

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

www.tno.nl

T +31 88 866 00 00

TNO-rapport

TNO 2018 R11142 | Eindrapport

Monitor Draadloze Technologie

Najaar 2018



Datum	November 2018
Auteur(s)	Ir. H.J. Dekker, Ir. A.H. van den Ende, Ir. R. Overduin, Dr. H. Zhang, Dr. Ir. M.J.M. van Sambeek
Opdrachtgever	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Projectnaam	Monitor Draadloze Technologie 2018
Projectnummer	060.30841

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.

© 2018 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Het 'speelveld' van draadloze communicatie	3
1.2	De Monitor Draadloze Technologie	4
2	Intelligente systemen voor transport en mobiliteit	5
2.1	Introductie	5
2.2	De rol van draadloze communicatie bij ITS	5
2.3	Huidige oplossingen voor draadloze communicatie voor ITS	6
2.4	Relevantie van 5G en IoT voor ITS	9
3	Drone-technologie	13
3.1	Inleiding	13
3.2	Toepassingen en recente ontwikkelingen hierin	14
3.3	Regelgeving	15
3.4	Internationale technische standaardisatie	18
3.5	Toekomstperspectieven voor drones	18
4	Maritieme civiele systemen	20
4.1	e-Navigation.....	20
4.2	De Nederlandse Kustwacht	22
5	5G status	27
5.1	Update 5G-standaardisatie.....	27
5.2	Co-existentie van Wi-Fi met 4.5/5G.....	29
5.3	5G-trials voor verticale sectoren.....	30
6	Tot besluit.....	33

1 Inleiding

Om overzicht te bieden in het speelveld van de diverse draadloze technologieën, stelt TNO al een aantal jaren een Monitor Draadloze Technologie samen. Hierin worden de ontwikkelingen in de technologie en de markt gevolgd.

In dit inleidende hoofdstuk is de opzet en de scope van de najaarseditie 2018 van de Monitor Draadloze Technologie uitgelegd.

1.1 Het 'speelveld' van draadloze communicatie

Op het gebied van draadloze technologie speelt een diversiteit aan ontwikkelingen rondom mobiele technologie van 4G (LTE) en 5G en rondom andere technologieën zoals Wi-Fi en specifieke landelijk dekkende oplossingen voor het *Internet-of-Things* (IoT) gebaseerd op technologieën zoals LoRa, SigFox en LTE Narrow-Band IoT (NB-IoT).

Ook in het afgelopen jaar is het mobiele dataverkeer weer fors gegroeid. Om in deze groei te kunnen voorzien wordt - in afwachting van de verwachte uitrol van 5G in Europa vanaf 2020-2021 - door mobiele providers nog geïnvesteerd in uitbreiding van capaciteit in bestaande 4G-netwerken en verbetering in 4G-netwerken via LTE-Advanced ofwel 4,5G.

In juni 2018 is met het verschijnen van de eerste 5G-release (3GPP Release 15) een concrete mijlpaal bereikt in de standaardisatie van 5G. De 5G-standaardisatie zal in de komende jaren worden voortgezet in volgende 3GPP releases 16 en 17. Het is de ambitie van 5G om naast mobiel breedband en IoT een aantal sectorspecifieke toepassingen – aangeduid als '*verticals*' - te kunnen ondersteunen op hetzelfde 5G-netwerk. Voorbeelden van '*verticals*' die binnen 5G-standaardisatie zijn meegenomen zijn oplossingen voor zelfrijdende voertuigen, oplossingen voor openbare orde en veiligheid (OOV) en oplossingen voor IoT binnen de energie- of de landbouwsector.

Wi-Fi en andere draadloze technologieën zoals Bluetooth en Zigbee worden op grote schaal toegepast in consumentenelektronica zoals smart phones, tablets, laptops, smart tv's en in-huisoplossingen voor 'smart home' zoals slimme thermostaten. Deze draadloze technologieën ontwikkelen zich ook verder in nieuwe generaties zoals Bluetooth 4.0 en de Wi-Fi 802.11ax-variant als de opvolger van Wi-Fi 802.11ac. De toepassingsmogelijkheden van deze technologieën in vergunningsvrije spectrumbanden zijn breed en de vraag speelt ook in 5G hoe deze oplossingen in de toekomst slim en effectief geïntegreerd kunnen en gaan worden met mobiele 5G netwerken om te kunnen voldoen aan de groei van dataverkeer en het aantal aangesloten (IoT) apparaten.

Het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat richt haar beleid o.a. op het vrijmaken en veilen van nieuwe frequenties voor mobiele communicatie voor onder meer 5G zodat mobiele netwerk operators in de nabije toekomst in staat zijn de groei in mobiel dataverkeer mogelijk te maken en om sectorspecifieke toepassingen voor '*verticals*' op 5G-netwerken te kunnen bieden. Daarbij moet worden opgemerkt dat in ieder geval in de nabije toekomst nog voor bepaalde sectoren zoals de civiele scheepvaart, specifieke communicatie- en navigatiesystemen zullen blijven bestaan.

1.2 De Monitor Draadloze Technologie

Met de Monitor Draadloze Technologie wil TNO een actueel en toegankelijk overzicht bieden van de stand van zaken ten aanzien van de ontwikkeling en inzet van draadloze technologie. De Monitor Draadloze Technologie tracht verschillende doelgroepen te bedienen bij overheid en bedrijfsleven in Nederland. Dit betekent dat de monitor erop gericht is om informatief te zijn voor lezers met een algemene achtergrond in de telecommunicatie. In principe worden wereldwijde ontwikkelingen gevolgd, vanuit een nationaal perspectief.

Evenals vorige jaren is ook in 2018 gekozen om de informatie te ontsluiten in twee edities van het rapport, met een voorjaars- en najaarseditie met recente trends en ontwikkelingen:

- Voorjaarseditie 2018: deze editie geeft een overzicht van ontwikkelingen vanuit technologisch perspectief. Per technologie is kort de stand van zaken beschreven. Deze voorjaarseditie is uitgebracht in mei 2018;
- Najaarseditie 2018: deze editie is gericht op een aantal specifieke toepassingen van draadloze communicatietechnologie. Dit is de rapportage die nu voor u ligt.

Deze najaarseditie 2018 gaat in op de volgende toepassingen:

1. Intelligente systemen voor transport en mobiliteit: in hoofdstuk 2 worden ICT-oplossingen in het domein van transport en mobiliteit beschreven, met focus op de onderliggende draadloze technologieën. Deze maken onder meer *connected car* toepassingen en geautomatiseerd rijden (inclusief zelfrijdende auto's) mogelijk.
2. Civiele drone-technologie: dit onderwerp is in hoofdstuk 3 beschreven. Het gebruik van drones - voor zowel recreatief als professioneel gebruik - is in recente jaren sterk toegenomen en naar verwachting zal dit nog toenemen met navenante gevolgen voor spectrumbehoeften. In dit hoofdstuk zijn de verschillende toepassingen beschreven, de onderliggende draadloze technologieën en het beslag op spectrum, nu en in de toekomst.
3. Maritieme (civiele) systemen: in hoofdstuk 4 zijn over dit onderwerp elektronische navigatie (in brede zin) en draadloze systemen zoals in gebruik bij de kustwacht beschreven.
4. Update 5G: vanwege het verschijnen van de eerste 5G versie (3GPP Release 15) in juni 2018 is in hoofdstuk 5 ook een update opgenomen van de status en planning van 5G.

TNO hecht eraan te benadrukken dat de Monitor Draadloze Technologie een momentopname is van een complex en snel veranderend speelveld. Het is daarom mogelijk dat opgenomen informatie op het moment van lezen niet meer up-to-date is, of niet langer relevant. Daarnaast wordt er per editie een selectie gemaakt in relevante onderwerpen en kunnen niet alle ontwikkelingen worden beschreven. TNO staat open voor suggesties of aanbevelingen voor verdere verbeteringen.

2 Intelligente systemen voor transport en mobiliteit

2.1 Introductie

De sector transport en mobiliteit is in een transformatiefase beland, aangejaagd door technologische vernieuwingen zoals elektrisch rijden, geautomatiseerd rijden en *connected car*¹-oplossingen en door maatschappelijke ontwikkelingen zoals urbanisatie, klimaatverandering, de aandacht voor duurzaamheid en de overgang naar dienstverlening en deconomie door *Cloud*-aanbieders zoals Uber, et cetera.

Het gebruik van ICT-oplossingen in het domein van transport en mobiliteit wordt aangeduid met de term Intelligente Transport Systemen (ITS). Dit zijn systemen om de veiligheid, doorstroming of uitstoot te verbeteren. ITS wordt bijvoorbeeld gebruikt in voertuigen voor het uitwisselen van informatie tussen enerzijds voertuigen en *Cloud* en anderzijds tussen voertuigen onderling om de veiligheid of doorstroming op wegen te verhogen. Deze laatste groep worden ook wel aangeduid met de term Coöperatieve-ITS-systemen (C-ITS), waarbij ITS-systemen samenwerken om informatie onderling te delen.

Na een lange incubatietijd van meer dan 15 jaar wordt de invoering van C-ITS nu versneld door bovengenoemde technische innovaties in voertuigen rondom *connected car*-toepassingen en zelfrijdende voertuigen met gebruik van slimme sensoren en kunstmatige intelligentie. Ook de standaardisatie van oplossingen voor C-ITS via mobiele 4G- en in de toekomst 5G-netwerken mogelijk te maken, wordt als belangrijke drijfveer gezien voor innovaties.

2.2 De rol van draadloze communicatie bij ITS

Naast de informatie die het voertuig zelf kan detecteren via zijn eigen sensoren is het gebruik van externe informatie noodzakelijk om ITS-systemen nu en in de toekomst goed te laten functioneren. Voorbeelden van externe informatie zijn updates van digitale kaartinformatie, dynamische informatie van wegbeheerders over gevaarlijke situaties en bijbehorende maatregelen (dynamisch snelheidsadvies, afsluitingen rijbanen) en aanvullende informatie van andere weggebruikers. Informatie kan hierbij worden uitgewisseld tussen voertuigen onderling, tussen voertuigen en systemen langs de weg zoals verkeerslichten of dynamische verkeersborden of tussen voertuigen en de *Cloud*.

Connected car-toepassingen waarbij het voertuig voor informatie- en infotainmentdiensten verbonden is met aanbieders op Internet (*Cloud*) waren in het verleden beperkt tot informatiediensten ten behoeve van diagnostiek van het voertuig en infotainment, maar het scala van toepassingen verschuift naar gebruik van informatiediensten ter ondersteuning van (vooralsnog niet-kritische) rijtaken.

Bij geautomatiseerd en autonoom rijden van voertuigen worden rijtaken van de bestuurder deels of volledig overgenomen door zogeheten ADAS (Advanced Driver

¹ Connected Car: een auto die informatie uitwisselt – zowel direct met andere weggebruikers als via de *Cloud* - wordt in dit document aangeduid met deze generieke term.

Assistance Systems) oplossingen. Deze systemen maken gebruik van een combinatie van diverse sensoren zoals meerdere (stereo) camera's, radar en lidar (Light Detection And Ranging of Laser Imaging Detection And Ranging) en een real-time verwerkingsysteem om de fysieke omgeving digitaal in kaart te brengen. Op basis van dit digitale 'wereldbeeld' van zijn directe omgeving kan een ADAS-systeem in voertuigen taken van de bestuurder overnemen zoals zelfstandig rijden op de snelweg of automatisch inparkeren. De diverse deelsystemen van een ADAS-systeem zijn gewoonlijk via een vaste infrastructuur binnen het voertuig met elkaar verbonden.

Een Engelstalige term die door de Europese Commissie wordt gehanteerd voor het gebruik van draadloze communicatie in combinatie met geautomatiseerde mobiliteit is *Cooperative, Connected and Automated Mobility* (CCAM).

In de media is er ook veel aandacht voor zelfrijdende voertuigen doordat zowel nieuwkomers in de automobielenindustrie (Tesla en Google) als bestaande spelers (Audi, BMW, Mercedes, Toyota) op dit moment al voertuigen verkopen die zijn uitgerust met deze ondersteunende systemen en – in negatieve zin - door de berichtgeving over de (fatale) ongevallen die hebben plaatsgevonden met deze systemen.

