

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 2021 R11851 | Eindrapport

Monitor Draadloze Technologie
Najaar 2021



Datum	december 2021
Auteur(s)	P.C. Hoefsloot; Ir. R. Overduin; A. da Silva Pratas Gabriel, MSc; J.T. Wilkens, MSc; Dr. H. Zhang
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	39 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Projectnaam	Monitor Draadloze Technologie 2021
Projectnummer	060.47269

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.

© 2021 TNO

TNO PUBLIEK

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	De Monitor Draadloze Technologie	3
1.2	Het 'draadloos speelveld'	3
2	Duurzaamheid binnen mobiele netwerken	5
2.1	Spectrummanagement en klimaatverandering.....	5
2.2	Naar duurzame mobiele netwerken.....	10
3	Smart Cities anno 2021	17
3.1	De 'slimme stad'	17
3.2	Initiatieven binnen en buiten Nederland	19
3.3	Welke aspecten worden met welke technologie gerealiseerd?	20
3.4	Standaardisatie en Smart Cities	22
3.5	Verwachtingen van Smart Cities in Nederland	23
4	Algemene stand van zaken rond 5G	24
5	Pan-Europese interoperabiliteit tijdens mobiele communicatie voor hulpdiensten	27
5.1	Inleiding	27
5.2	De nieuwe weg	28
5.3	Europees oplossingsmodel	29
5.4	Relevante gebruikersscenario's voor Nederland.....	30
5.5	Oplossingstendens	31
5.6	Afsluitend	33
6	Gebruik van het kortegolf-spectrum.....	34
6.1	Beschikbaarheid en technische mogelijkheden van kortegolfcommunicatie	34
6.2	Toepassingen en gebruikersgroepen	34
7	Tot besluit.....	39

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'

De thema's duurzaamheid (met name klimaatbeheersing) en veiligheid staan hoog op de politieke agenda, niet alleen op nationaal- maar zeker ook op Europees niveau. In deze Monitoreditie zullen deze kernbegrippen dan ook terugkomen in een significant deel van de onderwerpen rond de inzet van draadloze communicatiesystemen. Hierbij valt niet alleen te denken aan de commerciële systemen waar de gemiddelde consument zich van bedient maar hebben bijvoorbeeld ook de minder gebruikelijke kortegolfsystemen een rol.

Daarnaast spelen de nodige ontwikkelingen die samenhangen met de toenemende urbanisatie. Thema's zijn dan het behoud dan wel vergroting van de leefbaarheid in steden en idem van hun economische concurrentiepositie. Dit eerste thema wint

aan urgentie vanwege het verband met klimaatbeheersing. Onder de noemer *Smart Cities* zijn hier IoT-diensten en -toepassingen belangrijke technologische *enablers*.

Terugkomend op het thema duurzaamheid gaat Hoofdstuk 2 van deze voorjaarseditie eerst in op de relatie tussen spectrummanagement en klimaatverandering. Hierbij vormt Europese beleidsontwikkeling rond dit complexe thema het uitgangspunt. Vervolgens wordt het verband aangegeven met de ontwikkeling van duurzamere draadloze communicatienetwerken. In diverse Europese landen is door toedoen van fabrikanten en operators deze ontwikkeling al geruime tijd gaande.

Hoofdstuk 3 gaat in op *Smart City*-ontwikkelingen. Bij Smart Cities gaat het om het bevorderen van het klimaat in steden in ruimere zin: naast het economisch- ook het leefklimaat. Het tegengaan van klimaatverandering is dan ook een belangrijke *driver* geworden van dit concept. Specifiek wordt de mogelijke rol van gemeenten belicht en passeren concrete toepassingen en initiatieven de revue.

Vervolgens biedt Hoofdstuk 4 een bondige update van de stand van zaken rond 5G met extra aandacht voor de standaardisatie binnen 3GPP. Hierbij wordt ook een korte doorkijk naar 6G gegeven. In deze volgende generatie mobiele communicatie zal de aandacht voor klimaatbeheersing in 5G verder worden doorgezet.

In het kader van veiligheid spelen sinds enige jaren samenwerkingsprojecten vanuit de Europese Unie rond de mogelijkheid om mobiele, gestandaardiseerde communicatie tussen hulpverleners uit diverse landen tot stand te brengen. Hoofdstuk 5 bespreekt dit onderwerp met als rode draad het huidige *pre-commercial procurement* project BroadWay dat in een pilotfase is gekomen. Technische uitdagingen en mogelijkheden voor een dergelijke gestandaardiseerde interoperabiliteit tekenen zich dan ook in concreto af. Dit hoofdstuk behandelt de mogelijkheden en de implicaties daarvan voor de hulpverlener als systeemgebruiker.

Hoofdstuk 6 heeft betrekking op uiteenlopende specifieke gebruikersgroepen die zich bedienen van het kortegolf-spectrum ofwel HF (High Frequency)-spectrum. Voor een aantal van deze groepen bestaat duidelijk een relatie met het thema veiligheid maar ook wordt aangegeven wanneer dit verband minder voor de hand ligt.

Vanwege de bijzondere eigenschappen van HF-signalen zal eveneens in kort bestek worden ingegaan op de invloed van radiopropagatie in deze band op de beschikbaarheid van draadloze verbindingen enerzijds en technieken en technologieën om hiermee om te gaan anderzijds.

2 Duurzaamheid binnen mobiele netwerken

Naar aanleiding van recente gezamenlijke standpunten in de Europese Unie wordt eerst in Paragraaf 2.1 ingegaan op de mogelijke beïnvloeding van klimaatverandering door spectrummanagement en wat de EU hierbij kan betekenen. Vervolgens zal in Paragraaf 2.2 worden aangegeven welke technische maatregelen in mobiele netwerken worden en kunnen worden genomen in de strijd tegen klimaatverandering.

2.1 Spectrummanagement en klimaatverandering

2.1.1 *Inleiding*

In het kader van de European Green Deal¹ die eind 2019 is ondertekend, onderzoekt de Radio Spectrum Policy Group (RSPG) van de Europese Commissie wat de bijdrage kan zijn van beleids- en reguleringsmaatregelen rond radiospectrum, kortweg spectrummanagement, om het einddoel van de Green Deal te bereiken: de uitstoot van broeikasgassen (vooral CO₂) terug te dringen tot nul in 2050. De RSPG werd daarbij geconfronteerd met een tweeledige uitdaging. Om de juiste beleidsbeslissingen te kunnen nemen, moet enerzijds inzicht worden verschaft in hoe processen in de totale keten van fabricage tot en met gebruik en beheer van radiocommunicatietechnologie elkaar beïnvloeden maar ook invloed hebben op andere sectoren. Anderzijds moet worden omgegaan met het nog ontbreken van betrouwbare, 'harde' getallen om beleidskeuzes op te baseren.

