

Oude Waalsdorperweg 63
2597 AK Den Haag
Postbus 96864
2509 JG Den Haag

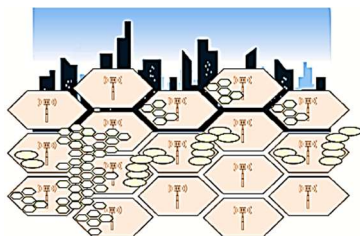
www.tno.nl

T +31 88 866 10 00
F +31 70 328 09 61

TNO-rapport

TNO 2017 R11251 | 1.1

Monitor Draadloze Technologie Najaar 2017



Datum 11 december 2017

Auteur(s) Ir. C.T.J.P. Bresser, Ir. A.C.G. Holtzer, Dr. L. Jorguseski, Dr. Ir. O.A. Niamut, Ir. R. Overduin, Dr. H. Zhang

Exemplaarnummer

Oplage

Aantal pagina's 36 (incl. bijlagen)

Aantal bijlagen

Opdrachtgever Ministerie van Economische Zaken

Projectnaam Monitor Draadloze Technologie 2017

Projectnummer 060.25813

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.

© 2017 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Het 'draadloos speelveld'	3
1.2	De Monitor Draadloze Technologie	3
2	5G-technologie	5
2.1	Wat is 5G, waarom deze technologie en wat kan het technisch?.....	5
2.2	5G-Architectuur.....	8
2.3	Wanneer komt 5G beschikbaar?	16
2.4	Testen en trials	18
3	Enkele toepassingssectoren van 5G	19
3.1	Industrie	19
3.2	Spoorwegen.....	22
3.3	Defensie.....	24
3.4	Openbare Orde en Veiligheid	27
3.5	Consumenten	29
3.6	Ouderenzorg.....	33
4	Tot besluit	36

1 Inleiding

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

In dit inleidende hoofdstuk worden de opzet en de scope van de Monitor Draadloze Technologie behandeld.

1.1 Het 'draadloos speelveld'

Op het gebied van draadloze technologie speelt een diversiteit aan ontwikkelingen. Zo liet ook het afgelopen jaar een voortzetting zien van de sterke groei van het mobiele dataverkeer als gevolg van een toenemend gebruik van smartphones. Om in deze groei te kunnen voorzien wordt door mobiele providers fors geïnvesteerd in de uitrol en verbetering van het 4G (LTE)-netwerk. Wi-Fi en andere draadloze technologieën voor lokaal gebruik hebben een belangrijke plaats ingenomen bij het laagdrempelig aanbieden van draadloze toegang over kortere afstanden. Daarbij nemen de toepassingsmogelijkheden van met name Wi-Fi als drager van een grotere diversiteit aan diensten, gestaag toe.

Het Ministerie van Economische Zaken richt haar beleid op deze groei door frequenties voor mobiele communicatie in de komende jaren voor mobiel dataverkeer vrij te maken en bijbehorende maatregelen daarvoor te nemen. Voorstellen voor het beleid rond de verdeling van frequenties voor mobiele communicatie in de komende jaren, de ratio achter dit beleid en de te nemen maatregelen zijn in de consultatieversie van de Nota Mobile Communicatie (NMC) vastgelegd. Hierop is medio dit jaar commentaar ontvangen van bedrijven en experts. Op het moment van schrijven is het proces van verwerking van dit commentaar gaande. De definitieve versie van de NMC wordt eind 2017 verwacht.

De standaardisatie van de volgende generatie mobiele technologie, 5G, heeft het afgelopen jaar doorgang gevonden en zal in de komende jaren verder gestalte krijgen. Een interessant toepassingsgebied van 5G, het *Internet of Things*, is een groeiende markt die snel in belang toeneemt. Hiervoor worden al verschillende netwerken uitgerold die al dan niet opgenomen zijn in LTE.

Het gevaar van deze ontwikkelingen is dat de diverse belanghebbenden aan markt- en overheidszijde die ontwikkelingen, ook in onderling opzicht, niet goed meer kunnen beoordelen op basis van de mogelijk gekleurde informatie vanuit de markt. Zij kunnen het overzicht verliezen en onzeker zijn over hun oordeel. Een objectief overzicht op basis van betrouwbare en zo actueel mogelijke informatie kan dan in een behoefte voorzien.

1.2 De Monitor Draadloze Technologie

Met de Monitor Draadloze Technologie wil TNO een degelijk, actueel en toegankelijk overzicht bieden van de stand van zaken ten aanzien van de ontwikkeling en inzet van draadloze technologie. De monitor 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 vorig jaar is gekozen voor de schriftelijke rapportagevorm om de informatie te ontsluiten. Deze bestaat uit twee (halfjaarlijkse) edities, zodat beter kan worden aangesloten op recente trends en ontwikkelingen.

Voor 2017 bestaat de Monitor Draadloze Technologie uit de volgende twee schriftelijke rapportages:

- Een overzicht van ontwikkelingen vanuit technologisch perspectief. Per technologie wordt kort de stand van zaken beschreven. Deze voorjaarseditie is uitgebracht in juni 2017;
- Een *special* over 5G waarin zowel de technologie wordt belicht als de specifieke toepassingssectoren. Dit is de rapportage die nu voor u ligt, de zogenaamde najaarseditie.

De scope van de monitor omvat radiofrequente technologieën die de basis vormen voor draadloze verbindingen waarmee aan eindgebruikers elektronische communicatie- en omroepdiensten kunnen worden aangeboden. Naast de ontwikkelingen die voorzien in de accommodatie van de algemene groei in mobiel dataverkeer is dit jaar in de najaarseditie een overzicht opgenomen van technische aspecten van de 5G-technologie en de toepasbaarheid in de sectoren industrie, spoorwegen, defensie, openbare orde en veiligheid, consumenten en ten slotte de ouderenzorg.

TNO hecht eraan te benadrukken dat de Monitor Draadloze Technologie slechts 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 valt niet te ontkomen aan enige willekeur in de keuze van geschetste ontwikkelingen. Het kan dus zijn dat ontwikkelingen die in de ogen van de lezer relevant zijn niet worden beschreven. TNO staat open voor suggesties of aanbevelingen voor verdere verbeteringen.

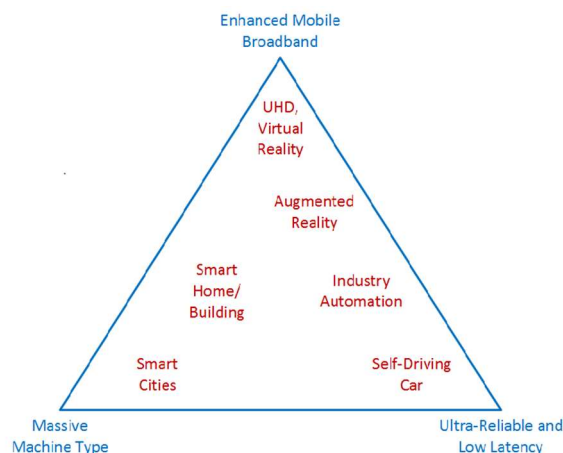
2 5G-technologie

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de technische aspecten van 5G waarbij een overzicht gegeven wordt van belangrijke ontwikkelingen op dit gebied.

2.1 Wat is 5G, waarom deze technologie en wat kan het technisch?

5G ofwel IMT 2020 (International Mobile Telecommunications 2020) is de nieuwe, inmiddels vijfde, generatie draadloze cellulaire systemen en wordt de opvolger van LTE (Long Term Evolution), de 4G-systemen. De huidige 4G-systemen zullen tot een beperkt niveau de huidige explosie van het dataverkeer en de enorme toename van diensten met verschillende karakteristieken en kwaliteitseisen kunnen opvangen. Een nieuwe generatie draadloze cellulaire systemen moet dan ook ontwikkeld worden om deze trend van verkeersgroei in draadloze cellulaire netwerken te kunnen blijven ondersteunen. De ambitie zoals beschreven in de *5G-recommendations* van de ITU, is om de volgende categorieën diensten te ondersteunen (zie ook Figuur 1):

- 1) **enhanced Mobile Broadband (eMBB)**: diensten met hoge datasnelheden voor bijvoorbeeld ultra hoge-definitie video (UHD) streaming, video-conferentie en *virtual reality* (VR). De doelstelling is om aanzienlijk hogere datasnelheden te bereiken ten opzichte van 4G-systemen voor statische of lopende gebruikers. Deze zullen bediend worden in kleine cellen zoals micro- of picocellen met dekkinggebieden tot enkele honderden vierkante meters;
- 2) **massive Machine Type Communication (mMTC)**: bij mMTC gaat het om ten opzichte van 4G verbeterde dekking te bieden aan een extreem hoog aantal goedkope toestellen per vierkante meter. Hierbij wordt het batterijverbruik laag gehouden ten behoeve van *Internet of Things* (IoT) toepassingen zoals slimme steden (*smart cities*), slimme gebouwen (*smart buildings*), et cetera;
- 3) **Ultra-Reliable and Low Latency Communication (URLLC)**: extreem hoge betrouwbaarheid van de verbinding gecombineerd met extreem lage *latency* van de datapakketten. Hierdoor worden diensten mogelijk zoals automatisch autorijden (*automotive*), industriële automatisering (*smart industry*), et cetera.



Figuur 1: Typische diensten in 5G in relatie tot de 5G-dienstcategorieën [bron: *Mobile Broadband Transformation*, Rysavy Research / 5G Americas, August 2017]

2.1.1 Technische performance doelen van 5G

Tabel 1 geeft de belangrijkste performance doelstellingen van 5G. Een aantal opmerkelijke zijn:

- User plane latency* (de vertraging die de gebruiker ervaart) van 1 ms. Eigenlijk is een lage *user plane latency* afhankelijk van de dienstcategorie: voor eMBB is de doelstelling 4 ms en voor URLLC zelfs 0,5 ms;
- Typische gebruikers datasnelheden van 100 Mbit/s en pieksnelheden van 20 Gbit/s in downlink en 10 Gbit/s in uplink en een 100-voudige groei van de geografische capaciteitsdichtheid in vergelijking tot LTE-Advanced;
- Functioneren bij een 10-voudige dichtheid van eindapparatuur in vergelijking tot LTE-Advanced;
- Een 100-keer lager netwerkenergieverbruik in vergelijking tot LTE-Advanced.

Tabel 1: Overzicht van 5G (IMT-2020) performance doelen in vergelijking tot LTE-Advanced (IMT-Advanced) ¹

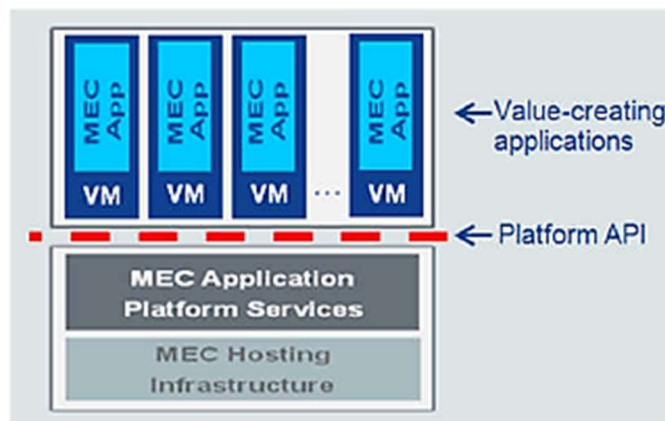
	IMT-Advanced	IMT-2020
Peak Data Rate	DL: 1 Gbps UL: 0.05 Gbps	DL: 20 Gbps UL: 10 Gbps
User Experienced Data Rate	10 Mbps	100 Mbps ³⁰
Peak Spectral Efficiency	DL: 15 bps/Hz UL: 6.75 bps/Hz	DL: 30 bps/Hz UL: 15 bps/Hz
Average Spectral Efficiency		DL eMBB indoor: 9 bps/Hz DL eMBB urban: 7.8 bps/Hz DL eMBB rural: 3.3 bps/Hz UL eMBB indoor: 6.75 bps/Hz UL eMBB urban: 5.4 bps/Hz UL eMBB rural: 1.6 bps/Hz
Mobility	350 km/h	500 km/h
User Plane Latency	10 msec	1 msec ³¹
Connection Density	100 thousand devices/sq.km.	1 million devices sq./km.
Network Energy Efficiency	1 (normalized)	100X over IMT-Advanced
Area Traffic Capacity	0.1 Mbps/sq. m.	10 Mbps/sq. m. (hot spots)
Bandwidth	Up to 20 MHz/radio channel (up to 100 MHz aggregated)	Up to 1 GHz (single or multipole RF carriers)

In 5G zullen verschillende functies ontwikkeld worden om de **lage latency** te bereiken zoals:

- Schaalbare OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiple Access). Op de fysieke laag betreft dit de ruimte tussen de deel-carriers (flexibiliteit in het frequentiedomein) en de lengte van de tijdsloten (flexibiliteit in het tijdsdomein). Zo zijn voor URLLC 'mini-slots' gedefinieerd met een of twee OFDM-symbolen per transmissie-tijdsinterval (TTI). Ter vergelijking: het typische aantal OFDM-symbolen in 4G per TTI bedraagt 14;

¹ Bronnen: "Mobile Broadband Transformation", Rysavy Research / 5G Americas, August 2017 en TR 38.913 v14.3.0, Augustus 2017

- Aanpassingen in de Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) voor het verkrijgen van een kortere *round-trip time* voor her-transmissies van verloren of beschadigde data;
- *Grant-free uplink*. Dit is een optie om data te versturen zonder een toestemming (*scheduling grant*) op te vragen en te krijgen van de netwerkkzijde; zodra data beschikbaar is, wordt deze direct verzonden;
- *Mobile Edge Computing* (MEC). Dit is een aanpak om de applicaties te laten werken aan de rand van het radiotoegangsnetwerk in plaats van ergens in een *cloud server*. De basisstation hardware fungeert dan als een 'host' (zie Figuur 2) waarop een virtuele kopie van de applicatie wordt gerund via een *virtual machine* (VM) die is geïnstalleerd op het basisstation. Het effect van deze aanpak is alsof een stukje van de huidige *cloud server* verplaatst is van de internet locatie naar de rand van het 5G mobiele netwerk, vandaar de terminologie Mobile Edge Computing. Daardoor is de 'pakket-interactie' veel korter in vergelijking tot het geval waar de applicatie wordt gerund ergens op een *cloud server* in het internet. Hierdoor wordt de *delay performance* van de applicatie verhoogd en tegelijk de verkeersbelasting voor het mobiele netwerk en op het internet verlaagd.