Daarnaast zien we geleidelijk ook dat andere applicatieaanbieders worden toegelaten door autofabrikanten tot oorspronkelijk zeer gesloten *in-car*-systemen voor navigatie of diagnostiek.

2.3 Huidige oplossingen voor draadloze communicatie voor ITS

C-ITS-toepassingen maken gebruik van draadloze communicatie om informatie uit te wisselen, zowel tussen voertuigen onderling (*Vehicle-to-Vehicle communications, V2V*) als tussen voertuigen en "infrastructuur" (*Vehicle-to-Infrastructure communications, V2I*). Onder "infrastructuur" wordt hier zowel fysieke systemen (verkeerregelinstanties, verkeerslichten of verkeersinformatiesystemen) langs de weg bedoeld, als de communicatie units (zendontvangers) voor short-range communicatie. Deze vormen van communicatie worden ook wel aangeduid met de generieke term V2X, *Vehicle-to-Everything*. De ontvangen informatie kan worden getoond aan de bestuurder of kan worden gebruikt in een ADAS-systeem van een geautomatiseerd of zelfrijdend voertuig.

Er zijn verschillende toepassingen in voertuigen die gebruik maken van draadloze communicatie. Voor automatische tolheffing wordt in verschillende landen van de EU gebruik gemaakt van de short-range technologie DSRC (*Dedicated Short-Range Communications*) in de 5,8 GHz band. Voor eCall systemen die sinds april 2018 verplicht zijn in nieuwe personenauto's, wordt gebruik gemaakt van een uitbreiding op bestaande functionaliteit voor alarmoproepen in mobiele netwerken. Hierbij is een oplossing ontwikkeld waarbij het eCall systeem in een auto die betrokken is in een ernstig ongeluk automatisch een alarmoproep naar 1-1-2 start en waarbij een minimale set van gegevens over het voertuig (met name de locatie) en bijvoorbeeld het aantal inzittenden kan worden gestuurd na een ongeval.

2.3.1 C-ITS-standaardisatie binnen ETSI en 3GPP

Voor C-ITS-toepassingen op basis van V2X-communicatie is een aparte Europese standaard ontwikkeld. De Europese Commissie heeft in oktober 2009 een mandaat

(M/453) gegeven aan CEN en ETSI om te komen tot standaardisatie voor C-ITS gericht op het verbeteren van de veiligheid (en doorstroming) op de weg. In februari 2014 is de eerste versie van de ETSI/CEN ITS-standaard opgeleverd met specificaties voor zowel radiocommunicatie als voor de informatieberichten die uitgewisseld worden. De radiocommunicatie is gebaseerd op een uitgekilde variant van Wi-Fi, namelijk 802.11p. De ontwikkelde oplossing is gebaseerd op directe communicatie tussen voertuigen en tussen voertuigen met de infrastructuur langs de kant van de weg en verloopt via broadcast – zonder netwerkinfrastructuur – waarbij geen authenticatie nodig is tussen zender en ontvanger. Deze technologie wordt in de EU aangeduid als ITS-G5, verwijzend naar het gebruik van 802.11p in de 5,9 GHz band (ITS-G5 band).

Binnen 3GPP is gewerkt aan een oplossing voor ondersteuning van V2X-toepassingen op basis van mobiele netwerktechnologie, aangeduid als Cellular-V2X. In 3GPP Release 14 is LTE-V2X geïntroduceerd, waarbij ook directe, short-range communicatie tussen voertuigen mogelijk is, naast de bestaande long-range communicatie via het mobiele netwerk. Deze LTE-V2X technologie kan worden gezien als alternatieve of concurrerende technologie voor ITS-G5 omdat beide technologieën directe communicatie tussen voertuigen mogelijk maken. LTE-V2X beschrijft ook oplossingen om voertuigen via het mobiele netwerk (Vehicle-to-Network: V2N) en verkeerssystemen langs de weg zoals verkeerslichten of dynamische borden (Infrastructure-to-Vehicle: I2V) met elkaar te laten communiceren.

Naast het gebruik van ITS-G5 voor V2V-communicatie kan ITS-G5-technologie ook worden gebruikt voor I2V-toepassingen via een netwerk met vaste ITS-G5-zenders langs de wegen of geïntegreerd met bestaande wegwagkantsystemen zoals verkeersregelinstallaties met verkeerslichten of dynamische verkeersborden. Hiermee kan ITS-G5 als een aanvullende óf alternatieve technologie voor mobiele netwerken worden gezien om informatie van I2V-diensten te distribueren naar voertuigen/verkeersdeelnemers.

2.3.2 *Hybride communicatie*

De verschillende short-range en long-range technologieën kunnen ook naast elkaar gebruikt worden, aangeduid als hybride communicatie. Onder hybride communicatie voor C-ITS wordt het gebruik bedoeld van meerdere communicatienetwerken voor specifieke C-ITS-diensten, om hiermee de kwaliteit van de informatie-uitwisseling van C-ITS-diensten te verbeteren. In dit geval gaat het specifiek over het gebruik van twee typen netwerken als aanvullende of complementaire technologieën, namelijk cellulaire of mobiele netwerken (long-range) en ad-hoc netwerken op basis van C-V2X of ITS-G5 als specifieke varianten voor directe communicatie (short-range).

Gebruik van meerdere complementaire technologieën in hybride communicatie heeft tot doel de kwaliteit van C-ITS-diensten te verbeteren, door:

- 1) Verhogen van aantal weggebruikers en voertuigen dat bereikt kan worden: door informatie over meerdere 'kanalen' te versturen kunnen meer gebruikers bereikt worden. Het aantal weggebruikers dat bereikt kan worden is afhankelijk van of een weggebruiker het juiste randapparaat heeft en gebruik maakt van een C-ITS-dienst, van de overheid of van een derde partij: van een OEM (Original Equipment Manufacturer), aanbieder navigatiedienst of verkeersinformatie, via app of in-car systeem;

- 2) Verbeteren van geografische dekking waar weggebruikers, c.q. voertuigen bereikt kunnen worden;
- 3) Verbeteren van snelheid van informatie-uitwisseling;
- 4) Slimme distributie van informatie over meerdere netwerken om het kritieke knelpunt van belasting van individuele netwerken te verbeteren;
- 5) Betrouwbaarheid verhogen door parallel gebruik te maken van meerdere technieken.

Naast deze meer technische benadering van hybride communicatie is ook de 'waardeketen' (*value chain*) van een C-ITS-dienst van belang: wie levert de C-ITS-dienst aan de weggebruiker en welke (extra) partijen zijn betrokken in de waardeketen, zowel voor het leveren van de onderliggende technologie zoals communicatie units, netwerken en V2X-applicaties, als aanbieders van de (bron)informatie voor een V2X-applicatie. Hierbij speelt ook de vraag of een C-ITS-dienst vanuit een commercieel oogpunt wordt geboden of dat een wettelijke verplichting ten grondslag ligt aan een C-ITS-dienst, zoals met eCall, of eTolling in EU-landen. De keuze over gebruik van communicatietechnologieën voor de diverse vormen van dienstverlening is bovendien anders voor de betrokken stakeholders.

2.3.3 *Frequentiespectrum voor ITS*

Voor ITS is in Europa momenteel één frequentieband toegekend (ITS-G5A)². Deze loopt van 5.875 tot 5.905 MHz en bestaat uit drie 10 MHz-kanalen. Daarnaast zijn er twee banden gereserveerd voor toekomstig gebruik: ITS-G5B, van 5.855 tot 5.875 MHz en ITS-G5D, van 5.905 tot 5.925 MHz. Samen met de 30 MHz voor ITS-G5A betekent dit dus een totale toekomstige spectrumruimte van 70 MHz tussen 5.855 en 5.925 MHz. Deze band wordt ook wel aangeduid als de 5,9 GHz-band voor ITS.

In ETSI EN 302 571 zijn de technologie-specifieke eisen voor ITS-G5-systemen vastgelegd om te kunnen voldoen aan de technologie-onafhankelijke eisen voor gebruik van deze frequentiebanden zoals vastgelegd in artikel 3.2 van EU Directive 2014/53/EU. ETSI EN 302 571 beschrijft bijvoorbeeld de eisen ten aanzien van maximale zendvermogen, breedte van kanalen en spectrummaskers. Hierbij ligt de nadruk op het voorkomen van interferentie tussen apparaten die gebruik maken van dezelfde frequentiebanden of van nabijgelegen frequentiebanden voor CEN DSRC in 5,8 GHz-band. Ook is vastgelegd welke eisen gelden voor ITS-stations om de communicatie te beperken (in frequentie van berichten en/of zendvermogen) in geval van congestie op één van de drie 10 MHz-kanalen.

Met de eisen ten aanzien van het maximale zendvermogen in de 5,9 GHz-band is directe communicatie tussen voertuigen onderling of tussen voertuigen en infrastructuur mogelijk tot hooguit enkele honderden meters. Voor uitwisselen van informatie voor I2V-diensten over langere afstanden dient daarom een mobiel netwerk met basisstations langs (hoofd)wegen te worden ingezet of gebruik te worden gemaakt van multi-hop routing tussen voertuigen.

² Opmerking: De termen 'ITS-G5A', 'ITS-G5B' en 'ITS-G5D' voor de frequentiebanden kunnen de suggestie wekken dat deze alleen gebruik mogen worden voor 'ITS-G5'-systemen o.b.v. de 802.11p standaard. Dit is niet het geval, andere technieken voor ITS kunnen ook gebruik maken van deze frequentiebanden mits ze voldoen aan EU-radioregeling.

ETSI ITS-G5 op basis van IEEE 802.11p voldoet aan de spectrumeisen uit EN 302 571 voor de 5,9 GHz-band. Deze techniek maakt gebruik van *listen-before-talk* om te bepalen of het radiokanaal vrij is voordat men start met het zenden van een bericht. LTE-V2X is een alternatieve technologie die niet voldoet aan de eisen in EN 302 571.

Vanuit de EC is in oktober 2017 via een mandaat aan CEPT³ gevraagd om onderzoek te doen naar de haalbaarheid voor uitbreiding van ITS-spectrum in de G5D-band en gedeeld gebruik met Urban Rail-toepassingen. In het mandaat is ook gevraagd om met een analyse en advies te komen voor co-existentie van ITS-G5 en LTE-V2X in dezelfde ITS 5,9 GHz-banden.

2.3.4 Regelgeving

Binnen de EU wordt door de Europese Commissie in samenwerking met de lidstaten gewerkt aan Europese regelgeving voor C-ITS-systemen waarbij het doel is te komen tot interoperabiliteit van C-ITS-systemen in voertuigen en in systemen langs de weg om de verkeersveiligheid te verhogen. De eerste versie bevat alleen specificaties van directe communicatie via ITS-G5, de Wi-Fi-variant. Na 3 jaar zal bekeken worden of andere technologieën zoals C-V2X hieraan toegevoegd moeten worden. De verwachting is dat de EC eind 2018 een besluit zal nemen over deze regelgeving.

2.4 Relevantie van 5G en IoT voor ITS

Aanbieders van mobiele telecommunicatiediensten etaleren ook hoge ambities om een rol in dit zich vernieuwende ecosysteem voor ITS op te eisen. Dit blijkt onder andere uit de actieve rol van de EATA (*European Automotive and Telecom Alliance*) en de 5G Automotive Alliance (5GAA) die daarbij worden aangemoedigd door DG Connect binnen de Europese Commissie.

We zien dat in de ontwikkeling van 5G nadrukkelijk rekening wordt gehouden met specifieke eisen vanuit het *automotive* domein en dat Europese onderzoeksprojecten zijn of worden gestart om innovaties en de toepasbaarheid van mobiele communicatie, IoT en 5G aan te tonen.