2.1.2 *Aanpak van de RSPG*

De volgende vragen zijn leidend geweest in de aanpak van het onderzoek door de RSPG:

1. Welke aspecten van spectrummanagement hebben betrekking op klimaatverandering? De beantwoording van deze vraag begint bij het vaststellen van de invloeden binnen de sector draadloze communicatie, dus mobiele en niet-mobiele netwerken, op klimaatverandering. Dit betreft zeker ook de indirecte invloeden, dat wil zeggen invloeden van draadloze communicatie op andere sectoren;
2. Hoe kan spectrummanagement bijdragen aan het bestrijden van ongewenste effecten van klimaatverandering? Ook hier moet gekeken worden naar hoe draadloze communicatie andere sectoren kan helpen in de reductie van ongewenste klimaateffecten;
3. Welke concrete maatregelen op Europees niveau kunnen worden aanbevolen die ook juridisch haalbaar zijn? Hier zijn mogelijkheden en hobbels geïnventariseerd via een openbare consultatie en een workshop onder belanghebbenden uit verschillende sectoren.

De RSPG heeft medio 2021 haar bevindingen in een eindrapport² vastgelegd. De inhoud van dit eindrapport aangevuld met de resultaten van de workshop en de

¹ The European Green Deal COM/2019/640

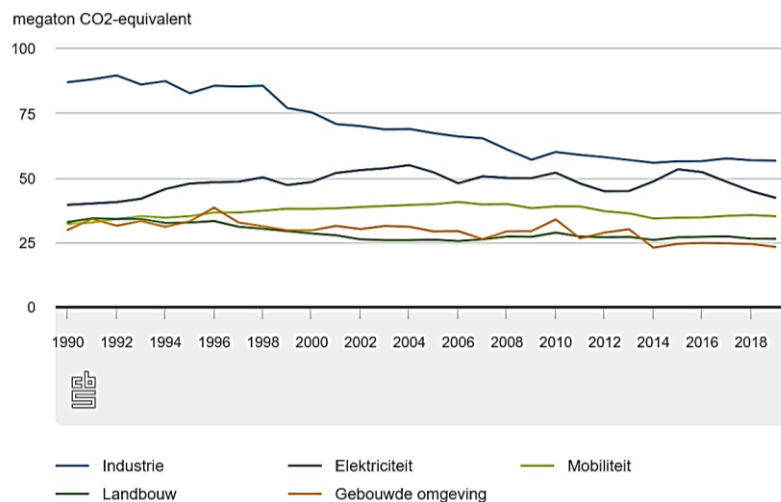
² RSPG21-026 RSPG *Report on the role of radio spectrum policy to help combat climate change*, Brussel, 16 juni 2021

publieke consultatie heeft de RSPG geduid. Deze duiding is geformuleerd in de vorm van een zogenoemde *draft opinion*³.

2.1.3 Resultaten tot nu toe

Belangrijke bevindingen van het eindrapport en de draft opinion van de RSPG zullen hieronder worden besproken waarbij initiële antwoorden op de drie vragen uit Paragraaf 2.1.2 worden gegeven.

Het is interessant om te zien hoe de analyse van de RSPG zich laat vertalen naar voor Nederland gehanteerde sectoren uit een nationale trendanalyse van het CBS (Centraal Bureau voor de Statistiek). Hierbij is in 2019 voor Nederland de CO₂-uitstoot vanaf 1990 in kaart gebracht⁴ voor de sectoren die zijn onderscheiden in het nationaal Klimaatakkoord medio dat jaar, zie Figuur 1.



Figuur 1: CO₂-uitstoot in Nederland naar sector [bron: CBS, RIVM/Emissieregistratie]

Industrie, elektriciteit(opwekking) en mobiliteit dragen het meeste bij aan de uitstoot en wel in deze rangorde.

2.1.3.1 Op hoofdlijnen

Een belangrijke constatering in het eindrapport die ingaat op de eerste vraag van Paragraaf 2.1.2 is dat het merendeel van de CO₂-uitstoot niet door de fabricage plaatsvindt maar door het beheer en gebruik van draadloze netwerken ofwel het operationeel gebruik. Voor de gehele ICT-sector is het leeuwendeel van de uitstoot toe te schrijven aan (draadloze) gebruikersapparatuur en niet aan operatornetwerken of datacenters. De impact op klimaatverandering van het daadwerkelijk bezetten van radiospectrum voor dit operationele gebruik is echter niet beperkt tot alleen het energieverbruik tijdens de totale levensduur van een gebruikers-device. Dit gebruik moet juist ook in samenhang worden gezien met indirecte invloeden zoals het toegenomen werken op afstand. Dit telewerken reduceert immers het aantal reizen en optimaliseert reisgedrag zodat filevorming afneemt. Door deze effecten wordt de CO₂-uitstoot juist weer significant verminderd. Een ander concreet voorbeeld is de timing van het afschakelen van voorzieningen voor oudere generaties mobiele communicatie en het stoppen van

³ RSPG21-027 RSPG *Draft opinion on the role of radio spectrum policy to help combat climate change*, Brussel, 16 juni 2021

⁴ <https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/dossier-broekasgassen/hoofdcategorieen/welke-sectoren-stoten-broekasgassen-uit->

leveringen van gebruikersapparatuur hiervoor. Als assets vervroegd worden afgeschakeld en afgevoerd is het de vraag hoe dit netto uitwerkt op het klimaat. Het is dus voor juiste beleidskeuzes rond radiospectrum van essentieel belang dat de totale, complexe context wordt beschouwd. Het gaat dan om de hele leveringsgebruiksketen met invloeden op allerlei sectoren zoals energie, industrie, transport en de agrarische sector; als het ware een ecosysteem-van-systemen. De qua CO₂-uitstoot belangrijkste drie sectoren uit de eerder genoemde trendregistratie voor Nederland en die zijn af te leiden uit Figuur 1, zijn terug te vinden in de eerstgenoemde drie Europese sectoren. Hierbij correspondeert de Europese sector 'transport' met de Nederlandse 'mobiliteit' en dekt 'energie' de sector 'elektriciteit(opwekking)' af. Het RSPG-eindrapport beschouwt, geordend naar de Nederlandse sectoren, de volgende ontwikkelingen:

Elektriciteit en gebouwde omgeving, zie ook Hoofdstuk 3:

- *Smart grid, smart energy en smart meters.* De optimalisering van het energieverbruik op de niveaus van energieleverancier en consument is significant en hiervoor zijn telemetrie en telecontrol-netwerken nodig, gebaseerd op zowel vaste als draadloze systemen;
- *Smart home/buildings.* Dit betreft het aansluiten van warmtepompen en thermostaten op het energienetwerk waardoor het gebruik van groene stroom wordt gestimuleerd. Voor dit concept zijn sensoren en IoT-apparatuur nodig;
- *Smart City.* Ook hier is de reductie van het dagelijks energieverbruik wezenlijk. De data van IoT-apparatuur kan bijvoorbeeld worden toegepast voor optimale afvalinzameling en recycling. Het enorm groeiend aantal onderling verbonden IoT-devices en daarmee van de uitstoot ervan staat met dit streven op gespannen voet. Het aantal apparaten zou bijvoorbeeld via *pooling* teruggedrongen kunnen worden⁵;