Figuur 2: ETSI-visualisatie van Mobile Edge Computing

De **hogere datasnelheden** voor meerdere gelijktijdige gebruikers zullen bereikt worden door stapeling van verschillende 5G-carriers (*carrier aggregation*) tot een maximum van 1 GHz. In de hogere frequentiebanden, boven circa 6 GHz, zullen de 5G-carriers breder worden (200 MHz, 400 MHz per carrier).

Het **lagere energieverbruik** in een 5G-netwerk wordt bereikt door een splitsing te maken tussen de functies in de *control plane* (C-plane) en *user plane* (U-plane) en deze functies in de netwerkapparatuur te virtualiseren. Hiermee wordt bereikt dat bijvoorbeeld:

- op basis van het verkeeraanbod meer functies en hardware actief worden;
- kleine cellen alleen actief worden als een dataverbinding actief is;
- efficiënt wordt omgaan met de timing van transmissies en ontvangsten (door geoptimaliseerde *discontinuous transmission* (DTX) en *discontinuous reception* (DRX) cycles).

In het algemeen houdt virtualisatie in dat functies van infrastrukturelementen in software worden uitgevoerd en wel op commerciële *off-the-shelf* computerapparatuur. Deze aanpak belooft lagere kosten (zowel CAPEX als OPEX), snellere introductie van nieuwe diensten, energiebesparing en verbeterde

netwerkefficiëntie. Met Network Function Virtualisation (NFV) zullen meerdere operators dezelfde infrastructuur kunnen delen. Zo kan een combinatie gemaakt worden tussen een bepaalde *Mobile Virtual Network Operator* (MVNO) en voor meerdere operators toegankelijke gevirtualiseerde Radio Access Network (RAN) functies. NFV houdt een geheel nieuwe en duurzame manier in van het realiseren en beheren van netwerken en zal in Paragraaf 2.2 verder ter sprake komen.

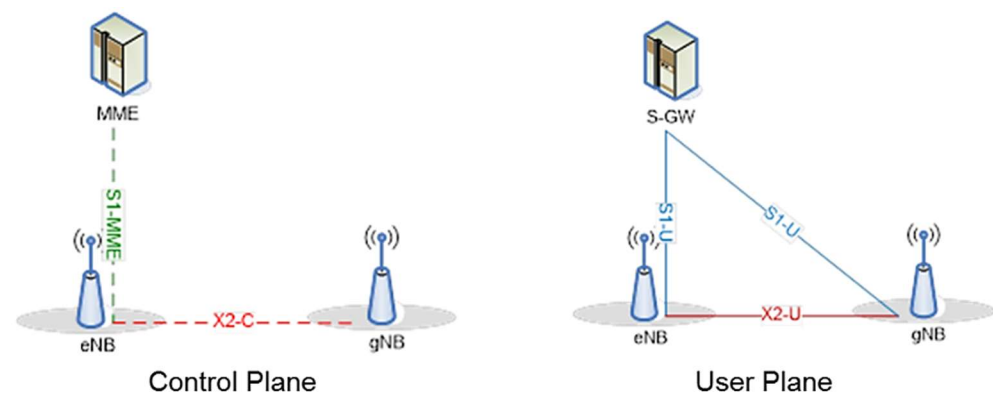
2.2 5G-Architectuur

2.2.1 Overzicht

Momenteel worden twee architecturen binnen 5G gestandaardiseerd: de *Non-Standalone* en *Standalone*.

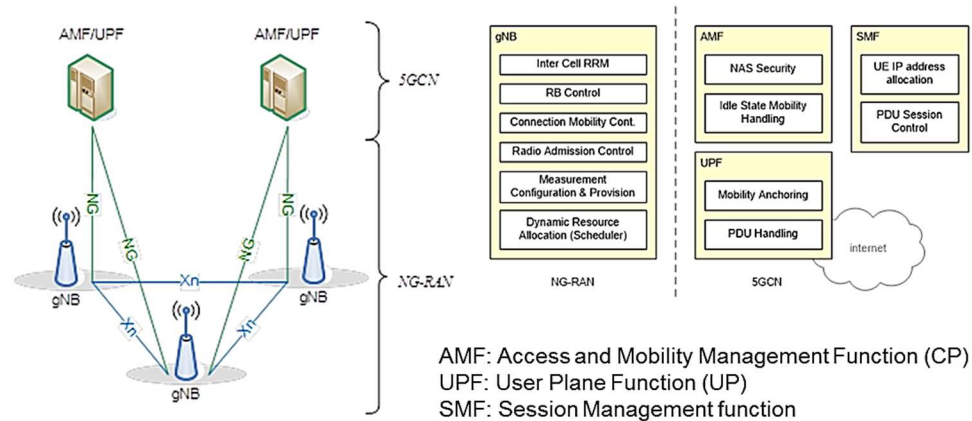
De **Non-Standalone (NSA)-architectuur** is weergegeven in Figuur 3. Deze gebruikt de huidige EPC (Evolved Packet Core) van de LTE-systemen, in casu de *Mobility Management Entity* (MME) voor de C-plane en de *Serving Gateway* (S-GW) voor de U-plane. NSA definieert alleen een zogenaamde *New Radio* (NR)-verbinding op de draadloze interface tussen het nieuwe 5G-basisstation (gNB) en de mobiele terminal zoals aangegeven Figuur 3. In de NSA-optie moet de terminal van de mobiele gebruiker dus LTE kunnen ondersteunen.

De NR-carrier van het 5G-netwerk wordt opgezet nadat eerst de LTE-carrier tot stand komt. De 5G-signalering gaat via het LTE basisstation (eNB) en de X2-C interface (linkerzijde Figuur 3) terwijl het 5G-dataverkeer direct verloopt tussen de gNB en de S-GW van het LTE *core network* via de S1-U interface (rechterzijde Figuur 3). Overigens kan het dataverkeer ook via de X2-U interface en de LTE eNB lopen naar de S-GW van het LTE core network. Deze optie wordt bijvoorbeeld toegepast bij de wisseling van een mobiele gebruiker van de eNB naar de gNB.



Figuur 3: *Non-Standalone*-architectuur van 5G

De **Standalone-architectuur** is een volledige onafhankelijk 5G-netwerk waarbij geen gebruik van de EPC en de eNBs van LTE wordt gemaakt. Dit is weergegeven in Figuur 4. Voor deze optie is het dus niet noodzakelijk dat de mobiele terminal het LTE-netwerk ondersteunt. Het 5G *core network* (5GCN) is opgedeeld in virtuele functies want de verwachting is dat NFV en Content Delivery Network (CDN) principes gebruikt zullen worden. Rechts in Figuur 4 is aangegeven dat vier functiehoofdgroepen zijn te onderscheiden en welke functies onder deze hoofdgroepen vallen. Eveneens is aangegeven welke functies betrekking hebben op het Next Generation- Radio Access Network (NG-RAN) en welke op het 5GCN.

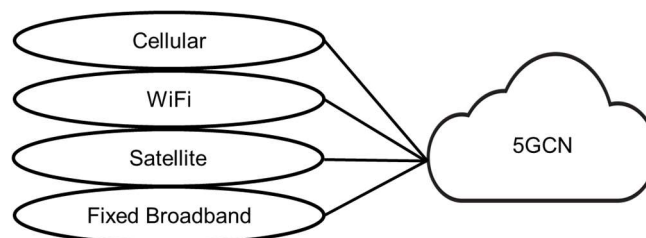


Figuur 4: Standalone-architectuur van 5G

2.2.2 Network Slicing

Een belangrijke concept in de 5G-systeemarchitectuur is *Network Slicing*. 5G voorziet in het leveren van op maat gemaakte diensten. Network slicing maakt het mogelijk om diversificatie in diensten te realiseren. Iedere gebruiker krijgt als het ware een 'plakje' netwerk dat voldoet aan zijn of haar eisen. Op basis hiervan kan ook een SLA (Service Level Agreement) afgesloten worden met de network provider waarbij reguliere consumenten nog steeds een *best-effort* dienst aangeboden krijgen en zullen dan bijvoorbeeld achtergesteld worden op de hoge betrouwbare diensten. Exacter gezegd maakt dit concept het mogelijk om de netwerk resources te verdelen tussen verschillende 'entiteiten' (een virtuele mobiele operator, set van diensten die dezelfde of vergelijkbare eisen hebben, een specifieke dienst, et cetera). Een *slice* is dus niet hetzelfde als een Quality-of-Service (QoS) klasse, maar een breder begrip.

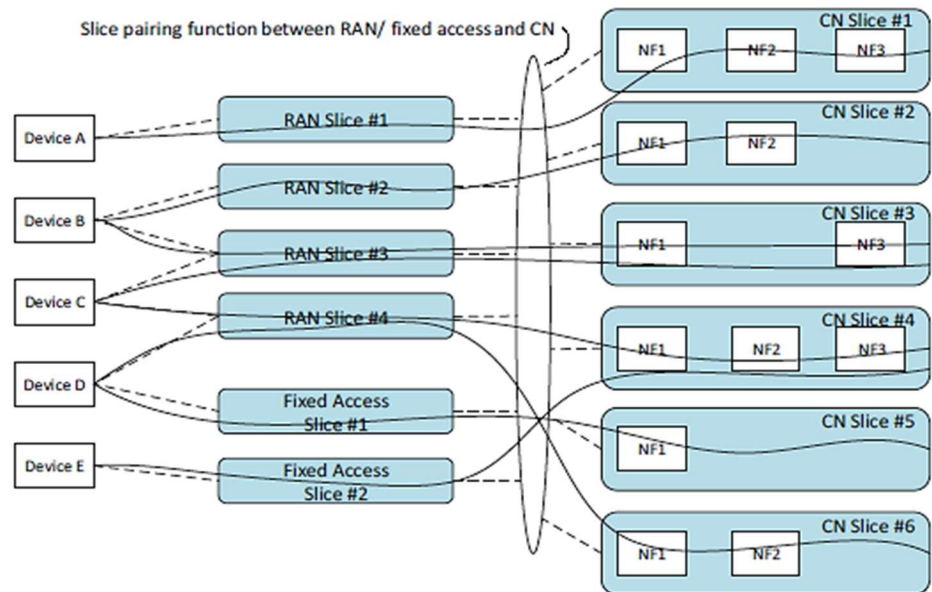
Network Slicing in 5G cellulaire systemen heeft altijd betrekking op een Core Network (CN)-slice en een RAN *slice*. In principe kan het 5GCN verschillende typen toegangsnetwerken bedienen, zoals cellulair (NR of LTE), Wi-Fi, Satelliet en Fixed Broadband, zie Figuur 5.



Figuur 5: Diversiteit aan toegangsnetwerken tot 5GCN

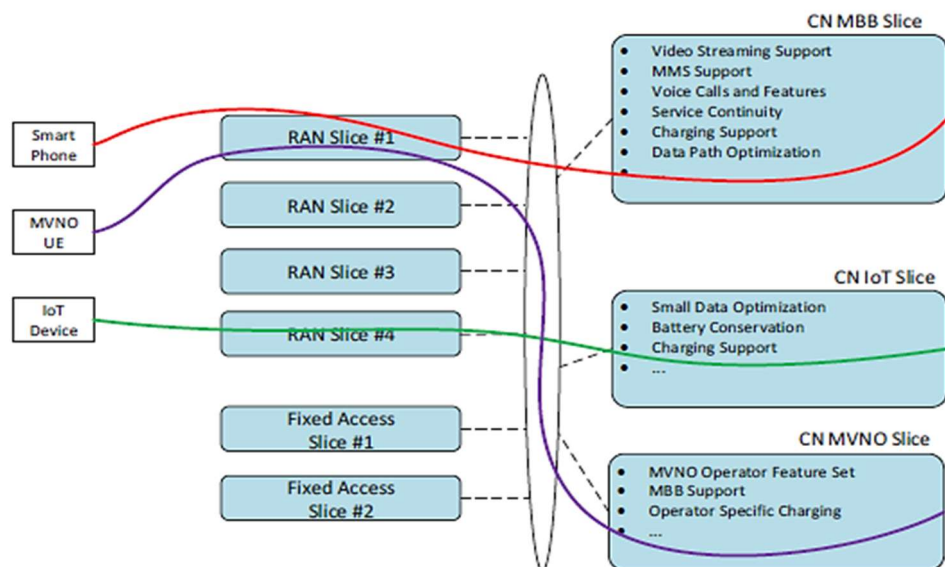
Een mobiele terminal kan tegelijkertijd meer dan een en ook verschillende slices actief hebben. Elke slice bestaat dan uit een koppeling van een CN-slice en een RAN (of Fixed Access)-slice, zoals in Figuur 6 is aangegeven. De koppeling tussen een CN-slice en RAN/Fixed Access-slice kan dynamisch zijn, afhankelijk van de eisen van de *end-to-end slice* en het gebruik van de netwerk resources. De *end-to-end slice* is gekoppeld aan een PDU (Protocol Data Unit)-sessie en uniek gedefinieerd met de zogenaamde Single Network Slice Selection Assistance Information (S-NSSAI), zoals beschreven in *Technical Specification (TS) 23.501*. Het concept van Network Slicing biedt veel flexibiliteit. Zo kan een RAN/Fixed Access slice gekoppeld zijn aan meerder CN-slices met elk hun samenstel van

Network Functions (NFs). Andersom geldt ook dat een CN gekoppeld kan zijn aan meerdere RAN/Fixed Access-slices. Binnen een slice bestaat de mogelijkheid tot QoS-gebaseerde differentiatie tussen gebruikers en/of diensten.