Tabel 1: Voorbeelden van geavanceerde applicaties en hiermee geassocieerde eisen aan connectiviteit⁴

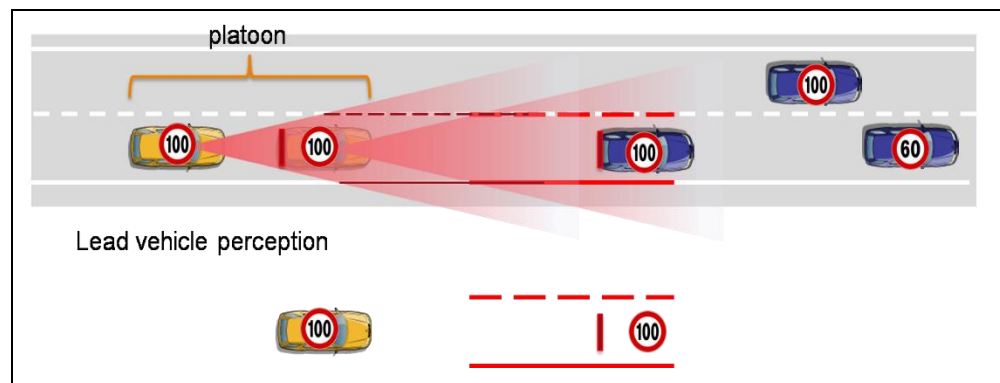
Application	Degree of Automation	Max. Latency (ms)	Reliability (%)	Data rate (Mbit/s)	Min. Range (m)
Platooning (excl reporting)	Lower degree	10-25	90	Unspecified	350
	Higher/highest degree		99.99	65	80-180
Advanced Driving	Lower degree	25-100	90	10-50	700
	Higher degree	10-100	99.99-99.999	10-50	350
Extended Sensors	Lower degree	50-100	90-99	10	100-1000
	Higher degree	10-50	95-99.999%	10-1000	50-1000
Remote driving	Unspecified	5	99.999%	25 (UL) 1 (DL)	Unspecified

Voorbeelden van deze Europese projecten zijn CONCORDA, AUTOPILOT, 5G-SAFE en 5G-MOBIX. De belofte van 5G is het bieden van verbeterde communicatieoplossingen voor voertuigtoepassingen waarvoor reactiesnelheid,

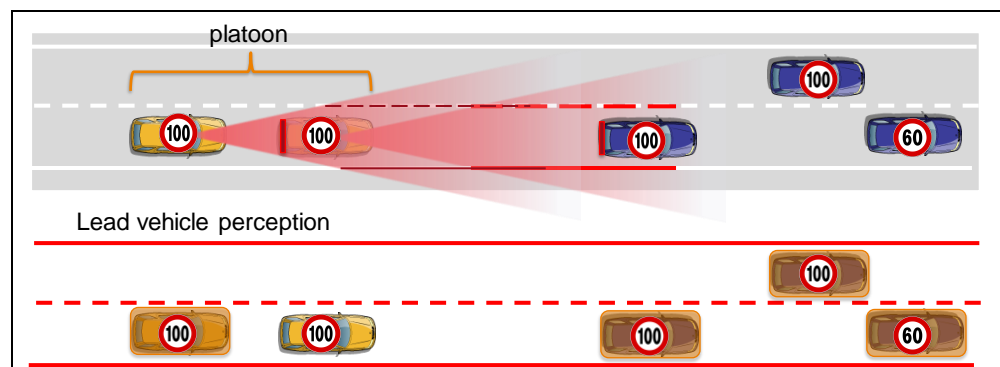
³ RSCOM17-26rev3, 18 okt. 2017

⁴ 3GPP TS 22.186 V15.2.0 (2017-09)

betrouwbaarheid en bandbreedte belangrijk zijn. Denk daarbij aan uitbreiding van het - met eigen sensoren opgebouwde – lokale 'wereldbeeld' van de omgeving van een voertuig met informatie van externe bronnen. Daarmee krijgt het voertuig toegang tot relevante informatie van zijn directe omgeving die buiten het bereik van de eigen waarnemingen ligt of aanvullend is op eigen waarnemingen. Het voertuig wordt hierbij ook zelf leverancier van informatie aan andere voertuigen. Een concreet voorbeeld van een dergelijke toepassing is gevisualiseerd in onderstaande Figuur 1 waarin een 'treintje' of peloton (Engels: *platoon*) met twee voertuigen is weergegeven waarbij deze voertuigen elkaar automatisch volgen en in een 'treintje' rijden. In Figuur 1 acteert het *platoon* autonoom en is het besef van het *platoon* van de verkeerssituatie beperkt tot de waarneming van het voorste (leidende) voertuig. Op enige afstand voor het *platoon* bevindt zich een voertuig met een beduidend lagere relatieve snelheid dat daarmee een potentieel veiligheidsrisico vormt. Dit voertuig wordt door het autonome *platoon* niet zelfstandig opgemerkt. In de situatie in Figuur 2 wordt het *platoon* geholpen met aanvullende informatie van een externe informatiebron en is daarmee beter in staat te anticiperen op een mogelijk abrupt optredende vertraging. De externe informatiebron zelf wordt gevoed met data van direct gekoppelde wegkantsensoren en/of met gepubliceerde data van zogeheten coöperatieve voertuigen.



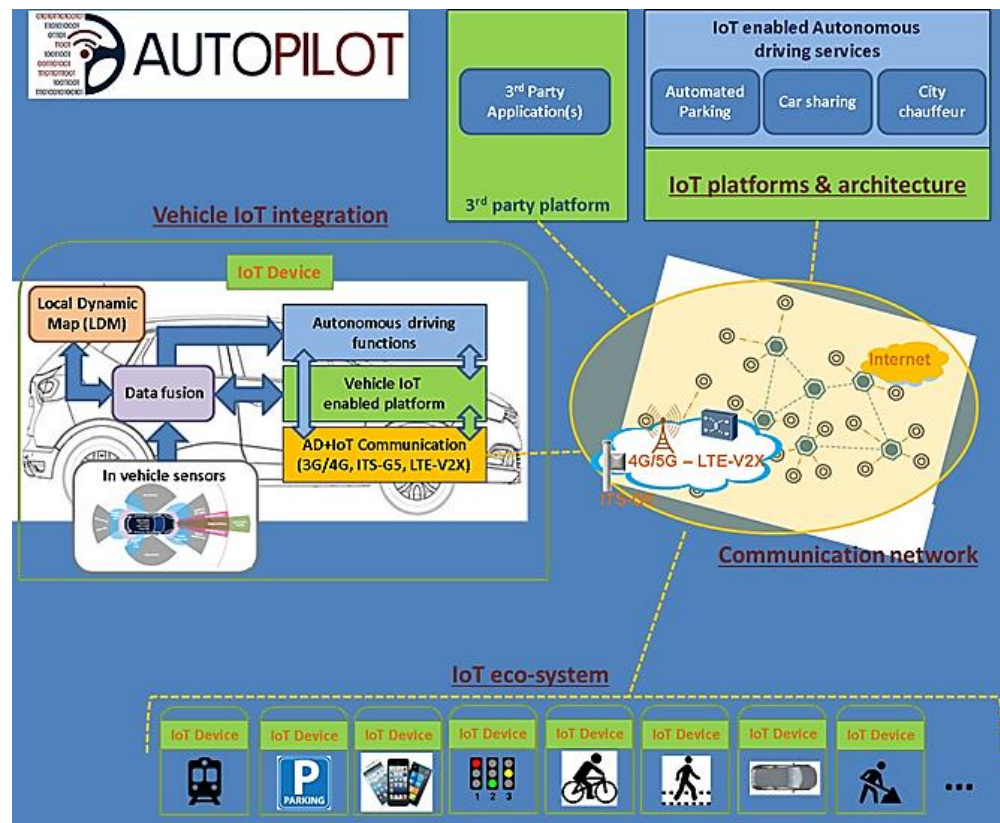
Figuur 1: Autonoom platoon ziet alleen voertuigen langs directe zichtlijnen voor het voertuig, een langzaam rijdende auto voor andere voertuigen is niet zichtbaar (Bron: TNO)



Figuur 2: Platoon wordt aanvullend geïnformeerd en 'ziet' andere voertuigen wel (Bron: TNO)

Figuur 3 geeft weer wat de koppeling van een voertuig met het "IoT-ecosysteem" waarmee bovenstaande toepassing kan worden gerealiseerd, omvat. Deze figuur laat een voertuig zien dat communiceert met een centraal IoT-platform waardoor het in staat is de eigen sensordata te combineren met relevante data afkomstig van het

platform. Het platform op zijn beurt fungeert als gestructureerde verzamelplaats van externe sensordata. Diverse specifieke voertuig-ondersteunende applicaties kunnen van zo'n platform gebruik maken. Voor deze IoT-koppeling is uiteraard een geschikte onderliggende communicatie-infrastructuur vereist om informatie snel en efficiënt uit te wisselen tussen voertuigen en IoT-platform.



Figuur 3: Koppeling van een geavanceerd voertuig met een IoT-ecosysteem (Bron: AUTOPILOT)

Informatie- en entertainmentdiensten die zijn gericht op inzittenden en op de bestuurder in het bijzonder zullen mee evolueren met de veranderende rol van de bestuurder die in de toekomst in steeds meer scenario's zijn aandacht op iets anders kan vestigen. De ramen van auto's bieden uitstekende mogelijkheden voor beeldprojecties. Er zijn reeds voorbeelden van deze zogeheten *augmented reality*-toepassingen waarbij op de voor- of zijruit aanvullende informatie wordt geprojecteerd die is geassocieerd met wat men buiten ziet.

Te verwachten is dat coöperatieve ITS op basis van directe uitwisseling van berichten tussen voertuigen en *connected car*-benaderingen via *Cloud*-platformen gekoppeld aan mobiel Internet meer en meer gaan convergeren, met de focus op zowel de inzittenden van het voertuig (inclusief de "bestuurder") als ook op het voertuig zelf als een semi-geautomatiseerd systeem. Daarbij zullen we een steeds sterker wordende verwevenheid gaan zien van voertuigfuncties met *Cloud services* en een zeer geleidelijke trend richting gebruik van externe informatie ook voor veiligheid-critische voertuigfuncties.

Hoe snel de maatschappelijke adoptie en acceptatie van deze ontwikkelingen zal gaan is lastig in te schatten. Innovaties worden zichtbaar in nieuwe generaties

voertuigen maar in het verkeer zullen conventionele en geavanceerde voertuigen nog lange tijd naast elkaar blijven bestaan. De hype rond zelfrijdende en geautomatiseerde voertuigen lijkt plaats te maken voor een voor de kortere termijn meer realistisch beeld, onder andere door recente incidenten met zelfrijdende voertuigen die laten zien dat er altijd veiligheidsrisico's zijn. Wat we - mede gefaciliteerd door het mobiliteitsbeleid van overheden op lokaal niveau en nieuwe Mobility-as-a-Service (MaaS) initiatieven - zeker meer gaan zien zijn vormen van volledig geautomatiseerd vervoer op separate trajecten, gescheiden van het conventionele verkeer.

3 Drone-technologie

3.1 Inleiding

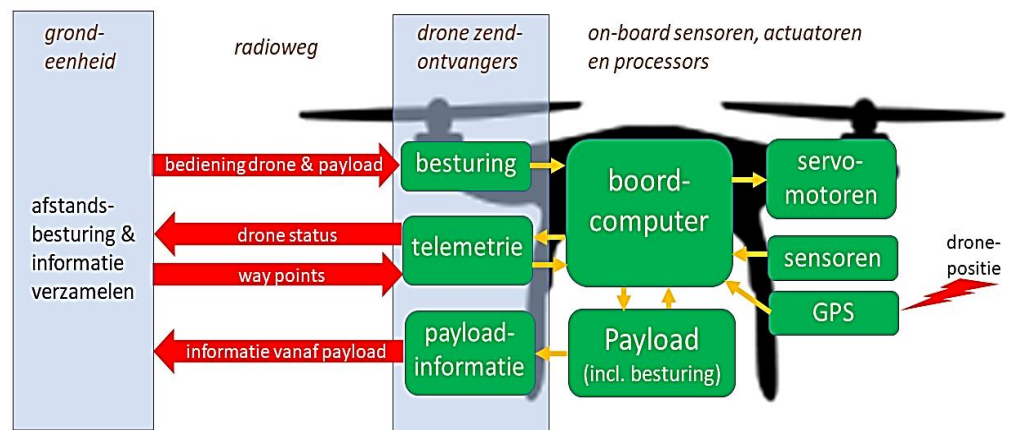
Onbemande luchtvaartuigen ofwel *drones* vinden in de laatste jaren steeds meer toepassing, zowel in het civiele als in het militaire domein, waar zijn oorsprong ligt⁵. Vaak zijn deze (nog) op afstand bestuurbaar. In dit geval spreken we van *Remotely Piloted Aircraft Systems* (RPAS), in tegenstelling tot *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV) die beschikken over een wezenlijke graad van autonomie. Ook wordt de term *Unmanned Aerial Systems* (UAS) vaak als synoniem voor drones toegepast. Genoemde termen worden nogal eens door elkaar gebruikt. In deze paragraaf zullen we ons beperken tot het gangbare drone-type zoals deze al sinds een aantal jaren bestaat. Daarbij ligt de nadruk in deze paragraaf op drones voor civiele toepassingen.