Industrie:

- *Industry 4.0.* Hier is de rol van draadloze communicatie evident en is reeds besproken in de Monitor najaarseditie van 2017⁶. De impact van Industry 4.0 op energiebesparing vanwege de verhoogde productie-efficiëntie is nog onzeker. Het ligt vooralsnog meer voor de hand dat een positief effect op de CO₂-uitstootreductie eerder wordt bereikt door de trend om lokaal te produceren. Hierdoor wordt de logistieke keten immers significant bekort;

Mobiliteit:

- *Smart vehicles en Intelligent (Road) Transportation Systems (ITS).* Voorzien wordt dat deze ontwikkelingen reducerend werken op klimaatverandering. Via draadloze systemen wordt real-time informatie van de verkeerssituatie van en tussen verkeerslichten, de OV-infrastructuur, auto's en parkeersystemen uitgewisseld. Daardoor worden reistijden en filevorming bekort en daarmee wordt de CO₂-uitstoot verminderd.
- *Openbaar Vervoer.* Hier wordt vooral gekeken naar het gebruik van de trein als alternatief voor de auto en het vliegtuig. Behalve dat dit op zich helpt in het reduceren van de CO₂-uitstoot, zal draadloze informatie-uitwisseling tussen treinen verder de efficiëntie en flexibiliteit van deze transportwijze verhogen. Systemen zoals Urban Rail ITS waarvoor recent in de 5,9 GHz-band al op Europees niveau geharmoniseerd spectrum beschikbaar is gesteld, dragen

⁵ https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2019/11/GREENIT_EENM_etude_EN_accessible.pdf, pagina 28

⁶ TNO 2017 R11251, 11 december 2017, pagina 19-21

bovendien bij aan de vervoersveiligheid. Voor de migratie van GSM-R naar FRMCS (Future Railway Mobile Communication System, dat 5G zal gebruiken) zal op korte termijn additioneel geharmoniseerd spectrum op 900 MHz en 1900 MHz overeen worden gekomen;

Landbouw:

- Smart Agriculture (ArgriFoodTech). Volgens de Wereldbank is de agrarische sector verantwoordelijk voor zo'n 20% van de CO₂-uitstoot⁷. Draadloze technologieën spelen hier een rol door via optimalisatie de emissie te reduceren. Hier valt te denken aan precisielandbouw en het monitoren van vee, zie hiervoor de najaarseditie van de Monitor van 2019⁸. Ook heeft geolocatie een functie: door aardobservatie kan gericht geïrrigeerd en besproeid worden, zowel met pesticide als met gewasvoeding. Ook kunnen veranderingen in de kwaliteit en het gebruik van grond via dergelijke systemen en IoT worden bewaakt om bijvoorbeeld ontbossing tegen te gaan.

Veel van bovenbeschreven concepten, systemen en maatregelen leiden dus tot zowel vermindering van de CO₂-uitstoot als tot de verhoging van efficiëntie en soms zelfs van veiligheid.

2.1.3.2 *Rol van spectrummanagement*

Als antwoord op de tweede vraag van Paragraaf 2.1.2 is gekeken naar welke instrumenten spectrummanagement kan inzetten om te helpen in het bereiken van de doelstelling van de Green Deal.

2.1.3.2.1 *Hoofdrichtingen*

Rond het operationele gebruik heeft RSPG twee globale maatregelen geïdentificeerd waarvan de effectiviteit vaststaat: het toepassen van groene elektriciteit en het optimaliseren van gebruik door toepassing van energie-efficiënte apparatuur. Toepassing van energie-efficiënte technologie en het volledig gebruik van groene elektriciteit door inzet van bronnen zoals wind, zonne-energie, kernenergie en geothermische energie zou meer dan 80% van de reductie kunnen realiseren⁹.

In het licht van energie-efficiënte apparatuur kan worden opgemerkt dat de efficiëntie van mobiele communicatie substantieel verbetert met elke nieuwe generatie, jaarlijks tussen 10 en 30% volgens de IEA (International Energy Agency). Voor 5G is door uitgebreide samenwerking tussen standaardisatiegremia, fabrikanten, MNO's en academische organisaties wezenlijk ingezet op de energie-efficiëntie van 5G. Deze focus zal voor 6G nog meer gelden. Bovendien is het toepassen van energie-efficiënte technologie voor met name MNO's een win-win optie aangezien het reduceren van de CO₂-uitstoot door een nieuwere generatie gepaard gaat met besparingen van de operationele kosten die voor gemiddeld 5% bestaan uit energiekosten. Er lopen dan ook al de nodige initiatieven vanuit de ICT-sector zelf.

2.1.3.2.2 *Mogelijkheden voor spectrummanagement*

Op grond van bovenstaande is het logisch dat de huidige insteek van de EC en specifiek van de RSGP wordt gekenmerkt door een bottom-up benadering:

⁷ <https://www.worldbank.org/en/topic/climate-smart-agriculture>

⁸ TNO 2019 R11692, november 2019, pagina 21-24

⁹ https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Sep/IRENA_Reaching_zero_2020.pdf

voorstellen voor maatregelen en *best practices* vanuit lidstaten gecoördineerd inbrengen binnen de EU als input voor het EU-beleid. Voor maatregelen binnen het Europese spectrummanagement geldt voorsnog de afwezigheid van dwang. Maatregelen worden niet opgelegd door de EC maar worden door spelers op vrijwillige basis genomen als onderdeel van zelfregulering, met name rond het gebruik van groene energie.

Voor Europees spectrummanagement resteren dan als algemene instrumenten:

- Spectrumplanning en het ontwikkelen van een kader voor regulering;
- Verlenen van keurmerken en toelating van draadloze apparatuur binnen de EU;
- Het stimuleren en het doen van aanbevelingen rond het gebruik van groene energiebronnen en efficiëntere draadloze technologie;
- Promoten van bijvoorbeeld methodologie-ontwikkeling voor het vergaren van data rond klimaatverandering;
- Monitoren van spectrumgebruik en
- Het bijdragen aan spectrumharmonisatie en aan het beschermen van spectrum, met name dat relevant is voor klimaatontwikkeling.

In de volgende paragraaf wordt specifieker op een aantal maatregelen ingegaan.

