

TNO PUBLIEK

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 2022 P12274 | Eindrapport

Monitor Draadloze Technologie Najaar 2022



Datum	december 2022
Auteur(s)	Ir. R. Overduin; Dr. A.V. Pais; Dr. H. Zhang
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	41 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Projectnaam	Monitor Draadloze Technologie 2022
Projectnummer	060.51024

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.

© 2022 TNO

TNO PUBLIEK

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	De Monitor Draadloze Technologie	3
1.2	Het 'draadloos speelveld'	3
2	Stand van zaken rond 3GPP-standaardisatie	5
2.1	Overzicht 3GPP-planning	5
2.2	Release 18.....	6
3	Aanbod en gebruik van 5G in Nederland	12
3.1	Huidige commerciële 5G-dekking.....	12
3.2	Huidige beschikbaarheid van 5G-apparatuur en groeiverwachtingen	14
3.3	Opkomende 5G-toepassingen.....	15
3.4	De 3,5 GHz en 26 GHz-banden voor 5G.....	15
3.5	Wereldwijde trends en verwachtingen voor Nederland	17
4	Mobiele communicatie op de agenda van de Wereld Radiocommunicatie Conferentie 2023.....	18
4.1	Inleiding	18
4.2	Toelichting op agendapunten	19
5	Draadloze systemen voor Programme Making & Special Events	22
5.1	Inleiding	22
5.2	Spectrum-regelgeving voor draadloze PMSE-apparatuur.....	24
5.3	Huidige standaarden voor draadloze apparatuur voor PMSE-gebruik.....	27
5.4	Tendensen op het gebied van draadloze PMSE-systemen en verwachtingen.....	28
6	Draadloos opladen van voertuigen.....	32
6.1	Inleiding	32
6.2	Globale werking van inductieladen	33
6.3	Actieve partijen	37
6.4	Mogelijke technische risico's	39
6.5	Conclusies en toekomstverwachting	40
7	Tot besluit.....	41

1 Inleiding

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

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

1.1 De Monitor Draadloze Technologie

Met de Monitor Draadloze Technologie (kortweg 'de Monitor') 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 Draadloze Technologie tracht diverse doelgroepen te bedienen bij overheid en bedrijfsleven in Nederland. Dit impliceert 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 gekozen voor de schriftelijke rapportagevorm om de informatie te ontsluiten. Deze bestaat uit twee (halfjaarlijkse) edities waardoor beter kan worden aangesloten op recente trends en ontwikkelingen:

- Een overzicht van ontwikkelingen vanuit voornamelijk technologisch perspectief. Per technologie wordt kort de stand van zaken beschreven. Dit wordt gedaan in de voorjaarseditie;
- Een editie die met name gaat over een aantal thema's, trends en toepassingen van draadloze communicatietechnologie. Dit is de zogenoemde najaarseditie, de editie die u nu leest.

TNO hecht eraan te benadrukken dat de Monitor 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 een specifieke lezer zeer relevant zijn, niet worden beschreven. TNO staat open voor suggesties of aanbevelingen voor verdere verbeteringen.

1.2 Het 'draadloos speelveld'

Sinds enige jaren is 5G als de nieuwe generatie mobiele communicatietechnologie volop in (figuurlijke) beweging. Het gaat dan niet alleen om de ontwikkeling van de standaardisatie zoals in Hoofdstuk 2 zal worden behandeld maar ook om de toenemende commerciële beschikbaarheid van 5G-apparatuur, zowel voor de gebruikers als voor de providers. Hoofdstuk 3 adresseert dit aanbod, zowel uit mondiaal als uit nationaal perspectief. De eerstvolgende 5G-implementatiestap is de introductie van de zogenoemde *standalone mode* waarbij 5G-systemen niet langer van 4G-netwerkelementen gebruik maken maar waarbij ook het netwerkdeel op 5G is gebaseerd. Wanneer ook het benodigde spectrum beschikbaar zal zijn, komt de weg vrij naar de realisatie van de eerder geschetste vooruitzichten van 5G.

Voor de nabije toekomst is de komende Wereld Radiocommunicatie Conferentie (WRC) in 2023 van belang. Hier worden voor de komende vier jaren afspraken gemaakt rond de bestemming van spectrum voor diverse systemen, zo ook voor mobiele communicatie. In Hoofdstuk 4 wordt specifiek dit laatste besproken. Van oudsher vormt communicatieapparatuur ten behoeve van Programme Making & Special Events (PMSE) een speciale systeemcategorie die in Hoofdstuk 5 worden behandeld in relatie tot de PMSE-discipline en recente en actuele spectrum-issues.

Vanuit de actuele thema's duurzaamheid en mobiliteit is dit jaar in Hoofdstuk 6 van deze Monitor-editie de nodige aandacht voor het onderwerp draadloos opladen van voertuigen.

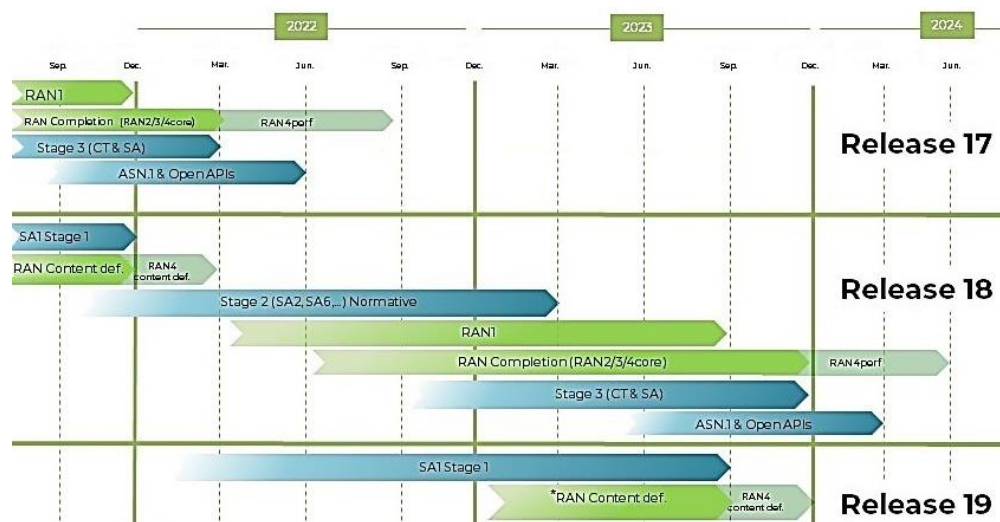
2 Stand van zaken rond 3GPP-standaardisatie

Dit hoofdstuk geeft in kort bestek de stand van zaken rond 3GPP-standaardisatie van mobiele netwerken. De meeste activiteiten van 3GPP hebben sinds het afgelopen jaar betrekking op Release 18. Na een overzicht van de tijdplanning zal de inhoud van deze Release dan ook onderwerp zijn van de tweede paragraaf.

2.1 Overzicht 3GPP-planning

3GPP heeft de standaardisatie van Release 17 in juni 2022 voltooid¹. Dit is in overeenstemming met de tijdlijn zoals in de Monitor najaarseditie van 2021 aangegeven². Er is een vertraging van zes maanden opgetreden in vergelijking met het oorspronkelijke plan van 3GPP vanwege de impact van COVID-19. In plaats van fysieke vergaderingen zijn online-vergaderingen gehouden; de eerste fysieke vergadering na COVID-19 staat pas gepland voor november 2022. De inhoud van Release 17 blijft zoals gedefinieerd in december 2019 en geadresseerd in de Monitor najaarseditie van 2020³.

Figuur 1 geeft de huidige 3GPP-tijdlijnen weer (starttijden zijn indicatief)⁴.



Figuur 1: 3GPP-tijdlijnen voor Release 17, Release 18 en de initiële stappen voor Release 19 [bron: 3GPP, aangepast]

Zoals opgemerkt, richt 3GPP zich nu op Release 18⁵, de eerste release van 5G-Advanced. Volgens het huidige plan zal Release 18 in december 2023 worden bevroren. Tegelijkertijd worden in de 3GPP SA1-groep enkele eerste onderzoeken voor Release 19 gedaan. Hierbij worden mogelijke nieuwe of verbeterde diensten uitgewerkt⁶ en worden geen netwerkaspecten beschouwd. Activiteiten van 3GPP voor 6G worden pas 2024-2025 verwacht.

¹ <https://www.3gpp.org/release-17>

² TNO 2021 R11851, december 2021, pagina 25

³ TNO 2020 R11669, november 2020, pagina's 11 en 12

⁴ https://www.3gpp.org/images/PDF/Release_timeline_march22_v3.pdf

⁵ <https://www.3gpp.org/release18>

⁶ <https://www.3gpp.org/DynaReport/TSG-WG--s1--wis.htm>

2.2 Release 18

Een jaar geleden hebben we in de Monitor najaarseditie van 2021 *mogelijke* onderwerpen voor 5G Release 18 gemeld, gebaseerd op 3GPP-discussies op dat moment. In december 2021 zijn besluiten genomen over meer concrete functies in Release 18. Vanuit het perspectief van draadloze communicatie kunnen de voornaamste functionaliteiten in Release 18 in vijf groepen worden onderverdeeld die in hiernavolgende paragrafen zullen worden toegelicht⁷.

2.2.1 Verder verbeterde 5G-prestaties

- *Netwerkenegie-besparing voor 5G New Radio (NR)*. De huidige studie op dit gebied heeft tot doel om een model van het netwerkenegieverbruik te definiëren voor een basisstation, om een evaluatiemethodologie te ontwikkelen en om *Key Performance Indicators* (KPI's) vast te stellen. Vervolgens zullen technieken onderzocht worden om de energiebesparing van het netwerk te verbeteren in gerichte implementatiescenario's, uiteindelijk om de operationele kosten (OPEX: Operational Expenses) van het netwerk te besparen;
- *Nadere vergroting van NR-dekking*. In Release 17 had 3GPP technieken toegevoegd om de uplink-dekking uit te breiden voor het fysieke gedeelde uplink-kanaal (PUSCH: Physical Uplink Shared Channel) en het fysieke uplink-controlekanaal (PUCCH: Physical Uplink Control Channel). In Release 18 is 3GPP van plan om de dekking van het fysieke *random* toegangskanaal (PRACH: Physical Random Access Channel) te verbeteren en technieken te bestuderen om de vermogenslimiet van UE (User Equipment) voor carrier-aggregatie (CA) en dubbele connectiviteit (DC: Dual Connectivity) te verhogen en het maximale vermogen of de *peak-to-average-power* te verminderen. Daarnaast zal dynamisch schakelen tussen twee vormen van Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)⁸ in de uplink worden bestudeerd;
- *Verdere mobiliteitsverbeteringen voor NR*. Wanneer een UE zich beweegt van het dekkingsgebied van de ene cel naar dat van een andere cel van dezelfde operator wordt een overdrachtsproces (*handover*) gestart om de *serving* cel voor de UE te veranderen. Deze verandering speelt zich af op OSI-lagen 1 (L1) en 2 (L2) en is momenteel gebaseerd op metingen op ISO-laag 3 (L3) en op Radio Resource Control (RRC)-signalering. Om de relatief aanzienlijke latentie, overhead en onderbrekingstijd die gepaard gaan met een dergelijk L3-gebaseerd mobiliteitsbeheer te verminderen, introduceert 3GPP Release 18 mechanismen en procedures voor snellere L1/L2-gebaseerde mobiliteitsbeheer.

Een ander belangrijk onderwerp van Release-18 is het verder verbeteren van de ondersteuning van *conditional handover*. Hierbij ontvangt de UE een handover-opdracht met een voorwaarde van het netwerk. De opdracht wordt niet uitgevoerd totdat aan deze voorwaarde is voldaan;

- *Ontwikkeling van MIMO in NR voor de downlink en uplink*. Mogelijke wijzigingen in de rapportage van kanaalstatusinformatie (CSI: Channel State Information) zullen worden onderzocht om de prestaties voor UE met gemiddelde of hoge mobiliteit in Multi-User Multiple Input, Multiple Output (MU-MIMO)-scenario's te verbeteren. Om speciale UE's waaronder Customer Premise Equipment (CPE) en UE's voor voertuigen beter te ondersteunen, zal

⁷ https://www.3gpp.org/images/PDF/Release_18_features_tsg95_v03.pdf

⁸ cyclic-prefix orthogonal frequency division multiplexing (CP-OFDM) en Discrete Fourier Transform-spread OFDM (DFT-S-OFDM)

de ondersteuning van acht antennepoorten per gebruiker in uplink en gelijktijdige multi-panel uplink-transmissie worden onderzocht (opmerking: er zijn meerdere antennepanelen geïmplementeerd in een UE. De UE kan schakelen tussen deze panelen of meerdere panelen gelijktijdig gebruiken);

- *Uitbreiding van NR multicast en broadcast services (MBS)*. 3GPP heeft de basisondersteuning voor MBS gespecificeerd in Release 17. Hierdoor werd multicast-transmissie naar UE's tijdens een RRC-verbonden toestand en broadcast-transmissie naar UE's in alle RRC-toestanden mogelijk. Release 18 zal vervolgens:
 - De multicast-ondersteuning uitbreiden naar UE's in inactieve RRC-toestand;
 - Verbeteringen introduceren om UE's in RRC-verbonden toestand in staat te stellen gelijktijdig broadcast- en unicast-verkeer te ontvangen en
 - Mechanismen bestuderen om de *resource efficiency* te verbeteren in scenario's voor het delen van RAN (Radio Access Network), dat wil zeggen waar dezelfde MBS-inhoud wordt geleverd door twee of meer operators die hetzelfde RAN delen);
- *Uitgebreide en verbeterde NR-positionering*. Release 18 zal oplossingen onderzoeken om de nauwkeurigheid, integriteit en energie-efficiëntie bij positionering verder te verbeteren, sidelink-positionering en positioneringsondersteuning voor RedCap (Reduced Capacity)-apparaten te onderzoeken.

2.2.2 *Flexibel spectrumgebruik*

- *NR-ondersteuning voor specifiek spectrum in de sub-6 GHz-frequentiebanden onder 5 MHz*. De minimale kanaalbandbreedte die wordt ondersteund door de huidige 5G NR-Releases (dat wil zeggen tot en met Release 17) bedraagt 5 MHz. In Release 18 zal 3GPP de nodige wijzigingen aanbrengen in NR om spectrumtoewijzingen van minder dan 5 MHz te ondersteunen. Een lagere bandbreedte is gewenst bij het inzetten van 5G in een specifiek spectrum, bijvoorbeeld dat voor de spoorwegcommunicatie in Europa;
- *Uitbreiding van NR Dynamic Spectrum Sharing (DSS)*. DSS is een cruciale 5G-functie waardoor een basisstation gedeeld spectrum kan gebruiken om connectiviteit te bieden met zowel een LTE- als een NR-UE. Dit vergemakkelijkt de migratie van het spectrum van LTE naar NR. In DSS is de capaciteit van het fysieke downlink-besturingskanaal (PDCCH: Physical Downlink Control Channel) een knelpunt omdat NR PDCCH en LTE PDCCH de eerste drie OFDM-symbolen binnen een slot moeten delen en NR PDCCH geen symbolen kan gebruiken die overlappen met het LTE-cel-specifieke referentiesignaal (CRS). Om de PDCCH-capaciteit voor DSS te vergroten, zal 3GPP voor Release 18 de mogelijkheid bestuderen om NR PDCCH te laten verzenden in symbolen die overlappend zijn met LTE CRS;
- *Multi-carrier verbeteringen voor NR*. Om alle beschikbare spectrumblokken efficiënt te gebruiken, introduceert Release 18 een functionaliteit die het mogelijk maakt om meerdere fysieke downlink-gedeelde kanalen (PDSCH's: Physical Downlink Shared Channels) of PUSCH's over carriers te kunnen alloceren op basis van een enkel downlink-besturingsinformatiebericht (DCI: Downlink Control Information) zoals verzonden op het PDCCH-kanaal. Naast verbeteringen voor multi-carrier downlink zal dit ook voor de uplink worden bestudeerd;

- *Ontwikkeling van de NR-duplexmodus.* 3GPP zal voor Release 18 de haalbaarheid bestuderen van het gelijktijdig laten bestaan van downlink en uplink binnen een conventionele TDD (Time Division Duplex)-band. Een conventionele TDD-band aan de basisstation-zijde is verdeeld in niet-overlappende deelbanden: sommige zijn bestemd voor uplink en andere zijn bestemd voor downlink, terwijl de UE kan functioneren in half duplex modus. Bovendien zal voor Release 18 de verwerking van *Cross-Link Interference* (CLI) bestuderen om dynamische TDD in commerciële implementaties beter te ondersteunen.