Figuur 6: Samenhang tussen RAN- en CN-slices
[bron: 5G Americas White Paper Network Slicing for 5G and Beyond]

Een mogelijk voorbeeld voor verschillende netwerk slices in 5G is gegeven in Figuur 7. In dit voorbeeld maken de smartphone en de terminal van de MVNO gebruik van hetzelfde RAN-slice maar tevens van verschillende CN-slices. Tegelijkertijd maakt een IoT-device gebruik van een andere, specifieke RAN-slice die gekoppeld is aan een specifieke CN-slice omdat deze RAN- plus CN-slice combinatie geoptimaliseerd is voor de specifieke IoT-dienst.



Figuur 7: Voorbeeld van het gebruik van diverse RAN- en CN-slices
[bron: 5G Americas White Paper Network Slicing for 5G and Beyond]

2.2.3 Millimetergolf-ontwikkelingen

2.2.3.1 Introductie

Verwacht wordt dat millimetergolf (mmWave) communicatie een belangrijk element wordt van 5G, vanwege haar unieke eigenschap om hoge netwerkcapaciteit en hoge *throughput* per gebruiker te realiseren, conform de eis voor 5G. Volgens de ITU-definitie verwijst de term mmWave naar het frequentiegebied tussen 30 GHz tot 300 GHz. In de discussies rond 5G wordt echter vaak in verband met mmWave verwezen naar frequenties hoger dan 6 GHz omdat onder meer in de ITU erover werd gesproken hier de eerste potentiële banden voor hoge 5G-frequenties te situeren. Nadere identificatie van die banden gebeurde door bijvoorbeeld de Amerikaanse FCC (Federal Communications Commission) en de Europese RSPG (Radio Spectrum Policy Group).

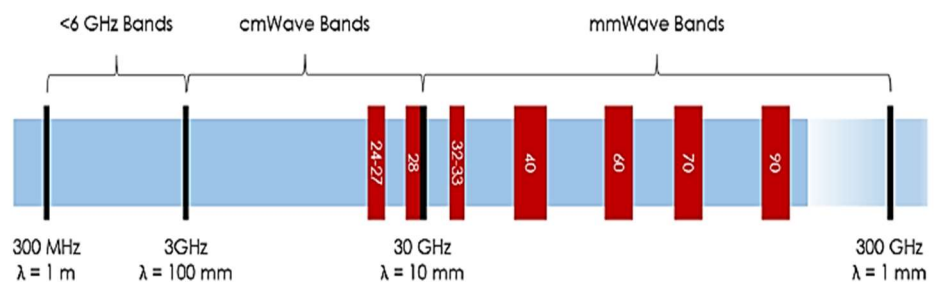
Diverse internationale, c.q. Europese projecten zoals het H2020 mmMAGIC project² werden gelanceerd om de technische uitdagingen rond het toepassen van mmWave voor 5G te adresseren. Belangrijke venders^{3,4} claimden mmWave communicatie te kunnen demonstreren onder verschillende settings. De verwachting is dat de toepassing van een aantal fundamentele eigenschappen van mmWave al zal worden ondersteund in de eerste release van 5G, 3GPP Release 15. Vanaf 3GPP Release 16 zal verdere uitbreiding plaatsvinden.

2.2.3.2 Mogelijkheden van mmWave communicatie

Het potentieel van mmWave-communicatie blijkt uit de volgende kenmerken:

- Er is een grote hoeveelheid spectrum beschikbaar. Figuur 8 toont een voorbeeld van beschikbare mmWave-banden tussen 24 GHz en 100 GHz. In de VS heeft de FCC ongeveer 11 GHz aan mmWave-spectrum toegewezen voor 5G. Hierin is begrepen:
 - gelicenseerd: 27,5-28,35 GHz, 37-38,6 GHz en 38,6-40 GHz en
 - vergunningsvrij: 64-71 GHz.

In Europa wordt de 24,25-27,5 GHz-band aanbevolen door RSPG als een 'proefband' ten behoeve van de introductie van 5G op hoge frequenties in Europa;



Figuur 8: Voorbeeld van beschikbare mmWave-banden [bron: *Heavy Reading*]

- Een grote *aaneengesloten* bandbreedte (100-1000 MHz) is beschikbaar. Hierdoor worden extreem hoge door de gebruiker ervaren datasnelheden mogelijk zonder dat frequentiedelen hoeven te worden geaggregeerd. Dit is

² <https://5g-mmmagic.eu/>

³ <http://www.fiercewireless.com/tech/samsung-nokia-ericsson-show-off-achievements-millimeter-wave-tech>

⁴ <https://www.qualcomm.com/news/releases/2016/10/17/qualcomm-showcases-5g-leadership-announcing-its-first-5g-modem-solution>

van grote invloed op de complexiteit van apparatuur en daardoor op de kosten hiervan. Deze zullen uiteindelijk ook voor de gebruiker lager uitvallen;

- De relatief geringe golflengte van mmWaves maakt het mogelijk dat met mMIMO (Massive Multiple Input-Multiple Output) elektronisch aanstuurbare antenne-arrays voor bundelvorming (*beamforming*) kunnen worden gerealiseerd. Deze *phased arrays* bestaan uit vele elementaire antenne-elementen waardoor elektronisch en dynamisch specifieke, smalle antennebundels kunnen worden gerealiseerd die tevens snel kunnen worden gericht op individuele 5G-gebruikers. Dezelfde radiofrequentie kan daarbij worden hergebruikt in verschillende bundels. Opgemerkt moet worden dat de commercialisering van dergelijke *phased arrays*, die tot voor kort alleen voor militaire toepassingen werden geproduceerd, ongekend is. De implementatietechnologie voor 5G mmWave-gebruikersapparatuur is gebaseerd op silicium waardoor de kostprijs relatief erg laag is en nog steeds daalt. De mmWave chip-ontwikkeling is stormachtig: de ontwikkelcyclus van een nieuwe mmWave chip bedraagt slechts zes maanden.⁵ Een array met 16x16 elementen is recent gepresenteerd.⁶

2.2.3.3 Voornaamste uitdagingen in mmWave communicatie

Helaas ondervinden MmWaves een aanmerkelijk hoger propagatieverlies in vergelijking tot radiogolven in conventionele banden onder de 6 GHz. Dit kan deels worden gecompenseerd door bundelvorming waarbij zeer smalle bundels kunnen worden gemaakt. Diverse demonstraties laten zien dat een bereik van 100 tot 200 meter mogelijk is zonder *Line-of-Sight* (LOS) omstandigheden.⁷ Dit bereik past binnen de gangbare dekking van een kleine cel (*small cell*).

Een mmWave-radiokanaal is meer gevoelig voor de veranderingen in de omringende omgeving zoals blokkering, voor atmosferische condities en voor degradaties van hardware. Deze effecten in combinatie met smalle bundels bemoeilijken de automatische uitrichting van antennebundels tussen basisstation en mobiele gebruikers, zowel de initiatie als het onderhouden ervan. Door de relatief hoge instabiliteit wordt het lastig onderlinge interferentie te minimaliseren. Degradatieverschillen in mobiele terminals, zoals verschillen in teruglopen van de ontvangstgevoeligheid, dienen verrekend te worden bij de signaalverwerking.

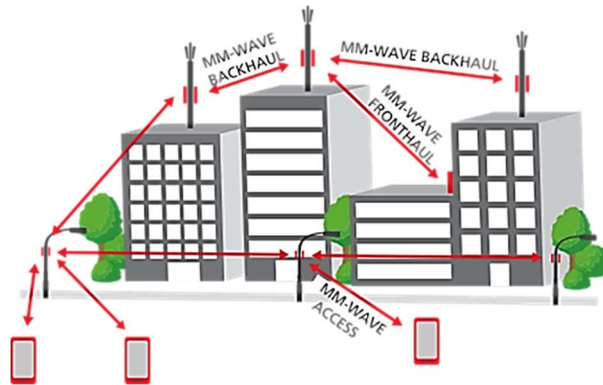
2.2.3.4 Mogelijke toepassingen

In de context van 5G is mmWave geschikt voor zowel communicatie van de mobiele gebruiker via het basisstation (meestal onder non-LOS condities) als voor draadloze *backhauling* tussen basisstations onderling (meestal in LOS). De verbinding van de gebruiker met het basisstation en de *backhauling* kunnen dezelfde frequentieband delen in tijd en/of ruimte, zie Figuur 9. Men spreekt dan van *in-band backhauling*.

⁵ MILCOM 2017, Anokiwave presentatie, Baltimore, 25 Oktober 2017

⁶ http://www.anokiwave.com/company/company-news/releases/awa_0134.html

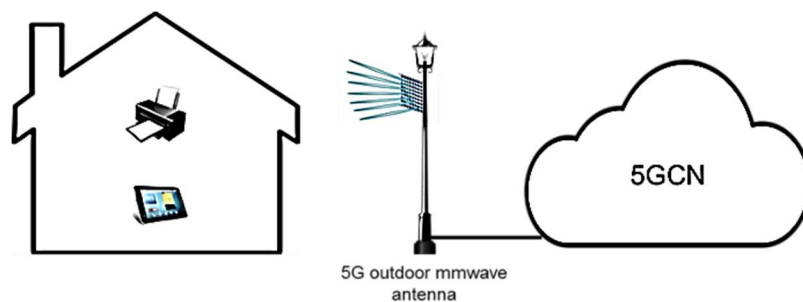
⁷ THEODORE S. RAPPAPORT, SHU SUN1, RIMMA MAYZUS, etc., Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work!, IEEE Access, vol. 1, pp. 335-349, May 2013.



Figuur 9: Gelijktijdig gebruik van mmWave voor mobiele toegang en *backhauling*⁸

Vanwege de gevoeligheid voor de omgeving is het de verwachting dat de eerste 5G mmWave-technologie zal leunen op de technologie voor frequenties beneden 6 GHz om aan de behoeften te kunnen voldoen ten aanzien van dekking, beschikbaarheid, betrouwbaarheid en mobiliteit.

Kleine mmWave-cellen kunnen zowel binnen- als buiten worden toegepast. Figuur 10 laat een voorbeeld zien van een 5G mmWave-toepassing waarbij een 5G mmWave-basisstation is geïmplementeerd op een lantaarnpaal om huizen draadloze toegang te bieden tot diensten op hoge datasnelheid. Dit heeft potentieel voor het oplossen van hedendaagse dekkingproblemen in huizen, vooral als sprake is van meerdere woonlagen. Tegelijk wordt het onderhoud en de vernieuwing van *residential gateways* weggelaten. Hierbij moet echter wel worden opgemerkt dat de haalbaarheid van deze toepassing afhangt van de mogelijkheid om mmWave golven met voldoende kwaliteit en beschikbaarheid te kunnen laten werken in woonomgevingen. Dit laatste wordt binnen 5G een interessant onderzoeksonderwerp.



Figuur 10: 5G mmWave geïnstalleerd op een straatlantaarn ten behoeve van hoge snelheidsdiensten in huizen

Kleine mmWave-cellen kunnen ook *indoor* worden ontplooid om het hoge signaalverlies binnen gebouwen tegen te gaan. Dit vereist echter een *high speed*-toegangsnetwerk zoals *fiber-to-the-home* om verbinding te maken met de kleine mmWave-cellen.

2.2.4 SATCOM-5G

SATCOM-5G is een combinatie, c.q. techniek om één van de 5G-eisen in te vullen: 100% globale gebiedsdekking (onder meer voor Machine Type Communications) in

⁸ <http://www.miweba.eu/#Start>

plaats van uitsluitend 100% dekking in bevolkte gebieden (*population coverage*) en staat momenteel mondiaal zeer in de belangstelling.

Communicatie via satellieten zal vooralsnog het meest doeltreffende middel zijn voor het bereiken van locaties die buiten de terrestrische dekking vallen. Daarbij moet ook worden gedacht aan passagiers aan boord van treinen, vliegtuigen en vaartuigen. Veel diensten worden effectief door satellieten geleverd, ook in stedelijke gebieden. Denk daarbij aan bijvoorbeeld broadcast- en *backhaul* connecties.

Satellietcommunicatie (SATCOM) biedt doorgaans een hoge bandbreedte waarbinnen veel data in beperkte tijd overgedragen kan worden met transmissiesnelheden in de orde van gigabits per seconde (Gbit/s). Aan de andere kant hebben verbindingen via satellietssystemen langere vertragingen dan terrestrische systemen vanwege de lange afstand waarover radiosignalen worden doorgegeven. Constellaties van kleine Low Earth Orbit (LEO) satellieten kunnen relatief lagere vertragingen opleveren, maar deze zijn nog steeds hoger dan wat bereikbaar is via terrestrische systemen.

In vorige generaties mobiele netwerken was de integratie van SATCOM gebaseerd op *proprietary* maatoplossingen op zowel SATCOM- als mobiel netwerkniveau. De specificatie van de mobiele netwerkstandaarden heeft geen rekening gehouden met de bijzondere kenmerken van SATCOM en vice versa.

2.2.4.1 De rol van SATCOM in 5G

Diverse standaardisatie-instituten (bijvoorbeeld 3GPP, ETSI en ITU) en internationale fora zoals NGMN (Next Generation Mobile Networks) en 5G-PPP (5G Infrastructure Public Private Partnership) stellen dat SATCOM een inherent onderdeel zal worden van 5G. SATCOM zal al direct in het ontwerp en de standaardisatie van 5G mee worden genomen. Zo stelt 5G-PPP⁹:

*“5G wireless will support a heterogeneous set of integrated air interfaces: from evolutions of current access schemes to brand new technologies. 5G networks will encompass cellular and **satellite** solutions. Seamless handover between heterogeneous wireless access technologies will be a native feature of 5G, as well as use of simultaneous radio access technologies to increase reliability and availability.”*

ESA en de Europese ruimtevaartindustrie hebben hun krachten gebundeld om de toegevoegde waarde die satelliet voor 5G brengt te ontwikkelen en te demonstreren.¹⁰ Zij beïnvloeden actief 3GPP tijdens de standaardisatie van de 5G *air interface* en de netwerkarchitectuur.