Vanwege de vele potentiële toepassingsmogelijkheden van drones, is deze technologie in 2013 door de Europese Commissie aangemerkt als een belangrijke technologie waarvoor stimulering vanuit de EC gewenst om te komen tot (versnelde) ontwikkeling van de onderliggende drone-technologie en innovatieve toepassingen met drones.

Een moderne civiele drone is meestal uitgevoerd als een zogenaamde *multicopter* met een zeker aantal propellers. Zo zijn het meest gangbaar *quadcopters*, *hexacopters* en *octocopters* met respectievelijk 4, 6 en 8 propellers. *Tricopters* en *duodecacopters* met respectievelijk 3 en 12 propellers zijn minder gebruikelijk. Hoe hoger het aantal propellers is, hoe stabiel en wendbaarder de drone is⁶. In Figuur 4 is de algemene functionele opbouw van een drone gegeven. Aan boord van een drone platform of *airframe* bevindt zich naast een aandrijfmotor een boordcomputer voor bijvoorbeeld het corrigeren van verstoringen door wind en turbulenties via servomotoren, een afstandsbesturingseenheid en een telemetrie-eenheid voor het doorgeven van de status, positie en snelheid van de drone. Tenslotte is er apparatuur aan boord die gebruikt wordt in het kader van de inzet van de drone en eventuele lading die verband houdt met deze inzet (spreevloeistof, postpakketten, et cetera).

⁵ www.eda.europa.eu/what-we-do/activities/activities-search/remotely-piloted-aircraft-systems---rpas

⁶ www.drones.nl



Figuur 4: Functionele componenten van een drone

Dit is de zogenaamde *payload*, bijvoorbeeld een camera met controller en zendontvanger, een communicatie-relais of sproeiapparaat met controller. Een gps-flight recorder kan gebruikt worden om de afgelegde vliegroute te registreren of de drone op een vaste plek te laten landen bij het wegvallen van de afstandsbesturingsverbinding.

3.2 Toepassingen en recente ontwikkelingen hierin

Voorbeelden van civiele drone-toepassingen zijn:

- Het bewaken van infrastructuren zoals wegen en het gebruik ervan,
- Statusinformatie verzamelen tijdens rampen in het algemeen, en voor bosbrandbestrijding in het bijzonder,
- Het bewaken van gebieden zoals grensregio en grote evenementen en
- Het gebruik bij opsporingsacties.

Juist in recente jaren zijn steeds meer drone-uitvoeringen voor particulier gebruik beschikbaar gekomen waaronder de populaire *quadcopter*. De actieradius, omvang en daardoor ook het gewicht van de *payload* van deze types zijn relatief klein. Doorgaans betekent dit dat hun *payload* beperkt blijft tot een camera met controller. Eventueel is een GPS-logging systeem aan boord voor het vastleggen van de gevlogen route.

In de militaire wereld vinden drones toepassing tijdens missies, met name op het gebied van bewaking, verkenning en voor het vaststellen van schade als gevolg van bombardementen. Een specifieke toepassing is het uitvoeren van militaire aanvallen, maar deze toepassing is en onder meer in Nederland juridisch en ethisch omstrepen. Dit type aanval-drones wordt aangeduid met *Combat Aerial Vehicles (CAV)*.

Enkele voorbeelden van bekende leveranciers van drones zijn: Parrot (Frankrijk), DJI (China), Yuneec (China), Height Tech (Duitsland), Aerialtronics (Nederland, overgenomen in 2017 door Drone Volt, Frankrijk) en Walkera (China). Daarnaast zijn er vele leveranciers van deelsystemen zoals camera's, accu's en afstandsbedieningen.

3.3 Regelgeving

De regelgeving voor drones kan worden opgedeeld in twee categorieën: algemene regels voor het gebruik van drones en specifieke regelgeving voor het spectrumgebruik.

3.3.1 Algemeen

De inzet van drones is gebonden aan regels ten aanzien van vlieghoogte, gewicht, bereik, gebieden et cetera⁷. Er zijn aparte regels voor particulier en professioneel gebruik. Regels voor het particulier gebruik hebben betrekking op het recreatief vliegen met drones. In Nederland mag alleen overdag gevlogen worden en niet boven een aaneengesloten bebouwing, wegen en groepen mensen. De regels voor particulier en professioneel gebruik kunnen per land verschillen en kunnen wijzigen in de loop der tijd⁸. Zo is de maximale vlieghoogte voor particulier gebruik in Nederland 120 m (tot 1 juli 2015 was dit nog 300 m), terwijl in België een maximale vlieghoogte geldt van 90 m.

De voorwaarden voor gebruik van drones en modelvliegtuigen worden bepaald door de ILT (Inspectie Leefomgeving en Transport). De ILT stelt ook vast waar in Nederland gevlogen mag worden en geeft voor professioneel gebruik een *RPAS Operator Certificate* (ROC) af. In recente jaren heeft de overheid de regels voor professioneel gebruik vereenvoudigd. Zo is er sinds 1 juli 2016 een ROC 'light'-versie voor professioneel dronegebruik voor drones tot 4 kg.

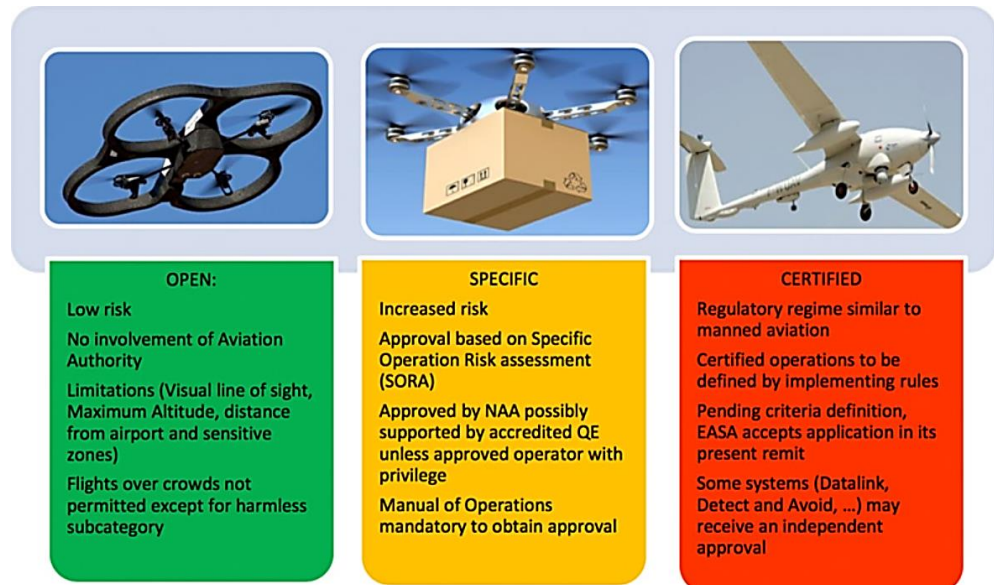
Op Europese schaal heeft dit jaar de EASA (*European Aviation Safety Agency*) richtlijnen uitgegeven om een vrije verspreiding van drones en een gelijk speelveld voor de hele Europese Unie te bewerkstelligen⁹. Hierbij is ook gekeken naar de privacy en veiligheid van de burgers en de mogelijkheid voor de industrie om te innoveren en te groeien. De Europese droneregels zijn in de afgelopen jaren door luchtvaartorganisatie EASA in samenspraak met verschillende stakeholders opgesteld¹⁰. De basis van de regelgeving wordt gevormd door drie categorieën voor drone-operaties: *open*, *specific* en *certified*, zie Figuur 5.

⁷ www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/drone/vraag-en-antwoord/regels-drone-particulier

⁸ www.droneregelgeving.nl/de-regels-en-wetgeving/

⁹ www.drones.nl/nieuws/2018/02/easa-publiceert-richtlijnen-europese-drone-regelgeving

¹⁰ www.dronewatch.nl/2018/06/12/europees-parlement-stemt-in-met-voorgestelde-drone-regelgeving/



Figuur 5: Categorisering van de inzet van drones t.b.v. Europese regelgeving¹⁰

De huidige Regeling Modelvliegen en het ROC 'light' komen naar verwachting onder de *open* categorie te vallen. Dit betreft vluchten met een laag risico en waarbij geen operationeel handboek opgesteld hoeft te worden. Operators met een volledig ROC gaan op in de categorie '*specific*'. Zij moeten de door hun beoogde operaties in procedures vastleggen.

3.3.2 *Frequentiespectrum*

Voor de handmatige, directe besturing van drones voor particulier gebruik wordt in de huidige producten met name gebruik gemaakt van vergunningsvrije frequenties van 2,4 of 5,8 GHz. Naast de directe besturing worden deze banden ook gebruikt voor streaming van videobeelden (First Person View). Verder wordt de telemetrieband van 868 MHz - en in mindere mate 433 MHz - gebruikt om sensorinformatie te versturen. Deze laatste banden kennen een beperkte datasnelheid.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat het maximale zendvermogen voor deze frequenties beperkt is (respectievelijk 100 mW voor 2,4 GHz en 25 mW voor 5,8 GHz) en daardoor ook het bereik van de afstandsbediening.

Omdat ook Wi-Fi gebruik maakt van de vergunningsvrije frequentiebanden op 2,4 GHz en 5 GHz is er kans op onderlinge verstoring van Wi-Fi apparatuur en drones op locaties. Uit onderzoek dat in opdracht van Agentschap Telecom in 2016 is uitgevoerd door Figo / Strict¹¹, is gebleken dat de afstandsbediening van een drone kan storen op reguliere Wi-Fi-verbindingen. De Wi-Fi-datasnelheid nam daarbij af tot 20-40%. Wel wordt in dit onderzoek de verwachting uitgesproken dat de impact van deze verstoringen beperkt zal zijn, doordat er vaak veel afstand is tussen een afstandsbediening en een Wi-Fi-verbinding. Omgekeerd is ook onderzocht of Wi-Fi de directe besturing van drones negatief kan beïnvloeden. Uit het onderzoek bleek

¹¹ Rapport "Research into the Radio Interference Risks of Drones" (version 1.01, May 2016), zie www.agentschaptelecom.nl/onderwerpen/onderzoek-en-ontwikkelingen/documenten/rapporten/2017/december/6/rapport-research-into-the-radio-interference-risks-of-drones

dat de meeste drone besturingen werken in de 2,4 GHz-band met een combinatie van *frequency hopping* (FHSS) en *direct spread spectrum* (DSSS) technologie. Deze combinatie maakt de communicatie heel robuust, zoals ook testen in de praktijk uit hebben gewezen. Daarbij bleek de drone-besturing maar weinig last te hebben van een volle Wi-Fi-band.

In de 5 GHz-band dient opgemerkt te worden dat Wi-Fi-apparatuur vooral gebruik maakt van de 5.150 – 5.350 MHz-band (alleen voor indoor, tot 200 mW), en drones van de 5.745-5.875 MHz-band voor outdoor-gebruik met lagere vermogens van maximaal 25 mW, voor SRD (Short Range Devices). De tussenliggende band 5.470 – 5.725 MHz is beschikbaar voor outdoor-gebruik met hogere vermogens tot 1 W, maar kent aanvullende eisen ten aanzien van anticiperen op (weer)radar via functies zoals DFS (*Dynamic Frequency Selection*) en TPC (*Transmit Power Control*). Hierdoor is deze band minder aantrekkelijk voor gebruik voor Wi-Fi en drones, omdat de communicatie moet worden onderbroken bij detectie van (weer)radar in deze band en naar een ander kanaal moet worden overgeschakeld.