2.2.3 *Uitbreiding van functionaliteiten van 5G-apparaten*

- *In-Device Co-existence (IDC) voor NR multi-RAT (Radio Access Technology) Dual Connectivity (MR-DC).* IDC is een functie waarmee een UE (bijvoorbeeld een smartphone) aan zijn bedienende basisstation ofwel gNB, kan aangeven dat er een coëxistentieprobleem is in de UE omdat deze gelijktijdig streams wil verwerken die zijn gekoppeld aan respectievelijk een 3GPP en een niet-3GPP RAT zoals Wi-Fi. Dit leidt tot interferentie en veroorzaakt een intern probleem in het toestel. De gNB kan de aangegeven informatie gebruiken om het gebruik van radiocapaciteit te beperken en het interne probleem van de UE te helpen oplossen. De huidige IDC-oplossing in NR heeft beperkte functionaliteit. 3GPP Release 18 zal de functie verbeteren door de UE in staat te stellen de frequenties waarop interferentie optreedt en het gewenste TDD-patroon nauwkeuriger aan te geven;
- *Dual Tx/Rx multi-SIM voor NR.* Sommige telefoons kunnen worden uitgerust met twee onafhankelijke simkaarten. Wanneer de UE slechts met één netwerk is verbonden (stel netwerk A) met behulp van één simkaart kan de nodige hardware van de UE worden toegewezen voor de communicatie met netwerk A. Zodra de UE met behulp van de andere SIM-kaart verbinding begint te maken met een ander netwerk (in casu netwerk B) is niet bekend bij netwerk A dat voor de communicatie via netwerk B ook UE-hardware moet worden gereserveerd. Release 18 stelt de multi-SIM UE in staat om zijn quotum voor netwerk A aan te geven wanneer de UE moet communiceren met netwerk B. Hierdoor wordt voorkomen dat netwerk A de UE onbedoeld overbelast door meer UE-capaciteit te claimen dan UE zelf voor deze communicatie over heeft;
- *Uitbreiding van XR (Extended Reality) voor NR.* Voor Release 17 is een evaluatieonderzoek uitgevoerd naar XR om hun prestaties te kunnen beoordelen bij verbinding via 5G. Voor Release 18 zullen verbeteringen worden bestudeerd om XR- en *cloud gaming*-apparaten in NR-netwerken beter te kunnen ondersteunen. Het verkeer dat wordt gegenereerd in *use cases* voor XR en cloud gaming is vaak quasi-periodiek en vereist tegelijkertijd hoge datasnelheden en beperkte latentie. Om dit soort verkeer efficiënt te bedienen, zal 3GPP onderzoek doen naar toewijzing van *resources* en planningsmechanismen die de capaciteit voor XR- en cloud gaming-apparaten kunnen verbeteren. Omdat veel XR- en cloud gaming-apparaten een beperkt batterijvermogen hebben, zal Release 18 ook energiebesparende technieken voor UE's bestuderen om de kenmerken van XR- en cloud gaming-diensten te kunnen accommoderen. Daarnaast zal 3GPP onderzoeken hoe RAN meer XR-bewust kan worden gemaakt, inclusief het identificeren van welke applicatie-informatie nuttig is voor het RAN en hoe de informatie in RAN kan worden gebruikt om XR- en cloud gaming-verkeer af te handelen;

- *Verdere vermindering van de complexiteit van NR RedCap UE's.* Voor Release 18 zullen verbeteringen worden bestudeerd ter ondersteuning van RedCap-apparaten met een zeer lagere complexiteit. Deze zijn gericht op de reductie van UE-bandbreedtes tot 5 MHz en van datasnelheden tot 10 Mbit/s in frequentiebanden onder 6 GHz;
- *Laag vermogen-weksignaal en -ontvanger voor NR.* UE kan worden uitgerust met een aparte ontvanger die een weksignaal bewaakt. Deze ontvanger verbruikt bijzonder weinig energie. Bij het detecteren van het weksignaal wordt de 'communicatieradio' in de UE geactiveerd vanuit zijn ongebruikte toestand (*idle state*) of de 'diepe slaap'-modus. Voor Release 18 wordt studie uitgevoerd naar *low-power wake-up* receiver-architecturen, het ontwerp van een weksignaal en naar procedure- en protocolwijzigingen ter ondersteuning van de *wake-up* ontvanger en het -signaal;
- *Transmissie van kleine hoeveelheid data naar een NR UE.* In veel situaties hoeven apparaten met een laag vermogen slechts af en toe verzending van kleine hoeveelheid data te ondersteunen, bijvoorbeeld data die gebruikt wordt voor een bepaalde IoT (Internet-of-Things)-meettoepassing. Het verzenden van dergelijke geringe gegevens in RRC-verbonden modus zou leiden tot hoge signaleringsoverhead en -vertraging. Om de signaleringsoverhead en -latentie te verminderen, introduceerde 3GPP Release 17 ondersteuning voor mobiele-geïnitieerde datatransmissie in RRC-inactieve modus. In Release 18 introduceert 3GPP een vergelijkbare functie om transmissie van een kleine datahoeveelheid bij ontvangst door een mobile NR-apparaat in RRC-inactieve modus te ondersteunen;
- *Ontwikkeling van NR sidelink.* In Release 18 zal de sidelink-communicatie verbeterd worden op de volgende aspecten: hogere sidelink datasnelheid (via carrier-aggregatie), uitbreiding van de sidelink-werking naar vergunningsvrij spectrum en verbetering van de sidelink-ondersteuning in mmWave-frequentiebanden. Bovendien zal Release 18 mechanismen bestuderen om LTE- en NR V2X-apparaten te ondersteunen die naast elkaar op hetzelfde frequentiekanaal kunnen bestaan;
- *NR-ondersteuning voor UAV (Uncrewed Aerial Vehicles⁹).* In Release 18 wordt 5G NR-ondersteuning voor apparaten aan boord van UAV's geïntroduceerd. 3GPP verwacht dat veel sectoren baat hebben bij de toepassingen die hierdoor mogelijk worden.

2.2.4 Evoluerende netwerktopologie

- *Verbetering van de bestendigheid van gNB-CU-CP.* 5G RAN ondersteunt het splitsen van een basisstation (ofwel gNB) in twee delen: een gecentraliseerde eenheid (CU: Centralized Unit) en een of meer gedistribueerde eenheden (DU's: Distributed Units). De gNB-CU kan verder worden opgesplitst in twee logische delen: een besturingsvlak (CP: Control Plane) en een of meer gebruikersvlakken (UP's: Userplanes). De logische gNB-CU-CP behelst de RRC en het CP-gedeelte van het pakketgegevensconvergentieprotocol (PDCP: Packet Data Convergence Protocol) van de gNB-CU. Nu kunnen storingen op de gNB-CU-CP de aangesloten gNB-CU-UP's en gNB-DU's verstoren hetgeen op zijn beurt gevolgen kan hebben voor de bediende UE's. Om de bestendigheid van gNB-

⁹ Voorheen: Unmanned Aerial Vehicles. 3GPP heeft besloten tot het gebruik van het gender-neutrale *Uncrewed Aerial Vehicles*.

CU-CP te vergroten, zullen voor Release 18 gNB-CU-CP faalscenario's geïdentificeerd en bestudeerd worden;

- *Mobile Integrated Access and Backhaul (IAB)*. 3GPP Release 18 blijft de op NR gebaseerde IAB verbeteren. Hierbij ligt de nadruk op het scenario waarin mobiele IAB-nodes op voertuigen worden gemonteerd en ad-hoc 5G-connectiviteit bieden aan UE's. Om mobiele IAB-nodes te ondersteunen, zullen worden gespecificeerd: interferentiebestrijding, procedures voor aanpassing van de topologie en tenslotte mobiliteitsverbeteringen voor IAB-nodes en de bijbehorende UE's;
- *Netwerkgestuurde repeaters in NR*. Voor Release 18 zullen NR-netwerkgestuurde repeaters worden bestudeerd. Deze apparaten kunnen niet alleen de ontvangen signalen versterken en doorsturen, maar ook bepaalde besturingsinformatie (*side control information*) van de gNB kunnen ontvangen zoals *beamforming*-informatie, TDD-configuratie en informatie over vermogensregeling. Het onderzoek zal bepalen welke besturingsinformatie nodig is, de vereiste L1/L2-signalering bepalen en onderzoeken hoe netwerkgestuurde repeaters kunnen worden geïdentificeerd en geautoriseerd;
- *Uitbreidingen van NR sidelink relay functies*. Een *sidelink relay* kan zijn ofwel
 - Een UE-naar-netwerk *relay*, waarbij de relay-UE een UE verbindt die zich op relatief grote afstand van het netwerk bevindt, of
 - Een UE-naar-UE *relay*, waarbij de relay-UE een eerste verafgelegen UE verbindt met een tweede verafgelegen UE;

Release 18 zal:

- De ondersteuning van UE-naar-netwerk relay verbeteren zoals gespecificeerd in Release 17 in de zin dat servicecontinuïteit wordt bereikt tijdens het wisselen van het pad;
- Ondersteuning bieden voor de UE-naar-UE relay;
- Ondersteuning beschouwen van verbindingen over meerdere paden waarbij een UE is aangesloten op een gNB via één direct pad en één indirect pad via een sidelink relay. Hierdoor kan via redundantie een mate van bestendigheid worden bereikt of kan meer bandbreedte worden geleverd voor een hogere *throughput*;
- *Uitbreiding van NR NTN (Non-Terrestrial Network)*. NTN's maken gebruik van satellieten of platforms op grote hoogte (bijvoorbeeld vliegtuigen, aerostats en UAV's) om connectiviteitsdiensten aan te bieden. Ze kunnen terrestrische netwerken aanvullen door dekking te bieden in afgelegen gebieden waar terrestrische dekking niet beschikbaar is. In Release 17 heeft 3GPP een reeks basisfuncties geïntroduceerd om NR-werking via NTN's in sub-6 GHz-bandten mogelijk te maken. Release 18 zal de NR-werking ten opzichte van NTN's verbeteren door:
 - De dekking voor handheld-terminals te verbeteren;
 - Implementatie boven 10 GHz te bestuderen;
 - Wettelijke eisen voor een door het netwerk-geverifieerde UE-locatie te onderzoeken en
 - Mobiliteit en servicecontinuïteit tussen een terrestrisch netwerk en een NTN en tussen verschillende NTN's te adresseren.

2.2.5 Data-driven en AI-Empowered 5G

- *Artificial intelligence (AI)/machine learning (ML) voor Next Generation (NG)-RAN*. Op basis van een haalbaarheidsstudie in Release 17 zal Release 18 verbeteringen in het verzamelen van gegevens en signaleringsondersteuning

specificeren voor een reeks selectieve, op AI gebaseerde *use cases*, waaronder energiebesparing in het netwerk, *load balancing* en mobiliteitsoptimalisatie;

- *Verdere verbetering van het verzamelen van data voor SON (Self-Organizing Network)/MDT (Minimisation of Drive Testing) in NR en EN-DC (E-UTRA-NR Dual Connectivity).* Het werk van Release 18 zal betrekking hebben op SON-functies die nog niet in Release 17 zijn opgenomen en verzameling van data voor de optimalisatie van Random Access Channel (RACH);
- *Verbetering van het management van NR QoE (Quality of Experience) en optimalisatie voor diverse diensten.* In Release 17 zijn basismechanismen voor NR QoE-management gespecificeerd. Release 18 zal het NR QoE-framework verbeteren om nieuwe soorten 5G-diensten te ondersteunen zoals XR, cloud gaming en multicast- en omroepdiensten;
- *AI/ML voor NR air interface.* Voor Release 18 zal AI/ML voor de NR *air interface* worden bestudeerd om de prestaties te verbeteren of de overhead en complexiteit te verminderen. De studie zal:
 - Een gemeenschappelijk AI/ML *framework* tot stand brengen;
 - Gebieden identificeren waarop AI/ML de air interface-functies kan verbeteren;
 - Onderzoeken hoe AI/ML-modellen kunnen worden beschreven en gekarakteriseerd;
 - AI/ML-technieken evalueren om hun voordelen en complexiteit te begrijpen en de impact van standaardisatie te beoordelen.

Om deze doelstellingen te bereiken, zal Release 18 zich richten op een reeks selectieve *use cases* zoals CSI (Channel State Information) feedback naar de zender om uitzendingen aan te passen aan huidige radiokanaalomstandigheden, *beam management* en positionering.

3 Aanbod en gebruik van 5G in Nederland

Dit hoofdstuk richt zich op het aanbod van zowel 5G netwerk- als gebruikersapparatuur en wel specifiek in Nederland. Eerst wordt in Paragraaf 3.1 op hoofdlijnen ingegaan op de huidige levering van 5G-dekking en vervolgens in Paragraaf 3.2 op de beschikbaarheid van apparatuur en de verwachte groei daarin. Hierbij speelt de interactie met opkomende 5G-toepassingen een belangrijke rol. Deze wordt dan ook in Paragraaf 3.3 toegelicht. De beschikbaarheid van het benodigde spectrum vormt een randvoorwaarde die vervolgens apart wordt besproken in Paragraaf 3.4. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met Paragraaf 3.5 over wereldwijde industriële- en leverancierstrends en verwachtingen voor Nederland.

3.1 Huidige commerciële 5G-dekking

In deze paragraaf wordt eerst ingegaan op 5G zoals momenteel aangeboden door MNO's (Mobile Network Operators) in Nederland in termen van dekking, het aantal gebruikers en momenteel beschikbare applicaties. Vervolgens wordt kort de levering van 5G-capaciteit wereldwijd, vooral in buurland Duitsland, besproken.

3.1.1 In Nederland

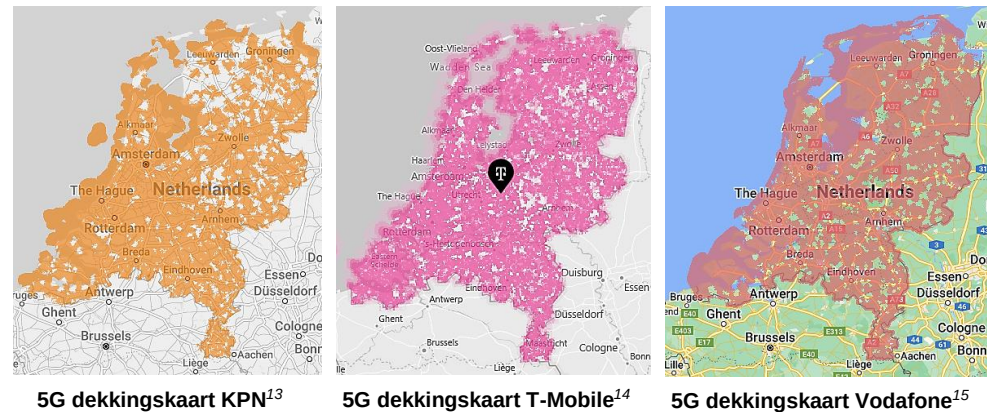
Meer dan twee jaar geleden kondigden de (toen) drie grootste Nederlandse MNO's de lancering van 5G aan¹⁰. Voor hun 5G-diensten worden lagere frequentiebanden (700 MHz of 1800 MHz met *Dynamic Spectrum Sharing* of DSS) met kleine bandbreedtes gebruikt zodat eindgebruikers nog steeds geen significante verbetering van de netwerksnelheid merken. Op hogere frequentiebanden zoals de 3,5 GHz- en 26 GHz-banden zullen veel hogere netwerksnelheden geboden kunnen worden maar deze banden zijn in Nederland nog niet commercieel beschikbaar.

Medio 2022 meldde KPN 1 miljoen¹¹ actieve 5G-gebruikers. Voor Vodafone en T-Mobile zijn deze gegevens niet in publieke bronnen gevonden. T-Mobile gaf aan dat meer dan 98% van de Nederlandse bevolking¹² daadwerkelijk dekking krijgt van hun 5G-operator. De 5G-dekkingskaarten van alle Nederlandse MNO's zijn weergegeven in Figuur 2 en laten zien dat alle operators een uitgebreide 5G-dekking hebben, zij het in de lagere frequentiebanden.