In het algemeen kan SATCOM in de context van 5G twee rollen spelen:

- Als *backhaul* voor het aansluiten van 5G-basisstations in bijvoorbeeld locaties waarin lastig mobiele dekking is te realiseren (bijvoorbeeld een dorp in een bos) of op een bewegend object zoals een trein of een schip. Dit legt geen extra eisen op aan 5G. Het Europese H2020 Sat5G-project¹¹ kijkt naar deze rol van SATCOM binnen 5G;
- Als een extra toegangsoptie. Dit is van cruciaal belang met het oog op het garanderen van een volledige dekking van 5G zoals dat met name door een aantal *verticals* wordt verlangd. Het basisidee is om dezelfde 5G *air interface* (en dezelfde chip) te gebruiken voor satelliet- en terrestrische toegang.

⁹ <https://5g-ppp.eu/>

¹⁰ http://www.esa.int/Our_Activities/Telecommunications_Integrated_Applications/Satellite_for_5G

¹¹ <https://5g-ppp.eu/Sat5G/>

2.2.4.2 Voorbeelden van use cases

Volgens 3GPP TR22.891¹² zijn er diverse *use cases* waarin uitsluitend satellieten een oplossing kunnen bieden maar er zijn ook *use cases* waarin satellieten een efficiëntere oplossing bieden.

Het gaat om de volgende *use cases*:

- Gebieden waar het niet mogelijk om zendmasten te plaatsen, zoals maritieme omgevingen (zee en meren), eilanden, bergen of recreatiegebieden die alleen kunnen worden gedekt door de satellieten;
- Hulpverlening bij rampen: tijdens natuurrampen of andere onvoorziene gebeurtenissen die het terrestrische netwerk volledig hebben uitgeschakeld, zijn satellieten vrijwel de enige optie;
- Het bieden van noodhulp bij incidenten: naast grootschalige natuurrampen kunnen er specifieke noodsituaties zijn in gebieden waarin geen terrestrische dekking is, zoals een ongeval in een kerncentrale;
- Secundaire-, c.q. back-up verbinding als terugvaloptie bij het uitvallen van de primaire verbinding of ten behoeve van onderling verbonden auto's. Het gaat er vooral om connectiviteit te bieden, zodat de capaciteit van een back-up verbinding aanzienlijk lager kan zijn dan de primaire;
- Connectiviteit in landelijke gebieden die moeilijk geheel te dekken zijn door terrestrische netwerken;
- Connectiviteit voor gedistribueerde sensoren, bijvoorbeeld op boerderijen, onderstations, gasleidingen, wegwaarschuwingen, et cetera;
- Omroep van noodberichten op lage datasnelheden: satellieten kunnen beter dan terrestrische netwerken noodberichten uitzenden over een groot gebied.

Verder bestudeert het H2020 Sat5G-project een *use case* waarin een satellietverbinding wordt gebruikt om *content* te leveren aan de rand van het mobiele netwerk ten behoeve van *mobile edge computing*.

2.2.4.3 Relevante tijdslijn in de 5G-standaardisatie

3GPP SA1 heeft de volgende eisen inzake satelliet-toegang in de technische specificatie TS 22.161¹³ opgegeven:

- Het 5G-systeem zal diensten ondersteunen via satelliet-toegang;
- Het 5G-systeem ondersteunt dienstcontinuïteit tussen terrestrische 5G-toegang en satelliet-gebaseerde toegangsnetwerken die beide eigendom zijn van dezelfde operator of die onderworpen zijn aan een overeenkomst tussen operators;
- Om diensten met satelliet-toegang te kunnen leveren moet de *air-interface* van het 5G-systeem een éénweps-vertraging van maximaal 280 ms ondersteunen (merk op dat, hoewel 5G zich richt op vertragingen kleiner dan 4 ms, niet alle *use cases* lage vertragingen vereisen).

¹²

<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2897>

¹³

<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3107>

3GPP RAN heeft een studievoorstel "Study on NR (New Radio) to support Non-Terrestrial Networks"¹⁴ goedgekeurd. Dit bevat de volgende activiteiten en doelstellingen:

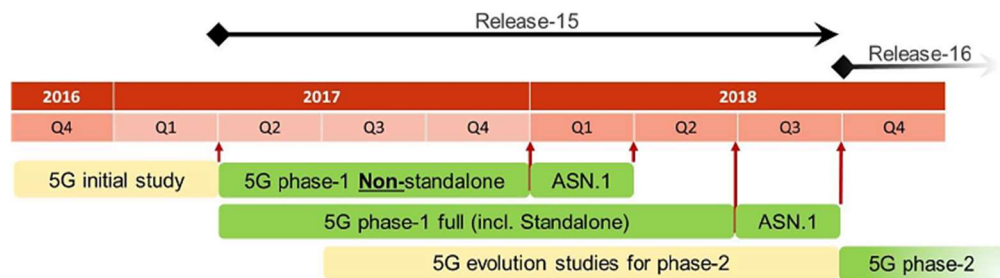
- Het bestuderen van de haalbaarheid van de aanpassing van het 3GPP-kanaalmodel voor niet-terrestrische netwerken. Indien nodig, zullen nieuwe kanaalmodellen worden geïdentificeerd en bestudeerd;
- Het opleveren van een gedetailleerde beschrijving van ontplooiingsscenario's voor niet-terrestrische netwerken en de gerelateerde systeemkenmerken zoals architectuur, hoogte, baan, et cetera;
- Het per ontplooiingsscenario identificeren van mogelijke belangrijke gevolgen voor de 5G NR.

Vanwege andere, dringender standaardisatie-activiteiten is dit studie-onderwerp uitgesteld en zal dit niet eerder dan eind 2017 beginnen. De verwachting is dat de integratie van satelliet-toegang beschikbaar zal zijn in de 2de fase van 5G-standaarden (3GPP Release 16), die eind 2019 gereed zal zijn.

2.3 Wanneer komt 5G beschikbaar?

2.3.1 Tijdslijnen vanuit standaardisatie-ontwikkelingen

De standaardisatieplanning van 5G is een belangrijke indicatie voor de termijn waarop deze technologie commercieel beschikbaar zal zijn en is hiervoor al belicht voor de onderwerpen mmWave en SATCOM in respectievelijk paragrafen 2.2.3.1 en 2.2.4.3.



Figuur 11: Geplande 5G-standaardisatie

3GPP is het standaardisatie-orgaan voor 5G-systemen, ofwel *New Radio* (NR) volgens de 3GPP-terminologie. Het volgende tijdschema voor deze 5G-systemen (zie ook Figuur 11):

- Release 15 zal worden gespecificeerd tot juni 2018 met volledige specificatie van de zogenaamde *Non-Standalone* optie voor gelicenseerde spectrumbanden en de eerste specificatie van de *Standalone* optie. De *Non-Standalone* optie zal de bestaande LTE-netwerkelementen gebruiken terwijl een nieuwe 5G-carrier wordt toegevoegd om al in 2019 enige 5G-functionaliteit te starten. In de uitleg van de 5G-architecturen is hierop nader ingegaan (zie Paragraaf 2.2.1). De focus is op eMBB en URLLC;
- Release 16 zal worden gespecificeerd vanaf Q4 van 2018 met als doel aan de volledige set IMT2020-eisen te voldoen inclusief tijdkritische IoT-diensten, gebruik van ongelicenseerde spectrumbanden, ondersteuning voor voertuig- en satelliet-toepassingen, et cetera. De verwachte einddatum is Q4 van 2019.

¹⁴

<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3234>

Ervan uitgaande dat commercieel gebruik ongeveer 1 tot 2 jaar na de 3GPP-standaardisatie volgt, worden de eerste toepassingen wereldwijd verwacht in:

- Zuid-Korea en Japan in de periode 2018-2020, mogelijk tijdens de winter- en zomer-Olympische spelen;
- Europa in de periode rond 2020, bijvoorbeeld in een aantal steden tijdens het Europees Kampioenschap Voetbal.

5G-PPP heeft een *roadmap* opgesteld voor pan-Europese beproevingen en -onderzoekssamenwerking ter ondersteuning van het actieplan van de EU om te komen tot de 5G pre-commerciële fase¹⁵, zie ook Paragraaf 2.4. In de belangrijkste toepassingsgebieden zullen beproevingen starten in 2018 met als doel verwezenlijking van de ambitie van EU om de Europese uitrol van 5G tot 2020 te laten plaatsvinden.

2.3.2 *Spectrum-aspecten en uitrolscenario's*

Het eerste uitrolscenario voor 5G wordt in de periode tot 2020 verwacht en wel voor eMBB-type diensten met kleine cellen (met een bereik tot circa 200 meter outdoor), in de spectrumbanden onder 6 GHz. Voor wat betreft dit laatste speelt in de VS de beslissing over nieuwe licenties in het 3,5 GHz-spectrum. Afhankelijk van de marktbehoeftes voor 5G-dekking zullen andere spectrumbanden ook gebruikt kunnen worden. Hierbij valt te denken aan banden beneden 1 GHz voor gebruik in rurale gebieden en voor IoT-toepassingen door de grotere cel-dekking die door deze frequenties mogelijk is.

In Nederland wordt de economische waarde van 5G onderkend, specifiek voor bedrijfssectoren die behoefte hebben aan een beschikbare en betrouwbare draadloze communicatieoplossing zoals voor geautomatiseerde containeroverslag, bagage-afhandeling op een vliegveld, parkeerbeheer et cetera. De vraag van bedrijven naar en het aanbod van dergelijke toepassingen sluiten nog niet altijd op elkaar aan. Om dit te verbeteren, wil het ministerie van Economische Zaken ook extra frequentieruimte vergunningsvrij beschikbaar stellen of laten delen voor bedrijfsspecifieke toepassingen. Daarvoor wordt algemeen het vergunningsvrij gebruik van de 2100 MHz-band niet als ideale optie gezien.¹⁶

Na 2020 zullen met de ontwikkelingen van geavanceerde antennesystemen en de allocatie van spectrumbanden boven 6 GHz (zoals rond 26 GHz) voor breedband mobiele gebruik, mmWave-banden gebruikt kunnen worden en wel in combinatie met kleine cellen. Dit zal de capaciteit een *boost* geven in met name zeer dichte gebieden met veel verkeer. De cel-dekking van mmWave-banden is klein en de verwachting is dan ook dat veel indoor-oplossingen of vaste draadloze verbindingen voor huishoudens gebruik kunnen gaan maken van 5G om hoge datasnelheden te realiseren (zie paragrafen 2.3.2. en 2.2.3.4).

¹⁵ https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2017/01/5G-IA-Action-Plan-Event-Press-Release-_ -MWC2017.pdf

¹⁶ <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2017/09/20/voorbereiding-landelijke-veiling-mobiele-communicatienetten-gestart>

2.4 Testen en trials

In Nederland vinden de volgende testen met- en beproevingen van 5G plaats:

- **5Groningen¹⁷**
Het project 5Groningen is vooruitstrevend, omdat hierin al klanten worden betrokken. Het is tevens uniek omdat het specifiek gaat om testen met 5G in een landelijke omgeving. Paragraaf 3.6 gaat in op specifieke aspecten van dit experiment voor de ouderenzorg.
- **Amsterdam Arena^{18,19}**
Hier gaat het om experimenten met 5G in een stedelijk gebied zoals deze ook plaatsvinden in Zuid-Korea en Finland met de opvolgers van 4G. In dit geval is het de bedoeling om in 2020 een nieuw 5G-netwerk te testen tijdens het Europees Kampioenschap Voetbal. Amsterdam wil dit samen doen met andere gaststeden. Het gaat er dan om hoogwaardige videobeelden door te geven, zoals beelden van *body cams* naar een controlekamer ten behoeve van Openbare Orde en Veiligheid (OOV). Het stadion wordt in samenwerking met Huawei, KPN, KPMG en TNO voorzien van een 5G-netwerk en sensoren.

Daarnaast zijn er de 5G-PPP plannen rond 5G-beproevingen. Het doel hiervan is om de toegevoegde waarde van 5G in diverse *verticals* aan te tonen en ze in verband te brengen met de ontwikkeling en de standaardisatie. Informatie over deze beproevingen is te vinden op:

https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2017/05/5GInfraPPP_TrialsWG_Roadmap_Version1.0.pdf

¹⁷ <https://www.5groningen.nl/>

¹⁸ <https://www.parool.nl/amsterdam/amsterdam-wil-proeftuin-worden-voor-5g~a4468282/>

¹⁹ <https://www.bright.nl/nieuws/hoofdrol-voor-amsterdam-arena-bij-europese-5g-test>

3 Enkele toepassingssectoren van 5G

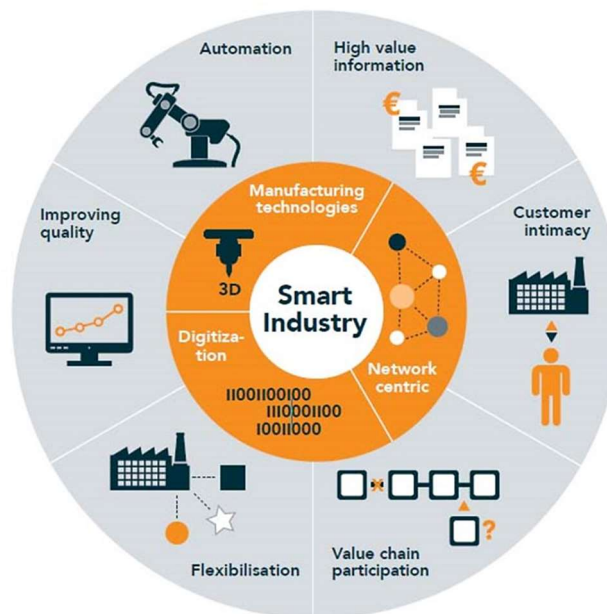
5G biedt meer dan alleen internettoegang. De *business case* is bij 5G verbreed naar andere sectoren, c.q. marktdomeinen.

Dit hoofdstuk gaat in op de toepasbaarheid van 5G in een aantal specifieke toepassingssectoren. Het aantal sectoren dat in dit hoofdstuk wordt behandeld, is zeker niet uitputtend maar geeft een beeld van wat 5G voor bepaalde *verticals* zou kunnen betekenen, met name voor degene die op relatief korte termijn na de invoering van 5G juist ook voor Nederland van belang kunnen zijn.