Bij Agentschap Telecom kan een vergunning voor specifieke frequenties worden aangevraagd als de beschikbaarheid van de radioverbindingen met de drone groot moet zijn en daardoor interferentie of storing niet acceptabel is, zoals bij professionele inzet. Ook kan een groter bereik of bandbreedte nodig zijn. In ieder geval is een vergunning nodig als de drone buiten het gezichtsveld wordt ingezet.

Voor het vergunning-gebonden gebruik is sinds 2015 de band 2.300 tot 2.495 MHz gereserveerd. Hiervoor werd het Nationaal Frequentieplan (NFP) aangepast. Zendamateurs maken gebruik van de band 2.320-2.400 MHz maar hebben in geval van een gelijktijdige claim van het frequentiespectrum een secundaire status ten opzichte van het vergunning-gebonden dronegebruik. Het totaalbeeld van toegewezen spectrum in Nederland voor drones is in onderstaande Tabel 2 weergegeven:

	433 MHz	868 MHz	2300 MHz*	2,4 GHz	5,8 GHz
Besturing	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja
Video/Audio	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja
Telemetrie	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

Tabel 2: In Nederland toegewezen frequenties voor drones versus toepassingen, * = licentieband

De drone zendontvangerfuncties die in de meest linker kolom in Tabel 2 worden genoemd, zijn terug te vinden in Figuur 4, waarbij 'video/audio' in deze figuur valt onder 'payloadinformatie'. Telemetrie heeft niet alleen betrekking op de drone statusinformatie die vanuit de drone naar de grond gezonden wordt maar ook op eventuele nieuwe *way points* die de bedienaar tijdens een vlucht door kan geven aan de drone.

Naast de radiofrequenties in deze tabel is het nog steeds mogelijk om gebruik te maken van de 35 MHz-band. Analoge technieken voor afstandsbesturing op deze frequentie zijn echter zeer verouderd en voldoen niet meer aan de eisen rond beveiliging en het tegengaan van onderlinge interferentie die aan moderne digitale systemen gesteld mogen worden.

Voorafgaand aan de reservering van specifiek spectrum voor professionele drones is onderzoek gedaan naar het gebruik van frequenties^{11,12}. Streaming van videobeelden naar de gebruiker gebeurt veelal op vergunningsvrije 5,8 GHz frequentie en minder op 2,4 GHz. Vluchtinformatie wordt in een aantal gevallen via telemetrie-zendontvangers gestuurd via andere, bestaande vergunningsvrije ISM-banden, zoals de 868 MHz-band of de 433 MHz-band.

3.4 Internationale technische standaardisatie

De internationale standaardisatie van technische aspecten van drones is pas sinds de laatste vijf jaar op gang gekomen.

Er bestaan momenteel 14 ISO UAS-standaarden, ontwikkeld door ISO/TC 20/SC 16 op het gebied van ontwerp, productie, onderhoud, categorisering en co-existentie met de bemande luchtvaart^{13,14}. In het laatste deel (CD 21384-3: *Operations & Procedures*) zijn specificaties opgenomen voor commerciële drone operaties en deze is vrijwel gereed¹⁵. Tenslotte is er de groep ISO/IEC JTC 1/SC 17 (*Cards and Personal Identification*) die een deelname kent uit 12 landen uit Europa, Azië en uit Rusland. Deze groep buigt zich over de wereldwijde compatibiliteit van systemen die de autorisatie en identificatie van drones borgen door middel van een uniform internationaal registratiesysteem, gebaseerd op de zogenaamde Drone Identity Module (DIM; ISO 7816). Een dergelijk systeem wil de registratie en overtredingen van regels rond maximale vlieghoogte en andere beperkingen harmoniseren en is dus eigenlijk een technisch hulpmiddel voor de handhaving van de regelgeving. Nu zijn deze nog op nationale basis gedefinieerd. Gepland is om medio 2020 een standaard te publiceren¹⁵.

Naar verluidt zijn in de Verenigde Staten tot op heden de zogenaamde *Part 107 Regulations*, uitgegeven door de Federal Aviation Administration (FAA)¹⁶ de enige in Amerika die daadwerkelijk industrieel gedragen worden.

Algemeen lijkt men zich bewust van het belang van open, industriële standaardisatie rond drones, niet alleen om ongelukken te voorkomen maar ook om de marktontwikkeling te stimuleren en om privacy en, via registratie, criminaliteitsbestrijding te verbeteren.

Internationale standaardisatie van de techniek voor defensie-drones vindt plaats binnen NATO. Deelname aan deze standaardisatie is open voor lidstaten, zij het dat de inhoud van veel van deze standaarden een confidentieel karakter heeft.

3.5 Toekomstperspectieven voor drones

In de toekomst is te verwachten dat drones meer autonomie zullen krijgen, bijvoorbeeld om na het opstijgen zelf automatisch stabilisatie tot stand te brengen. Vervolgens kan de drone bijvoorbeeld geheel autonoom vliegen (*follow me* is al mogelijk) waarbij automatisch obstakels zoals takken en boomstammen worden

¹² www.strict.nl/vallen-drones-uit-lucht-door-wifi/

¹³ www.standardsuniversity.org/e-magazine/june-2017/drone-technology-applications-and-challenges-for-standards-development/

¹⁴ [4-Drones_informatiebijeenkomst_Noura_el_Ouajdi.pdf](#)

¹⁵ www.suasnews.com/2018/07/update-on-iso-standards-for-uas/

¹⁶ www.traverselegal.com/blog/the-importance-of-industry-standards-to-the-drone-market/

vermeden. Denkbaar is dat gebruikers op termijn de drone via hun smartwatch kunnen besturen als zij meer controle willen hebben.

Zwermen van drones (*swarms*) is een andere trend. Hierbij worden meerdere drones door één persoon bestuurd. Dit vereist dus dat elke drone botsingen autonoom kan vermijden. Indien gewenst zouden zelfs meerdere drones tegelijk bediend kunnen worden om, bijvoorbeeld bij het maken van een film, actiescenes uit meerdere hoeken vast te kunnen leggen. Op een tablet zijn vervolgens de beelden van meerdere drones live te bekijken. Indien drones geheel autonoom vliegen, kan alle aandacht van de gebruiker uitgaan naar de besturing van de *payload* (in dit geval video) omdat hij geen aandacht meer hoeft te hebben voor de besturing en het voorkomen van botsingen, onderling of tegen objecten. In de toekomst is het ook denkbaar dat drones met elkaar communiceren en zo informatie uitwisselen over hun positie, snelheid en richting.

Een *Internet-of-Drones* is in Frankrijk voor Uavia gedemonstreerd op basis van 4G toegepast voor telemetrie¹⁷, waarbij gebruik en besturing overal ter wereld mogelijk is. Dit lijkt echter nog ver weg in verband met regelgeving. Deze zou in vele landen moeten worden aangepast omdat nu nog vaak alleen besturing in het gezichtsveld is toegestaan. Buiten deze juridische aspecten is het wel interessant om te onderzoeken of in de toekomst een rol voor 5G en met name voor *Internet-of-Things* (IoT) is weggelegd bij de realisatie van het concept van 'genetwerkte drones' of sowieso bij het ondersteunen van de communicatie die nodig is indien drones op grote schaal en relatief in elkaars nabijheid mogen worden ingezet.

Naast de toepassingsmogelijkheden van drones zal ook standaardisatie van technische aspecten zich in de komende jaren verder ontwikkelen. Het is daarbij de vraag of de Amerikaanse standaardisatie nog aansluiting wil en zal vinden bij de rest van de wereld.

¹⁷ www.uavia.eu

4 Maritieme civiele systemen

4.1 e-Navigation

Door de globalisering en een groeiende wereldhandel is het maritiem transport toegenomen, waarbij door een toename van bijvoorbeeld offshore-activiteiten en windmolenparken op zee het manoeuvreerbaar gebied voor maritiem transport is afgenomen. Hierdoor nemen de veiligheidsrisico's op zee toe. Daarnaast is de maritieme omgeving veranderd door de wereldwijde strijd tegen piraterij en terrorisme. Beide aspecten hebben gezorgd voor een snelgroeiende behoefte aan meer, betrouwbare en tijdige informatie, zowel aan boord van schepen als aan de wal. Om hierop in te spelen heeft de IMO (International Maritime Organization) het concept e-Navigation ontwikkeld.

e-Navigation is de geharmoniseerde digitale verzameling, integratie, uitwisseling, presentatie en analyse van maritieme informatie aan boord van schepen en aan de wal voor de verbetering van de maritieme navigatie en communicatie ten behoeve van veiligheid en beveiliging op zee en bescherming van het zeemilieu.

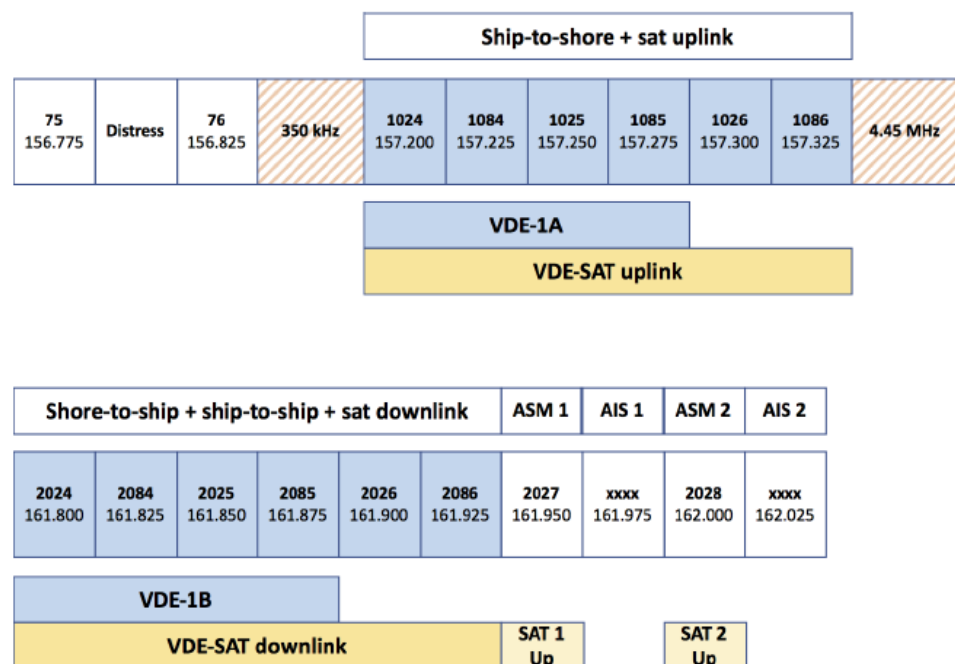
Het concept e-Navigation is veelomvattend. Enerzijds betekent e-Navigation wereldwijde standaardisatie en uniformiteit van diensten en van boord- en walsystemen. Anderzijds betreft het de harmonisatie van procedures en het voorzien in informatiepakketten ten behoeve van training en opleiding van brugpersoneel en operators aan de wal.

e-Navigation werd lang geassocieerd met AIS-technologie die gebruik maakt van de VHF-frequentieband met een bereik van 20 tot 40 km. Voor veiligheid en navigatie is AIS verplicht op schepen van meer dan 300 ton maar door zijn effectiviteit en bruikbaarheid wordt het ook gebruikt op kleinere schepen en voor diverse andere toepassingen zoals Aid to Navigation (AtoN), Application Specific Messages (ASM), Search and Rescue Transmitter (SART), Man Over-Board (MOB) en Emergency Position-Indicating Radio Beacon (EPIRB-AIS). Dit heeft geleid tot een intensief gebruik van de hiervoor beschikbare VHF-kanalen waardoor congestie in sommige delen van de wereld al een serieus probleem is geworden.