2.1.3.3 Concrete EU-maatregelen

In de *draft opinion* worden enkele concrete maatregelen rond spectrummanagement genoemd die op EU-beleidsniveau en mogelijk ook door individuele lidstaten kunnen worden genomen in de strijd tegen klimaatverandering, zoals:

- Het promoten van methodologie-ontwikkeling om de kwantitatieve impact van draadloze technologie op klimaatverandering betrouwbaar en op uniforme wijze vast te stellen;
- Het adresseren van relevante spectrumharmonisatie via de ITU-R, WRC (beide wereldwijd) en via ETSI-CEPT (Europees);
- Promoten en stimuleren van onderzoek naar en inzet van volgende generaties draadloze en mobiele communicatie zoals 5G-Advanced en 6G. Als voorbeeld kan worden genoemd de Europese uitvoeringsverordening¹⁰ rond het gebruik van *small cells*, zie ook de Monitor voorjaarseditie van 2021¹¹;
- Het doen van de aanbeveling aan lidstaten tot het inschatten van de mate waarin het delen van infrastructuur door MNO's van invloed is op klimaatverandering;
- Motiveren van het toepassen van aaneengesloten spectrum door operators en voorkomen van verbrokkeling in kleinere frequentiebanden;
- Extra beschermen van de frequenties die nodig zijn voor het vergaren van klimaatgegevens zoals weersensoren voor weersverwachting en voor data voor het bewaken van lange-termijn klimaatverandering. Spectrum voor passieve sensoren behoeven de meeste protectie. Specifiek stelt de RSPG dat beleids- en andere initiatieven nodig zijn voor het verbeteren van de coëxistentie-problematiek rond meteorologieradars en RLAN (Radio Local Area Network).

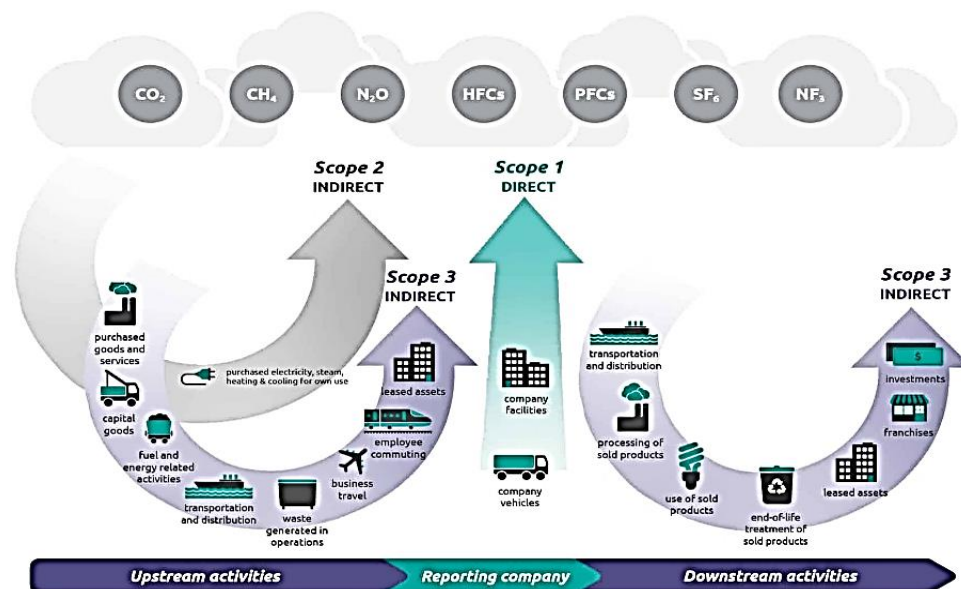
¹⁰ Uitvoeringsverordening (EU) 2020/1070 van de Europese Commissie van 20 juli 2020

¹¹ TNO 2021 R10974, juni 2021, pagina 23-24

2.2 Naar duurzame mobiele netwerken

2.2.1 Inleiding

De telecomindustrie is de afgelopen twee decennia exponentieel gegroeid. Een groot deel van de wereldbevolking is verbonden met internet en heeft bovendien een smartphone. Deze groei komt tot uiting in zowel de hoeveelheid aan data die dagelijks wordt uitgewisseld als het energieverbruik dat nodig is om de hiervoor nodige apparaten van stroom te voorzien: van servers tot antennes, glasvezelkabels en alles daartussenin. Volgens de brancheorganisatie GSMA (Global System for Mobile Communications Association) verbruikt de gehele telecomindustrie, dus zowel vaste als mobiele communicatiemiddelen, naar schatting 2 tot 3% van het wereldwijde totaal aan energie. Afhankelijk van de eventuele toegepaste maatregelen daarbij maakt het energieverbruik voor mobiele netwerkkoperators ongeveer 20 tot 40% van de beheerskosten van hun netwerk uit¹². Bovendien zijn in het telecommunicatiedomein veel zeldzame aardmetalen nodig om de telecommunicatieapparatuur te maken. Dit heeft grote gevolgen voor het milieu, in rekening nemend de voor de apparatuur benodigde totale keten van mijnbouw, fabricage en verzending. Op het gebied van hergebruik, modulariteit en recycling van apparatuur en zeldzame aardmetalen zijn er initiatieven die richting de circulaire economie bewegen¹³. Daarbij is het de vraag hoe de industrie en verkopers van apparatuur bewogen kunnen worden om hierin mee te gaan. Om de impact op het milieu in de vorm van de uitstoot van broeikasgassen te kunnen beoordelen, moet rekening worden gehouden met zowel de directe als de indirecte gevolgen van activiteiten. Het complexe ecosysteem waarnaar in Paragraaf 2.1 werd verwezen, wordt hier dan ook nader geanalyseerd.



Figuur 2: Scopes zoals onderkend door ITU¹⁴ en ISO¹⁵

Figuur 2 toont de drie zogenoemde *scopes* zoals gedefinieerd door de ITU en ISO (Internationale Organisatie voor Standaardisatie):

¹² <https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/energy-efficiency-2/>

¹³ <https://tcocertified.com/nl/ivl-on-shifting-society-towards-circular-economy-in-electronics/>

¹⁴ Recommendation ITU-T L.1420

¹⁵ ISO 14064-1:2018

Scope 1-emissies houden rechtstreeks verband met het energieverbruik van het bedrijf voor primaire bedrijfsprocessen zoals fabrieksproductie of de levering van nutsvoorzieningen. Dit betreft onder meer verbranding van fossiele brandstoffen, bedrijfswagens, et cetera.

Scope 2 heeft betrekking op indirecte uitstoot van energie die het bedrijf gebruikt voor zijn secundaire processen en personeel.

Tot slot omvat Scope 3 emissies die meestal verband houden met leveranciers of consumenten van de dienst, bijvoorbeeld de emissies door het opladen van smartphones, het vervoer van werknemers, et cetera.

De huidige mondiale trend is dat operators de verschillende scopes van hun emissies en toeleveringsketens beoordelen om duurzaam of duurzamer te worden. Net als voor elk bedrijf is het voor operators een hele uitdaging om de kwantitatieve bijdrage van elke scope te bepalen.

De rest van deze paragraaf richt zich voornamelijk op technieken die het elektriciteitsverbruik verminderen. Hierbij komen achtereenvolgens de relevante spelers aan de orde, huidige concrete energiebesparende technologieën en tenslotte de toekomst van het energieverbruik in mobiele netwerken.

2.2.2 *Relevante spelers*

Het verminderen van emissies in netwerken wordt steeds belangrijker voor alle spelers op het gebied van telecommunicatie: operators of MNO's (Mobiele Netwerk Operators), leveranciers, standaardisatie- en industrie-fora en beleidsmakers.