¹⁰ <https://newsroom.t-mobile.nl/5g-is-hier/>

¹¹ <https://www.overons.kpn/nieuws/kpn-verstevigt-positie-als-beste-mobiele-netwerk-van-nederland/>

¹² <https://www.t-mobile.nl/mobiel/netwerk/5g>



Figuur 2: 5G-netwerkkdekingskaarten voor de Nederlandse MNO's, medio 2022
[bronnen: Nederlandse MNO's]

Hoewel 5G nieuwe toepassingen en diensten belooft voor verschillende sectoren (industrie, gezondheid, landbouw, mobiliteit et cetera) wordt 5G nog steeds voornamelijk gebruikt door de consumentenmarkt in Nederland. Dit heeft twee redenen: ten eerste betekent het nog niet beschikbaar zijn van de 3,5 GHz-band dat veel van deze veelbelovende toepassingen en diensten nog steeds niet worden aangeboden. In de huidige banden is voor veel van deze toepassingen en diensten te weinig bandbreedte beschikbaar terwijl bovendien de benodigde 5G *standalone* apparatuur pas zal worden geïntroduceerd als de 3,5 GHz-band commercieel beschikbaar is.

Ten tweede zijn mobiele operators nog steeds bezig met het ontwikkelen van marktproposities en *business cases* voor 5G. Enkele zakelijke diensten die KPN op de markt brengt¹⁶ zijn 5G *coverage on demand*, applicatie-prioriteit en gegarandeerde bandbreedte. Vodafone¹⁷ levert onder meer het media-ondersteund promoten van producten, medische diagnose op afstand en *crowd management* bij evenementen.

3.1.2 Wereldwijd

De Global mobile Suppliers Association (GSA)¹⁸ vertegenwoordigt bedrijven in het wereldwijde mobiele ecosysteem en stelde in september 2022 vast dat 501 operators in 153 landen en gebieden in 5G investeerden. Daarvan hadden in totaal 224 operators in 89 landen en gebieden een of meer 5G-diensten gelanceerd. In de meeste Europese landen is 5G beschikbaar¹⁹ in een of meer van de zogenoemde 5G-pionierbanden 700 MHz, 3,5 GHz en 26 GHz. Volgens de Duitse toezichthouder *Bundesnetzagentur* was eind 2021 meer dan de helft van Duitsland voorzien van 5G-dekking, voornamelijk in stedelijke gebieden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een combinatie van het 3,5 GHz-spectrum en DSS (Dynamic Spectrum Sharing)-initiatieven van Telekom en Vodafone Duitsland.

¹³ <https://www.kpn.com/netwerk/dekingskaart.htm>

¹⁴ <https://www.t-mobile.nl/mobiel/netwerk/dekking>

¹⁵ <https://www.vodafone.nl/support/internet-en-dekking/dekingskaart.shtml>

¹⁶ <https://www.kpn.com/zakelijk/5g.htm>

¹⁷ <https://www.vodafone.nl/zakelijk/5g>

¹⁸ <https://gsacom.com/paper/5g-market-snapshot-september-2022/>

¹⁹ <https://www.oookla.com/articles/5g-europe-mapping-the-future-q1-2022>

3.2 Huidige beschikbaarheid van 5G-apparatuur en groeiverwachtingen

In deze paragraaf wordt achtereenvolgens ingegaan op de huidige en verwachte beschikbaarheid van 5G-gebruikerstoestellen (mobiele telefoons en andere mobiele apparaten met 5G-technologie) en providerapparatuur zoals 5G radio- en netwerkelementen.

3.2.1 *Gebruikerstoestellen*

Per november 2022²⁰ heeft de GSA meer dan 1600 aangekondigde 5G-apparaten geïdentificeerd. Dit is meer dan 50% groei in een jaar. Van deze gebruikerstoestellen zijn er 1313 aangekondigde apparaten die naar verluidt ondersteuning voor SA bieden. In september 2022 noteerde GSA 882 aangekondigde 5G-apparaten met ondersteuning voor 5G-SA in sub-6 GHz-band²¹, waarvan er nu 691 in de handel verkrijgbaar zijn. Volgens GSA worden de geselecteerde sub-6 GHz-frequenties goed ondersteund in 5G SA-apparaten. Het gaat dan om frequenties tussen 4 en 8 GHz (C-band), 2,6 GHz, 2 GHz, 1,8 GHz en 700 MHz. Op een populaire online winkelwebsite worden 669 5G-telefoons²² aangeboden.

Ondersteuning voor millimetergolf is nog niet wijdverbreid. In feite heeft GSA slechts drie chipsets gecatalogiseerd die 5G SA in het millimetergolfspectrum bieden. De verwachting is echter dat deze ondersteuning voor spectrumbanden boven 6 GHz in de toekomst zal toenemen, te meer omdat deze banden worden gepromoot voor particuliere, c.q. private 5G-netwerken en voor het vergroten van de capaciteit op locaties met veel verkeer in openbare netwerken.

3.2.2 *Provider-apparatuur*

T-Mobile Nederland koos onlangs voor Ericsson als leverancier²³ voor de vernieuwing van zijn mobiele radionetwerk, zowel voor 5G als voor vorige generaties (3G en 4G). Momenteel gebruikt T-Mobile een *core network* van Huawei²⁴ maar deze MNO heeft aangekondigd dat dit netwerk de komende jaren zal worden uitgefaseerd en vervangen zal worden door apparatuur van een andere leverancier. Voor 5G-diensten maakt KPN gebruik van een Huawei mobiel radionetwerk in combinatie met een Ericsson *core network*. Vodafone²⁵ kondigde in 2020 aan dat het Huawei-apparatuur uit zijn *core network* zou verwijderen en vervangen door Ericsson-apparatuur.

Alle Nederlandse operators gebruiken momenteel een non-standalone (NSA) netwerk voor 5G. NSA gebruikt 5G mobiele radioapparatuur met een 4G *core network* dat is verbeterd om 5G-basisstations te ondersteunen, zie verder de Monitor najaarseditie 2019²⁶. De introductie van standalone (SA)-netwerken in

²⁰ <https://gsacom.com/paper/5g-standalone-november-2022-summary/>

²¹ <https://gsacom.com/paper/5g-market-snapshot-september-2022/>

²² <https://www.coolblue.nl/mobiele-telefoons/smartphones/4g-en-5g-internetverbinding>

²³ <https://newsroom.t-mobile.nl/wereldwijde-koploper-5g-en-beste-klantervaring-door-nieuwe-samenwerking/>

²⁴ <https://www.rtlnieuws.nl/economie/tech-business/artikel/5319197/t-mobile-5g-huawei-ericsson-spionage-china>

²⁵ <https://tweakers.net/nieuws/163158/vodafone-gaat-huawei-apparatuur-uit-corenetwerk-verwijderen-in-europa.html>

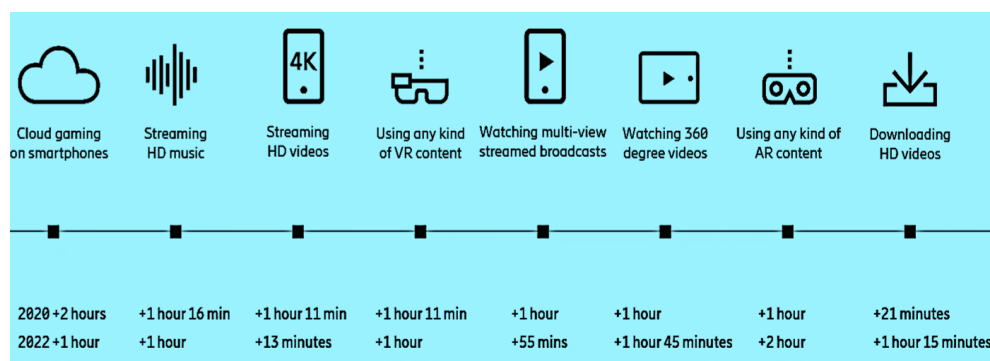
²⁶ TNO 2019 R11692, november 2019, pagina's 28 en 29

Nederland is niet te verwachten zolang de 3,5 GHz-band niet commercieel beschikbaar is zoals in Paragraaf 3.4 en 3.5 zal worden besproken.

3.3 Opkomende 5G-toepassingen

Volgens Ericsson²⁷ stimuleert 5G het gebruik van verbeterde video en Augmented Reality (AR). In de afgelopen twee jaar is de tijd die 5G-gebruikers besteden aan AR-apps verdubbeld tot twee uur per week²⁸, zie Figuur 3. Het gaat dan over AR-gaming, multi-view uitzendvideo's of andere AR-apps voor activiteiten zoals winkelen en entertainment. Een voorbeeld van zo'n applicatie is de *5GameClash*²⁹. Deze app is in 2021 in Nederland gedemonstreerd door Vodafone en andere partners van 5G Hub en 5Groningen. Deze gebruikt 5G om twee teams op verschillende locaties met elkaar te verbinden om te gamen met behulp van Virtual Reality (VR).

5G maakt ook de weg vrij voor het gebruik van *metaverse*³⁰. Hoewel er verschillende definities zijn van wat de metaverse is, zijn belangrijke elementen virtuele werelden en zogenoemde 'meeslepende' of immersieve ervaringen.



Figuur 3: Gemiddelde toename van de tijd die 5G-early adopters per week besteden aan activiteiten (2020) in vergelijking met 4G LTE-gebruikers (2022) [bron: Ericsson]

Virtuele werelden bestaan al online in mobiele en online games, bijvoorbeeld Roblox-, Fortnite- en AR-games zoals die van Niantic, sociale VR-platforms en platforms waarmee gebruikers ervaringen kunnen creëren, socialiseren, verkopen/kopen of zichzelf kunnen vermaken in 3D-omgevingen zoals Zepeto of SK Telecom's Ifland³¹.

3.4 De 3,5 GHz en 26 GHz-banden voor 5G

Naast 700 MHz die het meest geschikt is om landelijke dekking mee te realiseren, zijn de 3,5 GHz- en 26 GHz-banden de pionierbanden voor 5G die lokaal hoge capaciteitsverbindingen met lage latenties kunnen realiseren. Beide banden zijn nog niet voor commercieel gebruik beschikbaar in Nederland. De 3,5 GHz-band

²⁷ <https://www.ericsson.com/en/press-releases/2022/10/ericssons-largest-consumer-study-shows-5g-is-already-paving-the-path-to-the-metaverse2>

²⁸ <https://www.ericsson.com/en/press-releases/2022/10/ericssons-largest-consumer-study-shows-5g-is-already-paving-the-path-to-the-metaverse2>

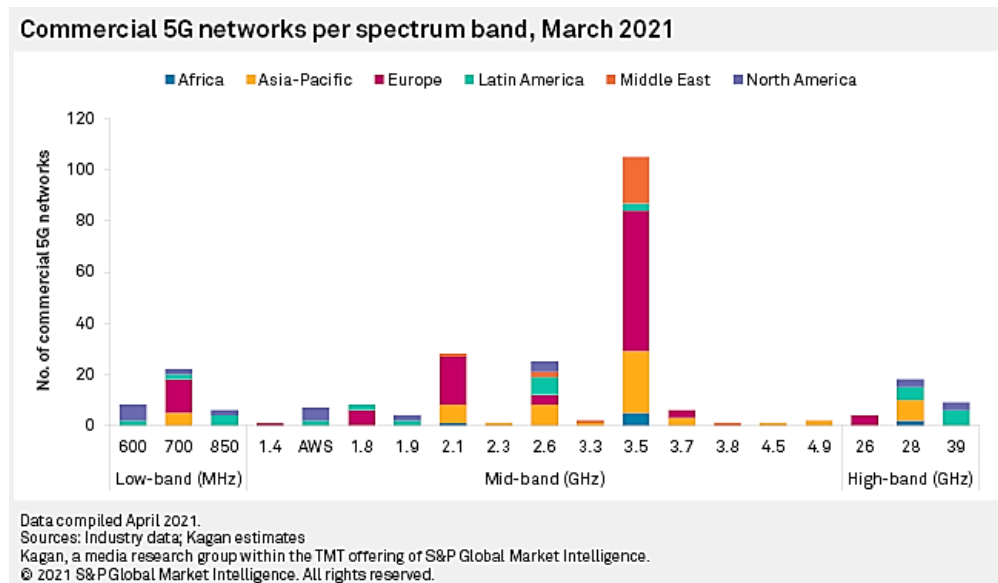
²⁹ <https://www.vodafone.nl/daarom-vodafone/5gameclash>

³⁰ <https://www.ericsson.com/en/press-releases/2022/10/ericssons-largest-consumer-study-shows-5g-is-already-paving-the-path-to-the-metaverse2>

³¹ https://www.sktelecom.com/en/press/press_detail.do?idx=1513

wordt gebruikt door onder meer het satellietbedrijf Inmarsat. In juni 2021 heeft dit bedrijf succesvol beroep aangetekend tegen een wijziging van het Nationaal Frequentieplan. Als gevolg hiervan is op instigatie van een ingestelde adviescommissie uiteindelijk besloten tot verhuizing van de Inmarsat grondstations³² van het noorden van Nederland naar elders om de 3,5 GHz band voor commercieel gebruik vrij te maken. Deze band zal naar verwachting beschikbaar komen tegen het einde van 2023. Volgens de website van de rijksoverheid³³ zal de 26 GHz-band geveild worden na de veiling van de 3,5 GHz-band maar de precieze datum is nog onbekend.

Volgens S&P Global Market Intelligence waren er in april 2021 al meer dan 100 commerciële 5G-netwerken die wereldwijd de 3,5 GHz-band gebruikten zoals te zien is in Figuur 4.



Figuur 4: Commerciële 5G-netwerken per spectrumband [bron: S&P Global Market Intelligence]

Nederland loopt ten opzichte van andere landen achter met het beschikbaar stellen van spectrum voor 5G. Zoals aangegeven in Tabel 1, zijn in Frankrijk de 700 MHz- en 3,5 GHz-banden en in Duitsland zelfs alle pionierbanden beschikbaar³⁴.

Tabel 1: Operationele 5G-frequentiebanden in vier Europese landen [bron: Tweakers]

	700MHz	3,5GHz	26 GHz
Nederland	Ja	Nee	Nee
België	Nee	Voorlopig gebruik	Nee
Duitsland	Ja	Ja	Ja
Frankrijk	Ja	Ja	Nee

Hoewel in Duitsland alle pionierbanden al beschikbaar zijn, zijn er geen aanwijzingen gevonden dat er in dit land al op grote schaal *triple-band* gebruikerstoestellen worden gebruikt. De beschikbaarheid van spectrum en

³² <https://tbmnet.nl/ontwikkelingen-rond-35-ghz-wanneer-krijgen-we-nu-echt-snel-5g/>

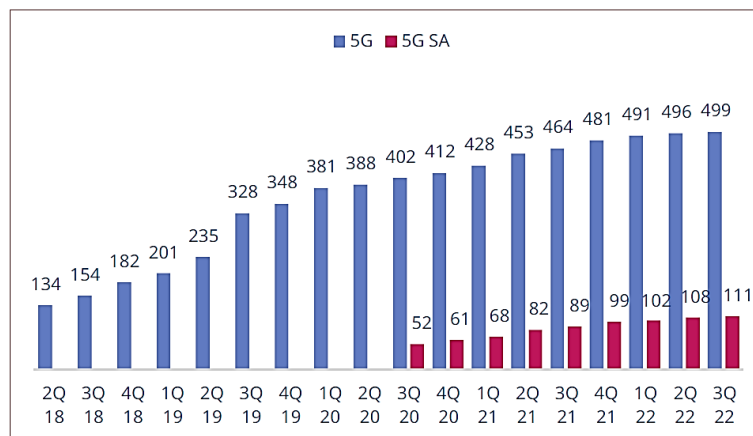
³³ <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/telecommunicatie/invoering-5g/veiling-frequenties-voor-5g>

³⁴ <https://tweakers.net/nieuws/192404/nederland-en-belgie-liken-europese-5g-doelstellingen-niet-te-halen.html>

netwerkkapitaal, inclusief de uitrol ervan, lijkt voor te lopen op de beschikbaarheid van commerciële gebruikersapparatuur. In Duitsland begon men al in april 2021 als eerste Europees land in een aantal steden met de uitrol van SA.

