeeld van het wegbeeld van de voorganger, tbv inhaalmanoeuvre	V2V		Video stream, max 50 ms latency, 99% SLR	
Day 2	Lane Change Warning	5GAA, ETSI		V2V	Op snelwegen	DENM/CAM broadcast, ? Hz, max 400 ms latency, min. 99,9% SLR	ETSI benoemt coöperatieve variant, zonder nadere details
Day 2	Overtaking Warning	ETSI	Voertuig dat gaat inhalen signaleert andere voertuigen over deze manoeuvre	V2V	2-baans wegen	CAM broadcast, 10 Hz, max 100 ms latency	

Day 2	VRU	5GAA		V2P			
Day 1/2	(Advanced) Intersection Collision Warning (Cooperative Collision Warning)	C2C CC	Van voertuigen A en B die kruispunt diametraal naderen wordt de TTC berekent en wordt een waarschuwing afgegeven als die een veilige waarde onderschrijdt	I2V		CAM broadcast, min 10Hz, max 50 ms latency	
Day 2/3	Cooperative glare reduction	ETSI	Automatische terug schakeling van groot licht naar dimlicht bij nadering	V2V	2-baans wegen	CAM broadcast, min 2Hz, max 100 ms latency.	
Day 3	Cooperative Lane Merging (Highways)	C2C CC, ETSI	Voertuig communiceert intentie tot invoegen en onderhandelt de manoeuvre met de plaats makende voertuigen	V2V	Snelwegen	CAM broadcast, min 10 Hz, max. 100 ms latency	Kan ook van toepassing zijn op groepen van voertuigen. Uitwisseling van trajectory informatie
Day 3	Cooperative Overtaking (Rural roads)	C2C CC	Voertuigen wisselen omgevingsinformatie uit en signaleren actief, bijvoorbeeld tbv veilige inhaalmanoeuvre op provinciale wegen.	V2V			Ook uitwisseling van trajectorie informatie
Day 3	CAV Manoeuvre Coordination (general)	C2C CC	Continue onderlinge afstemming tussen voertuigen van rijpaden en manoeuvres. Op kruispunten kan coordinatietaak door wegkant worden verricht.	V2V / I2V			ETSI hanteert voor coöperatief kruispunt management vanuit wegkant (I2V) een 1 Hz update frequentie en max 500 ms latency

Day 3	Cross Traffic Left Turn Assist	5GAA	Zoals Day 2 versie, maar obv continue uitwisseling trajectory data waardoor	V2V/I2V		CAM broadcast, min 10Hz (?), max 10 ms latency, 99.9% SLR.	Uitgebreidere definitie databerichten; min. update frequentie niet gespecificeerd
Day 2/3	Convoy driving	Autonet	Rijden in konvooi formatie	V2V			Voertuigen maken deel uit van gedefinieerde groep.
Day 3	VRU (Active role)		Actieve notificatie vanuit VRU device naar andere voertuigen bij nadering.				

Bijlage D: C-V2X nader toegelicht

Bestaande operationele mobiele netwerken ondersteunen alleen de communicatie tussen een aangesloten terminal en een server met een IP-adres die achtereenvolgens via het radioaansluitnetwerk (RAN) en het Evolved Packet Core kan worden bereikt. Rechtstreekse communicatie tussen mobiele terminals is niet gedefinieerd in een normaal LTE-netwerk. Een specifieke server zorgt voor deze koppeling, zoals bijvoorbeeld bij Voice over LTE. Zo lijkt het dat twee abonnees rechtstreeks met elkaar praten terwijl er een server tussen zit die deze verbinding tot stand brengt. VoLTE is geen Over-The-Top applicatie die via het publieke internet wordt bereikt, zodat de Quality of Service nog vrij goed onder controle kan worden gehouden. Anders wordt het wanneer een server ergens aan het publieke Internet hangt. Dan zal de QoS in belangrijke mate afhangen van de routing over het Internet en de mate van congestie.

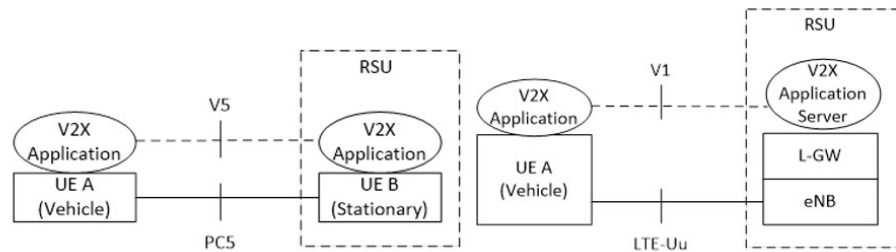
Het besef was aanwezig dat deze aanpak niet zou volstaan voor V2X-communicatie, met name vanwege stringente latency eisen. Derhalve is naast de vertrouwde V2N-communicatie over de Uu interface, de zogenaamde sidelink geïntroduceerd met een PC5-interface. De sidelink werkt ofwel met ofwel zonder netwerkassistentie. Zonder netwerkassistentie is hij gelijkwaardig aan de 802.11p interface (maar wel technisch verschillend en dus ook qua performances) en zijn de terminals zelf volledig verantwoordelijk voor het gebruik van het kanaal. Met netwerkassistentie heeft het basisstation een aanwijzende taak voor wat betreft het gebruik van het kanaal.