3.1 Industrie

3.1.1 Introductie

De mondiale trend in modernisering van de industrie is *smart industry*, ook wel aangeduid als Industry 4.0.²⁰ Dit betreft de automatisering en de uitwisseling van gegevens in productieprocessen. De belangrijkste onderdelen daarvan zijn *cyber-physical systems* (CPS: systemen die bestaan uit intelligente objecten die via sensoren, actuatoren en software via internet of een ander netwerk met elkaar kunnen acteren zoals zelfrijdende auto's, het *smart grid* en procesbeheersingssystemen), het Internet of Things (IoT) en *cloud computing*. Industry 4.0 staat voor een zogenaamde 'slimme fabriek' waar alle hulpmiddelen en werkstations geïntegreerd zijn in de productie. Aanvoerlijnen zijn continu en vrijwel zonder vertraging met elkaar verbonden zodat bediening op afstand, zelfconfiguratie, zelfdiagnose en zelfoptimalisatie mogelijk worden.



Figuur 12: Brede context van smart industry²¹

Enmaal gedigitaliseerd, zorgen de slimme fabriek en de bijbehorende herconfigureerbare tools voor productaanpassingen aan specifieke klantvragen

²⁰ <http://www.hightech-strategie.de/de/Industrie-4-0-59.php>

²¹ <https://www.tno.nl/nl/samenwerken/tno-en-het-mkb/smart-industry/>

(*customization*) en voor benodigde her-configuratie van de productielijn om onderscheid te maken tussen productvarianten. Die flexibiliteit maakt het mogelijk dat productie tegelijk massaal én *customized* kan zijn.

Her-industrialisatie is een belangrijke doelstelling voor Europa.²² Smart industry zal de Europese industrie concurrerender maken en zorgen dat industrie weer de motor wordt van economische groei. In Nederland is de *Implementatieagenda Smart Industry 2018-2021* opgezet om smart industry in ons land te introduceren.²³

3.1.2 5G als enabler van smart industry

Nieuwe technologieën binnen Industry 4.0 zoals samenwerkende en her-configureerbare robots, continue kwaliteitsbewaking, fabriek virtualisatie, et cetera, zijn gebaseerd op specifieke, geavanceerde technologische ontwikkelingen zoals onder meer mechatronica, 2D- of 3D-beeldverwerking en *big data*. Informatie-uitwisseling tussen verschillende entiteiten blijft een vereiste. Tot op heden is deze informatie-uitwisseling gebaseerd op bekabelde technologie, zoals Power Line Communication (PLC) of industrieel Ethernet, of op een traditionele draadloze technologie zoals WiFi of Zigbee. In de toekomst zullen de hoeveelheid aan fysieke productiemiddelen en mobiele robots bekabelde verbindingen onpraktisch maken, gelet op bijvoorbeeld onderhoud en de mobiliteit van robots. Draadloze oplossingen zullen steeds meer een betere optie blijken. Het nadeel van de huidige draadloze communicatie in fabrieken is het gebrek aan coördinatie en flexibiliteit in de inzet bij verschillende toepassingen. De prestaties van deze huidige technologieën zijn suboptimaal en meestal onderhevig aan de interferentie in de complexe fabrieksomgeving. Dit kan komen door in- en uitschakelen van zware productieapparatuur of door interferentie met andere aanwezige draadloze communicatieapparatuur zoals smartphones en Wi-Fi access points in dezelfde frequentiebanden. Ook kunnen nadelige effecten ontstaan op de communicatiekwaliteit door beïnvloeding van de radiogolven door vele fysieke elementen in een fabriek die niet voldoende door huidige draadloze systemen kan worden opgevangen.

Met de introductie van Industry 4.0 zullen dus stringenter eisen aan draadloze communicatie in fabrieken worden opgelegd door:

- **Massale inzet** van (al dan niet onderling) draadloos verbonden apparaten als gevolg van de veelheid aan voortdurend te beheersen processen;
- **Ultra-hoge betrouwbaarheid en lage vertraging**. Deze eisen worden opgelegd door *closed loop* controlesystemen zoals robots voor automatisering van precisiehandelingen;
- **Convergentie** tussen verschillende draadloze netwerken in de fabriek.

Huidige draadloze systemen voldoen niet aan deze eisen.

Zoals in Paragraaf 2.1 beschreven, ambieert 5G drie hoofdgroepen *use cases* te ondersteunen:

- enhanced Mobile Broadband (eMBB);
- Ultra-Reliable and Low Latency Communications (URLLC) en
- massive Machine-Type Communications (mMTC).

De hierboven vermelde vereisten van Industry 4.0 vallen binnen het kader van URLLC en mMTC. Fabrieken van de toekomst (*Factories of the Future: FoF*)

²² [https://ec.europa.eu/commission/commissioners/2014-](https://ec.europa.eu/commission/commissioners/2014-2019/bienkowska/announcements/reindustrialisation-europe-industry-40-innovation-growth-and-jobs-forum-europe-conference_en)

[2019/bienkowska/announcements/reindustrialisation-europe-industry-40-innovation-growth-and-jobs-forum-europe-conference_en](https://ec.europa.eu/commission/commissioners/2014-2019/bienkowska/announcements/reindustrialisation-europe-industry-40-innovation-growth-and-jobs-forum-europe-conference_en)

²³ <https://www.smartindustry.nl/>

worden dan ook door 5G-PPP²⁴ en 3GPP²⁵ gezien als een van de meest belangrijke 5G *verticals*.

3.1.3 Voorbeelden van smart industry use cases

Het *white paper* "5G and the Factories of the Future"²⁶ van 5G-PPP identificeert vijf groepen *use cases* die de eisen voor een *next generation connected factory* naar voren laten komen in de context van een leveringsketen en productienetwerk:

- Tijdkritische en betrouwbare procesoptimalisatie in een gedigitaliseerde fabriek;
- Niet tijd-kritische communicatie in de gedigitaliseerde fabriek;
- Beheer van gedigitaliseerde fabrieken op afstand;
- Naadloze communicatie binnen- en tussen 'eco-systemen' van ondernemingen;
- *Connected goods* (t.b.v. de levensduur van een product).

Hieronder volgen twee concrete voorbeelden van specifieke *use cases* waarbij strenge eisen opgelegd worden aan lage vertragingen en hoge betrouwbaarheid:

- Alarmering: sensoren die een assemblagelijijn monitoren en waarbij de beweging wordt gecontroleerd van zware voorwerpen die slachtoffers zouden kunnen veroorzaken als deze van de lijn zouden vallen. Als een alarm wordt geactiveerd, dient de lijn onmiddellijk te stoppen. In dit geval moet niet alleen de vertraging van het alarmeringssignaal extreem kort zijn, maar moet tevens de betrouwbaarheid ervan zeer hoog zijn. Vandaag de dag worden alarmsignalen nog verzonden via afgeschermdde en in duplo uitgevoerde kabels om optimale betrouwbaarheid te verkrijgen.
- Robotsystemen voor automatisering van precisiehandelingen waarbij robotarmen binnen bepaalde vrijheidsgraden bewegen en mogelijk ook parallel werken. De robotarmen moeten een nauwkeurig tijdschema vanuit een centrale controller ontvangen en ook hiervoor is de combinatie van lage vertraging en hoge betrouwbaarheid nodig. De toegepaste regeltechniek vereist ultra-lage vertragingen. Daarnaast ontvangen de robotarmen instructies om zichzelf opnieuw te configureren waarvoor minder strenge vertragingseisen gelden. Overigens hebben dergelijke robotarmen ook informatie nodig van meerdere, mogelijk vele draadloze sensoren om de status te ontvangen van de diverse te bewerken onderdelen.

3.1.4 Relevante tijdslijn in 5G-standaardisatie

De eerste fase van de 5G-standaardisatie (Release 15, gepland voor medio 2018) zal zich richten op eMBB en op de URLLC *use cases*. MTC is in LTE Releases al beschreven en mMTC *use cases* worden pas in de tweede fase gedefinieerd (3GPP Release 16, gepland voor eind 2019).²⁷ Dit houdt in dat smart industry niet volledig ondersteund zal zijn voor het vrijgeven van 3GPP Release 16.

²⁴ https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2016/02/5PPP-FLYER_BAT_PL-.pdf

²⁵ http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1839-5g_cc_automation

²⁶ <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-White-Paper-on-Factories-of-the-Future-Vertical-Sector.pdf>

²⁷ http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1787-ontrack_5g

3.2 Spoorwegen

3.2.1 *Huidig communicatiesysteem en voorgeschiedenis*

De spoorwegen hadden behoefte aan een dienst die niet geleverd kon worden door gebruik te maken van commerciële- ofwel consumentennetwerken. De belangrijkste onderdelen van die dienst zijn beschikbaarheid en specifieke services. Een oplossing daarvoor was zelf spectrum verwerven en een eigen netwerk realiseren. Dit werd het GSM-R netwerk dat voor de veiligheid van het spoor momenteel door de spoorvervoerders en ProRail gebruikt wordt. Voor GSM-R is spectrum beschikbaar zodat de vervoerders beschikken over een medium dat niet gedeeld hoeft te worden met consumenten. Daarnaast heeft de keuze voor GSM-R het mogelijk gemaakt om te beschikken over karakteristieken die niet in mobiele consumenten-netwerken beschikbaar waren zoals:

- Dekkingsgarantie: de uitrol had men zelf in de hand;
- Oproepprioriteiten: noodoproepen krijgen voorrang;
- *Push-to-talk* en groepscommunicatie zoals bij portofoons. Dit maakt het mogelijk om alleen met personen in een bepaalde trein(combinatie) te communiceren;
- Locatie-afhankelijke adressering: de mogelijkheid om te communiceren met personeel in een bepaald gebied;
- Hoge beschikbaarheid: dit is relevant voor de spoorwegen maar voor consumenten commercieel niet aantrekkelijk;
- Garantie voor het leveren van de bedrijfskritische QoS: voor consumenten is *best effort* de norm maar deze voldoet niet voor een dienstverlenend bedrijf zoals de spoorwegen;
- *Machine-to-machine* communicatie: communicatie met randapparatuur en/of applicaties (destijds nog onvoldoende mogelijk).

GSM-R zal in ieder geval ondersteund worden tot 2030 en mogelijk langer als nodig is voor het bepalen en realiseren van een opvolger. Deze opvolger van GSM-R is vooralsnog bekend onder de naam FRMCS (Future Railway Mobile Communication System).²⁸

Ondertussen zijn de mobiele consumenten-netwerken flink geëvolueerd en laten een aantal voordelen zien van het gebruik van een commercieel verkrijgbaar netwerk in plaats van het gebruik van een eigen specifiek netwerk. Alleen al het meeliften op deze evolutie is waardevol. Met de komst van de nieuwe telecommunicatietechnieken komt een moment waarop de afweging voor de technologie van het mobiel netwerk voor de spoorwegen opnieuw gemaakt moet worden. De komst van 5G zou een logisch moment voor deze heroverweging kunnen zijn, met dien verstande dat Nederland hierbij wel gebonden is aan de Europese regelgeving. De Europese spoorwegen heeft er inmiddels voor gekozen 4G/5G-diensten te gaan leveren via een eigen netwerk. Momenteel loopt dan ook een traject om extra frequentieruimte te verkrijgen voor FRMCS.

3.2.2 *5G-perspectieven voor de spoorwegen*

Om 5G een goede kandidaat voor opvolger van GSM-R te laten zijn, zal het minimaal dezelfde dienstverlening moeten kunnen ondersteunen en zal het innovatie in de spoorsector moeten stimuleren. De volgende eigenschappen van 5G maken dit in principe mogelijk:

²⁸ <http://www.gsm-rail.com/>

- **Hoge betrouwbaarheid:** 5G voorziet in *wireline reliability* met een betrouwbaarheid van 99,999%.
Door gebruik te maken van een commerciële mobiele dienst wordt het relatief eenvoudig om het effect van eventuele interferentie op betrouwbaarheid te mitigeren door bijvoorbeeld de communicatie naar een andere band te verplaatsen waar geen interferentie optreedt.
- **Nauwkeurige positionering vanuit het netwerk:** 5G voorziet in een positioneringsresolutie van minder dan 20 cm vanuit het netwerk.
Op dit moment vindt voor onder meer beveiliging, positiebepaling plaats vanuit een baan-gebonden systeem met baanbakens in het spoor, zogenaamde balises. Vanaf ERTMS (European Rail Traffic Management System) Level 3 gebeurt dit met autolocatie die verder niet nader gespecificeerd is. Autolocatie kan geleverd worden door GPS maar 5G heeft de ambitie nauwkeuriger te zijn en kan daarmee het aantal benodigde systeemcomponenten beperken. Wel is dan ook een oplossing nodig om de treinintegriteit te bewaken omdat in het baanvak geen assentellers meer beschikbaar hoeven te zijn. Ook de individuele wagons uitrusten met communicatieapparatuur kan dit verhelpen en tegelijk vele andere innovaties mogelijk maken.
- **Lage latency:** 5G levert een end-to-end *latency* van tussen 0,5 en 4 ms.
Lage *latency* in combinatie met hoge betrouwbaarheid is cruciaal voor monitor- en control-toepassingen, zoals voor treinbeveiliging. Door deze combinatie zijn toepassingen mogelijk die voorheen alleen met een bekabeld netwerk gerealiseerd konden worden. Bekabelde toepassingen zijn echter typisch plaatsgebonden omdat ze fysiek zijn verbonden aan de communicatielijn. 5G doorbreekt dit en maakt hiermee innovaties mogelijk op het gebied van monitoring en control.
- **Hoge bandbreedte:** 5G voorziet in 1 Gbit/s *user experienced data rate*.
GSM-R heeft een beperkte hoeveelheid aan spectrum tot zijn beschikking waardoor het lastig is om nieuwe, breedbandige diensten uit te rollen. Dit beperkt de innovatie. Indien men gebruik zou maken van een commerciële dienst is het eenvoudiger om op te schalen naar meer bandbreedte indien dat nodig is zonder een extra dienst aan te hoeven spreken.
De hoge bandbreedte van 5G is daarnaast van waarde voor de connectiviteit van de reizigers in de trein zelf (dit is de verantwoordelijkheid van de vervoerders en staat buiten GSM-R en FRMCS). In deze zin is 5G een alternatief of aanvulling op Wi-Fi in de trein.
- **Wereldwijde dekking:** Zoals reeds in Paragraaf 2.2.4 gesteld, voorziet 5G in dekking van de gehele wereld in plaats van alleen gebieden met bevolking.
Op dit moment is er alleen dekking in de gebieden waar genoeg gebruik gemaakt wordt van de dienst om de investering te rechtvaardigen. In extreme gebieden (zoals zee, woestijn et cetera) is dekking alleen mogelijk met behulp van satellietcommunicatie.
Mobiele toepassingen aan boord van platforms die zich geregeld verplaatsen in en uit een dekkinggebied (cel), zoals treinen, kunnen in buitenlandse uitgestrekte gebieden te lijden hebben van een hiaat in de dekking waarin de mobiele service niet beschikbaar is (in Nederland is dit naar de ervaring van ProRail niet het geval). Door 5G te integreren met satelliet communicatie wordt het eenvoudiger om nieuwe *end-to-end* diensten te kunnen gaan realiseren en te leveren.