Zoals eerder vermeld, proberen MNO's hun energieverbruik te verminderen om hun energierekening te verlagen terwijl vele operators groene energieleveranciers hebben ingeschakeld om via wind, zon en waterkracht hun netwerken van stroom te laten voorzien. Dit is een eenvoudige manier om uitstoot te verminderen. Leveranciers streven ernaar om energie-efficiënte apparatuur te ontwikkelen en te verkopen, aangezien de eisen van operators voor energie-efficiëntie verscherpen naarmate bij de apparatuur-verwerving het issue van energieverbruik meer prangend wordt.

Om de ontwikkeling van energie-efficiënte apparatuur te bevorderen stellen vele standaardisatie-instellingen waarbij industriële belanghebbenden betrokken zijn, richtlijnen en normen op die kunnen worden gebruikt om verschillende oplossingen te beoordelen, vergelijken en evalueren.

Beleidsmakers willen bedrijven stimuleren om het energieverbruik te verminderen en voeren gestaag regelgeving door die bedrijven ertoe aanzet hun energieverbruik en/of hun CO₂-*footprint* te reduceren of hierover te rapporteren.

Tabel 1 geeft enkele concrete voorbeelden van zowel nationale als internationale relevante spelers.

Tabel 1: Relevante partijen

Operators	Op nationaal niveau hebben KPN ¹⁶ , T-Mobile ¹⁷ en VodafoneZiggo ¹⁸ veel belangstelling laten zien in het reduceren van energieverbruik. Bij al deze MNO's lopen interne projecten en zijn groene contracten met energieleveranciers afgesloten.
-----------	---

¹⁶ <https://www.overons.kpn.nl/kpn-voor-nederland/duurzaamheid>

¹⁷ <https://www.t-mobile.nl/over-ons/duurzaamheid>

¹⁸ <https://www.vodafoneziggo.nl/samenleving/milieu/>

	Op een meer wereldwijde schaal zegt in een recent onderzoek 53% van de respondenten die in de mondiale mobiele industrie werken dat hun bedrijven publieke toezeggingen hebben gedaan om het energieverbruik te verminderen en wel aan investeerders, regelgevers, klanten of andere belanghebbenden ¹⁹ . Het is duidelijk dat deze trend in de hele sector zich aan het versnellen is, zowel wat betreft het minimaliseren van het energieverbruik als het investeren in duurzamere toeleveringsketens en -producten. Voor de meeste operators is de grootste uitdaging bij de vermindering van het energieverbruik het garanderen van hetzelfde serviceniveau.
Standaardisatie- en brancheorganisaties	De mondiale brancheorganisaties GSMA ²⁰ en NGMN ²¹ , die wereldwijd MNO's en andere spelers samenbrengen, hebben lopende projecten die het gemakkelijker maken om informatie, richtlijnen en adviezen te delen over het verminderen van het energieverbruik en andere duurzaamheidsdoelen. Er is ook een aantal standaardisatie-organisaties betrokken, zoals: <ul style="list-style-type: none"> • ITU met de recente ITU²² standaard ITU L.1210 <i>Sustainable power feeding solutions for 5G networks</i>. Hierin worden de eisen beschreven die relevant zijn voor stroomvoorziening, infrastructuromvang, back-upcapaciteit en netwerkkoperatie en -onderhoud; • ETSI²³ met de TC EE Group die zich bezighoudt met het ontwikkelen van standaarden voor het verminderen van de milieu-impact van ICT-apparatuur; • 3GPP die energie-efficiëntie als een van de eisen voor 5G heeft gedefinieerd. Dit betreft specifiek Release 16 en verder, zie de Monitor najaarseditie van 2020²⁴.
Vendors	De grote fabrikanten zoals Huawei ²⁵ , Nokia ²⁶ en Ericsson ²⁷ zijn alle op zoek naar duurzamere, energiezuinigere apparatuur. Door samen met MNO's operationele tests uit te voeren, dragen fabrikanten van apparatuur bij aan de implementatie van nieuwe functies om het energieverbruik te verminderen. Deze functies zullen in de nieuwe 5G-netwerken opgenomen worden.

¹⁹ <https://www.mobileworldlive.com/survey-report-how-sustainable-are-our-mobile-networks>

²⁰ <https://www.gsma.com/betterfuture/climate-action>

²¹ <https://www.ngmn.org/highlight/ngmn-green-future-networks-project-publishes-first-two-white-papers.html>

²² <https://news.itu.int/energy-efficiency-5g-new-itu-standards-nearing-approval/>

²³ <https://www.etsi.org/technologies/11-technologies-clusters/technologies/986-energy-efficiency>

²⁴ TNO 2020 R11669, november 2020, pagina 9-12

²⁵ <https://www.huawei.com/en/sustainability>

²⁶ <https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2021/03/17/nokia-to-halve-5g-base-station-power-consumption-by-2023/>

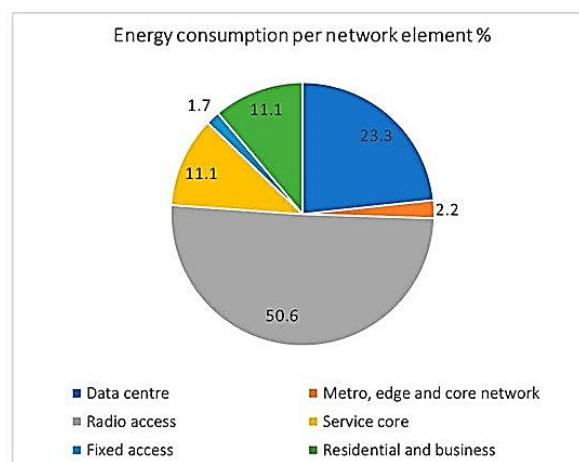
²⁷ <https://www.ericsson.com/en/blog/3/2021/1/achieving-sustainability-with-energy-efficiency-in-5g-networks>

Beleidsmakers	In Frankrijk ²⁸ is nieuwe wetgeving van kracht die afdwingt dat bedrijven hun CO2-uitstoot en <i>-footprint</i> bekendmaken. Orange ²⁹ is al jaren één van de leidende partijen binnen Frankrijk en is internationaal betrokken bij tal van initiatieven. Het instellen van energie-labels voor telefoons ³⁰ en andere mobiele apparatuur wordt momenteel binnen de EU besproken.
---------------	--

2.2.3 Technische mogelijkheden

Figuur 3 toont de relatieve verhoudingen van het energieverbruik over de verschillende elementen van het operationele mobiele netwerkecosysteem. Hieruit blijkt dat naar verwachting in 2025 ongeveer 50% van alle energie door RAN (Radio Access Network, dus exclusief de gebruikersapparatuur) zal worden geconsumeerd. Deze prognose is inzichtelijk voor zowel operators als leveranciers, omdat het hen inzicht geeft in de gebieden met de meeste impact op het verminderen van het directe energieverbruik.