ITS-G5 op basis van 802.11p ondersteunt zowel V2V-communicatie als I2V/V2I. Beide betreffen directe communicatie: er komt geen netwerkinterface aan te pas. Zo is het mogelijk dat een roadside unit (RSU) een bericht ontvangt en deze opnieuw uitzendt, en dus een relais functie heeft. Alternatief is dat de RSU het doorzet naar bijvoorbeeld een server, via een protocol conversie.

C-V2X komt straks op hetzelfde neer: de PC5 interface bestaat conform de standaard alleen tussen mobiele terminals. De besturing van het gebruik van de PC5 interface door de UE's (User Equipments) kan autonoom (Mode 4) of door het basisstation of eNB (Mode 3) worden gedaan. We gaan dan uit van Mode 4 die het meest vergelijkbaar is met 802.11p en ook tractie krijgt in de markt. Voertuigen die zijn uitgerust met een LTE- (of straks een 5G-) modem kunnen derhalve via de PC5 interface berichten uitwisselen. Het is echter mogelijk om ook een RSU te voorzien van eenzelfde modem-interface (de RSU is dan een statische UE) zodat er directe communicatie mogelijk wordt niet alleen tussen twee voertuigen maar eveneens tussen een voertuig en een RSU binnen het radiobereik.

Een alternatieve mogelijkheid is om gebruik te maken van de local break-out functie zodanig dat een RSU-systeem kan zijn samengesteld uit een (compacte) eNB functie in combinatie met een V2X server direct daarachter en eventueel aanvullende applicatieservers. Dan legt de mobiele UE (modem in het voertuig als onderdeel van een OBU) via de Uu interface verbinding met de eNB functie in de RSU. De local break out functie zorgt ervoor dat direct na de eNB het mobiele netwerk kan worden verlaten. Dit is niets anders dan de Mobile Edge Computing oplossing die als voordeel biedt dat het Core Netwerk van het mobiele netwerk evenals het publieke Internet buiten beschouwing blijven waardoor QoS-gedrag kan worden verbeterd.

Beide opties zijn in onderstaande figuur weergegeven. Belangrijk verschil tussen beide is dat de PC5 aanpak (Mode 4) geen enkele betrokkenheid van een MNO kent en dus met gepreconfigureerde hardware/firmware kan werken. De Uu aanpak vergt een authenticatie door een mobiel netwerk (via een SIM).



Figuur 12: Mogelijkheden voor gebruik RSU in C-V2X netwerk: standalone RSU in User Equipment (UE) op vaste locatie en V2X applicatie (links) of RSU geïntegreerd in mobiele mast (eNB) met lokale gateway en V2X applicatie server (rechts)

Opschaling van C-V2X (directe communicatie)

Directe communicatie zonder betrokkenheid van infrastructuur waarbij meerdere deelnemers het lokaal beschikbare radiokanaal moeten delen is bij volledige opschaling niet triviaal. Door het ontbreken van een centraal aansturende entiteit (een basisstation of een access point) kan bijvoorbeeld congestie niet centraal worden gemanaged en is een bepaalde vorm van etiquette en onderhandeling vereist. Dergelijke complexe mechanismen werken binnen zekere grenzen waarboven congestie en performance verlies (lagere throughput, hogere delays) onvermijdelijk wordt. Hierbij spelen diverse protocolparameters een rol waardoor de praktische performance afhangt van de gekozen instellingen (al dan niet gestandaardiseerd in profielen) en de karakteristieken van het scenario en dynamiek daarin. In het mobiliteitsdomein zijn er zoals bekend er nu twee concurrerende maar technisch verschillend werkende opties namelijk ITS-G5 en C-V2X (Mode 4). Het is net als voor ITS-G5 voor C-V2X⁵⁸ geen gegeven dat het op basis van PC5 communicatie onder allerlei praktische omstandigheden bevredigend zullen functioneren naarmate de capaciteitsvraag in typische verkeerssituaties in de toekomst toeneemt (door grotere penetratie van actieve systemen, hogere throughput eisen op directe verbindingen of een combinatie van beiden) binnen een zeker beschikbaar stuk spectrum, nog afgezien van effecten die optreden wanneer beide technieken in hetzelfde spectrum dienen te worden gebruikt. Congestie wordt teruggedrongen door inperking van het effectieve afstandsgebied maar dit gaat ten koste van het geografische gebied van de informatie (uitgaande van een single hop overdracht) en dus van de effectiviteit van de coöperatie. Wanneer afstandsreductie zover gaat dat men bij voertuigen ruim binnen het gebied komt van de eigen sensoren dan is de meerwaarde van de communicatie zo goed als verdwenen. Hoe dit in de praktijk uitpakt bij grootschaliger benutting, is wat betreft ITS-G5 inmiddels wel enigszins inzichtelijk geworden op basis van diverse pilots (maar nog geen pilots op grote schaal) en plugtests maar dat geldt nog niet voor het veel recentere C-V2X. In het geval van C-V2X Mode 3 wat neerkomt op directe communicatie onder controle van een mobiel netwerk zijn er wat meer mogelijkheden biedt voor