In 2009 heeft de ITU (International Telecommunication Union) daarom al een aanbeveling¹⁸ gepubliceerd met interim-oplossingen waarmee een efficiënter gebruik van het beschikbare spectrum mogelijk is. Dit betreft het gebruik van smallere frequentiekanalen en de migratie van de oorspronkelijke 25 kHz-kanalen naar deze smallere kanalen: 12,5 kHz, 6,25 kHz en 5 kHz. Daarnaast heeft de ITU de technieken gedefinieerd waarmee efficiënte maritieme communicatie met beduidend hogere datasnelheden (tot 32 maal de huidige datasnelheid) mogelijk is voor gebruik in het opkomende VHF Data Exchange System ofwel VDES. Hierbij is tevens al vroegtijdig rekening gehouden met een satellietcomponent waarmee ook dekking buiten de kustgebieden wordt verkregen. Dit alles is in 2015 gestandaardiseerd in aanbeveling ITU-R M.2092.

¹⁸ ITU-R M.1842

Het voor VDES benodigde spectrum is tijdens de WRC (World Radio Conference) in 2015 geïdentificeerd. Dit betreft de VHF-kanalen zoals in Figuur 6 aangegeven met de prefixen xx=10 en xx=20 voor respectievelijk up- en downlink en de kanalen xx24, xx84, xx25, xx85 en xx26, xx86 (1024/2024, 1084/2084, et cetera). Eveneens zijn hierbij de overeenkomstige kanaalfrequenties aangegeven in kHz. Deze kanalen zijn toegewezen voor gebruik vanaf januari 2017 waarbij de eerste vier (blok VDE-1A, respectievelijk VDE-1B, zie Figuur 6) vanaf 2019 kunnen worden samengevoegd om de hogere datasnelheden van VDES te kunnen ondersteunen. De voorziene satellietcomponent zal van dezelfde kanalen gebruik maken zodat geen extra spectrum voor VDES hoeft te worden gereserveerd en er niet veel veranderingen aan de gebruikersapparatuur nodig zijn. Het gebruik van deze kanalen door de satelliet om op te zenden is echter nog niet goedgekeurd en staat op de agenda voor de WRC in 2019. Ontvangst is al wel toegestaan.



Figuur 6: VDES kanalen¹⁹

Dat ontvangst van AIS-berichten door satellieten (SAT-AIS) mogelijk is, is al aangetoond²⁰. Orbcomm heeft bijvoorbeeld al een constellatie van 18 LEO (Low Earth Orbit) satellieten die AIS-signalen kunnen ontvangen en doorsturen naar een van de 16 wereldwijd beschikbare grondstations²¹. Gebruikmakend van dit systeem biedt Orbcomm de SAT-AIS-datadienst aan waarmee schepen wereldwijd kunnen worden gemonitord²².

¹⁹ ITU-R M.2092

²⁰ [https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_identification_system#Satellite-based_AIS_\(S-AIS\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_identification_system#Satellite-based_AIS_(S-AIS))

²¹ [http://www2.orbcomm.com/ais-](http://www2.orbcomm.com/ais-data?creative=244493522077&keyword=satellite%20ais&matchtype=e&network=g&device=c&gclid=EAlalQobChMI6aPuteSh3gIVgeR3Ch3ScAk4EAAAYASAAEgJo0fD_BwE)

[data?creative=244493522077&keyword=satellite%20ais&matchtype=e&network=g&device=c&gclid=EAlalQobChMI6aPuteSh3gIVgeR3Ch3ScAk4EAAAYASAAEgJo0fD_BwE](http://www2.orbcomm.com/ais-data?creative=244493522077&keyword=satellite%20ais&matchtype=e&network=g&device=c&gclid=EAlalQobChMI6aPuteSh3gIVgeR3Ch3ScAk4EAAAYASAAEgJo0fD_BwE)

²² <https://www.orbcomm.com/PDF/datasheet/Satellite-AIS.pdf>

4.2 De Nederlandse Kustwacht

4.2.1 Inleiding

De Kustwacht Nederland of kortweg de Kustwacht is opgericht in 1987 en is een relatief jonge netwerkorganisatie met eigen dienstverlenings- en handhavingstaken, bevoegdheden en verantwoordelijkheden²³. Zij werkt voor vijf ministeries: Defensie, Veiligheid en Justitie, Infrastructuur en Waterstaat, Financiën en Economische Zaken en Klimaat. De Kustwacht beschikt over enkele vliegende en varende eenheden²⁴. Diverse overheidsdiensten leveren personeel aan de Kustwacht waaronder krijgsmacht delen, inspectiediensten en de douane.

In Tabel 3 zijn de kustwacht taken onderverdeeld naar beleidsterrein (dienstverlening en handhaving) en zijn de bijbehorende resultaatgebieden beschreven.

BELEIDSTERREIN	RESULTAATGEBIED	Kustwacht TAAK
DIENSTVERLENING	Optreden bij incidenten en calamiteiten	1. Nood-, Spoed en Veiligheidsverkeer
		2. Opsporing en Redding (SAR)
		3. Rampen- en Incidentenbestrijding
		4. Maritieme hulpverlening
	Nautisch beheer	5. Verkeersdiensten
		6. Vaarwegmarkering
		7. Ruimen van explosieven
		8. Zeeverkeersonderzoek
HANDHAVING	Algemene handhaving	9. Algemene politietaak
		10. Douanetoezicht
		11. Grensbewaking
	Verkeer en veiligheid	12. Handhaving wetgeving m.b.t. scheepvaartverkeer
		13. Handhaving wetgeving m.b.t. uitrusting schepen
	Milieu	14. Handhaving milieuwetgeving
	Visserij	15. Handhaving visserijwetgeving
Offshore	16. Handhaving mijnwetgeving	

Tabel 3: Taken van de Kustwacht²⁵

Het 'optreden bij incidenten en calamiteiten' omvat een breed terrein van taken en beslaat bijvoorbeeld bijstand bij het bestrijden van piraterij maar ook algemene maritieme hulpverlening zoals noodsliep hulp en medische hulpverlening.

²³ <https://www.kustwacht.nl/nl/>

²⁴ www.kustwacht.nl/sites/default/files/Kustwacht%20Nederland%20Jaarverslag%202017.pdf

²⁵ DMO: Marktconsultatie Maritieme IT applicaties Kustwacht- Project MOC Kustwacht, v1.2, 11 mei 2017 (www.tenderned.nl/tendernedweb/aankondiging/detail/documenten/document/)

De 'algemene politietaak' onder de 'algemene handhavingstaak' heeft betrekking op criminaliteitsbestrijding zoals illegale migratie, mensensmokkel, illegale drugs en overige goederen.²⁴

Naast de vijf ministeries waarvoor de kustwacht taken worden gecoördineerd en uitgevoerd, werkt de Nederlandse Kustwacht nauw samen met de volgende (deels overheids-) diensten²⁶:

- Koninklijke Nederlandse Redding Maatschappij (KNRM);
- Reddingsbrigade Nederland;
- Regionale scheepvaartverkeerscentrales langs de Nederlandse kust;
- Hydro Meteo Centrum Noordzee van Rijkswaterstaat Zee en Delta;
- Team Maritieme Politie;
- SAR (Search & Rescue)-eenheid Noordzee Helikopters Vlaanderen (NHV);
- Satelliet grondstation in Burum;
- Samenwerkende Operators van de Nederlandse olie- en gasindustrie;
- Radio Medische Dienst van de KNRM;
- Bergings- en sleepvaartbedrijf BST;
- 16 aan water grenzende veiligheidsregio's;
- Vliegverkeercentra Schiphol (burgerluchtvaart) en Nieuw-Milligen (militaire luchtvaart);
- Redding Coördinatie Centra in de omringende Noordzeelanden, maar ook wereldwijd.

Daarnaast bestaat er ook een organisatorische samenwerking tussen de kustwachten van Nederland, België, Frankrijk, Groot-Brittannië, Denemarken en Duitsland²⁷.

Bij maritieme incidenten met olie of met andere gevaarlijke stoffen is er onder andere een samenwerkingsverband met de Duitsers en Denen voor de opsporing, detectie en ruiming van deze gevaarlijke stoffen. De samenwerking komt tot uiting in gezamenlijke luchtsurveillance en het beschikbaar stellen van eenheden tijdens incidenten. In oktober 2018 oefenden de Kustwacht en Rijkswaterstaat met de Duitsers en Denen oliebestrijding op het water tijdens de internationale oefening *DenGerNeth*²⁸.

4.2.2 *Draadloze communicatiesystemen voor de Kustwacht*

De aanzienlijke diversiteit aan partners suggereert dat tijdens de uitvoering van een missie interoperabiliteit tussen diverse radiosystemen een probleem kan vormen. De huidige praktijk is echter dat de verschillende organisaties die personeel leveren aan de Kustwacht in de regel geen eigen, organisatie-specifieke communicatiesystemen meenemen, maar tijdens missies voor de Kustwacht gebruikmaken van marifoonsystemen. Deze bevinden zich aan de wal en aan boord van de vaar- en vliegtuigen.

De Kustwacht maakt gebruik van VHF-frequenties voor marifonie. De frequentieband voor marifonie loopt van 156 tot 162 MHz en is onderverdeeld in kanalen van elk 25 kHz breed. Van de kanalen is een nadere indeling gemaakt, waarbij de kanalen een

²⁶ www.kustwacht.nl/nl/partners

²⁷ www.veiligheidseiland.nl/samenwerking-europese-kustwachten/

²⁸ <https://nl-nl.facebook.com/kustwacht/>

bepaald gebruiksdoel hebben. De nadruk van het gebruik ligt op de veiligheid van het schip en de bemanning. Tabel 4 geeft aan wat voor de Kustwacht belangrijke VHF-kanalen zijn die vaak gebruikt worden²⁹.

Kanaalnr.	Frequentie schip [MHz]	Frequentie wal [MHz]	Gebruik door Kustwacht
23	157,150	161,750	Algemeen voor Kustwacht
83	157,175	161,775	Algemeen voor Kustwacht
97	162,475	162,475	Kustwacht vliegtuig, reservekanaal
70	156,525	156,525	DSC-alarmering
16	156,800	156,800	DSC-afhandeling
13	156,650	156,650	GMDSS
87H	161,975	161,975	AIS-transponder
88H	162,025	162,025	AIS-transponder

Tabel 4: Belangrijke, reguliere Kustwacht-kanalen in de VHF-band²⁹

Binnen deze band zijn voor de Kustwacht permanent vier frequenties gereserveerd, twee voor schepen en twee voor de wal. Daarnaast is er het reservekanaal nr. 97 voor de communicatie van de Kustwacht met een Kustwacht-vliegtuig. Tenslotte bestaan er aparte kanalen voor bepaalde diensten zoals SAR, bestrijding van verontreinigingen en voor gebruik door partners van de Kustwacht zoals de KLPD (Korps Landelijke Politie Diensten) en Rijkswaterstaat (niet in Tabel 4 opgenomen). Eveneens is er voor DSC (Digital Selective Calling)-berichten een VHF-kanaal (nr. 70) gedefinieerd. De afhandeling na een alarmering via DSC vindt plaats op kanaal nr. 16, het algemene kanaal voor nood, spoed, veiligheid en aanroepen. Voor scheepsidentificatie via AIS zijn twee kanalen gereserveerd.

Er is een apart kanaal voor navigatie-veiligheid van GMDSS (Global Maritime Distress and Safety), een wereldomvattend maritiem communicatiesysteem dat gebruik maakt van DSC en satellietcommunicatie via Inmarsat.

Op alle ruime binnenwateren zoals het IJsselmeer, de Waddenzee en de Zeeuwse- en Zuid-Hollandse stromen heeft de Kustwacht DSC- en telefoniedekking gelijk aan het zogenaamde GMDSS Area A1-gebied. Dit gebied wordt bepaald door de dekking van een VHF-DSC kuststation.

Het MRCC (Maritiem Reddings- en Coördinatie Centrum) van de Kustwacht beluistert te allen tijde de MF-kanalen 2182 kHz en 2187,5 kHz (DSC op MF) en de eerder genoemde VHF-kanalen nr. 16 en nr. 70 (DSC op VHF). Bij een noodoproep wordt onder andere de positie, tijd en de MMSI (Maritieme Mobile Service Identiteit) doorgestuurd naar de ontvangers binnen bereik.