- **Hoge snelheid:** 5G voorziet in communicatie tijdens een maximum platform snelheid tot 500 km/u.
Deze eis lijkt met name gesteld te zijn voor 5G-apparatuur in auto's en (hogesnelheids)treinen. Een goede betrouwbare dienst leveren met hoge bandbreedte kan alleen als (onderlinge) snelheidsverschillen worden meegenomen. Mobiele diensten in de trein zijn hier zeer bij gebaat.
- **Network slicing:** Voor trein-diensten kunnen meerdere slices mogelijk zijn waaronder een *high reliable* voor specifieke communicatieonderdelen voor de bedrijfsvoering van de spoorwegen (verantwoordelijkheid van ProRail) en een minder betrouwbare slice voor andere communicatie zoals Wi-Fi voor passagiers (verantwoordelijkheid van de vervoerders).
- **'Data-oriented':** 5G voorziet met name in het mogelijk maken van datadiensten waarbij ook spraak wordt gezien als een datadienst. Hierdoor worden mogelijkheden van GSM-R zoals locatieafhankelijke adressering, oproep-prioriteiten, *push-to-talk* en *machine-to-machine* communicatie een software applicatie op een standaard onderlaag. Beheer, onderhoud en innovatie worden hierdoor gemakkelijker.

3.2.3 Conclusie

Met 5G worden de commerciële mobiele netwerken dusdanig volwassen dat in principe vaak de benodigde functionaliteit geboden zou kunnen worden zonder een eigen netwerk te hoeven realiseren waarbij tevens uitzicht op innovatie geboden wordt. Dit kan voor een specifieke sector zoals de spoorwegen een significante kostenreductie teweeg brengen doordat geen investering in een eigen netwerk gedaan hoeft te worden. De uiteindelijke mogelijkheden en keuzes die Nederland voor de implementatie van FRMCS zal gaan maken zijn afhankelijk van de uiteindelijke specificatie van 5G, hoe de publieke operators 5G gaan aanbieden (en vooral met welke garanties) en de speelruimte die het Europees kader zal bieden.

3.3 Defensie

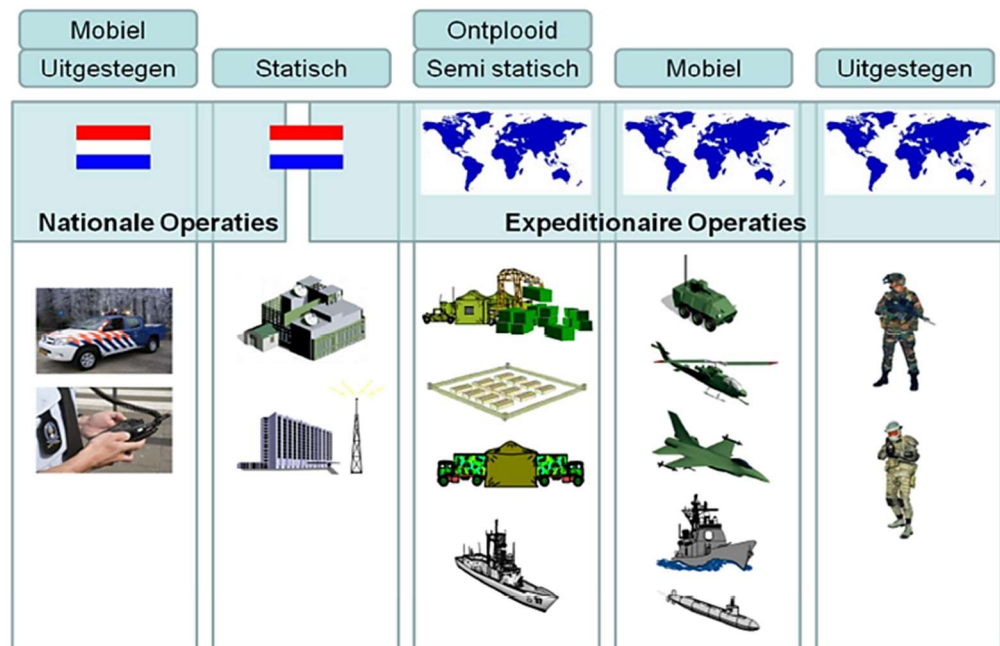
3.3.1 Karakterisering van het militaire optreden

Bij de beschouwing van 5G voor militair gebruik is het zinvol in kort bestek te kijken naar de algemene militaire gebruiksomgevingen die kunnen worden onderkend. In het algemeen onderscheidt men in het militair optreden vier zogenaamde gebruiksdomeinen (zie Figuur 13):

- **Statische domein:** dit is het eigen land, in casu Nederland, waarin zich vaste militaire objecten bevinden zoals kazernes, zendontvangst-locaties voor SATCOM en andere lange afstandsverbindingen. Hierin vinden nationale operaties plaats of vindt de coördinatie van missies in het buitenland plaats.
- **Ontplooid (semi-statische) domein:** dit betreft commandoposten van hogere militaire eenheden zoals een brigade. Zo'n *compound* bestaat vooral uit elementen (stilstaande trucks, tenten, ICT-apparatuur et cetera) die verplaatsbaar zijn naar een locatie in of nabij een operatiegebied. Deze locatie kan zich in principe overal ter wereld bevinden en de compound zal hier voor een langere periode gevestigd zijn.
- **Mobiele domein:** dit zijn militaire platforms zoals voertuigen, schepen, helikopters en jachtvliegtuigen. Deze zijn gebonden aan de staf of aan specifieke functies van een lagere militaire eenheid zoals een compagnie die

in beginsel overal ter wereld opereert. De Marechaussee, die veelal in Nederland opereert, opereert ook in deze gebruiksomgeving (zie Figuur 13, links). Communicatie vindt meestal *on-the-move* plaats waarbij platformsnelheden zeer groot kunnen worden, ook op land.

- **Uitgestegen domein:** het gaat hier om groepen militairen die hun voertuigen zijn ontstegen. Per groep blijven zij binnen relatief kleine afstand (een paar honderd meter) van elkaar en van hun voertuigen. Ook deze groepen kunnen in principe overal ter wereld ingezet worden. Er bestaan ook manieren van optreden waarbij een groep militairen zonder voertuig een taak uitvoert, zoals mariniers die zelfstandig een inzetgebied betreden. Communicatie vindt vaak *on-the-move* plaats waarbij fysieke snelheden laag zijn.



Figuur 13: Militaire gebruiksdomeinen [bron: Ministerie van Defensie]

Zoals in Figuur 13 is aangegeven, zijn de laatste drie domeinen van toepassing op een diversiteit aan inzetgebieden en terreinen (bosgebied, heuvels, bergen, jungle, stedelijk gebied, et cetera). Dit domeincluster wordt wel aangeduid met de term *expeditionair domein*.

3.3.2 Eisen aan- en uitdagingen voor middelen bij militair optreden

De specifieke omstandigheden leggen zware eisen op aan de militaire uitrusting, inclusief de ICT. Gezien deze eisen en de diversiteit aan inzetgebieden is het dan ook de vraag waar en wanneer civiele apparatuur eventueel kan worden ingezet. Civiele apparatuur is niet ontworpen voor gebruik in bijvoorbeeld extreme klimaatomstandigheden of een hoog geweldspectrum waar zware eisen gesteld moeten worden aan de uitvoering, beschikbaarheid, betrouwbaarheid, flexibiliteit, beveiliging- inclusief organisatorische en technische onafhankelijkheid (autonomie), het spectrumgebruik en de interoperabiliteit met middelen van coalitiepartners. Kijkend naar de gebruiksomstandigheden kan worden gesteld dat er relatief weinig aanvullende eisen voor militaire toepassing van communicatietechnologie zijn in het statische domein (thuisland), terwijl deze additionele eisen in het expeditionaire domein, en dan met name in het mobiele en uitgestegen domein het grootst zijn. De

uitdagingen ten aanzien van inzet van civiele cellulaire technologie zijn dan ook het grootst in de laatstgenoemde omstandigheden. Specifiek rond beveiliging in een militair-tactische omgeving gelden zwaardere eisen dan voor beveiliging in een civiele omgeving. Denk hierbij aan het versluieren van verkeersidentiteiten, toepassing van *traffic flow confidentiality* om te verhullen hoe informatiestromen door het netwerk lopen, het voorkomen van kwetsbaarheden in het signaleringsverkeer wanneer stoorzenders actief zijn, procedurele maatregelen tegen GPS-uitval, et cetera.

Bij toepassing van 5G in het expeditionaire domein zal moeten worden bepaald in welke mate deze inzet verantwoord wordt geacht, zoals dit ook geldt voor eventuele 4G-inzet. In ieder geval zal, zoals bij de overweging 4G toe te passen, rekening gehouden moeten worden met het feit dat ieder land zijn eigen spectrumbeschikbaarheid en regelgeving rond spectrumgebruik heeft. Hier kan bijvoorbeeld de afweging spelen tussen de aanschaf van waarschijnlijk kostbare frequentieflexibele 5G-apparatuur of (ad-hoc) per missiegebied van goedkopere apparatuur met beperkt frequentiebereik. Door de voornoemde eisen rond beveiliging kan vooralsnog 5G robuuste militaire middelen in het expeditionaire domein niet volledig vervangen.

Ook is het verkrijgen van voldoende dekking in de uitgestegen en mobiele domeinen een uitdaging. Hier moeten ook de netwerkdelen, inclusief de masten, mobiel zijn. Dit legt beperkingen op aan de masthoogte van een gNB. Zeker in terreinsoorten waarin sprake is van slechte tot matige SHF- en EHF-radiopropagatie zoals bossen, jungle, bergen, heuvels en verstedelijkt gebied is de celgrootte dan ook meestal onvoldoende voor operationeel gebruik. Zoals 4G, zal 5G *relay*-functionaliteit bieden om het eind-eindbereik effectief iets te vergroten.

3.3.3 5G-perspectieven bij militaire inzet

Specifieke, concrete industriële initiatieven voor 'militaire 5G' zijn nog niet waargenomen. Hierbij is het van belang op te merken dat 5G-standaardisatie in delen plaatsvindt. Zo zijn de *service requirements* voor 5G door 3GPP opgesteld, maar zal per Release worden bekeken welke hiervan daadwerkelijk zullen worden meegenomen. De komende release, Release 15, richt zich met name op het realiseren *massive broadband* toepassingen.^{29,30} Andere voor militair gebruik interessante aspecten zoals 5G-bereik in rurale gebieden, bijvoorbeeld via satelliet, zijn voor latere releases. Zoals gesteld in Paragraaf 2.3.1 wordt Release 16 eind 2018 ontwikkeld en zal pas naar verwachting eind 2019 zijn afgerond. Dit betreft onder meer de integratie van satelliet-toegang, ondersteuning voor voertuig-toepassingen en tijdkritische IoT.

Zoals het er nu naar uitziet, belooft 5G de nodige flexibiliteit, automatisering en zelforganisatie te bieden hetgeen vooral versnelling van dienstuitrol, verbeterde netwerkoptimalisatie en vereenvoudiging van beheer ten doel heeft. Dergelijke ontwikkelingen zijn ook voor militaire toepassing van belang. Voor wat betreft informatiebeveiliging mag op dit moment niet worden uitgesloten dat voor militair gebruik aanvullende beschermende maatregelen nodig zijn tegen onderscheppingsaanvallen en *spoofing* (het vervalsen van kenmerken om ongemerkt het systeem in te komen en te manipuleren).³¹

²⁹ <https://cept.org/ecc/topics/spectrum-for-wireless-broadband-5g>

³⁰ http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1774-5g_wisearbour

³¹ Tutorial *5G Systems, A Military and Intelligence Community Perspective* voor MILCOM 2016 door Neil Wiffen, Red Banana Wireless Ltd

Binnen 3GPP is voor 4G op het gebied van OOV LTE-standaardisatie gedaan (zie Paragraaf 3.4). Hieraan nemen partijen deel zoals Qualcomm, Samsung en Nokia. Enkele, reeds in LTE Release 13 gestandaardiseerde functies voor OOV-gebruikers zoals groeps gesprekken, noodoproepen, *mission critical (MC) push-to-talk*, Isolated E-UTRAN Operation for Public Safety (IOPS) zijn ook interessant voor bepaalde militaire toepassingen. Release 14 voegt hier nog aan toe groepsberichten, het delen van statusinformatie (beide aangemerkt als MC data) en video calls (aangegeven als MC video, ook binnen een groep). Mogelijk worden hier met de komst van 5G nog meer functionaliteiten aan toegevoegd.