3.5 Wereldwijde trends en verwachtingen voor Nederland

Totdat de 3,5 GHz- en 26 GHz-banden eind 2023 in Nederland beschikbaar komen, zijn voor consumenten of bedrijven geen significante verschillen met bestaande diensten te verwachten. Op dit moment zijn alle in Nederland uitgerolde 5G-netwerken gebaseerd op NSA. Wanneer de 3,5 GHz-band in Nederland commercieel beschikbaar komt, zullen netwerken naar verwachting een standalone modus gebruiken waarin sprake is van een 5G *core network*³⁵. Dit zal nieuwe functies mogelijk maken, zoals *network slicing* en *edge computing*. Volgens de GSA zijn er nu 111 mobiele operators die hebben geïnvesteerd in openbare 5G SA-netwerken³⁶, zie Figuur 5.



Figuur 5: Aantal operators dat (wereldwijd) investeert in 5G SA-netwerken (rood) ten opzichte van alle typen 5G-netwerken (blauw) [bron: GSA]

Op dit moment hebben ten minste 29 operators in 18 landen openbare SA-netwerken gelanceerd. In september 2022 heeft Orange³⁷ aangekondigd dat deze provider zal starten met het uitrollen van 5G SA en wel met Ericsson apparatuur terwijl Telia³⁸ de lancering aankondigde van naar eigen zeggen 's werelds eerste commerciële 5G SA-netwerk met *network slicing* voor *Fixed Wireless Access* (FWA)-diensten.

Gezien deze recente aankondigingen van operators en industrie, mag worden verwacht dat relatief snel na het commercieel beschikbaar komen van de 3,5 GHz-banden in Nederland de SA-uitrol zal worden gestart. Er zijn geen plannen voor de uitrol van SA door Nederlandse MNO's publiekelijk beschikbaar gekomen, maar aangenomen mag worden dat providers streven naar een snelle uitrol om zo de benodigde investeringen over de looptijd van de vergunning te kunnen terugverdienen.

³⁵ <https://tweakers.net/nieuws/173398/kpn-begint-dit-jaar-met-implementatie-standalone-5g-netwerk.html>

³⁶ <https://gsacom.com/paper/5g-standalone-august-2022-summary-report/>

³⁷ <https://itdaily.be/nieuws/infrastructuur/orange-start-uitrol-van-5g-standalone-voor-implementatie-network-slicing/>

³⁸ <https://www.commsupdate.com/articles/2022/09/09/telia-finland-and-nokia-launch-5g-sa-commercially-with-network-slicing-for-fwa/>

4 Mobiele communicatie op de agenda van de Wereld Radiocommunicatie Conferentie 2023

Dit hoofdstuk beschouwt de agendapunten voor de ITU WRC-23 (Wereld Radiocommunicatie Conferentie 2023) die betrekking hebben op mobiele communicatie.

Mobiele telecommunicatie op basis van een systeem zoals 4G en 5G wordt binnen de WRC-23, in ITU-termen, doorgaans aangeduid met IMT (International Mobile Telecommunications). Deze term zal dan ook veelvuldig worden gebruikt in dit hoofdstuk.

4.1 Inleiding

De WRC-23 vindt plaats van 20 november tot 15 december 2023 in het Dubai World Trade Center in de Verenigde Arabische Emiraten (VAE)³⁹. Voor een algemene, compacte achtergrond van de WRC wordt verwezen naar de Monitor voorjaarseditie uit 2020⁴⁰. Op de WRC-23 worden meer dan 4.000 deelnemers uit de 193 lidstaten van de ITU verwacht. In principe kan ieder land aan de hand van de agenda zijn eigen standpunten bepalen, zo ook Nederland. Tegelijkertijd vindt wereldwijd de voorbereiding grotendeels plaats in regionaal verband, in zes regionale organisaties. Nederland maakt deel uit van CEPT en tijdens een WRC wordt zoveel waar mogelijk in dit verband een gezamenlijke positie ingenomen tijdens de WRC. Daarbij moet tevens worden opgemerkt dat voor een aantal agendapunten de EU-lidstaten gebonden zijn aan een gezamenlijk te bepalen EU-positie. Deze zal in het voorjaar van 2023 worden vastgesteld. De afstemming over de inzet van Nederland vindt grotendeels plaats in de nationale voorbereidingscommissie (NVC) die een advies uitbrengt aan de Minister van EZK. Het advies van de NVC dient als input voor de uiteindelijke in te nemen positie op de diverse WRC agendapunten. In afwachting hiervan is voor dit hoofdstuk nota genomen van de inhoud van het dynamische document rond de Nederlandse standpunten voor de WRC-23, editie 26 mei 2022⁴¹ van de nationale voorbereidingscommissie (NVC).

TNO schat de volgende agenda-items (AI's) rond mobiele communicatie als belangrijk in:

- AI 1.1: Bescherming van verkeer in de band 4800-4990 MHz tegen IMT in deze band waarbij een belangrijke vraag is hoe protectie van onder meer militair verkeer op NATO-frequenties in deze band door Russische mobiele telecommunicatiesystemen kan plaatsvinden;
- AI 1.2/AI 1.3: Mogelijk additioneel spectrum voor IMT in de lagere SHF-band waarbij het vooral om 'Wi-Fi versus 5G' gaat;
- AI 1.4: Het gebruik van IMT aan boord van High Altitude Platform Stations (HAPS) voor ad-hoc IMT-capaciteit en -dekking in afgelegen gebieden;
- AI 1.5: Co-primaire status van mobiel gebruik in de UHF-band 470-694 MHz, zie ook het hoofdstuk over PMSE (Hoofdstuk 5);

³⁹ <https://www.telecomreview.com/articles/reports-and-coverage/6262-itu-members-set-to-gather-in-dubai-for-wrc-23>

⁴⁰ TNO R10955, juni 2020, pagina 31

⁴¹ <https://www.agentschaptelecom.nl/documenten/publicaties/2017/oktober/2/dynamisch-document-nvc>

- AI 1.10: Spectrum voor nieuwe luchtvaartmobile communicatietoepassingen, anders dan voor veiligheid;
- AI 1.18: Spectrumbehoeften en mogelijk nieuwe allocaties voor mobiele, gesloten satellietcommunicatiediensten. Dit betreft eventueel nieuw spectrum voor LEO (Low Earth Orbit) en MEO (Medium Earth Orbit)-systemen ten behoeve van nieuwe IoT-toepassingen;
- AI 9.1c: Gebruik van IMT voor Fixed Wireless Access *Broadband* (FWAB).

Deze agendapunten zullen achtereenvolgens in de volgende paragraaf kort aan de orde komen.

4.2 Toelichting op agendapunten

De diverse voornoemde agendapunten rond mobiele communicatie zullen in volgorde van WRC-23 AI-nummering worden besproken. Daarbij kan worden opgemerkt dat de agendapunten AI 1.2 en AI 1.5 in ITU-regio 1 naar verwachting tijdens de WRC tot veel discussie zullen leiden.

4.2.1 *Bescherming van verkeer in 4800-4990 MHz tegen IMT in deze band (AI 1.1)*

Het toestaan van IMT op land in de 4800-4990 MHz-band specifiek binnen het grondgebied van de Russische Federatie zal naar verwachting met name in die omgeving het internationale aeronautische -, maritieme - en landmobile gebruik storen. Dit behelst tevens onder meer het militair gebruik aangezien deze band in de essentiële NATO-band 4400-4990 MHz valt. De vraag is welke beschermingsmethoden of -condities kunnen worden vastgesteld om internationaal opererende stations van de luchtvaartmobile- en maritieme dienst voldoende te beschermen tegen de op nationaal grondgebied werkende stations. Specifiek dient hierbij voldoende aandacht te worden gegeven aan de bescherming van het militaire gebruik van deze band met dienovereenkomstig treffende internationale afspraken. Onderdeel van dit agendapunt is het heroverwegen van adequate PFD (Power Flux Density)-maskers⁴².

4.2.2 *Mogelijk additioneel spectrum voor IMT in de lagere SHF-band (AI 1.2/AI 1.3)*

Het gaat hier om het vaststellen van additioneel spectrum voor de toekomstige ontwikkeling van IMT in de banden 3300-3400 MHz, 3600- 3800 MHz, 6425-7025 MHz, 7025-7125 MHz en 10.0-10.5 GHz waarbij ook ingegrepen eventuele allocaties voor mobiele communicatie als primair gebruik. Voor ITU Regio 1 (Europa, Afrika en het Midden-Oosten) en met name Europa bestaat een sterke focus op de 6- en 7 GHz-frequentiebanden. Er zijn daarbij ook partijen die voor vergunningsvrij gebruik van deze banden zijn, met name voor Wi-Fi. Zo heeft Saudi Arabië aangekondigd het banddeel 5925-7125 MHz hiervoor te willen gaan inzetten, in navolging van enige landen buiten Regio 1 waaronder de VS, Brazilië en Zuid Korea. De GSMA (Global System for Mobile Communications Association) ziet de 6/7 GHz-band als hoge prioriteit en haar leden, waaronder de Nederlandse MNO's, ondersteunen 5G in deze band als de meest geschikte om de groei van het 5G-verkeer in te kunnen onderbrengen. Tegelijkertijd zal afdoende bescherming van bestaande diensten moeten worden geboden.

Daarnaast bestaat bij satellietoperators zorg over mogelijke interferentie op het satellietgebruik indien in Regio 2 (vooral de VS en Zuid-Amerika) IMT in de band 10.0-10.5 GHz wordt toegelaten.

⁴² Radio Regulations No. 5.441B

Specifiek zal in AI 1.3 gekeken worden naar de primaire IMT-bestemming van de band 3600-3800 MHz binnen Afrika die op gespannen voet zou kunnen staan met het huidige gebruik van satellietcommunicatie in deze band. Het doel van dit agendapunt is dan ook om te onderzoeken of eisen gesteld kunnen worden aan de primaire allocatie voor Regio 1 die de huidige diensten met een primaire allocatie in deze band voldoende beschermen. In analogie speelt voor Nederland de eventuele coëxistentie van nieuwe 5G-netwerken in de 3400-3800 MHz-band en Inmarsat totdat deze laatste partij is verhuisd.

4.2.3 *Het gebruik van IMT aan boord van HAPS (AI 1.4)*

Door IMT-basisstations aan boord van HAPS te plaatsen zou niet alleen de groei van mobiel breedband verkeer kunnen worden geaccommodeerd maar zou tevens de dekking in vooral rurale, afgelegen- en ontwikkelingsgebieden kunnen worden gerealiseerd. Hiervoor wordt al gekeken naar bestaande IMT-banden onder de 2,7 GHz en de compatibiliteit met het bestaande gebruik in de te beschouwen banden. Deze dienst zou kunnen worden ingezet voor het ad-hoc, relatief snel uitrollen van mobiele communicatiecapaciteit voor defensiedoeleinden of voor OOV (Openbare Orde en Veiligheid)-gebruik bij incidenten.

4.2.4 *Co-primair gebruik in de UHF-band 470-694 MHz (AI 1.5)*

Het gaat bij dit agendapunt vooral om het beschouwen van compatibiliteit en het (co-primair) delen van vooral mobiel gebruik en omroep in de band 470-694 MHz (ITU Regio 1).

Deze band is voor MNO's voor 5G interessant omdat op deze band de doordringbaarheid van radiogolven relatief groot is en daarmee de dekking beter wordt. Algemeen geldt: hoe lager de radiofrequentie, hoe beter de doordringbaarheid.

Naast MNO's zijn belanghebbenden onder meer de NPO, ASTRON en Defensie. Het huidige gebruik ligt nu vooral bij de omroep en de PMSE (Programming Making and Special Effects)-sector; ASTRON gebruikt voor radioastronomie slechts een klein deel van deze band. De PMSE-belangenvereniging in Nederland heeft een *position paper* opgesteld dat gedeeld is met het ministerie van EZK, zie verder Paragraaf 5.2.2.2. Voor wat betreft Defensie zou deze band voor tactisch mobiel gebruik in de toekomst soelaas kunnen bieden, aangezien het gebruik van de NATO-band I (225-400 MHz) nu zeer intensief is.

4.2.5 *Spectrumaccommodatie van nieuwe luchtvaartmobiele communicatietoepassingen, anders dan voor veiligheid (AI 1.10)*

De laatste decennia laat een sterke groei zien van de niet aan veiligheid gerelateerde behoefte aan communicatiemogelijkheden aan boord van vliegtuigen voor lucht-lucht, grond-lucht en lucht-grond AMS (Aeronautic Mobile Service) toepassingen. CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) overweegt dan ook een nieuwe toewijzing aan AMS voor niet-veiligheidstoepassingen in het hele bereik of een deel van de frequentiebanden 15,4-15,7 GHz en 22-22,21 GHz. Hiertoe adresseert dit agendapunt studies naar spectrumwensen, coëxistentie met bestaande radiocommunicatiediensten in primaire en -aangrenzende banden en tenslotte eventuele regulatieve maatregelen.

4.2.6 *Spectrumbehoeften en mogelijk nieuwe allocaties voor mobiele gesloten satcom-diensten (AI 1.18)*

Dit agendapunt betreft de beschouwing van studies naar spectrum voor toekomstige, gesloten mobiele satcom-toepassingen in de banden 2010–2025 MHz in ITU Regio 1 en de banden 1695-1710 MHz, 3300-3315 MHz en 3385-3400 MHz in ITU Regio 2. Dergelijke toepassingen zijn in principe smalbandig waarbij vooral moet worden gedacht aan IoT- en M2M (Machine to Machine)-diensten voor het verbinden van afgelegen apparaten of sensoren zoals landbouwapparatuur of installaties voor de winning van olie en gas, via een in principe wereldwijd dekkend satellietnetwerk. Het betreft LEO- en MEO-constellaties zoals deze in de Monitor voorjaarseditie van 2021 zijn besproken⁴³.

Bij de beschouwingen dient een aantal coëxistentiezaken betrokken te worden. Zo is de frequentieband 2010-2025 MHz in Europa reeds in gebruik door draadloze camera's zoals voor PMSE-doeleinden en is deze aanpalend aan de band die van belang is voor het Europese aardobservatieprogramma Copernicus.

4.2.7 *Gebruik van IMT voor FWAB (AI 9.1c)*

De doelstelling van dit agendapunt is om het gebruik van IMT-systemen voor FWA *broadband* (FWAB) te onderzoeken in de banden die al op primaire basis gereserveerd zijn voor *fixed service*.

Binnen onder meer de CEPT is hier weerstand tegen aangezien de toepassing van IMT voor een *fixed service* niet wordt afgedekt door de Radio Regulations die technologie-neutraal zijn. Fixed service technologieën kunnen op zich gebruik maken van IMT-technologie (zoals in toenemende mate ook het geval is voor 4G en 5G) maar beschouwingen hierover dienen plaats te vinden in ITU-R *working parties* (i.c. 5A en 5C). Het gaat hier dus eigenlijk om een punt van orde.

Ook Nederland deelt het standpunt van de CEPT, hoewel vanwege de dichte ondergrondse breedband-bekabeling in Nederland de noodzaak van de toepassing van FWAB veel minder is dan in veel andere landen.

⁴³ TNO 2021 R10974, juni 2021, pagina's 14-21

5 Draadloze systemen voor Programme Making & Special Events

Dit hoofdstuk behandelt de sector PMSE (Programme Making and Special Events)⁴⁴ waarbij in de inleidende Paragraaf 5.1 zal worden aangegeven wat deze sector behelst en op welk facet van PMSE in deze Monitoreditie de focus zal vallen. Daarna wordt eerst in algemene termen ingegaan op de behoefte aan draadloze verbindingen en -apparatuur en de groeiende tendens daarin. Deze staat vooralsnog op gespannen voet met de teneur van dalende frequentiebeschikbaarheid in de UHF-band en de spectrumregelgeving die in Paragraaf 5.2 uitgebreid aan de orde zal komen. Vervolgens wordt in Paragraaf 5.3 aangegeven welke huidige standaarden zoal voor draadloze PMSE-apparatuur worden toegepast en wat belangrijke PMSE-kentallen zijn die daaraan gerelateerd kunnen worden.