Uit het voorgaande volgt dat tijdens Kustwachtoperaties primair gecommuniceerd wordt via maritieme telefoons, ofwel marifoons in de MF en VHF-banden. Marifoons zijn specifieke zendontvangers voor maritiem gebruik die ook qua uitvoering hiervoor zijn uitgerust. Het gebruik van mobiele telefoons is in theorie mogelijk maar is niet aan te bevelen. Alarmoproepen naar 112 komen uit bij het KLPD die een maritieme noodoproep doorschakelt naar de Kustwacht. Verder ondersteunt een marifoon standaard 'groepsgesprekken' waarbij anderen een noodoproep kunnen volgen en

²⁹ www.frequentieland.nl/maritiem/marifoonkanalen.htm

dus gelijk te hulp kunnen komen. Op het water heeft de mobiele telefoon bovendien niet overal bereik doordat er geen of onvoldoende mobiele netwerkdekking is. Een oproep op marifoonkanaal 16 kan door iedereen gehoord worden, waardoor snel hulp geboden kan worden.

4.2.3 Toekomstige ontwikkelingen

In de huidige situatie wordt een belangrijk deel van de taken van de Kustwacht suboptimaal uitgevoerd omdat de dienstverlenende en handhavende partners separaat en vaak niet-geïntegreerd een beeld vormen van de situatie op zee. Integratie van de verschillende beelden verloopt manueel vanuit twee maritieme operatiecentra: Crisis- en Coördinatie Centrum (CCC) en het Maritiem Informatie Knooppunt (MIK).

In het op te richten Maritiem Operatie Centrum (MOC), waarin het CCC en MIK als *control rooms* worden opgenomen (zie Figuur 7), zullen naar verwachting na 2022 Kustwachtoperaties centraal worden aangestuurd.



Figuur 7: Impressie van het MOC met de MIK en CCC als *control rooms* zichtbaar (bron: TNO)

De daarbij benodigde informatie zal binnen het MOC en met de partners zodanig gedeeld worden dat bij alle betrokkenen een eenduidig en tijdig beeld van de situatie op zee ontstaat, ook wel Maritime Situational Awareness (MSA) genoemd.

Hiervoor is onder meer een effectieve en efficiënte uitwisseling en distributie nodig van zowel verkeersbeelden als van data, zoals ontvangen AIS-informatie en data afkomstig van radar. Daarbij is het de bedoeling dat het MOC zo wordt opgebouwd, dat toekomstige ontwikkelingen goed kunnen worden opgenomen³⁰.

De informatie-gestuurde inzet leidt tot de modernisering en verbreding van de draadloze communicatie om te komen tot de daarvoor benodigde transmissiecapaciteit. In het bijzonder wordt voor het MOC gedacht aan²⁵:

- Het kunnen communiceren met vaste, mobiele en satelliettelefoons;
- Voorzien van MF/HF, UHF en VHF-radiocommunicatie;

³⁰ www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/kamerstukken/2017/07/13/kamerbrief-over-het-maritiem-operatiecentrum-kustwacht/kamerbrief-over-het-maritiem-operatiecentrum-kustwacht.pdf

- Satellietberichten ontvangen via Inmarsat, onder meer voor GMDSS, zoals COSPAS-SARSAT berichten (COSPAS is een Russisch acroniem voor *Space System for Search of Distress Vessels*; SARSAT staat voor Search and Rescue Satellite-Aided Tracking) en EPIRB-berichten;
- Communicatie via C2000 en het verzenden van P2000-berichten;
- Ondersteuning van communicatie via SMS (Short Message System), email en social media;
- Integratie van de website van de Kustwacht, DSC ten behoeve van GMDSS-berichten en uitgaande AIS-berichten;
- Gewenst is automatische kanaalselectie, waarbij het meest geschikte communicatiekanaal automatisch gekozen wordt als er meerdere mogelijkheden zijn en wel op basis van adresboekinformatie.

In de nabije toekomst speelt de een informatie-gestuurde inzet van een handhavingsteam bestaande uit politie, douane en Koninklijke Marechaussee aan boord van schepen. Deze gewijzigde inzet vormt de opmaat naar het opereren met Multi-Purpose Vessels (MPV) inclusief interceptors.

Vanuit het internationale speelveld gezien is het voorstelbaar dat het eerder besproken VDES, waarmee hogere datasnelheden mogelijk worden, een rol gaat spelen in GMDSS, waardoor een verbeterde en uitgebreidere alarmering tot stand gebracht kan worden, bijvoorbeeld met digitale beelden.

5 5G status

5.1 Update 5G-standaardisatie

Binnen 3GPP vindt de wereldwijde standaardisatie plaats van de verschillende generaties mobiele netwerken – van 2G (GSM) via 3G (UMTS) en 4G (LTE) naar 5G. De verschillende versies worden beschreven in diverse releases. De eerste release met specificaties waarin 5G is beschreven in 3GPP Release 15 en is medio 2018 verschenen. In deze eerste 5G Release ligt de nadruk op het ondersteunen van verbeterde mobiele breedbanddiensten (*enhanced Mobile Broadband, eMBB*) en een eerste aanzet voor ondersteuning van communicatiediensten met specifieke eisen voor hoge betrouwbaarheid en zeer lage latency, dat wil zeggen minder dan 1 ms (*Ultra-Reliable and Low-Latency Communication, URLLC*). De 5G-standaardisatie is uitvoerig aan de orde geweest in de najaarseditie van de Monitor Draadloze Technologie van 2017, een *special* over 5G en zijn toepassingen. Hier wordt dan ook volstaan met een update van de ontwikkelingen sinds die tijd.

De niet-uitputtende lijst van andere functionaliteiten in 5G Release 15 omvat:

- De ondersteuning van het concept '*network slicing*', waardoor een enkele fysieke (5G) infrastructuur gedeeld kan worden door meerdere gebruikers en diensten, inclusief specifieke diensten voor zogeheten verticale marktsegmenten (*verticals*) of sectoren zoals de sector voor Openbare Orde en Veiligheid (OOV) of de automobiellindustrie met V2X-toepassingen waarbij per sector de technische vereisten verschillend zijn;
- Quality-of-Service (QoS)-besturing voor communicatie met lage *latency*;
- Ondersteuning van zowel laagfrequente (beneden 6 GHz) als millimetergolf (van 6 tot 52,6 GHz);
- *Frequency-Division Multiplexing* (FDM) van eMBB- en URLLC-services;
- Delen van een uplink in hetzelfde spectrum tussen LTE en 5G NR (New Radio).

3GPP is ook begonnen met het werk van Release 16 dat volgens planning rond december 2019 wordt bevroren. In Release 16 streeft 3GPP naar het specificeren van verbeterde URLLC-functies en de ondersteuning van communicatie voor hoge aantallen zogeheten 'dingen' in het Internet-of-Things (IoT). Binnen 3GPP wordt hiervoor de term *massive Machine Type Communication* (mMTC) gebruikt. Andere functionaliteit die naar verwachting in Release 16 van 5G-specificaties zal worden opgenomen:

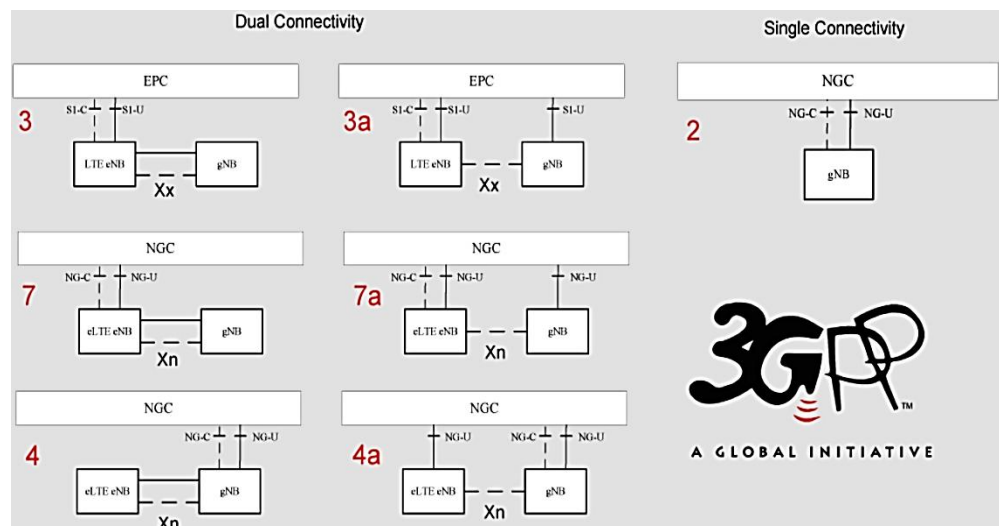
- 5G NR MIMO (Multiple Input Multiple Output)-uitbreidingen;
- 5G NR in licentievrij ofwel niet licentie-gebonden spectrum;
- Stroombesparing in eindapparatuur (lees: smart phones) in 5G NR;
- 5G-integratie met satellietcommunicatie;
- V2X-ondersteuning;
- 5G-locatiebepaling (indoor).

5G-netwerken kenmerken zich door vernieuwingen in zowel het radionetwerk - met nieuwe 5G-basisstations, aangeduid met gNB, en een nieuwe radiotechnologie (5G *New Radio*) – als door een nieuw 'kernnetwerk', aangeduid met 5G *Next Generation*

Core Network (NGC). Binnen de 5G-specificatie zijn verschillende opties beschreven hoe deze nieuwe 5G NR-radiotechnologie kan worden geïntegreerd in bestaande 4G/LTE-netwerken (zowel met radio- als kernnetwerk) en hoe in de toekomst kan worden gemigreerd naar een nieuw 5G-kernnetwerk. In Figuur 8 zijn de belangrijkste opties beschreven voor de integratie van 5G NR in bestaande 4G- en nieuwe 5G-netwerken.

Een eerste versie (*early drop*) van 3GPP Release 15-specificaties werd in december 2017³¹ bevroren. Hierin was de ondersteuning opgenomen van de optie voor *Non-Stand-Alone (NSA) 5G New Radio (NR)* als een van de mogelijke opties voor gebruik van 5G NR als radionetwerk. Deze NSA 5G-optie is weergegeven als 'Optie 3/3a' in onderstaande Figuur 8. In updates van de specificaties³² zijn vervolgens ook andere opties meegenomen zoals de volledige Standalone (SA)-versie van de 5G-specificaties voor NR en 5G NGC - beschreven als 'Optie 2' - en een optie met een LTE-radionetwerk in combinatie met een 5G NGC ('Optie 5' - niet weergegeven in Figuur 8).

3GPP heeft een laatste update van Release 15 gepland in december 2018, waarbij ook de twee andere opties van 5G worden gespecificeerd ('Optie 4/4a' en 'Optie 7/7a').



Figuur 8: 5G RAN-architectuur opties³³. Doorgetrokken lijnen geven gebruikersverkeer aan; gestippelde lijnen geven het besturings- of signaleringsverkeer aan

- 'Optie 3/3a': bij deze optie wordt een 5G NR-basisstation (aangeduid met gNB) gebruikt als secundaire cel voor extra capaciteit in het radionetwerk voor een 4G-netwerk. Voor het besturingsverkeer van de gNB, waarbij de signalering gescheiden verloopt van het gebruikersverkeer, is deze gNB verbonden met het LTE-kernnetwerk (EPC) via een zogeheten 'anker' 4G-basisstation, LTE eNB. Voor het gebruikersverkeer kan de gNB worden verbonden via het 'anker' ('optie 3') of rechtstreeks met de EPC ('optie 3a'). 'Optie 3/3a' maakt een eerdere introductie mogelijk van 5G NR met hoge bandbreedte voor bijvoorbeeld videocommunicatie, zelfs wanneer de 5G

³¹ www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1929-nsa_nr_5g

³² www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1965-rel-15_news

³³ www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1929-nsa_nr_5g

NGC nog niet klaar is. Dit werd met name gevraagd en gestimuleerd door Aziatische en Amerikaanse operators in de eerste specificatie met 'optie 3/3a' in december 2017.