Net zoals er LTE-in-a-Box-apparatuur is voor bijvoorbeeld *disaster relief* toepassingen, zo mag verwacht worden dat ook 5G-in-a-box op de markt gaat komen waarmee het perspectief biedt voor militair gebruik tijdens expeditionaire missies. Zo bestaan er vanuit de universitaire wereld voorstellen voor de ontwikkeling van in drones ondergebrachte 5G-units die vanuit minstens circa 20 km hoogte snel geschakelde zogenaamde downlink *pencil beams* kunnen realiseren naar gebruikersterminals op aarde.^{32,33} Deze automatisch instelbare richtantennes zullen zorgen voor een natuurlijke beperking van de elektromagnetische uitstraling in andere richtingen dan de gewenste, waardoor meerdere cellen, en daarmee meer capaciteit kan worden geleverd maar die tevens een intrinsieke mitigatie is tegen 'afluisteren', opzettelijk storen en manipulatie. Ook Google is met hun projecten *SkyBender*³⁴ en *Loon*³⁵ op het terrein van respectievelijk *drone- en balloon-mounted cellular* actief of actief geweest. Hierbij is het doel om met (cellulaire) netwerkelementen aan boord van UAVs en/of ballonnen Internet te ontsluiten naar gebieden waar dit nog niet of beperkt het geval is. Gezien de grote hoogten en de door de FCC opgedrongen vergunningsvrije frequentie van minimaal 71 GHz, heeft het *SkyBender*-initiatief voor 5G niet kunnen werken. De visie zou met een andere dimensionering wellicht in dit opzicht wel uitvoerbaar kunnen zijn. Zo werkt project *Loon* op UHF- en SHF-frequenties (en op basis van 4G).

Een laatste voor expeditionaire toepassing interessant aspect van 5G wordt gekenmerkt door de beschikbaarheid van meerdere *Radio Access Technologies (RATs)* zoals mMIMO die de 3D-bundelvorming met *pencil beams* mogelijk maakt, *non-contiguous channel bonding* ofwel *carrier aggregation* en wellicht ook, op termijn, een vorm van cognitieve radio: een programmeerbare radio die volgens een bepaalde *policy* automatisch beschikbare kanalen detecteert, gebruikt en weer vrijgeeft.

3.4 Openbare Orde en Veiligheid

In deze paragraaf zal eerst in zeer kort bestek worden ingegaan op de huidige situatie, inclusief recente ontwikkelingen, rond communicatie voor Openbare Orde en Veiligheid (OOV). Daarna wordt aangegeven wat 5G kan betekenen om de huidige situatie te verbeteren.

³² <https://arxiv.org/pdf/1707.02041.pdf>

³³ <http://ieeexplore.ieee.org/document/7805720/>

³⁴ <https://www.theguardian.com/technology/2016/jan/29/project-skybender-google-drone-tests-internet-spaceport-virgin-galactic>

³⁵ <https://www.google.com/loon/>

3.4.1 *Huidige stand van zaken rond OOV-communicatie*

In Paragraaf 3.3 is opgemerkt dat 3GPP voor 4G specifiek op het gebied van OOV LTE-standaardisatie heeft gepleegd. In tegenstelling tot defensie is OOV vrijwel uitsluitend een binnenlandse aangelegenheid en werkt men hooguit in grensgebieden samen met partners. Wel is bij grootschalige rampen samenwerking over de landsgrenzen mogelijk; specifiek is het *air-ground-air* helikopter-netwerk Europees geharmoniseerd.

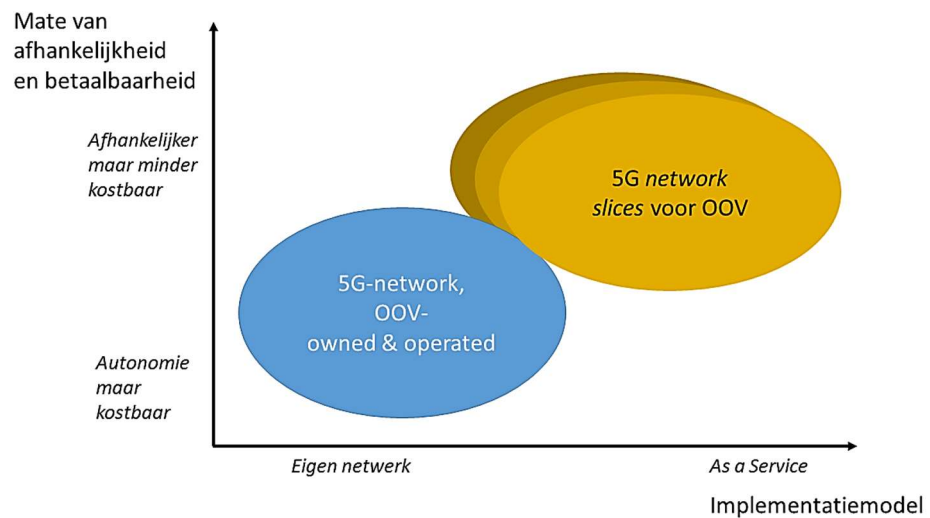
Er bestaat dus geen *out-of-area* optreden als *core business* zoals bij defensie. Omdat het reguliere 'inzetgebied' goed is gedefinieerd voor OOV kunnen hier de missie-kritische communicatiemiddelen geheel op worden afgestemd. De OOV-discipline heeft zoals defensie eenzelfde behoefte aan betrouwbare en robuuste communicatie met hoge graad van beschikbaarheid. Dit rechtvaardigde in ons land tot voor kort een eigen, relatief zeer kostbare communicatie-infrastructuur: C2000, gebaseerd op de TETRA-standaard. Wederom zoals bij defensie speelt bij OOV ook een (her)oriëntatie op commerciële telecommunicatietechnologie als vervanger van- of middel naast de eigen infrastructuur. Daarbij is het uiteraard gunstig dat de standaardisatie van 4G al rekening met OOV is gaan houden. Het voordeel van *economies of scale* dat 4G biedt heeft is onder meer erkend in Zuid-Korea, Groot-Brittannië en de Verenigde Staten. In de twee laatste landen heeft dit al geleid tot operationele toepassing van 4G-technologie in respectievelijk ESN (Emergency Services Network, op 800 MHz) en FirstNet (op 700 MHz). Binnen Europa zal in Groot-Brittannië ESN binnenkort zelfs operationeel zijn als vervanger van hun *dedicated* infrastructuur. Zoals in Paragraaf 3.3 reeds opgemerkt, is de verwachting dat met 5G de standaardisatie en toepassingen voor de OOV-sector niet beëindigd zullen zijn. Daarnaast is de huidige markt voor missie- en bedrijfskritische mobiele datacommunicatie klein en bovendien verzadigd.³⁶ De moderne generatie commerciële mobiele netwerken (4G en te zijner tijd 5G) lijken belangrijk aan terrein te winnen maar in het geval van OOV moet beslist worden opgemerkt dat momenteel nog geen algemene voorkeur bestaat voor de realisatiestrategie: eigen netwerk (*make*) versus het inhuren van capaciteit van mobiele operators (*buy*). Steeds meer manifesteert zich de *vertical* service provider. Afgezien van het realisatiemodel zal met 4G toegang tot OOV-spectrum moeten worden verkregen, al dan niet op basis van *spectrum sharing*.³⁷ Internationale consensus over geharmoniseerd OOV-spectrum is echter nog steeds niet bereikt.

3.4.2 *5G-perspectief voor OOV*

Het gebrek aan overeenstemming rond geharmoniseerd spectrum wordt wellicht minder van belang als op nationale basis in 5G door *network slicing* een virtueel netwerk voor OOV kan worden gerealiseerd (zie Figuur 14). Indien 5G-gebruiksapparatuur op *slicing* en de overeenkomstige flexibiliteit is ingesteld, zal geharmoniseerd OOV-spectrum in principe ook geen must meer hoeven zijn voor het drukken van de prijs van cellulaire OOV-apparatuur en opereren in de grensgebieden.

³⁶ Verbinding, juli 2017, pp.10-11

³⁷ Verbinding, juni 2017, p. 26



Figuur 14: Principiële realisatiemogelijkheden van 5G-netwerkkapaciteit voor OOV

Zoals in Paragraaf 2.2.2 gesteld, kan een *network slice* immers gekoppeld zijn aan meerdere RAN slices en binnen een slice is het weer mogelijk om een QoS-gebaseerde differentiatie te bewerkstelligen tussen gebruikers of diensten. Zo wordt het dus in 5G bijvoorbeeld mogelijk om hoge-resolutie streaming video binnen een groep politiefunctionarissen uit te wisselen met een gegarandeerde vertraging en -aflevering. Het enige, drijvende criterium is de SLA voor de gewenste eind-eind dienst. Om dit in 5G te realiseren is uiteraard de grote uitdaging.

Er zijn meerdere applicaties te identificeren die voor OOV door 5G mogelijk worden gemaakt.³⁸ Dit zijn onder meer hoge-definitie (HD) streaming video via een *body cam*, Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS) ten behoeve van alarmeringen voor burgers en meerdere waarin juist tijdigheid van belang is zoals directe, gegarandeerde toegang tot data bases, drone communicatie (afstandsbediening maar ook het ontvangen van de video datalink), et cetera. Tenslotte wordt de ondersteuning van betrouwbare, binnen OOV-diensten interoperabele en veilige *push-to-talk* spraak van het eerste belang geacht. *Last but not least* is in het algemeen de belofte van 5G om uitstekende beschikbaarheid, met name bij noodsituaties, te leveren van uiterst belang voor OOV-diensten.³⁹ Hier moet wel bij worden aangetekend dat aanvullende eisen hiervoor benodigd zijn om in de praktijk ook daadwerkelijk deze belofte waar te kunnen maken, met name de garantie voor een ononderbroken stroomvoorziening.

3.5 Consumenten

In ons dagelijks leven verwerken we via alle apparaten die zijn verbonden met het internet enorme hoeveelheden gegevens. Geschat wordt dat er in 2020 26 miljard apparaten aangesloten zullen zijn en 70 procent van de mensen een smartphone zullen hebben. Dit alles betekent dat grote hoeveelheden data verzonden worden via een groot aantal gelijktijdige verbindingen. 5G is essentieel om ervoor te zorgen dat wij in de toekomst, ook als consumenten, kunnen blijven communiceren wanneer miljarden apparaten zoals laptops, tablets, smartphones, audiovisuele

³⁸ <http://www.aglmediagroup.com/why-public-safety-communications-needs-5g/>

³⁹ https://tandcca.com/fm_file/4g-and-5g-for-public-safety-pdf/

units, koelkasten, beveiligingscamera's en auto's permanent aangesloten zullen zijn. Het gaat daarbij dus niet alleen om specifieke en 'conventionele' elektronische apparatuur maar ook om consumentenapparatuur die voorheen nog niet met internet verbonden was. De volgende consumententoepassingen zijn denkbaar:

eHealth at home: hierbij worden op afstand vitale lichaamswaarden van patiënten (bloeddruk, hartslag, ademhaling) geobserveerd (zie ook Paragraaf 3.6). Hier is vooralsnog IoT via 5G voorzien als zinvolle *enabler*.

Smart home/ connected home: deze toepassing betreft het op afstand bedienen van thermostaat, rookmelder, koelkast, gordijnen, camera's en andere apparatuur. Deze toepassing is al actueel maar verwacht mag worden dat met de beschikbaarheid van 5G-IoT en 5G bandbreedte-intensieve diensten zoals bewegende beelden met hoge resolutie, smart home steeds gangbaarder zal worden. Uiteraard is de beveiliging van deze diensten daarvoor een absolute randvoorwaarde.

Entertainment: dit gebied binnen consumententoepassingen is voor wat betreft de groei van het dataverkeer een zeer invloedrijke. 5G biedt met name hogere bandbreedte en lagere vertragingen aan apparaten die al verbonden zijn met internet. Nu zijn dit smartphones, tablets en (smart) TVs, maar in de nabije toekomst ook apparaten voor *Augmented Reality* (AR) en *Virtual Reality* (VR; zie ook Paragraaf 3.6), de zogenaamde *Head Mounted Displays* (HMDs, zie Figuur 15).



Figuur 15: Een veelheid aan Head Mounted Displays voor Augmented Reality en Virtual Reality is al enige jaren beschikbaar voor de consument

Door 5G zal het gebruik van video en data-intensieve apps en diensten toenemen, thuis of elders- ook op drukke plekken. Te denken valt aan:

- **Ultra high fidelity media:** dit is het downloaden of streamen van videobeelden met ultrahoge resoluties. De technische kenmerken daarvan zijn:
 - minimaal 4K resolutie (3840x2160 pixels);
 - hoge frame snelheden (circa 60-120 Hz);
 - hoog contrast, de zogenaamde High Dynamic Range (HDR), waarbij een kleurcomponent gedefinieerd wordt in 10 bits of hoger en
 - een grote kleuruimte.

Deze videobeelden worden de consument aangeboden op grote TV-schermen aangeduid met Ultra High Definition (UHD) TV-schermen, op tablets met 4K resoluties of VR-brillen. Audio komt beschikbaar in 3D-formaten (Ambisonics of meerkanaals-audio zoals de Hamasaki 22.2 deelstandaard). Voor het

streamen van dergelijke beelden en audio zijn verbindingen nodig van minimaal 20 Mbit/s. Met name VR-toepassingen vereisen bovendien een extreem lage *motion-to-photon latency* (de tijd die nodig is om het effect van de beweging van een VR-gebruiker op een scherm zichtbaar te maken). Juist ook vanwege deze strenge vertragingseis is 5G als *enabler* dus zeer relevant.