Tenslotte schetst Paragraaf 5.4 technologietendensen op het gebied van draadloze PMSE-systemen. Hierbij worden bij wijze van conclusie, ook verwachtingen afgegeven rond het tijdsbestek waarin een en ander te verwachten is en in hoeverre technologie in de toekomst perspectief kan bieden voor PMSE en specifiek voor het benodigde spectrum voor deze sector.

5.1 Inleiding

PMSE omvat de productie, presentatie, opslag en distributie van audiovisuele informatie binnen diverse disciplines zoals omroep, nieuwsgaring, theaterproducties en speciale evenementen zoals culturele manifestaties, demonstraties, concerten, sportevenementen, congressen en beurzen. Een belangrijk deel van deze disciplines wordt dus afgedekt door de entertainmentindustrie. Gezien de specifieke eisen voor draadloze systemen voor PMSE-gebruik en actuele kwesties, richt dit hoofdstuk zich vooral op draadloze systemen voor de productie en presentatie van de audiovisuele content.

Doorgaans bestaat er een relatie tussen de omvang en aard van de fysieke ruimte, het aantal bezoekers of omvang van het publiek ter plaatse en de vereiste professionaliteit en -kwaliteit (tijdens de corona-pandemie lag deze relatie evident anders). De omvang en aard (indoor of outdoor) van het event kan variëren van een kleine zaal of een plein tot bijvoorbeeld een stadion of een evenementenhal of -terrein. Hierdoor zijn de benodigde technische voorzieningen zoals camera's, belichting, geluidsinstallaties et cetera ook heel divers. Voor een passende samenstelling van middelen voor een bepaald event zullen naar behoren de kwaliteitseisen voor de draadloze verbindingen bereikt moeten worden en zullen bijvoorbeeld ongewenste radiopropagatie-effecten en eventuele onderlinge interferentie in een PMSE-opstelling bestreden moeten worden.

Uit de bovenstaande opsomming mag duidelijk zijn dat bij veel operationele PMSE-activiteiten bekabelde communicatieverbindingen belemmerend werken. Het gebruik van draadloze communicatie, waarbij kostenoverwegingen ook een rol kunnen spelen, is echter alleen toelaatbaar als deze hoe dan ook een hoge graad van beschikbaarheid heeft en de verbindingskwaliteit in termen van capaciteit en

⁴⁴ Naast PMSE worden soms nog de termen *Service Ancillary to Broadcasting (SAB)* en *Service Ancillary to Programme making (SAP)* gebruikt.

tijdigheid, zeer betrouwbaar is. In Nederland bestaat een landelijke PMSE-belangenvereniging⁴⁵ die zich onder meer buigt over de mogelijkheden hiervoor en specifiek daartoe de belangen voor deze sector behartigt rond spectrumtoewijzing, waarover meer in Paragraaf 5.2.2.2.

Draadloze PMSE-toepassingen laten zich indelen in draadloze video & audio en multimediale combinaties, inclusief data. Daarbij kan ruwweg onderscheid gemaakt worden in contentverbindingen en regieverbindingen. Draadloos transport van content verloopt via verbindingen van draadloze camera's of zendermicrofoons met een centrale regielocatie. Ook regieverbindingen gaan via dit pad en worden vaak geïntegreerd met contentverbindingen.

In principe zijn contentverbindingen uni-directioneel en kunnen breedbandig zijn bij transmissie van HD (High Definition)-beelden, al dan niet in combinatie met data. Audioreportages kunnen overgedragen worden door draadloze reportageverbindingen met een relatief smalle bandbreedte.

Regieverbindingen vereisen altijd een relatief kleine bandbreedte. Het gaat dan om:

- bi-directionele verbindingen voor mondelinge directies en aanwijzingen met terugkoppeling, of om
- uni-directionele regieverbindingen, doorgaans aangeduid met retourverbindingen, voor het instrueren van reporters bij audio- en videoproducties op een set. Een regieverbinding kan ook de vorm hebben van een draadloze intercomverbinding waarmee bij audio- en videoproducties meerdere medewerkers zoals belichters en cameramensen aanwijzingen krijgen vanuit de regielocatie.

Voor deze draadloze toepassingen zijn onder meer nodig: draadloze microfoons, de kleinere zendermicrofoons (zoals voor gebruik door deelnemers tijdens televisiedebatten maar ook door artiesten voor het versterken van akoestische instrumenten), beeldregistratie/draadloze camera's, portofoons, mobilofoons en draadloze 'oortjes' voor IEM (In Ear Monitoring). Volledigheidshalve kunnen nog *repeaters* worden genoemd voor portofoons om de reikwijdte van portofoons te vergroten.

Ter impressie geeft Tabel 2 voor diverse type evenementen aan hoeveel zendermicrofoons, draadloze intercomunits en IEM-units in Nederland nodig worden geacht⁴⁶.

Tabel 2: Richtgetallen voor het benodigde aantal PMSE-zendsystemen per type evenement in Nederland [bron: FACE, aangepast]

Groot spektakel:	80 microfoons, 24 IEM, 24 intercom
Middelgrote show:	60 microfoons, 20 IEM, 12 intercom
Theater:	16 microfoons, 8 IEM, 4 intercom
TV-show:	24 microfoons, 16 IEM, 8 intercom
Rock:	12 microfoons, 6 IEM

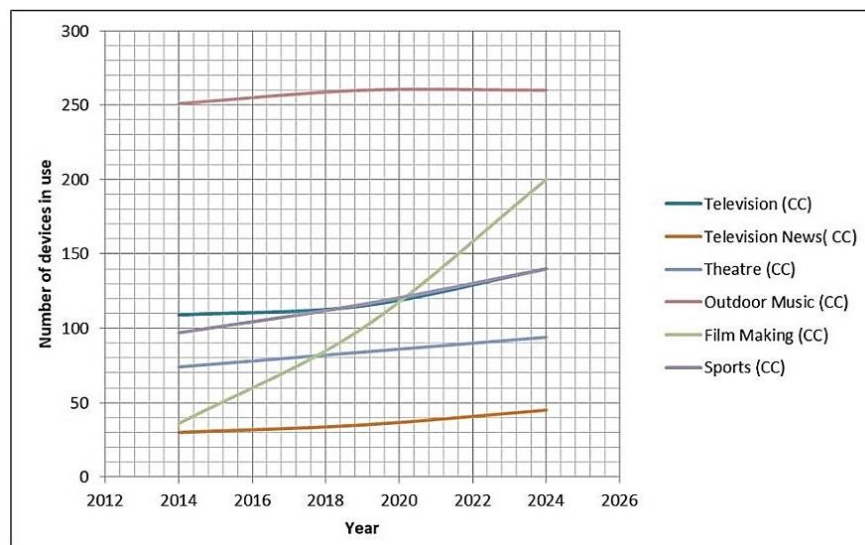
Voor zover vergelijkbaar zijn deze schattingen veel lager dan die afgegeven door Cambridge Consultants⁴⁷. Voor het theater bijvoorbeeld ligt dit aantal drie maal hoger, zie Figuur 6. Dit kan deels te maken hebben met de gerichtheid van het

⁴⁵ www.PMSE.nl

⁴⁶ <https://docplayer.nl/223257278-Wireless-wireless-pmse-apparatuur-spectrum-management-foundation-for-audiovisual-commerce-engineering.html>, slide 12

⁴⁷ <https://www.agentschaptelecom.nl/binaries/agentschap-telecom/documenten/rapporten/2018/01/24/rapport-digitisation-of-wireless-microphones/Rapport+Digitisation+of+wireless+microphones.pdf>, pagina 14

onderzoek op het Verenigd Koninkrijk (VK). Interessant is met name de trend dat het aantal PMSE-apparaten per type evenement en daarmee de spectrumbehoefte in de komende jaren voor de meeste evenementsoorten duidelijk zal stijgen.



Figuur 6: Inschatting behoefte aan PMSE-apparatuur [bron: Cambridge Consultants]

5.2 Spectrum-regelgeving voor draadloze PMSE-apparatuur

In deze paragraaf zal aandacht worden besteed aan de huidige frequentiebanden die zoal voor PMSE-applicaties worden gebruikt en veranderingen die in recente jaren hebben plaatsgevonden omtrent het spectrum voor PMSE-toepassingen en voorstellen daarvoor.

5.2.1 Huidige situatie op hoofdlijnen

Er zijn PMSE-toepassingen die voldoende hebben aan een laag zendvermogen omdat de benodigde bandbreedte of de reikwijdte beperkt zijn. Dit zijn vooral de regieverbindingen via bepaalde draadloze microfoons en IEM-apparaten. Hiervoor is geen vergunning nodig⁴⁸.

Wel zijn vergunningen nodig voor de draadloze audioverbindingen (DAV) zoals de in Paragraaf 5.1 toegelichte reportageverbindingen, retourverbindingen en draadloze intercomverbindingen.

Reportageverbindingen worden verzorgd door zenders die vergelijkbaar zijn met draadloze microfoons maar werken op een hoger vermogen, tot 10 dBW.

Uitgangspunt is dat deze dienen voor het professioneel verslaan van gebeurtenissen op locaties van waaruit geen draadverbindingen mogelijk zijn zoals op plaatsen waar sprake is van grote mobiliteit of vanuit voer- en vaartuigen. Deze outdoor-omgevingen kunnen zich bovendien tot op aanzienlijke afstand van de regielocatie bevinden, tot tientallen kilometers. Het spectrum dat beschikbaar is gesteld voor reportageverbindingen ligt in de VHF-band van 174-230 MHz en in de UHF-band van 556-606 MHz.

Voor retour- en intercomverbindingen ligt de reikwijdte lager dan die van reportageverbindingen. Frequenties voor deze verbindingen liggen in de UHF-band van 417-467 MHz. Speciaal voor retour- en intercomverbindingen tijdens

⁴⁸ <https://www.agentschaptelecom.nl/onderwerpen/draadloze-apparatuur-uitzendingen-en-evenementen/audio-en-videoverbindingen>

evenementen zijn voor exclusief gebruik tien frequenties beschikbaar tussen 420-430 MHz. Deze frequenties kunnen ook worden ingezet bij grensoverschrijdende evenementen en gebruik in helikopters waarbij content wordt verzonden. Voor deze laatste verbindingen gelden een maximale ERP van 0 dBW en een maximale vlieghoogte van 600 meter.

Verder geldt voor contentverbindingen dat ad-hoc mobiele videoverbindingen via een tijdelijke vergunning kunnen worden geaccommodeerd in de 2 GHz-band. Aan vergunninghouders met een jaarvergunning voor frequenties tussen 2,3 en 2,4 GHz wordt voor mobiele videoverbindingen frequentieruimte op basis van LSA (License Shared Access) aangeboden. Dit LSA-boekingssysteem plaatst PMSE-videogebruikers als zogenoemde co-primaire gebruikers naast andere gebruikers in deze band zoals Defensie, Justitie en Veiligheid en mobiele operators.

Videoreportages en audio-uitzendingen via een satellietverbinding (Satellite News Gathering of SNG) vinden vergunningplichtig plaats in 13,75 – 14,5 GHz (zenden) en 12,5 – 12,75 GHz (ontvangen). Het gaat hier om toepassingen zoals live-uitzendingen, evenementen, concerten, sportwedstrijden en calamiteiten. Het grondstation dat voor de uitzending wordt gebruikt, is voertuigmobiel.

Het gebruik van portofoons en mobilofoons voor PMSE zoals bij outdoor-evenementen zal vanwege de vereiste bedrijfszekerheid doorgaans plaatsvinden op basis van een vaste exclusieve frequentie voor regionaal gebruik of, als portofoons of mobilofoons worden ingehuurd, op basis van landelijke (LSA) frequenties in de VHF-band (148/174 MHz) en in de UHF-band (400-470 MHz).

5.2.2 *Recente veranderingen rond spectrum voor PMSE-doeleinden*

Zoals uit het voorgaande duidelijk is, ligt een belangrijk deel van het spectrale PMSE-gebruik in de lagere UHF-band. Het voordeel van deze band is dat hier een *sweet spot* ligt tussen de fysisch beschikbare bandbreedte en doordringbaarheid door lichamen en niet-metalen objecten. Wanneer bovendien zoals voor PMSE een goede kwaliteit vereist is, zijn deze banden populairder dan de VHF-band. Het PMSE-gebruik specifiek in UHF is (daarnaast?) gefragmenteerd, te midden van banden voor andere toepassingen waarvan per saldo de claim op bandbreedte toeneemt terwijl Figuur 6 aangeeft dat de behoefte aan PMSE-apparaten en dus ook aan spectrum eveneens eerder toe- dan afneemt. Soms is dan ook al sprake van medegebruik door PMSE op basis van non-interferentie. Ten opzichte van de digitale omroep is in de UHF-band de PMSE-gebruiker hoe dan ook altijd secundair.

Tabel 3: Beschikbaarheid van UHF-kanalen voor PMSE [bron: FACE, aangepast]

Tot 2012:	49 (in 470-862 MHz)
Van 2012-2020:	40 (in 470-790 MHz)
Van 2020-ca. 2030:	28 (in 470-694 MHz)

De consequentie is dat voor de PMSE-sector de beschikbare UHF-ruimte steeds minder wordt terwijl de vraag naar PMSE-spectrum groeit. In Tabel 3 is aangegeven hoe voor PMSE het beschikbaar aantal standaardkanalen van 8 MHz is verminderd⁴⁹ als gevolg van het beschikbaar stellen van de 700 MHz- en 800 MHz-band voor mobiele communicatie.

Gegeven de apparatuur- en daarmee spectrumbehoefte zoals in Tabel 2 is geïllustreerd, wordt het binnen de beschikbare PMSE-bandbreedte dan ook

⁴⁹ <https://docplayer.nl/223257278-Wireless-wireless-pmse-apparatuur-spectrum-management-foundation-for-audiovisual-commerce-engineering.html>, slide 7

noodzakelijk om tussen PMSE-gebruikers onderling de frequenties tijdens een evenement te coördineren en vooral vooraf te plannen. Zo kan wederzijdse interferentie door intermodulatie (waarvan het effect ongeveer kwadratisch toeneemt met het aantal zendontvangers) en ‘dichtdrukken’ door een PMSE-zender die te dicht op een -ontvanger staat, worden bestreden. Bepalend voor de praktische mogelijkheden rond de gelijktijdige inzet van PMSE-apparatuur tijdens een bepaald evenement is onder meer de kwaliteit van de draadloze PMSE-apparatuur in de zin van afstembaarheid, selectiviteit en spectrale zuiverheid van het zendspectrum.

In concreto hebben in recente jaren kwesties rond het bestemde gebruik van PMSE-banden in Nederland zich toegespitst op twee onderwerpen die in de volgende deelparagrafen kort zullen worden besproken.

5.2.2.1 5G in 700 MHz-band

Tot 1 januari 2020 was in Nederland de band van 694-790 MHz gereserveerd voor het laagvermogen PMSE-gebruik voor draadloze microfoons en IEM zoals aangegeven aan het begin van Paragraaf 5.2.1. Vanwege de herbestemming van de 700 MHz-band voor mobiele communicatie werd het merendeel van deze reservering echter opgeheven. Buiten de Europese Unie was al sinds enige tijd deze reservering losgelaten ten gunste van mobiel breedband.

Een internationale oriëntatie heeft laten zien dat mogelijkheden voor het bieden van soelaas voor de PMSE-sector kunnen liggen op de volgende gebieden⁵⁰:

- Ingrijpen in de licentiestructuur, bijvoorbeeld door vroegtijdige beëindiging van licenties of het differentiëren naar soorten PMSE-gebruikers;
- Extra coördinatie, bijvoorbeeld toepassen van LSA zoals in onder meer het VK of het beperken van toegang tot uitsluitend professionele gebruikers zoals in Duitsland of Frankrijk wordt gedaan;
- Het aanbieden van nieuw spectrum, bijvoorbeeld door veiling.

Hiernaast is het denkbaar dat op termijn ruimte kan worden geboden door technische ontwikkelingen in apparatuur waardoor het spectrumgebruik efficiënter kan worden.