Opgemerkt kan worden dat deze uitsplitsing van het relatieve energieverbruik voor MNO's betrekking kan hebben op ofwel Scope 2 (zie Figuur 2) indien de uitstoot wordt veroorzaakt door externe elektriciteitsleveranciers, ofwel op Scope 1 als de emissies zelf geproduceerd worden omdat de MNO zelf energie opwekt, bijvoorbeeld door zonnepanelen op basisstations.



Figuur 3: Uitsplitsing van het relatieve energieverbruik naar netwerkelement voor 2025³¹

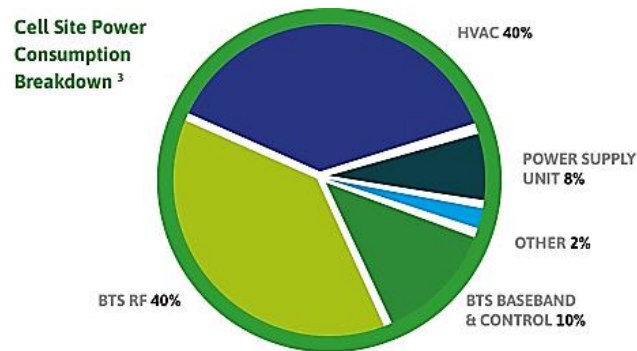
Figuur 4 laat zien hoe de radio-eenheid (BTS RF in de figuur) en de HVAC-systemen (heating/verwarming, ventilatie en airconditioning) samen ongeveer 80% van het stroomverbruik in het basisstation voor hun rekening nemen. Deze cijfers kunnen per basisstation-configuratie nog wel verschillen maar al met al laten deze overtuigend de meest relevante gebieden zien die operators kunnen aanpakken bij het verminderen van het energieverbruik van basisstations.

²⁸ www.legifrance.gouv.fr/jorf/article_jo/JORFARTI000033053048#LEGIARTI000033053334

²⁹ <https://www.orange.com/en/oranges-commitment-environment>

³⁰ https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12798-Energy-labelling-of-mobile-phones-and-tablets-informing-consumers-about-environmental-impact_en

³¹ <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/17/5392>



Figuur 4: Uitsplitsing van het relatieve energieverbruik van een basisstation³²

Deze informatie toont verder aan dat er veel manieren zijn waarop het energieverbruik van een RAN kan worden aangepakt. Technologische innovaties rond aangrenzende technologieën zijn daarbij ook van belang naast specifieke mechanismen om het werkelijke energiegebruik door radioapparatuur te verminderen. Deze aangrenzende technologieën verdienen wellicht prioriteit. Dit heeft te maken met bijvoorbeeld het feit dat aan de ene kant processors energiezuiniger worden waardoor de energie die nodig is voor servers afneemt, terwijl aan de andere kant grote investeringen in ASIC's (Application-Specific Integrated Circuits) en SoC's (Systems-on-Chips) ervoor zorgen dat radio's en basisband-elementen efficiënt werken en dit terwijl het stroomverbruik dus wordt geminimaliseerd. Ook heeft het gebruik van galliumnitride (GaN) in de eindversterkers van 5G-apparatuur de energie-efficiëntie in nieuwe netwerken verhoogd. Door de huidige elektronica te vervangen door GaN kan 10 tot 25% van het stroomverbruik worden bespaard³³.

Tegelijkertijd wordt veel onderzoek gedaan naar het verminderen van de energie die wordt besteed aan koeling, een grote stroomverbruiker in basisstations. Dit vindt plaats hetzij door luchtkoeling, hetzij door vloeistofkoeling met oceaan- of rivierwater.

Een ander belangrijke technologie is RAN-virtualisatie. Dit zou operators in staat moeten stellen om hun netwerken breder en flexibeler in te zetten, wat uiteindelijk kan leiden tot energiebesparing bij lage verkeersbelasting.

Tabel 2 toont technieken die specifiek gericht zijn op het verminderen van het energieverbruik op radioniveau.

³² <https://wirelessgreenwave.com/whitepaper-enabling-a-sustained-ran-for-a-greener-bottom-line/>

³³ <https://www.theverge.com/2018/11/1/18051974/gallium-nitride-anker-material-silicon-semiconductor-energy>

Tabel 2: Technieken voor energiebesparing op radioniveau^{34,35}

Techniek	Beschrijving (NB: alle getallen zijn indicatief)
Sleep functions	Als de verkeersbelasting van een cel verandert, verandert ook de stroombehoefte van het basisstation. Naarmate het verkeer toeneemt, wordt de Power Amplifier (PA) het meest energie-verbruikende onderdeel. Zelfs wanneer de belasting erg laag is, is er nog steeds sprake van energieverbruik bij digitale middenfrequent-modules. Zelfs bij afwezigheid van verkeersbelasting wordt nog steeds stroom verbruikt. Dit houdt in dat er een mogelijkheid is om energie te besparen door bepaalde inactieve elementen tijdelijk te deactiveren.
Symbol Shutdown	<i>Symbol Shutdown</i> is een basale ASM (Advanced Sleep Mode). Het principe is dat een 5G basisstation (gNB) de PA en andere analoge componenten uitschakelt wanneer wordt gedetecteerd dat sommige downlink-symbolen geen gegevens bevatten om te verzenden. Hierdoor wordt het stroomverbruik van het basisstation gereduceerd, rond 10 tot 30% wanneer de verkeersbelasting relatief laag is.
Channel Shutdown	Multi-kanaals basisstations kunnen sommige RF-kanalen met weinig verkeer dempen waardoor het totale stroomverbruik wordt verminderd. Hierdoor zijn energiebesparingen tussen 10% en 20% te verwachten. Een aandachtspunt bij deze maatregel is dat de dekking afneemt.
Carrier Shutdown	Wanneer er weinig verkeer is, kunnen cellen in de 'dekkingslaag' worden behouden terwijl cellen in de 'capaciteitslaag' worden uitgeschakeld. Deze functie moet regelmatig de belasting controleren en kan dynamisch werken als deze verandert. Het aandachtspunt bij deze maatregel is dat de capaciteit afneemt.
Sparse Antenna arrays	Dit type antenne-arrays wordt vaak gebruikt in radar- en satellietcommunicatie om kosten te besparen door bepaalde antenne-elementen van een uniforme antenne-array niet te gebruiken. Aangezien het aantal haalbare antenne-elementen en zenders per array nog steeds toeneemt, kan deze methode helpen het energieverbruik te verminderen. Studies hebben aangetoond dat het onregelmatig stilzetten van bepaalde antenne-elementen kan leiden tot het uitsmeren van <i>grating lobes</i> (zeer sterke antenne-zijlobben). Deze methode is vooral interessant in relatie tot mMIMO- en 5G mmWave-frequenties (26/28 GHz en 60 GHz).