⁵⁸ Aangenomen dat deze technieken werken in een eigen dedicated frequentieband.

congestiemanagement maar deze optie krijgt in de industrie zoals eerder opgemerkt (voorlopig) geen tractie. Het is niet duidelijk of dat op langere termijn zo blijft.

Bijlage E: Opgave van betrokken personen

Aan dit onderzoek hebben de volgende personen buiten het directe onderzoeksteam hun medewerking verleend:

Organisatie	Naam
Agentschap Telecom	Ton Zwiers
Dynniq	Erik Koenders
Gemeente Helmond	Tamara Goldstein
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat	Marcel Otto (tevens opdrachtgever)
	Wim Vandenbergh
	Vincent Habers
	Marcel Westerman
Rijkswaterstaat	Sebe Vogel
	Abraham Bot
	Edwin van der Walle
	Ronald Adams
Provincie Noord-Holland	Boris Kock
Provincie Noord-Brabant	Paul Bevers
Scania	Katrin Sjöberg
Siemens (voormalig TASS)	Igor Passchier
TNO	Peter-Paul Schackman
	Andre Smulders
	Antoine Schmeitz
	Marika Hoedemaeker (PM Ensemble)

Bijlage F: Afkortingenlijst

3GPP	Third Generation Partnership Project
5GAA	5G Automotive Association
5G	Fifth Generation 3GPP standardized mobile network technology
ACEA	European Automobile Manufacturers Association
ADAS	Advanced Driver Assistance System
AEV	Approaching Emergency vehicle Warning
ASN	Abstract Syntax Notation
C2C CC	Car2Car Communication Consortium
CAM	Cooperative Awareness Message
CCAM	Connected Cooperative Automated Mobility
CEF	Connecting Europe Facility
CEN	Comité Européen de Normalisation
C-ITS	Cooperatieve ITS
COTS	Commercial-Of-the-Shelf
C-V2X	Cellular V2X
DENM	Decentralized Environmental Notification Message
eMBB	Enhanced Mobile BroadBand
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
GLOSA	Green Light Optimized Speed Advisory
GPS	Global Positioning System
GSR	General Safety Regulation
HMI	Human Machine Interface
I2V	Infrastructure-to-Vehicle
ICT	Informatie- en Communicatietechnologie
IEEE	Institute Electrical and Electronics Engineers
IoE	Internet of Everything
IoT	Internet of Things
ISO	International Standards Organisation
IT	Informatie Technologie
ITS	Intelligent Transport Systems
KAR	Korte Afstand Radio
LTE	Long Term Evolution
LTE-LAA	LTE License Assisted Access
MEC	Mobile Edge Computing
mMTC	massive Machine Type Communication
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
MVNO	Mobiele Virtuele Network Operator
NDW	National Data Warehouse
NR	New Radio
OBU	On Board Unit
OCB	operating Outside the Context of a BSS
OEM	Original Equipment Manufacturer
OV	Openbaar Vervoer
PKI	Public Key Infrastructure
PPA	Praktijk Proef Amsterdam

PSR	Pedestrian Safety Regulation
QoS	Quality of Service
RDW	Rijksdienst voor Wegverkeer
RSU	Road Side Unit
RWS	Rijkswaterstaat
TLEX	Traffic Light EXchange
TT	Talking Traffic
uRLLC	Ultra Reliable Low Latency Communication
V2I	Vehicle-to_infrastructure
V2I2V	Vehicle-to_infrastructure-to-Vehicle
V2P	Vehicle-to-Person
V2N	Vehicle-to-Network
V2N2V	Vehicle-to-Network-to-Vehicle
V2X	Vehicle-to-Anything
VRl	Verkeerslicht Regel Installatie
VRU	Vulnerable Road User