5.2.2.2 Internationale regulatorische acties voor 470-694 MHz

Voor de WRC-23 staat, zeer vrij vertaald, de bestemming van mogelijk extra UHF-spectrum voor mobiele communicatie op de agenda als AI (Agenda Item) 1.5 (zie verder Hoofdstuk 4 van deze Monitor-editie waarin naast andere agendapunten ook dit agendapunt ter sprake komt, zij het in de context van mobiele communicatie). Recent heeft de PMSE-belangenvereniging zich beziggehouden met hun stellingname van deze sector ten behoeve van de bepaling van de nationale positie van het WRC-23 AI 1.5. Dit standpunt heeft de vereniging verwoord in haar *position paper* voor het ministerie van EZK⁵¹. Zij pleit daarin voor het blijven delen van ongebruikte UHF-frequenties van de primaire gebruiker DTT (Digital Terrestrial Television) met PMSE als secundaire gebruiker en voor zorgvuldigheid bij het beoordelen van eventueel co-primair gebruik met bijvoorbeeld mobiele telecommunicatiediensten na 2030 omdat ‘technische en praktische verschillen’ dit niet altijd mogelijk maakt.

De insteek van het ministerie van EZK voor AI 1.5 is om zoveel mogelijk opties open te houden tot minimaal 2030 omdat de situatie voor die periode nu nog niet

⁵⁰ <https://www.stratix.nl/wp-content/uploads/2021/06/internationaleinventarisatiebeleidsinzetpmseherbestemmingvande700mhz-band.pdf>

⁵¹ B.W. Westermann (PMSE): *Position paper PMSE voor WRC2023*, 20 april 2022

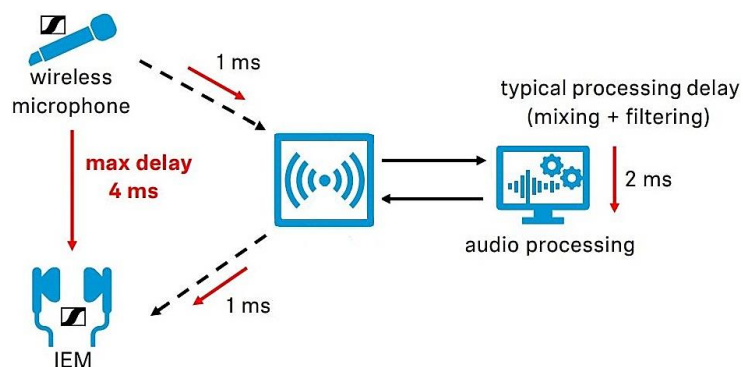
goed is in te schatten. Zo hebben niet alleen PMSE-gebruikers maar bijvoorbeeld ook ASTRON blijvende behoeften aan delen van dit spectrum. Met dit gegeven wordt vooral in de toekomst de al genoemde frequentiecoördinatie in tijd en locatie tussen PMSE-gebruikers onderling onvermijdelijk wanneer men vasthoudt aan het gebruik van de UHF-band. Hierbij kan aan ondersteuning door onder meer boekingsystemen en reserveringstools gedacht kan worden. Ook uitbreiding van LSA (nu verplicht voor 2,3-2,4 GHz) naar andere vergunninghouders wordt door de sector zelf gezien als mogelijkheid.

Een uitdaging is hoe dan ook om tegemoet te komen aan de gebruiker die minder- tot niet-technisch is georiënteerd. In het Hilversumse Mediapark is als eerste gebied al met succes centrale frequentiecoördinatie ingesteld⁵². Eventlocaties zoals Lowlands en Pinkpop volgden.

De actuele vergunningsvrije frequentiebanden voor PMSE-audio zijn in detail te vinden op de website van AT (Agentschap Telecom)⁵³.

5.3 Huidige standaarden voor draadloze apparatuur voor PMSE-gebruik

Verbindingen voor PMSE maken tot nu toe geen onderdeel uit van netwerken waarbij eind-eind verbindingen over gedeelde radiomedia via meerdere 'hops' kunnen verlopen. Voor PMSE gebruikt men voor de zogenoemde *content production pipelines* punt-punt-, punt-multipunt en multipunt-punt draadloze verbindingen van zeer hoge kwaliteit en beschikbaarheid/betrouwbaarheid. Zoals uit voorgaande paragrafen duidelijk is geworden, heeft elke gewenste connectiviteit momenteel zijn eigen frequentie. Specifieke standaardisatie voor draadloze PMSE-systemen staat dan ook in verband met spectrale eisen en is dan ook op zich relatief eenvoudig. Wel zijn in recente jaren voor sommige situaties eveneens systemen die gebaseerd zijn op niet-specifieke PMSE-standaarden voorgesteld door PMSE-gebruik, waarover later in deze paragraaf iets meer. Een belangrijke kwaliteitseis voor PMSE is dat vertragingen veel kleiner moeten zijn dan 10 ms.



Figuur 7: Diverse componenten in het totale vertragsbudget [bron: Sennheiser, aangepast]

De strengste eis voor deze vertraging wordt opgelegd door de feedback van audio in IEM-systemen. Een maximale waarde van 4 ms kan daarbij als praktijknorm

⁵² http://pmse.nl/wp-content/uploads/2019/12/20191125_PMSE-themamiddag_verslag.pdf

⁵³ <https://www.agentschaptelecom.nl/onderwerpen/microfoons---draadloos-gebruik-en-frequenties/totaaloverzicht-frequenties-voor-draadloze-microfoons>

worden gezien⁵⁴. Dit is echter een integrale waarde en behelst meerdere bijdragen, namelijk van contentprocessing, analoog-digitaal en digitaal-analoog conversie, et cetera, zie Figuur 7.

Verder geldt als algemene industriestandaard een kanaalbreedte van 8 MHz. Per kanaal kunnen 10 tot 16 PMSE-apparaten worden geaccommodeerd. Het algemeen door de industrie geaccepteerde PMSE-spectrummasker ligt binnen 200 kHz. ETSI heeft in november 2021 een update uitgegeven voor de Europese standaard *Audio PMSE-apparatuur tot 3 GHz*, dus voor draadloze microfoons⁵⁵. DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) is sinds de afslanking van het aantal UHF-kanalen voor regieverbindingen steeds populairder geworden. Dit lijkt echter de problematiek te verschuiven naar de DECT-specifieke band, zie ook de Monitor voorjaarseditie van 2021⁵⁶.

Verder kan voor zendermicrofoons in een enkel geval, namelijk in gunstige radio-omstandigheden zonder Wi-Fi-gebruikers, op kleine schaal van de 2,4 GHz ISM-band gebruik worden gemaakt.

5.4 Tendensen op het gebied van draadloze PMSE-systemen en verwachtingen

Gezien de voortschrijdende ontwikkelingen op het gebied van mobiele technologie (5G *and beyond*) en de toenemende congestie in de UHF-band, kan men zich de vraag stellen in hoeverre mobiele communicatietechnologie ingezet kan worden voor het accommoderen van de groeiende PMSE-behoefte aan draadloze capaciteit in de toekomst.

Er zijn diverse onderzoeksprojecten die zich buigen over deze vraag waarvan de twee belangrijkste lijken:

- PMSExG (PMSE Next Generation), een Duits Research & Development project waarin naast twee onderzoeksinstellingen Sennheiser, Intel, ARRI (Arnold & Richter Cine Technique GmbH & Co), Bosch GmbH, Smart Mobile Labs (SME) deelnemen⁵⁷. Het project liep van oktober 2016 tot maart 2018 en richtte zich op 4+G en de eerste releases van 5G.
- 5G RECORDS (5G key technology enableRs for Emerging media COntent pRoDuction Services), een EU H2020 project⁵⁸ met vele partijen op de gebieden Media support (onder andere BBC, RAI en RedBee) en 5G (componenten en end-to-end infrastructuur) waaronder Ericsson, Nokia, Eureka en Sennheiser. Het project is gestart in september 2020 en loopt eind 2022 af.

In beide projecten zijn grotendeels dezelfde audio- en video *use cases* beschouwd met dien verstande dat 5G RECORDS daar een live *immersive* (video) content productie aan toevoegde. Deze is in juni 2022 gedemonstreerd⁵⁹, waarover later meer.

⁵⁴ <https://www.agentschaptelecom.nl/binaries/agentschap-telecom/documenten/rapporten/2018/01/24/rapport-digitisation-of-wireless-microphones/Rapport+Digitisation+of+wireless+microphones.pdf>, pagina 12

⁵⁵ ETSI EN 300 422-1 V2.2.1 (2021-11), ref. REN/ERM-TG17-157

⁵⁶ TNO2021-R10974, juni 2021, Paragraaf 2.1.7, pagina 12

⁵⁷ M. Hertlein et al: *PMSE-xG –Wireless Communication in Mobile Networks for Programme Making and Special Events*, International Conference on Signals and Systems (ICSigSys) 2018

⁵⁸ <https://www.5g-records.eu/>

⁵⁹ P. Pérez et al: *Live Free-Viewpoint Video in Immersive Media Production Over 5G Networks*, IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 68, No. 2, June 2022

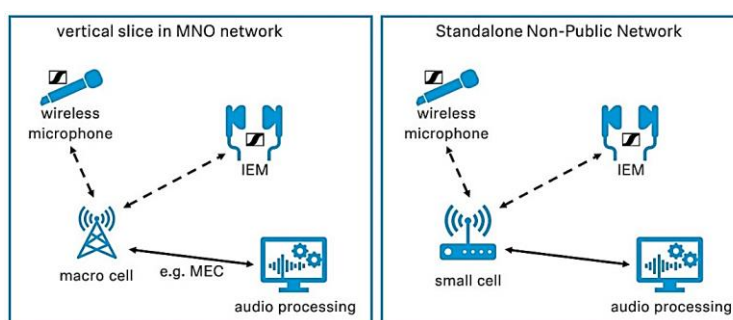
Beide projecten hebben zich gebaseerd op de belangrijkste kwantitatieve PMSE-eisen die uitgedrukt kunnen worden in de PMSE KPI's (Key Performance Indicators) datasnelheid, vertraging, synchronisatie en beschikbaarheid/betrouwbaarheid. Onderstaand geeft Tabel 4 aan hoe voor deze KPI's en overige parameters de PMSE-eisen (verdeeld in de categorieën audio en video) zich verhouden tot die van IMT 2020 ofwel 5G.

Tabel 4: Maximale PMSE-eisen vergeleken met die van IMT 2020 [bron: PMSExG, aangepast]

	System delay [ms]	Link data rate [Mbit/s]	Reliability [%]	Number of data links	Synchronicity	Area of operation [m x m]	Mobility [km/h]
audio	1	4.61	99.99	150	1 μ s	100 x 100	50
video production	10	2000	99.999	20	1 μ s	100 x 100	100
IMT 2020	1	20000	99.999	10 ⁶	n.a.	1000 x 1000	500

De eerste release van 5G, Release 15, is niet zonder meer inzetbaar omdat met name tekort wordt geschoten op het gebied van synchronisatie. Verder suggereert Tabel 4 dat de verbindingsvertraging van 1 ms net voldoende zou zijn. Nu zijn de eisen voor IMT 2020/5G, zoals deze vertraging, gespecificeerd voor de verzending van een enkel pakket in een scenario met één gebruiker. Voor PMSE-apparatuur moet echter worden uitgegaan van een continue stroom informatiepakketten in een opstelling met meerdere gebruikers waardoor het de vraag is of deze vertragingwaarde wel zonder meer haalbaar is. Wanneer in 5G-systemen *network slicing* is geïmplementeerd wordt het mogelijk om diverse verkeerstromen onafhankelijk van elkaar te beheren en te prioriteren om het vereiste QoS (Quality of Service)-niveau te bereiken. Voor PMSE-toepassingen zou dit soelaas kunnen bieden. Daarnaast kan 5G mogelijk ook PMSE-diensten aanbieden via lokale netwerken of via *device-to-device* communicatie.

Onderstaand is in Figuur 8 aangegeven hoe onder meer binnen 5G RECORDS⁵⁸ de toepassing van 5G voor live audioproductie wordt voorgesteld. Hiervoor zijn twee vormen mogelijk: zoals aangeboden door een MNO (Mobiele Network Operator, links) via een 5G-slice voor ultra-lage vertraging of in een lokaal 5G 'bedrijfsnetwerk' in eigen- dan wel uitbesteed beheer (rechts)⁶⁰.



Figuur 8: Opties voor de live audioproductie use case binnen onder meer 5G RECORDS [bron: Sennheiser, aangepast]

Welke vorm men kiest, hangt af van de consequenties hiervan, waaronder de mate van afhankelijkheid, garantie van kwaliteit, veiligheid en financiële gevolgen. Meer

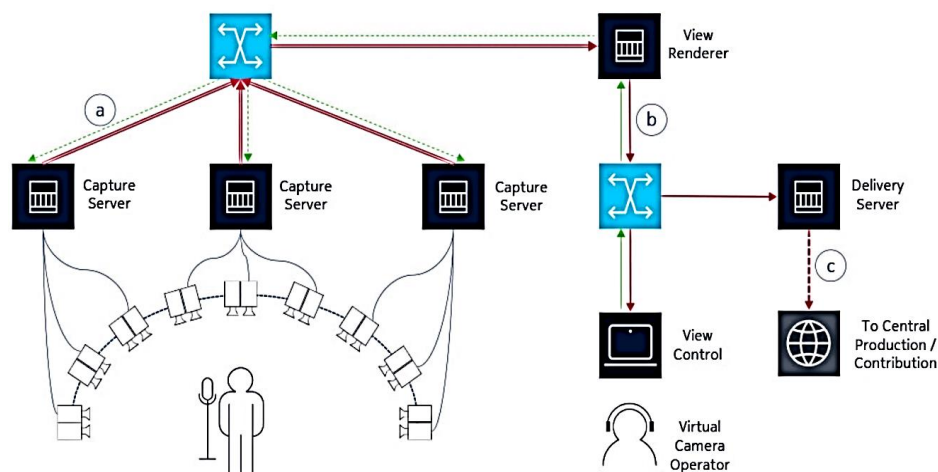
⁶⁰ <https://tech.ebu.ch/contents/publications/presentations/200506webinar5gdistribution/audio-pmse-and-5g>

specifiek gaat het dan om de vereiste QoS, aanschaf en ontplooiing van netwerkcapaciteit, privacy, schaalbaarheid en het spectrum ('meeliften' op de MNO-frequenties versus spectrumregelingen voor ad-hoc (dus tijdelijke) toepassing of voor semi-permanent, lokaal gebruik in een vaste studio).

De grote uitdaging binnen PMSE-communicatie via 5G is hier het behalen van de eind-eindvertraging van maximaal 4 ms voor IEM (zie Figuur 7). Specifiek is hiervoor een testomgeving⁶¹ ontwikkeld op basis van 5G Release 15. Gesteld wordt echter dat voor het behalen van de doelstelling minstens Release 16 nodig is. Deze *use case* is dan ook niet gedemonstreerd in 5G RECORDS. Bovendien is hierboven de vertragingsswaarde van 1 ms met 5G gerelativeerd.

Zoals vermeld, is in 5G RECORDS gekozen voor de demonstratie van geavanceerde live videoproductie. Met oog op deze eindpilot is uiteengezet hoe via 5G als *enabler* voor *cloud-based* producties kan functioneren. Hiervoor wordt een mmWave RAN (Radio Access Network) gebruikt om uplink-capaciteit te bieden voor de zogenoemde Free-Viewpoint Video (FVV) camera's⁶², *multi-access edge computing* voor videoverwerking met minimale vertraging en *end-to-end network slicing* om de QoS te kunnen garanderen.

De PMSE KPI's voor video zijn gemeten tijdens een veldtest op drie verschillende locaties. De opzet van het FVV Live systeem is weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9: Schematische opzet van het 5G RECORDS testsysteem FVV Live [bron: IEEE]

In de testen varieerde de vertraging meestal tussen de 18 en 25 ms. Zonder informatieverlies, dus in geval van goede betrouwbaarheid, bedroeg de datasnelheid tussen ongeveer 42 en 180 Mbit/s, afhankelijk van de kwaliteit van de processing, de complexiteit van de video content en het achtergrondverkeer. Uit Tabel 4 blijkt dus dat de eisen voor videoproductie, opgesteld binnen het PMSExG-project, nog niet worden gehaald (vanwege de technologiestatus van de 5G-implementatie, Release 15, konden de verwachtingen voor IMT-2020 in deze tabel sowieso niet worden waargemaakt). Men concludeerde dan ook dat de QoE (Quality of Experience) nog kon worden verbeterd.