- 'Optie 4/4a: bij deze optie wordt een verbeterd 4G-basisstation (eLTE eNB) gebruikt als secundaire cel van een 5G-netwerk. Voor het besturingsverkeer is dit eLTE eNB verbonden met het 5G-kernnetwerk (NGC) via een 'anker' 5G NR-basisstation, gNB. Voor het gebruikersverkeer kan het worden verbonden via het 'anker' ('optie 4') of rechtstreeks met de NGC ('optie 4a'). Deze optie kan de volgende mogelijke migratie van bestaande 4G-netwerken naar 5G mogelijk maken:
 - Voor een bestaande lokale 4G-netwerkeexploitant die bijvoorbeeld alleen LTE-hotspotdiensten aanbiedt in winkelcentra, ziekenhuizen, luchthavens et cetera in een hogere frequentieband zoals 2,6 GHz. Als deze aanbieder een nationale 5G-netwerkeexploitant wil worden en licenties verwerft in het nieuwe 5G-spectrum (bijvoorbeeld 700 MHz) kan het nieuwe 5G-netwerk worden gebruikt voor nationale dekking via een netwerk in deze lagere frequentieband terwijl LTE-hotspots in de hogere frequentieband werken. Met 'optie 4/4a' is dit mogelijk.
 - Een operator introduceert tegelijkertijd nieuwe 5G NR-basisstations in een lagere frequentieband, bijvoorbeeld 700 MHz, en in een nieuw 5G-kernnetwerk. Deze operator zorgt daarna via een upgrade van bestaande LTE-locaties (in een hogere band, bijvoorbeeld 2,6 GHz) voor integratie met het 5G kernnetwerk.
- 'Optie 7/7a' is vergelijkbaar met 'optie 3/3a' met het verschil dat het bijbehorende kernnetwerk anders is, namelijk een 5G- in plaats van een LTE-kernnetwerk - met overeenkomstig verschillende netwerkprotocollen.
 - 'Optie 7/7a' maakt de introductie mogelijk van 5G NR voor 5G-hotspotverkeer, bijvoorbeeld in een hogere frequentieband, en 5G NGC voor nieuwe diensten zoals URLLC-services, terwijl ondertussen gebruik wordt gemaakt van het bestaande LTE-netwerk voor dekking en basiscapaciteit, bijvoorbeeld in een lagere frequentieband. Voor sommige operators is dit mogelijk een eerste stap in hun migratie van 4G naar 5G.

5.2 Co-existentie van Wi-Fi met 4.5/5G

Het gebruik van vergunningsvrij spectrum wordt door mobiele operators in toenemende mate beschouwd als een manier om hun dienstenaanbod aan te vullen. Het gaat hier in eerste instantie om LTE en 5G-technologie in de 5 GHz-band die in de huidige praktijk op grote schaal wordt gebruikt voor Wi-Fi. Dit roept de vraag op hoe 3GPP-technologieën naast Wi-Fi kunnen bestaan in deze band.

In de voorjaarseditie van de Monitor Draadloze Technologie uit 2017 zijn de verschillende LTE-gebaseerde technologieën beschreven in vergunningsvrije banden³⁴: LTE-U, MulteFire, LTE-LAA en LWA (LTE-Wi-Fi Aggregatie).

LTE-U is alleen in de Verenigde Staten mogelijk vanwege andere eisen aan spectrumgebruik. Producten zijn daar inmiddels vrijgegeven door de regelgever FCC

³⁴ en.wikipedia.org/wiki/LTE_in_unlicensed_spectrum

(Federal Communications Committee) en LTE-U wordt gebruikt door een aantal mobiele operators.

LTE-LAA is een vergelijkbare variant die in Europa gebruikt kan worden, waarbij ook licentie-gebonden spectrum nodig is voor de controle en signalering om spectrum in de 5 GHz-band te gebruiken voor LTE-LAA.

MulteFire is gebaseerd op het gebruik van LTE-technologie in de 5 GHz band zonder dat licentie-gebonden spectrum nodig is. Hiermee kunnen private LTE-netwerken worden gebouwd, bijvoorbeeld op locaties waar de dekking of capaciteit voor een bedrijf of organisatie (te) beperkt is of waar aanvullende eisen worden gesteld aan beschikbaarheid of functionaliteit die mobiele operators in hun netwerken niet leveren.

Zowel LTE-LAA als LWA zijn gestandaardiseerd door 3GPP vanaf Release 13 terwijl LTE-U en MulteFire worden gepromoot door bepaalde industriële fora en groepen. In volgende releases heeft 3GPP verbeteringen aan LTE-LAA en LWA geïntroduceerd³⁵. In Release 14 introduceerde 3GPP ondersteuning voor uplink verkeer voor LTE-LAA, de ondersteuning van 60 GHz WiGig- en uplink-aggregatie naar LWA.

In Release 15 introduceerde 3GPP functionaliteit om de *latency* te reduceren voor LTE-LAA en adresseerde operationele beheeraspecten van LWA. In lijn met de 5G NR-ontwikkeling onderzoekt 3GPP de haalbaarheid van gebruik van 5G NR in niet-licentie gebonden spectrum³⁶. De studie houdt onder meer rekening met het feit dat 5G NR een veel grotere draaggolfbandbreedte toestaat dan LTE. De studie richt zich op de volgende twee scenario's:

- Een op 5G NR-gebaseerde LAA-cel wordt aangesloten op een LTE- of 5G NR 'anker' cel die in licentie-gebonden spectrum werkt;
- Een op 5G NR-gebaseerde cel die standalone werkt in vergunningsvrij spectrum, verbonden met een 5G kernnetwerk. Door deze configuratie kan bijvoorbeeld een privaat netwerk worden gerealiseerd.

Zowel CEPT³⁷ als FCC³⁸ onderzoeken momenteel de mogelijkheden om extra spectrum beschikbaar te stellen in het 6 GHz-frequentiebereik voor draadloze toegangssystemen of radio-LANs zoals Wi-Fi. Voor Europa gaat het om het gebruik van 5,925-6,425 GHz op een niet-beschermd basis en in co-existentie met bestaande vaste draadloze diensten of vaste satellietdiensten. Voor de VS gaat het om het gebruik van 5,925-6,425 GHz en 6,425-7,125 GHz. Om bij deze ontwikkeling aan te sluiten onderzoekt 3GPP de haalbaarheid van het gebruik van dit 6 GHz-spectrum voor 3GPP-technologieën (LTE en 5G NR)³⁹.

5.3 5G-trials voor verticale sectoren

De 5G-trials roadmap van 5G PPP⁴⁰ beschrijft verschillende sectoren en partners die betrokken zijn bij 5G-trials. Onderstaande Figuur 9 toont de industriële fora uit relevante branches die betrokken zijn bij 5G-trials, waaronder die van de

³⁵ www.3gpp.org/DynaReport/FeatureListFrameSet.htm

³⁶ portal.3gpp.org/ngppapp/CreateTdoc.aspx?mode=view&contributionUid=RP-181339

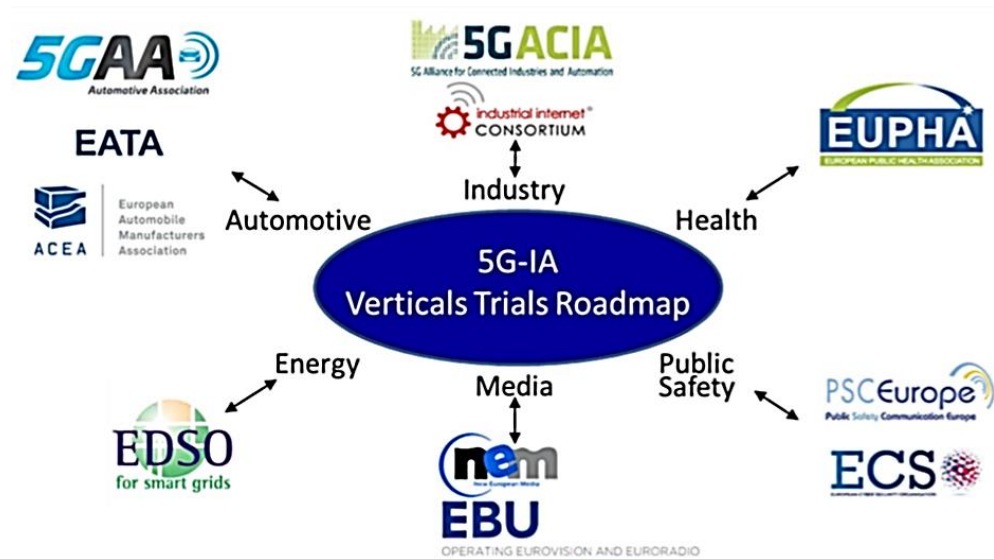
³⁷ www.cept.org/cept

³⁸ www.fcc.gov

³⁹ portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3436

⁴⁰ 5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2018/05/5GInfraPPP_TrialsWG_Roadmap_Version3.0.pdf

automobielandustrie (5GAA, EATA, ACEA), de industrie in het algemeen (5G ACIA), de gezondheidszorg (EUPHA), media (NEM, EBU), energie (EDSO) en openbare orde en veiligheid (PSCE).



Figuur 9: 5G-PPP/ 5G IA roadmap met trials voor sectoren (bron: 5G trials roadmap of 5G PPP)

Binnen de Europese strategie rondom toepassingen van 5G binnen de verschillende sectoren wordt coöperatief en autonoom rijden (CAD) beschouwd als een leidend voorbeeld rondom de inzet van 5G-technologie in voertuigen en langs Europese wegen, ook met het oog op het creëren van complete ecosystemen rond voertuigen. Dit heeft geleid tot een overeenkomst tussen de Europese Commissie en de lidstaten op ministerieel niveau waarbij de lidstaten overeenkomen om pan-Europese corridors beschikbaar te stellen om de 5G-technologie voor voertuigtoepassingen te testen (zie ook Hoofdstuk 2).

Veel internationale onderzoeksprojecten zoals van de EC hebben 5G-proeven uitgevoerd voor een of meer verticals⁴¹. Recent zijn drie Europese 5G-infrastructuurprojecten gelanceerd in het kader van 5G PPP, gericht op het aanbieden van pan-Europa 5G-testfaciliteiten⁴². Deze faciliteiten moeten in staat zijn om 5G-pilots voor verschillende verticals te ondersteunen.

In Nederland maakt het 5Groningen-initiatief⁴³ een 5G "proeftuin" mogelijk in een landelijk gebied. De routekaart van 5Groningen heeft tot doel om te testen hoe 5G in mogelijk is in de sectoren landbouw, zorg, energie, verkeer & logistiek, leefomgeving en (smart) industrie. Er is een lijst met (eerste) pilots gedefinieerd⁴⁴. Verder heeft KPN vier 5G "proeftuinen" (zogenoemde *fieldlabs*) aangekondigd in samenwerking met verschillende leveranciers van netwerkapparatuur⁴⁵:

- Drenthe: *Rural Field Lab*, met focus op vaste draadloze toegang (voor landbouwbedrijven);
- Rotterdam: *Industry Field Lab*, focus op industrie 4.0 en Transport & Logistiek;

⁴¹ Zie www.global5g.eu/cartography

⁴² Zie 5g-ppp.eu/5g-ppp-phase-3-projects/

⁴³ Zie www.5groningen.nl/over-5groningen

⁴⁴ Zie www.5groningen.nl/themas-en-pilots/pilots

⁴⁵ Zie overons.kpn.nl/kpn-voor-nederland/innovatie/technology-labs

- Amsterdam: *Urban Field Lab*, focus op Smart City en Smart Living en Events;
- Helmond: *Automotive Field Lab*, focus op verkeer en vervoer en de automobieliindustrie.

6 Tot besluit

Voor eventuele vragen of opmerkingen naar aanleiding van deze Monitor Draadloze Technologie kunt u contact opnemen met TNO, via e-mailadres monitordraadlozetechnologie@tno.nl.

Graag wijzen wij u op de mogelijkheid om deze Monitor Draadloze Technologie, of delen daarvan, door TNO te laten presenteren voor doelgroepen binnen de Nederlandse telecommunicatiesector. Voor verdere informatie hierover verzoeken wij u contact op te nemen via bovengenoemd e-mailadres, of met een van de auteurs van dit rapport.