³⁴ <https://arxiv.org/pdf/2101.11246.pdf>³⁵ <https://www.ngmn.org/>

2.2.4 *De toekomst*

In deze paragraaf zijn meerdere energiebesparende technieken en -technologieën de revue gepasseerd. Vele daarvan worden al toegepast en hebben impact. MNO's willen hun belasting op het milieu verminderen en het is te voorzien dat in de toekomst naast de recente verschuiving naar inkoop van groene energie, het gebruik van slimme batterijen ook een rol zal gaan spelen bij hun energiebeheer. Veel van de al geïmplementeerde energiebesparende oplossingen zullen naar verwachting ook in 5G worden gebruikt. Bovendien zal naar verwachting AI (Artificial Intelligence) en in het bijzonder machine learning (ML) een belangrijke rol spelen om de energiedoelstellingen te halen. Het is de bedoeling dat via deze technologie het verkeersgedrag 'geleerd' en voorspeld kan worden waardoor AI/ML-algoritmen de activering en de-activering van de slaapmodusfunctionaliteit en het energiebeheer van een site kunnen bepalen zonder dat de QoE (Quality of Experience) van de gebruiker negatief wordt beïnvloed. Er wordt nog veel onderzoek gedaan naar hoe deze technologie in de praktijk kan worden toegepast. Nu MNO's beginnen met de uitrol van 5G en zich bezighouden met toekomstige mobiele netwerken, in het bijzonder met 6G, mogen we verwachten dat veel aandacht uitgaat naar tools voor het verminderen van energiebesparing. Het onderwerp is de afgelopen jaren zeer relevant geworden en dit belang zal de komende jaren alleen maar toenemen. Het is duidelijk dat het verminderen van het stroomverbruik moet plaatsvinden over het hele netwerk en op verschillende gebieden, variërend van spectrummanagement tot het ontwerp van PA's en chips. Tot slot mag nogmaals opgemerkt worden dat menige maatregel³⁶ die niet direct is gerelateerd aan radio spectrummanagement ook significante invloed heeft op het energieverbruik in mobiele netwerken.

³⁶ https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/210719_NGMN_GFN_Sustainability-Challenges-and-Initiatives_v1.0.pdf

3 Smart Cities anno 2021

We zien ze overall om ons heen: apparaten die met het internet verbonden zijn, oftewel Internet-of-Things (IoT). Deze apparaten of de sectoren waarin deze apparaten toegepast worden, worden dan gelijk ook 'smart' genoemd. We spreken bijvoorbeeld van smartphones, smart watches, smart factories en Smart Cities. Geschat wordt dat er in 2030 ruim 50 miljard IoT-apparaten verbonden zullen zijn via het internet³⁷. Deze paragraaf beschrijft welke ontwikkelingen en initiatieven nu plaatsvinden in de 'slimme steden' binnen en buiten Nederland, welke uitdagingen en oplossingen we hierin tegenkomen en wat we in de komende jaren kunnen verwachten in Nederland.

De IoT-infrastructuren kunnen zijn gebaseerd op diverse draadloze technologieën. Zo zijn er LPWAN (Low Power Wide Area Network)-technologieën zoals LoRaWAN en cellulaire oplossingen zoals 4G/LTE (NB-IoT ofwel Narrow Band IoT) en 5G die bieden. Voor veel kortere afstanden, met name binnenshuis, wordt Wi-Fi vaak gebruikt. Voor nog kortere afstanden, in de persoonlijke nabijheid, zijn er Wireless Personal Area Network (WPAN)-technologieën. Hiervan is BLE (Bluetooth Low Energy) een belangrijke exponent.

Naast het gewenste bereik wordt de keuze voor een bepaalde IoT draadloze technologie bepaald door de combinatie van de vereiste capaciteit, -batterijduur, maximale kosten en vormt ook een overweging of een oplossing alleen stationair hoeft te zijn of dat ook mobiliteit geëist is³⁸. Uiteraard spelen vormfactoren zoals gewicht, omvang, in- of opbouw mogelijkheden en mogelijk ook standaardisatie bij de technologieselectie een rol. Technische achtergronden van specifieke IoT-technologieën worden gegeven in bijvoorbeeld de Monitor voorjaarseditie van 2019³⁹.

3.1 De 'slimme stad'

De 'slimme stad', meestal aangeduid als Smart City, heeft in het algemeen als belang om de leefbaarheid van de inwoners te verbeteren, om concurrentie tussen Europese steden en industrieën te vergroten en om Europese energie- en klimaatdoelstellingen te halen⁴⁰. Hiermee is de tweeledige definitie van Smart City uit de najaarseditie van de Monitor 2016⁴¹ nog steeds actueel:

- Het is een stad die gebruik maakt van ICT om de problemen in de stad aan te pakken, zowel voor burgers, bedrijven als de overheid;
- Het is een stad die in staat is om te leren van zichzelf en zo steeds op een slimmere manier vernieuwt.

In de praktijk is de realisatie van het Smart City-concept nog behoorlijk lastig. Dit was zo in 2016 en dit is nog steeds het geval in 2021. Werkprocessen zoals voor gemeentelijke dienstverlening sluiten hier nog niet goed op aan en ook de digitale

³⁷ <https://www.statista.com/statistics/802690/worldwide-connected-devices-by-access-technology/>

³⁸ <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>

³⁹ TNO 2019 R10725, oktober 2019, pagina 14 en verder

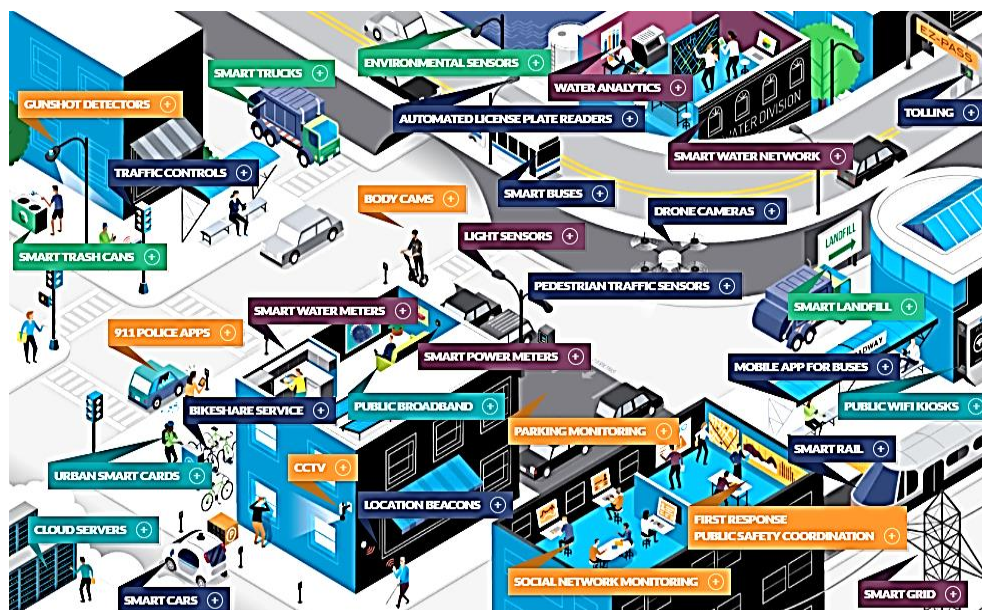
⁴⁰ https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/missions-horizon-europe/climate-neutral-and-smart-cities_en

⁴¹ TNO 2016 R11120, oktober 2016, pagina 21-27

vaardigheden en maatschappelijke uitdagingen zoals privacy en veiligheid waar de overheid mee te maken heeft zijn beperkend⁴².