Voor wat betreft de 5G RAN kan dit onder meer door meer uplink/downlink symmetrie, een hogere carrier bandbreedte van minstens 200 MHz en door hogere

⁶¹ https://www.youtube.com/watch?v=xo--_3eZvuc

⁶² Met een FVV-systeem is het voor de regisseur (in de FVV-pilot van 5G RECORDS de virtual camera operator) of zelfs op termijn de gebruiker mogelijk om naar eigen wens het gezichtspunt van een scene te veranderen zonder interactie met een cameraman.

aggregatie van carriers en een hogere-orde MIMO (Multiple Input Multiple Output) toe te passen. Men verwacht in de komende paar jaren dat op deze gebieden de beperkingen kunnen worden opgelost.

Op het gebied van *edge computing* zijn verbeteringen wenselijk voor parallelverwerking (voor beeldweergave) en via hardware versnelde videocodering en -decodering zodat hogere *frame rates* en resolutie mogelijk zijn. Gezien de ontwikkelingen op het gebied van GPU's (Graphics Processing Units) kan deze verbetering in de komende jaren worden verwacht.

Voor de *end-to-end network slicing* zal het nodig zijn om de KPIs continue te monitoren om dynamisch toekenning van een *slice* te kunnen realiseren.

Dergelijke ontwikkelingen die in 5G RECORDS zijn geadresseerd brengen tezamen op termijn de productie van VR/XR-content binnen handbereik. Hierbij wordt dus interactie mogelijk met de consument die al dan niet bewust de regie kan krijgen over camera en zijn actuele viewpoint. Hoe dan het tv-kijken als groepsproces moet worden bediend, is momenteel nog onduidelijk.

Voor wat betreft de prestaties lijken de resultaten van de 5G RECORDS-testen perspectief te bieden voor de toekomst maar zijn de KPI's voor videoproductie nog niet gehaald. Het verdient dus aanbeveling de verdere ontwikkelingen op dit gebied te volgen.

Hoewel niet gedemonstreerd binnen 5G RECORDS, zien we soortgelijke technologische *enablers* in de live audioproductie terug (zie Figuur 8). Hier wordt de grote uitdaging het behalen van de maximale eind-eindvertraging voor IEM (zie Figuur 7). Dit is vooral afhankelijk van de beschikbaarheid van apparatuur gebaseerd op 5G Releases 16 en 17.

Wanneer 5G voor diverse PMSE *use cases* eenmaal voldoet, wordt de afhankelijkheid van UHF-band in principe minder. Afhankelijk van de gekozen oplossing, *end-to-end network slicing* door MNO aangeboden of een *standalone private network*, wordt voorzien dat ook dan spectrumregelingen voor ad-hoc (mede-)gebruik of semipermanent privaatgebruik nodig zullen zijn.

6 Draadloos opladen van voertuigen

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op diverse aspecten van het draadloos opladen van voertuigen, met de nadruk op personenauto's. Eerst wordt in de inleiding (Paragraaf 6.1) aangegeven waarom deze vorm van opladen belangrijk is en daardoor als onderwerp in van deze Monitor-editie is opgenomen. Vervolgens wordt in Paragraaf 6.2 kort ingegaan op de werking en uitdagingen van draadloos opladen. Daarna worden in Paragraaf 6.3 partijen en internationale projecten benoemd die zich bezighouden met het draadloos opladen van voertuigen om een idee te geven van het perspectief en het draagvlak. In de daaropvolgende Paragraaf 6.4 wordt besproken wat mogelijke technische risico's zijn van de twee vormen van inductieladen. Tot slot volgen in Paragraaf 6.5 enkele conclusies en een verwachting voor implementaties in de toekomst.

6.1 Inleiding

Verreweg de meest gangbare vorm van draadloze energieoverdracht voor accuvoedingen en uiteindelijk elektromotoren is vooralsnog magnetische inductie. In plaats van draadloos opladen wordt dan ook eerder gesproken over inductieladen, in het Engels aangeduid met Wireless Power Transfer (WPT). In deze Monitor-editie worden beide Nederlandstalige termen gebruikt. Inductieladen vindt al sinds vele jaren toepassing in consumentenelektronica zoals voor het opladen van mobiele telefoons, tablets en elektronische tandenborstels. Sinds circa tien jaar staat echter een toepassing van inductieladen op veel hoger vermogen in de belangstelling: het draadloos opladen van elektrische en hybride auto's.

Deze toepassing van inductieladen is om een aantal redenen onderwerp in deze Monitor najaarseditie.

Ten eerste biedt het draadloos opladen van auto's de consument praktische voordelen ten opzichte van het opladen via de kabel. Dit betreft een snellere en gemakkelijker voorbereiding en -afbouw omdat geen kabel en oplaadpaal of oplaad-box meer nodig zijn. Bovendien lijkt deze vorm van opladen beter bestand tegen fysieke molest en biedt het een opgeruimder straatbeeld. Al met al wordt verwacht dat circa 27% van de elektrische of hybride voertuigen in 2030 gebruik zal maken van draadloos opladen⁶⁹.

Ten tweede sluit deze ontwikkeling aan bij de grootschalige introductie van (semi-)elektrische auto's die van belang is voor de ingeslagen weg naar onafhankelijkheid van fossiele brandstoffen en milieuvriendelijker vervoer, recent bekrachtigd door het aangekondigde verkoopverbod van nieuwe conventionele brandstofauto's in Europa na 2035. Bovendien is per saldo elektrisch rijden efficiënter dan conventioneel rijden. Alles wat bij elektrisch rijden aan gebruiksgemak en toegankelijkheid geboden wordt, kan helpen om de consument te motiveren te kiezen voor een elektrische- of hybride auto. Juist in deze zin is er een interessante ontwikkeling: niet alleen wordt het waarschijnlijk algemeen mogelijk draadloos op te laden op een daartoe ingerichte (parkeer)plek, het statisch opladen, maar daarnaast zou in de toekomst ook sprake kunnen zijn van opladen tijdens autoritten: het dynamisch of mobiel opladen.

Voor de volledigheid moet worden opgemerkt dat er ook op het gebied van accutechnologie ontwikkelingen zijn zoals de duurzamere organische batterij die

bovendien sneller kan worden opgeladen⁶³. Dit type batterijen wordt echter niet verwacht voor circa 2035; wisselstations voor het snel verwisselen van accu's op abonnement-basis zijn daarentegen al in opkomst in Noorwegen en China. Batterij-c.q. accutechnologie past uiteraard samen met inductieladen als belangrijke technologie in de context van elektrisch rijden maar valt verder buiten bestek van de Monitor en zal dan ook niet nader worden besproken.

Naast de voordelen die voor statisch opladen gelden, vormt bij mobiel opladen de oplaadtijd veel minder een beperking en ongemak. Het opladen kan immers volledig of anders ten dele plaatsvinden tijdens het rijden (*opportunity charging*). In de situatie waarin mobiel opladen in ruime mate ingeburgerd is, is het voorstelbaar dat dit opladen een bijna continu proces is waardoor de kans op een leeg accupakket relatief klein wordt. Een belangrijker voordeel is echter dat in deze fase accupakketten kleiner kunnen worden terwijl bovendien de actieradius verbetert⁶⁴. Het lichter worden van accupakketten en daardoor vermindering van bandenslijtage leidt op zijn beurt weer tot reductie van uitstoot van rubber (voor het remsysteem van elektrische voertuigen geldt dit ook en wel voor de uitstoot van fijn-metaal).

Duidelijk is dat de activering en de-activering bij mobiel opladen op een andere manier zal moeten plaatsvinden dan via een cardsysteem. Onafhankelijk van wat deze methode precies zal gaan worden, zal de consument niet meer de nadelen van een separate oplaadcard ervaren.

6.2 Globale werking van inductieladen

6.2.1 *Principe*

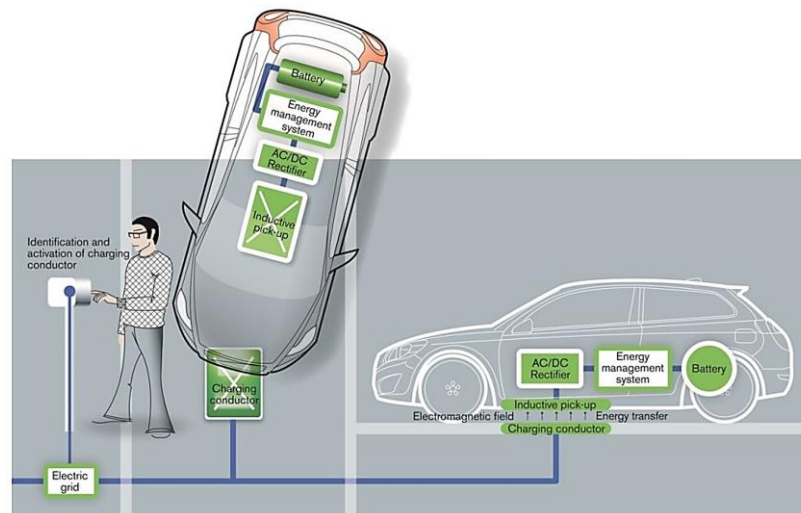
In kort bestek wordt eerst op statisch inductieladen ingegaan, daarna op mobiel inductieladen.

6.2.1.1 *Statisch opladen*

Wanneer inductieladen statisch plaatsvindt, wordt op een speciale parkeerplaats via een oplaadspoel die ter plaatse in het wegdek is verwerkt of hierop is aangebracht, het voertuig opgeladen dat daar geparkeerd staat. Afhankelijk van het oplaadsysteem varieert de duurt van het geheel opladen van een leeg accusysteem tussen circa een half uur tot enkele uren. In Figuur 10 is dit geïllustreerd.

⁶³ N. Schenk: *Hoe elektrisch gebruiksvriendelijker wordt*, FD Persoonlijk Magazine, 29 oktober 2022, pagina's 68-73

⁶⁴ K.N. Mude et al: *In-Motion Wireless Power Transfer: Technology, Infrastructure, challenges and Market scenario*, maart 2017, https://www.researchgate.net/publication/316907184_In-motion_wireless_power_transfer_Technology_infrastructure_challenges_and_market_scenario



Figuur 10: Principe van statisch inductieladen [bron: inductielader.com]

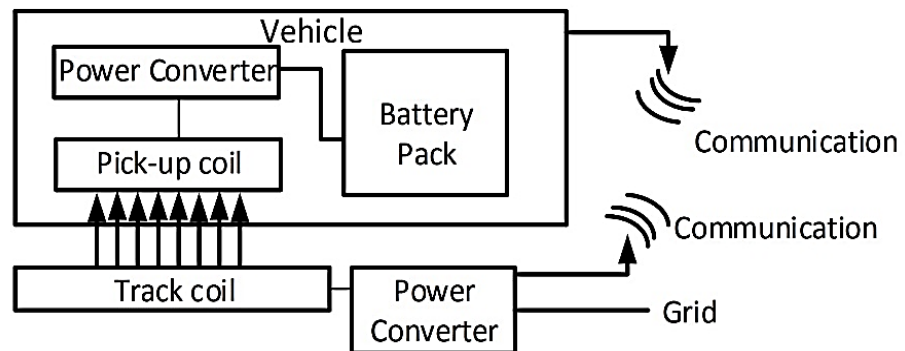
Er is geen principieel verschil tussen de conventionele detectiespoel in het wegdek en deze constructie voor opladen met dien verstande dat de omvang van de spoel anders is en bij inductieladen een sterke stroombron is aangesloten op de spoel. Hierdoor wordt een aanzienlijke wisselstroom en een navenant sterk magnetisch wisselveld opgewekt. Deze induceert in de ontvangstspoel van de auto een wisselspanning die vervolgens gelijkgericht wordt en na aanpassing van het voltage het accupakket in het voertuig oplaadt. De afstand tussen wegdekspoel en autospoel dient vooralsnog 10 tot 25 cm te bedragen voor voldoende koppeling en dus -efficiëntie⁶⁵. Om de efficiëntie te verhogen kunnen nog componenten worden toegevoegd aan het voertuig- en/of wegdeksysteem. Hierdoor wordt resonantie bereikt of benaderd waardoor de energieoverdracht en dus de efficiëntie kan stijgen. Opmerking: voor zover bekend, wordt in de open literatuur nauwelijks melding gemaakt van statisch systemen waarbij de zenderspoel tegen of vlakbij de bodem van het voertuig kan worden gebracht (vanuit het voertuig of vanuit de oplaadplek) waardoor de oplaadeficiëntie en -tijd kan worden verbeterd⁶⁶. Ook zou hierdoor de EMV-uitstraling wezenlijk kunnen worden verminderd.

6.2.1.2 Mobiel opladen

Het technisch principe van deze vorm van opladen, in het Engels *In-Motion Wireless Power Transfer (WPT)*, is afgebeeld in Figuur 11⁶⁴.

⁶⁵ <https://www.inductielader.com/hoe-werkt-auto-inductieladen/>; zie ook norm IEC 61980-3, ISO 19363, SAE J2954

⁶⁶ *Elektrische bus maakt steeds slimmer gebruik van energiebesparing*, OV Magazine nr. 6, 22 november 2012



Figuur 11: Principe van dynamisch inductieladen (*In-motion WPT*) [bron: IEEE]

Mobiel opladen maakt van hetzelfde principe gebruik als statisch opladen maar door de noodzakelijke extra functionaliteit is mobiel opladen veel complexer.

Verschillen zijn gelegen in:

- 1) Een andere uitvoering van de zendspoel (in Figuur 11 aangegeven als 'track coil'). Uit efficiëntieoverwegingen wordt hier een gesegmenteerde uitvoering over het gehele traject van voorzien waarbij snel geschakeld wordt tussen de opeenvolgende spoelen in het wegdek. Verdere uitweiding over de technische aspecten van de architectuur aan de wegzijde valt buiten bestek van de najaarseditie. Wel kan worden vermeld dat voor de praktische uitvoering gedachten uitgaan naar het gebruik van relatief kosteneffectieve en minder milieubelastende ferrietkernen dan naar het gebruik van aardmetalen (als dit laatste al wezenlijk functioneel voordeel zou opleveren);
- 2) Een complexere uitvoering van de systemen aan de weg- en voertuigzijde met regulatoren (niet expliciet aangegeven in Figuur 11). Een essentieel verschil met statisch opladen is dat bij mobiel opladen de koppeling tussen de zend- en ontvangstspoelsystemen varieert als gevolg van de voertuigbeweging in alle richtingen. De afstand tussen de spoelen verandert daardoor in meer of mindere mate en er wordt een zelfinductie opgewekt die de efficiëntie van de energieoverdracht vermindert. Om dit zogenoemde reactieve vermogen tegen te gaan bestaan diverse compensatiemethoden. Deze maken gebruik van reguleerbare condensatoren en spoelen (zelfinducties) die in principe aan zowel de zender- als ontvanger-kant worden toegevoegd;
- 3) De aanwezigheid van draadloze communicatiemodules aan de zijde van de weg en in het voertuig zoals gesuggereerd in Figuur 11. Deze modules zijn nodig voor de communicatie tussen infrastructuur- en voertuigkant om de regulatoren te sturen met de juiste informatie die representatief is voor: de positie en snelheid van het voertuig op de weg, de aanwezigheid van obstakels, de status van het oplaadproces, et cetera. Daarnaast moeten aan de infrastructuurkant gegevens worden verzameld en geanalyseerd voor de (voorspelling en planning van de) toewijzing van oplaadcapaciteit aan de weggebruikers. Voor de uitvoering van deze communicatiemodules ligt *dedicated short range communication* (DSRC) het meest voor de hand⁶⁴ gezien de vereiste betrouwbaarheid en zeer lage vertraging. Met DSRC worden daarnaast mogelijkheden geboden om meerdere voertuigen tegelijk te bedienen terwijl potentieel bestaat voor mogelijk gebruik van andere transportapplicaties.