- **User generated content:** het zelf distribueren van beelden in High Definition (HD) kwaliteit of hoger, met name via smartphones en *action cams*. Met de opkomst van *Crowdsourced Live Mobile Streaming* systemen zoals Periscope en Facebook Live zal het opnemen en delen van persoonlijke ervaringen middels video flink toenemen. Daarnaast zullen steeds meer audiovisuele sensoren in verbinding staan met het internet en video uploaden en upstreamen naar systemen die zich in de *cloud* bevinden.
- **Six-Degrees-of-Freedom interactive Extended Reality (6DoF XR):** over het gehele spectrum van augmented, mixed en VR zullen nieuwe mediaformaten een rol spelen die de kijker overweldigende en meeslepende, c.q. immersieve 3D-ervaringen kunnen geven. 3D of zogenaamde volumetrische videoformaten (zoals *lightfields*, *point clouds* en *3D meshes*) maken het mogelijk om *telepresence* en interactieve AR- en VR-diensten aan te bieden. Hierbij kan de eindgebruiker als het ware “om de beelden heen” kijken en zelfs bewegen. De bandbreedte die gepaard gaat met deze nieuwe mediaformaten is vele malen hoger dan die van huidige en toekomstige 2D-(U)HD video. Hier is zeker op termijn ondersteuning door 5G zeer wel denkbaar.
- **Connected event sites:** grote evenementlocaties, zoals bioscopen, sportstadions en parken worden in toenemende mate uitgerust met 5G-infrastructuur. Daarmee kan in en op die locaties een nieuwe beleving worden aangeboden op de apparaten die bezoekers meebrengen. Denk hierbij aan het terugkijken van videobeelden van goals op een smartphone in een voetbalstadion, het kiezen uit verschillende camerabeelden of ondertiteling bij een wedstrijd, het inzoomen op de artiest ver weg op het podium, et cetera.
- **Collaborative gaming:** *gaming* beweegt toe naar een overweldigende, volledig ‘immersieve’ ervaring, waarbij de betrokkenheid van de speler in het spel en de spelomgeving optimaal is. Dit wordt bereikt door gebruik van meerdere (U)HD-videoschermen of door VR-brillen en zogenaamde *caves*. Daarnaast zal AR vooral op mobiele apparaten een nog grotere rol spelen. Zowel het simultane aantal gebruikers als de locaties waar gebruikers deelnemen kunnen met 5G vergroot worden. Doordat de interactievertraging zeer kort wordt, zijn geavanceerdere games mogelijk. De benodigde grafische rekenkracht om (U)HD-beelden op mobiele apparaten weer te geven, kan vanuit de (gedistribueerde) *cloud* geleverd worden.



Figuur 16: Head Mounted Display ten behoeve van Virtual Reality-testen [bron: TNO]

Hoewel misschien net buiten het bestek van de toepassingssector *consumers*, is **cooperative and virtualized media production** op zijn minst aanpalend. Hierbij kan de (semi-)professionele productie van media gebruik maken van camera's en microfoons die zijn uitgerust met een 5G-verbinding. Daarmee kan opname op locatie eenvoudiger plaatsvinden. De opgenomen media worden vervolgens in een virtuele regiekamer die in de *cloud* gehost wordt, verder bewerkt. Tevens wordt het mogelijk om de opname en regie vanuit verschillende plekken te laten plaatsvinden. Het gebruik van de zogenaamde *outside broadcast* voertuigen is daarmee overbodig geworden.

Een andere toepassing die overlapt met de toepassingssector *consumers* is **smart cars/ automotive**: het ondersteunen van (in casu) personenvoertuigen ter bevordering van het comfort en veiligheid van de inzittende(n). Hier wordt nog mondiaal veel onderzoek naar gedaan maar het zal mede door de juridische aspecten nog langere tijd duren voordat geheel autonome voertuigen het straatbeeld beheersen.⁴⁰

Juist voor consumenten (diverse entertainment-toepassingen) is convergentie van 5G met de vaste infrastructuur van belang. Deze convergentie vindt plaats als 5G draadloze toegang en bekabelde toegangsnetwerken hetzelfde 5G *core network* (5GCN) delen zoals in Paragraaf 2.2.1 beschreven. Met de introductie van *massive MIMO* (zie Paragraaf 2.2.3.4) zal de *throughput* van 5G draadloze toegang nog dichter bij die van bekabelde netwerken komen. In eerste instantie zal convergentie aanvangen met de evolutie van draadloze netwerken naar een *centralised* RAN. Na verloop van tijd zal dit een NG-RAN worden waarbij rekenintensieve basisband-functionaliteit naar de randen van het netwerk wordt verplaatst zoals beschreven in Paragraaf 2.1.

⁴⁰ Gartner Hype Cycle, juli 2017

3.6 Ouderenzorg

De ouderenzorg is met regelmaat onderwerp in de media omdat de nog toenemende vergrijzing een groot probleem vormt dat steeds meer voelbaar wordt. In het algemeen kan in Nederland hier nog niet kwalitatief en kwantitatief voldoende zorgverlening tegenover worden gesteld. Omdat steeds meer mensen zorg en ondersteuning krijgen, blijven de kosten stijgen terwijl de overheid de gezondheidszorg voor iedereen goed, betaalbaar en toegankelijk wil houden. Eveneens wordt ernaar gestreefd om de zorg voldoende aan te laten sluiten op wensen en mogelijkheden en de toenemende trend om ouderenzorg terug te dringen. Voor ouderen betekent dit zo lang mogelijk zelfstandig zijn en wonen, het liefst thuis of anders 'elders', bij voorkeur in de eigen wijk of buurt. In deze paragraaf beschouwen we zowel ouderenzorg in de thuisomgeving als in specifieke zorgomgevingen zoals verpleeghuizen, woonzorgcentra en revalidatiecentra.

3.6.1 *Algemene aspecten van de ouderenzorg*

Al met al is de ouderenzorg complexer geworden en beslaat diverse aspecten, waaronder:

1. politieke,
2. sociale,
3. organisatorische (beleid),
4. uitvoerende,
5. juridische,
6. ethische.

Het is niet de bedoeling om in deze paragraaf specifiek in te gaan op ieder aspect maar wel om eventuele kenmerkende belemmeringen te onderkennen om in de volgende paragraaf te verkennen of ontwikkelingen rond 5G mobiele technologie iets zou kunnen betekenen in de bestrijding hiervan. Het inzetten van technologie in zijn algemeenheid als één van de kostenbesparende interventies die ouderen in hun behoeften ondersteunen is overigens een mondiale trend.⁴¹ Vooral de huidige implicaties en die op korte termijn zijn te voorzien zijn hierbij interessant, waarbij niet de pretentie bestaat per se een volledig beeld te geven.

Ad 1: Sinds 1 januari 2015 is de zorg wettelijk veranderd en geregeld in vier wetten, waaronder de Wmo (Wet Maatschappelijke Ondersteuning). Zonder op deze wetgeving in te gaan, kan gesteld worden dat men zich meer dan voorheen de vragen moet stellen: wat heb ik nodig, wat kan ik zelf, wat kan ik betalen en wie uit mijn omgeving kan mij helpen? Ook voor de ouderenzorg betekent dit meer zelfredzaamheid, initiatief en anticiperen op een (mogelijk) toekomstige situatie. Specifiek biedt de Wmo mogelijkheden voor de financiering van domotica-oplossingen door gemeenten voor onder meer thuiswonende ouderen.

Ad 2: Hierbij valt onder meer te denken aan bestrijding van de eenzaamheid van ouderen en van het (gemis aan) persoonlijke benaderingswijze door instanties en zorgpersoneel en tenslotte de betrokkenheid of participatie van de omgeving (waaronder mantelzorg).

Ad 3: Onderlinge verschillen in de ervaren kwaliteit van de ouderenzorg kunnen groot zijn. De vraag dringt zich dan ook op of dit misschien (mede) samenhangt met het uitvoeringsbeleid van de zorginstantie, bijvoorbeeld hoe omgegaan wordt met bezuinigingen, het beleid t.a.v. personeel (aanneem, motivatie), inrichting van

⁴¹ <http://3bplus.nl/de-veranderende-ouderenzorg/>

processen en procedures- ook als gevolg van wetgeving, personeelsregels, et cetera.

Ad 4: Het gaat hier vooral om de grote belasting die zorgpersoneel vaak ondervindt. Meer dan eens vertalen bezuinigingen zich naar personeelsreducties. Dit betekent in de praktijk vaak een toename van de werkdruk, zelfs 'meer met minder personeel'.

Ad 5: de juridische spelregels, vooral wie wanneer voor wat verantwoordelijkheid draagt, zijn niet altijd duidelijk. Deelaspecten zijn veiligheid, privacy en samenwerking. Vooral wettelijke regels rond privacy staan soms op gespannen voet met het belang van de oudere.

Ad 6: Hierbij moet worden gedacht aan de euthanasiediscussie; de kwaliteit van leven centraal stellen boven het verhogen van de leeftijd.

3.6.2 *De mogelijke rol van 5G*

In deze paragraaf zal de mogelijke rol, c.q. eventuele toegevoegde waarde van 5G bij de ouderenzorg-aspecten worden beschouwd aan de hand van waargenomen nationale en internationale toepassingsverwachtingen en -trends, aangevuld met eigen voorstellen. Deze trends kunnen ook algemeen zijn, maar in dat geval zijn het oplossingen die bij uitstek eveneens van toepassing zijn op ouderenzorg.

In Nederland wordt in het experimentproject 5Groningen (zie Paragraaf 2.4) specifieke aandacht besteed aan 5G voor ouderenzorg. Juist in plattelandsomgevingen waar de bevolking uitdunt, verschaalt de zorg in het algemeen en dus ook de zorg voor ouderen.

Gedacht wordt aan de volgende concrete oplossingen⁴²:

- Het virtuele verzorgingshuis
Bij deze oplossing is het de bedoeling dat mensen thuis bepaalde zorg op afstand kunnen ontvangen en daardoor langer thuis kunnen blijven wonen. Deze doelstelling staat dus vooral in verband met het aspect 'politiek'. Te denken valt aan het volgende, waarvan het merendeel via 5G IoT-oplossingen is te realiseren:
 - Bewaken van het voldoende nemen van voedsel en drinken. Dit zou in het simpelste geval kunnen met sensoren op de koelkastdeur. Ook is het denkbaar dat binnen de koelkast nog sensoren zijn aangebracht die onderscheid kunnen maken tussen de verplaatsing van etenswaren en drinken;
 - Een toilet dat is uitgerust met sensoren waardoor het toiletgebruik wordt bijgehouden. In een gevorderd stadium zouden andere 'slimme' sensoren diagnostiek kunnen toepassen en bijvoorbeeld een blaasontsteking kunnen vaststellen;
 - Automatische personenalarmering met de mogelijkheid om informatie over de status en de oudere en de directe omgeving door te kunnen geven, eventueel via beelden en andere sensorinformatie. Het gaat hier dus om een combinatie van alarmering en diagnose op afstand. Dit laatste is juist voor ouderen gewenst, die zoveel mogelijk ontzien moeten worden van (uitsluitend) het telefonisch moeten weergeven van klachten en de historie daarvan;

⁴² <https://nos.nl/artikel/2151918-5g-moet-zorg-in-krimpgebied-op-peil-houden.html>

- Bewaken of medicatie op tijd wordt genomen en wellicht ook verifiëren of dit ook daadwerkelijk heeft plaatsgevonden.
- **Diagnose op afstand in de ambulance**
Deze zorgtoepassing is algemeen van aard maar zal zeker juist voor ouderen van toepassing zijn. Dit betreft het tijdens een ambulancerit naar het ziekenhuis scannen van een patiënt. De qua informatie omvangrijke CT (computertomografie)-scan kan vervolgens via 5G vanuit deze ambulance worden verzonden naar het ziekenhuis. Deze CT-scans zijn enkele gigabits groot. Zelfs met specifieke coderingstechnieken voor CT-scans blijven deze in de orde van 1 gigabit. In het ziekenhuis kan de scan deskundig worden beoordeeld zodat een eventuele operatie tijdens het aanrijden van de ambulance al gericht kan worden voorbereid. Dit idee maakt geen gebruik van (cellulaire) IoT maar van de combinatie van lage vertraging en de grote individuele *throughput* die met 5G beoogd wordt (in casu eMBB via mobiele SATCOM).

Bij beide oplossingen is het juridische aspect van belang, vooral voor de privacy en veiligheid omdat het vaak gaat om het verzenden van persoonsgebonden informatie. Vooral ook dit aspect zal dus goed afgedekt moeten worden bij de realisatie van operationele systemen.

Verder kan worden gedacht aan de volgende toepassingen:

- Het **monitoren op afstand** van specifieke zorggevallen in zorginstellingen. Het gaat hier om ouderen die vaak verward zijn, bijvoorbeeld omdat zij lijden aan dementie of aan een delirium na een operatie. Deze ouderen kunnen daardoor impulsief gedrag vertonen waarbij zij in eerste instantie voor zichzelf een gevaar kunnen vormen. Het is van belang via monitoring, eventueel ondersteund via alarmeringssensoren, direct inzicht te krijgen in wat er gebeurt om indien nodig tijdig en accuraat in te kunnen grijpen. Deze toepassing beoogt effectief de werklast voor uitvoerend zorgpersoneel te reduceren is daarom gerelateerd aan de organisatorische en uitvoeringsaspecten. Uiteraard is ook hier het privacy-aspect aan de orde.

Voor de langere termijn zijn denkbaar:

- **Live-in robots** voor ouderenzorg. Het Italiaanse BioRobotics Institute werkt in samenwerking met Ericsson⁴³ aan een 5G-robotconnectie om complexe diensten te implementeren en de robots te 'leren' om nieuwe objecten te herkennen en complexe taken uit te voeren zoals het assisteren van ouderen op instructie van de arts. Door de tweewegs audio-visuele *teleconferencing* voorziening van de robot kunnen het verpleegkundig personeel en de oudere (patiënt) interacteren en zo gemakkelijk en natuurlijk informatie delen. Deze toepassing houdt verband met de organisatorische en vooral uitvoeringsaspecten;
- **Telepresence** voor ouderen. Het gaat hier om het vergroten van het welzijn van ouderen door via 5G virtueel, in 3D toegang te krijgen tot locaties, evenementen en dierbaren waar men anders niet gemakkelijk kan komen. Uiteraard is deze toepassing vooral gerelateerd aan het sociale aspect en eigenlijk te beschouwen als *technology for all* (zie ook Paragraaf 3.5).

⁴³ <https://www.ericsson.com/en/networked-society/innovation/5gtuscany/transforming-healthcare-with-5g>

4 Tot besluit

Voor eventuele vragen of opmerkingen naar aanleiding van deze Monitor Draadloze Technologie kunt u contact opnemen met TNO, via e-mail adres 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-mail adres, of met één van de auteurs van dit rapport.