6.2.2 Uitdagingen voor voertuigen

De huidige normen voor efficiëntie⁶⁷ (NEN-EN ISO 19363:2021 en de voorloper uit 2020) in samenhang met interoperabiliteit en veiligheid, geven een minimale efficiëntie van 85% in de situatie dat het voertuig met de weginfrastructuur is uitgelijnd. In de praktijk vertaalt zich dit naar een maximale afstand tussen zend- en ontvangspoel tussen circa 10 en 30 cm. De genoemde, huidige normen zijn alleen op statisch opladen gericht.

Op het gebied van zowel statisch- maar vooral mobiel opladen liggen op de volgende gebieden nog technische uitdagingen, juist ook voor standaardisatie.

Voorals voor publiek opladen is standaardisatie belangrijk.

Algemene kwesties:

- Snelheid van opladen: norm voor de minimale waarde (voor statisch opladen zijn oplaadvermogens gestandaardiseerd, deze bepalen ten dele de oplaadsnelheid);
- Het voorkomen van overbelasting van het elektriciteitsnet door grootschalig gelijktijdig opladen. Hier bieden voor statisch opladen *smart charging*-oplossingen reeds een vermindering van circa 40%⁶⁸;
- Genormaliseerde frequentiekeuze. Waarden tussen circa 20 en 90 kHz worden in de literatuur vaak genoemd. Hier is de standaardisatie nog niet definitief waardoor nog niet ieder type auto bij elk oplaadpunt kan opladen. Tabel 5 geeft voorgestelde waarden voor diverse vermogensniveaus⁶⁹.

Tabel 5: Voorstellen voor technische standaardwaarden [bron: ITU-R, aangepast]

Categories	Power level	Frequency band
High power WPT	22 kW – 200 kW	19 – 25 kHz
	11 kW – 22 kW	59 – 61 kHz
Medium power WPT	7.7 kW – 11 kW	79 -90 kHz
	3.7 kW – 7.7 kW	

Voor de emissie van elektromagnetische velden (EMV) bestaan diverse normen waarvan SAE J2954 RP de enige norm is die EMV-emissie voor frequenties beneden 150 kHz aangeeft. Specifiek geldt voor 79-90 kHz een limiet van 82,8 dBµA/m⁷⁰. Ook CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques) houdt zich bezig met de ontwikkeling van standaarden in deze frequentieband en wel voor twee klassen elektrische voertuigen. Voor 20 kHz liggen deze CISPR 11-limieten op respectievelijk 72 en 107 dBµA/m en voor 85 kHz op respectievelijk 67,5 en 103 dBµA/m.

In geval van mobiel opladen spelen bovendien de volgende uitdagingen met daarbij aangegeven de eventuele invloed op normstelling (als deze niet evident is):

- Synchronisatie tussen de zend- en ontvangspoelen - norm voor de minimale efficiëntie. In de dynamische situatie is ten opzichte van statisch opladen de efficiëntie inherent kleiner en is de uitdaging de waarde voor mobiel opladen dichtbij de waarde voor statisch opladen te brengen;

⁶⁷ <https://www.nen.nl/nen-en-iso-19363-2021-en-281282>

⁶⁸ <https://tweakers.net/nieuws/167236/enexis-slim-laden-elektrische-autos-leidt-tot-40-procent-minder-piekbelasting.html>

⁶⁹ *Assessment of impact of wireless power transmission for electric vehicle charging (WPT-EV) on radiocommunication services*, Annex 2 bij ITU document 1B/341-E, 30 November 2018

⁷⁰ https://pure.tudelft.nl/ws/portalfiles/portal/97493136/Survey_on_Standards_and_Regulations_for_Wireless_Charging_of_Electric_Vehicles.pdf

- De aanvaardbare vermogensniveaus voor diverse klassen voertuigen;
- Het omgaan met (tijdelijke) onvoldoende uitlijning- norm voor de tolerantie hierin;
- In geval van een de gesegmenteerde infrastructuur: het detecteren van een voertuig met een bepaalde snelheid voor de timing van het aan- en uitschakelen van de diverse spoelen;
- Meerdere voertuigen op de oplaadstrook en het beheer daarbij van het opladen van meerdere voertuigen- norm voor het maximaal aantal voertuigen dat gelijktijdig bediend kan worden;
- Normen voor communicatie tussen de infrastructuur en het voertuig met lage vertraging en voldoende beveiliging.

Naast deze technische uitdagingen zijn er ook economische hobbels te nemen die voor mobiel opladen veel groter zijn dan voor statisch opladen. Een Amerikaans onderzoek⁷¹ uit eind 2021, gebaseerd op de aanleg van een infrastructuur voor het drukste snelwegtraject in Californië, geeft enig kwantitatief inzicht in dit laatste. Daarbij wil het onderzoek het algemene uitgangspunt dat mobiel opladen sowieso te kostbaar zou zijn, enigszins relativeren. Een eerste operationele mobiele oplaadinfrastructuur in een dergelijke situatie zou, uitgaande van een terugverdiëntijd van 20 jaar, voor personenvoertuigen een gebruikersheffing vergen van maximaal rond US\$ 0,11/km en voor elektrische vrachtwagens circa US\$ 1,71/km, sterk afhankelijk van de schaal van gebruik en het renumodel. Daarbij wordt erkend dat ondanks de toegenomen onderzoeksactiviteiten in de laatste jaren, substantiële *research & development* en zorgvuldige planning nodig zijn voordat een operationeel systeem kan worden gerealiseerd. Voor beleidsmakers, consumenten en investeerders betekent dit ondanks het hiervoor geschetste hoge potentieel van mobiel opladen, grote onzekerheid en kan ertoe leiden dat alle aandacht uitgaat naar statisch opladen of alternatieve concepten van opladen, zeker op de kortere termijn.

6.3 Actieve partijen

Nadat eerste onderzoekpilots rond draadloos opladen al zo'n twintig jaar terug plaatsvonden, houden veel auto-industrieën zich sinds een aantal jaren intensief bezig met statisch opladen. Inmiddels zijn er dan ook diverse automerken⁷² die in hun producten statisch opladen ondersteunen zoals BMW (sinds 2018), Mitsubishi, Audi, Chevrolet, Kia, Mercedes, Volvo, Toyota, Tesla en Nissan. Daarnaast testen de meeste automerken met inductieladen. De medio 2022 verschenen Duitse Sono Sion kan zelfs continu 'bijladen' op zonne-energie. Hiervoor zijn zonnecellen in de carrosserie verwerkt⁷³. Ook werken fabrikanten (de Original Equipment Manufacturers ofwel OEM's) aan elektrische en hybride auto's met voorzieningen voor inductieladen en zijn er draadloze thuisopladers voor de elektrische auto op de markt zoals Bosch en Plugless Power, beide uit de Verenigde Staten. Interessant is de pilot die Volvo Cars heeft lopen in Göteborg, Zweden⁷⁴ van 2022 tot 2025 in de Green City Zone. Dit betreft een samenwerking met onder meer de taxionderneming Cabonline, het Zweedse energiebedrijf Vattenfall en de

⁷¹ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590116821000527>

⁷² <https://www.inductielader.com/welke-ev-autos-kunnen-inductieladen/>

⁷³ <https://sonomotors.com/en/sion/>

⁷⁴ <https://www.inductielader.com/2022/04/19/draadloos-laden-volvo-de-zweedse-test-van-volvo-cars/>

oplaadnetwerkprovider InCharge. Elke keer wanneer de elektrische taxi's wachten op een klant, vindt automatisch draadloos opladen plaats⁷², zie Figuur 12. Net als bij mobiel opladen beoogd wordt, biedt deze toepassing het voordeel van opladen zonder dat dit extra tijd kost. Gezien de aanzienlijke capaciteit van het systeem gaat dit bijna net zo snel als met een bekabelde snellader. De proeftaxi's rijden meer dan 12 uur per dag en circa 100.000 kilometer per jaar.



Figuur 12: Proeftaxi's op hun elektrische standplaatsen [bron: Volvo Cars Group]

Veel aandacht is er dus voor statisch opladen en hoewel (massaal) mobiel opladen nog vaak in de onderzoeksfase is, bestaat in Zuid-Korea een commercieel operationele pilot met mobiel opladen van een stadsbus (*On-Line Electric Vehicle-OLEV*)⁶⁴ die al sinds 2010⁷⁵ wordt uitgevoerd door het Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST). Opmerkelijk is dat het hier niet gaat om een personenauto maar om een publiek transportvoertuig, die ook voor deze manier van opladen navenant grotere accucapaciteit nodig heeft. Al met al heeft het accupakket 20% van de omvang die voor statisch opladen benodigd zou zijn⁷⁶. Er wordt een efficiëntie van ongeveer 70% bereikt. Het totale testtraject in Gumi bedraagt 2,2 km waarvan het oorspronkelijk de bedoeling was dat meer testtrajecten zouden worden aangelegd.

Andere actieve partijen zijn: Oak Ridge National Laboratory (ORNL, op gebied van efficiënte weginfrastructuur) en PRIMOVE-Bombardier (totaaloplossingen voor elektrische bussen, -auto's en -vrachtwagens voor statisch en mobiel opladen). Specifiek rond interoperabiliteit, vooral belangrijk voor publiek opladen, lopen meerdere projecten⁷⁷ zoals *Wireless Power Transfer for Electric Vehicles* van het International Energy Agency, onderdeel van de *Implementing Agreement on Hybrid and Electric Vehicles*.

Verder zijn diverse partijen specifiek op mobiel opladen actief waaronder⁶⁴: de universiteiten van Auckland en Stanford, Witricity Corporation, Delphi Wireless Charging System, Plugless Power en HEVO (Hybrid and Electric Vehicle Optimisation) Power.

Vanuit het EU-onderzoek was het breed opgezette FP-7 project FABRIC (FeAsiBility analysis and development of on-Road charging solutions for future electric vehiCles) actief van 2014 tot medio 2018⁷⁸. In dit programma waren 25

⁷⁵ https://www.researchgate.net/publication/267698229_Design_of_On-Line_Electric_Vehicle_OLEV

⁷⁶ <https://www.iipita.com/line-electronic-vehicle-hits-road/>

⁷⁷ <https://www.inductielader.com/auto-inductieladen-interoperabiliteit/>

⁷⁸ <https://cordis.europa.eu/project/id/605405/reporting>

partners betrokken waaronder FIAT, VOLVO, SAET en diverse onderzoeksinstituten waaronder vanuit Nederland TNO. De eerder genoemde technische uitdagingen zijn na een aantal pilots met prototypes erkend. In dit project is zeer beperkt ook het gelijktijdig opladen van auto's gedemonstreerd.

6.4 Mogelijke technische risico's

In technische zin zijn op twee gebieden risico's denkbaar:

6.4.1 *Interferentie/ Electromagnetische Compatibiliteit (EMC)*

De keuze voor frequenties voor mobiel inductieladen liggen in de LF en VLF-banden zoals door de ITU (International Telecommunications Union) vastgelegd. Inductielaadsystemen zouden ook bij efficiënte koppelingen in theorie kunnen storen op apparaten die in deze banden werken, zoals draadloze hartslagmonitoren, het standaard frequentie- en tijdsignaal (SFTS), differentiatie-uitzendingen voor navigatieapparatuur, RFID (Radio Frequency Identification) en AM-ontvangst op de lange golf. Er is een werkgroep ingesteld bij de ITU-R die de mogelijke storing van draadloos opladen in deze frequentiebanden onderzoekt⁷⁹. Vooruitlopend hierop is door de Swedish Defense Research Agency FOI een onderzoek gedaan waarin de storing door (semi-)elektrische voertuigen op apparatuur werd vergeleken met atmosferische ruis. Hierbij is gebruik gemaakt van de eerder genoemde CISPR 11-normen voor EM-veldemissie voor (semi-)elektrische voertuigen. Gebleken is dat de afstanden van het voertuig tot ontvangstapparatuur elders, waarvoor de ontvangstniveaus van deze EM-veldemissie dezelfde waarde zouden hebben als die door atmosferische ruis, nog aanzienlijk konden zijn. Hierbij kan men zich afvragen of het gekozen criterium gebaseerd op alleen atmosferische ruis niet te streng is gekozen. In een praktische situatie zoals een urbane omgeving, zijn immers tal van *ambient noise*-bronnen actief waartegen veel ontvangers bestand zijn. Een definitieve uitspraak over de EMC van inductieladen is dan ook nog niet te geven.

6.4.2 *Blootstelling aan elektromagnetische velden*

In het geval van mobiel opladen zorgt een gesegmenteerde weginfrastructuur ervoor dat de stroomvoorziening van voertuigen selectief is en opladen alleen plaatsvindt als het voertuig over het bewuste segment rijdt (bij statisch opladen is dit bij voldoende uitlijning uiteraard altijd het geval). Hierdoor neemt de blootstelling aan EMV van voetgangers af. Zo laten resultaten van het meten van EMV-emissie voor OLEV^{76,80} zien dat deze met minder dan 10 mG⁸¹ bij 20 kHz ruim liggen onder de richtlijn van de International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) uit 1998 van 62,5 mG bij 20 kHz. Metingen tijdens FABRIC wezen uit dat de EMV-emissie tijdens de pilots ruim onder de ICNIRP norm uit 2010 lagen⁷⁸.

Voor statisch opladen geldt dat vrijwel alle inductielaadsystemen een beveiliging hebben waardoor energieoverdracht alleen plaatsvindt bij aanwezigheid van een

⁷⁹ <https://www.electronic.se/2021/05/25/interference-risks-from-wireless-power-transfer-for-electric-vehicles>

⁸⁰ https://www.researchgate.net/publication/276136726_Economic_Analysis_of_the_Dynamic_Charging_Electric_Vehicle_figures?lo=1

⁸¹ De gauss is als eenheid van magnetische fluxdichtheid verouderd maar in sommige vakgebieden nog gangbaar. Het internationale systeem van eenheden (SI) definieert de tesla. 1 gauss = 0,0001 tesla.

voertuig op de oplaadplaats. Desondanks is het voorstelbaar dat aandacht nodig is voor het nemen van eventuele maatregelen in bijzondere situaties zoals huisdieren die zich op een oplaadplaats kunnen bevinden, de invloed van begroeiing en vuil et cetera⁸².

6.5 Conclusies en toekomstverwachting

Draadloos opladen past als een technologie die gebruikersvoordelen biedt in de brede ontwikkeling-context van ideeën en maatregelen die elektrisch rijden stimuleren. Specifiek voor draadloos opladen bestaan nog de nodige open einden zoals rond standaardisatie, veiligheid en EMC. Internationaal worden deze onderwerpen wel in diverse gremia actief opgepakt maar desondanks is de verwachting dat in 2030 nog niet de helft van de (semi-)elektrische voertuigen voorzien zal zijn van een draadloze oplaadcapaciteit⁶⁹. Daarnaast vereist draadloos opladen en vooral mobiel opladen, investering in de infrastructuur en in voertuigaanpassing. Deze is in beide gevallen ingrijpend en kostbaar. Het is dan ook niet te verwachten dat draadloos opladen binnen circa 10 jaar 'de norm' zal worden.

Statisch opladen heeft duidelijk een voorsprong op mobiel opladen en de kans bestaat dat deze eerste vorm van draadloos opladen vanwege de relatieve eenvoud ten opzichte van de tweede, vooral op de kortere termijn een dominante marktpositie gaat innemen. Voor de langere termijn heeft mobiel opladen intrinsiek de beste papieren. Daarbij is de elektrische auto waarvan de carrosserie is voorzien van zonnecellen een interessante optie, zeker als de 'bijlaadcapaciteit' substantieel verhoogd kan worden. Het opladen via zonnecellen verloopt immers buiten een (kostbare) infrastructuur om.

Verder zijn wisselstations in opkomst. Het is denkbaar dat deze trend de motivatie voor draadloos opladen aanvankelijk wat verlaagt omdat het opladen wordt uitbesteed aan een derde partij die hier wellicht pas bij een druk gebruik van de wisselstations voordeel van gaat ondervinden.

Nadere ontwikkelingen zijn denkbaar op het gebied van multifunctioneel opladen op publieke punten waar draadloos opladen van voertuigen en apparatuur mogelijk is. Verder zou een willekeurig elektrisch voertuig in de toekomst wellicht ook als thuisbatterij gebruikt kunnen worden. Nu kan dit nog niet met alle elektrische autobatterijen, terwijl de capaciteit daarvoor geen beperking vormt.

⁸² <https://www.lanovaaladpalen.nl/inductie-laden-van-uw-elektrische-auto/>

7 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.