In de laatste jaren zijn er wel nieuwe kansen ontstaan voor snellere adoptie van Smart Cities, bijvoorbeeld de European Green Deal uit 2020 om een geheel klimaatneutraal EU in 2050 te hebben (zie ook Paragraaf 2.1). Zo komt vanuit Horizon Europe € 350 miljoen investeringsbudget beschikbaar voor onderzoek- en innovatieactiviteiten om 100 Europese steden klimaatneutraal te maken² zoals door het introduceren van nieuwe digitale oplossingen voor optimalere verkeersplanning, ‘slimme’ multifunctionele straatverlichting, gebouwbeheersing en afvalmanagement (inzameling en recycling). Ook de verdere verstedelijking en stijgende prijzen voor woningen zullen vragen om steden die (in ieder geval) via ICT ‘slimmer’ ingericht worden.

Trends zoals Big Data, Internet-of-Things, Artificial Intelligence (AI) en Digital Twins⁴³ om efficiënter te worden in eigen processen, de processen op een nieuwe manier uit te voeren of zelfs hele nieuwe businessconcepten te lanceren vinden in het bedrijfsleven al geruime tijd toepassing. De ketens van verschillende bedrijven komen vaak samen in de stad en dit is dan ook dé plek waar een nieuwe reeks innovaties bij elkaar komt. Figuur 5 toont een overzicht van verschillende IoT-toepassingen. Meer toepassingen van IoT in de context van Smart Cities zijn terug te vinden in de Monitor-najaarseditie uit 2016⁴¹.



Figuur 5: Overzicht van Internet-of-Things toepassingen in Smart Cities (en daarbuiten)⁴⁴

In de diversiteit aan toepassingen in Figuur 5 is een aantal te herkennen dat specifiek voor Nederland van belang is of mogelijk wordt. Deze toepassingen zijn, in termen van middelen of applicaties, hieronder aangegeven onder de vier Europese ‘noemers’ die aan het begin van deze paragraaf genoemd zijn en die onder meer samenhangen met klimaatbeheersing:

- ‘slimme’, multifunctionele straatverlichting (in Figuur 5 gerepresenteerd door *light sensors*, *automated license plate readers*, *environmental sensors* en

⁴² <https://ibestuur.nl/nieuws/angst-bij-gemeenten-om-toepassingen-smart-cities>

⁴³ <https://www.eltis.org/in-brief/news/six-european-cities-experiment-digital-twins-urban-logistics>

⁴⁴ <https://fpf.org/uncategorized/smart-cities/>

pedestrian traffic sensors. Merk op dat in de figuur de laadpaalfunctie niet is aangegeven);

- afvalmanagement (in Figuur 5 aangegeven met *smart landfill* en *smart trash cans*);
- verkeersplanning (in Figuur 5 zijn te zien: *parking monitoring*, *smart cars*, *mobile app for buses*, *smart buses* (met de niet expliciet aangeduide *smart bus stops*), *bikeshare service*, *traffic controls* en de eerder aangegeven *pedestrian traffic sensors*);
- gebouwbeheersing (in Figuur 5 zijn gerelateerde toepassingen: *smart grid*, *smart power meters*, *smart water meters*, *water analytics* en *smart water network*).

3.2 Initiatieven binnen en buiten Nederland

Smart Cities zijn niet nieuw. Een van de eerste is al ontstaan in 1994 in Amsterdam⁴⁵ waarbij voor het eerst een grote groep inwoners toegang had tot het internet. In de jaren daarna zijn meer landen en bedrijven jaarlijks meer gaan investeren om aan Smart Cities inhoud te geven. In 2020 heeft bijvoorbeeld Vietnam aangekondigd om tot aan 2028 \$ 4,2 miljard te investeren. Ook is er in 2011 een jaarlijkse Smart City World Expo Congress gestart in Barcelona.

In Nederland heeft Amsterdam zich in de afgelopen twee decennia ontwikkeld tot één van de wereldwijd vooraanstaande Smart Cities en heeft de Europese Commissie de Nederlandse hoofdstad in 2016 uitgeroepen tot de *European Capital of Innovation*.

Om de ontwikkeling van Smart Cities in Nederland verder te stimuleren en om beter internationaal te concurreren is in 2017 op verzoek van minister-president Rutte het Nationaal Smart City Strategieplan⁴⁶ uitgebracht. Dit plan is vorm gegeven vanuit een samenwerking van Nederlandse steden, bedrijven en wetenschappers. De verantwoordelijkheid voor dit strategieplan wordt gedragen door de vijf grootste gemeenten van Nederland (G5) met elk een eigen aandachtsgebied. Hierbij focust Amsterdam op Circular Economy, Rotterdam op Sustainability, Den Haag op Safety & Security, Utrecht op Healthy Urban Living en Eindhoven op Smart Mobility. De bedoeling is om op grotere schaal aan innovatieve oplossingen te werken die vervolgens reproduceerbaar zijn naar andere steden in Nederland. Belangrijk hierin is een lange-termijn visie te hebben met intensieve samenwerking tussen de gemeenten, maar ook met commitment vanuit de rijksoverheid om experimenteerruimte te faciliteren, een goede telecommunicatie-infrastructuur te hebben, de sectoren te betrekken en een plan op te stellen voor het vermarkten van hetgeen in Nederland bedacht is. TNO benadrukt dat het onder meer belangrijk is dat de publieke en private sector nauw samenwerken en dat kosten worden verdeeld over de verschillende diensten om een positieve businesscase te hebben gedurende de levensduur van de infrastructuur⁴⁷.

Om een indruk te krijgen van de recente stand van zaken rond Smart Cities in Nederland is in 2020 in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat door de Gemeente Apeldoorn een overzicht van de G40 Nederlandse gemeenten

⁴⁵ <https://www.verdict.co.uk/smart-cities-timeline/>

⁴⁶ <https://vng.nl/artikelen/van-smart-city-tot-smart-society>

⁴⁷ <https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/strategische-analyses-beleid/expertisegroepen/strategic-business-analysis/smart-public-nodes-de-smart-city-business-case-bewezen/>

gemaakt⁴⁸. Hierin zijn meer dan 400 projecten geïdentificeerd. Dit geeft aan dat er binnen de G40 weliswaar heel veel gebeurt, maar er nog te weinig wordt samengewerkt tussen steden: iedere stad heeft zijn eigen project. Dit gaat ten koste van kennisopbouw, opschalen, standaardisering van oplossingen en het rendement van investeringen. Een van de initiatieven die helpt met het faciliteren van samenwerking is de zogenoemde *City Deal*. Dit is een consortium van 58 publieke en private partijen die afgesproken hebben om aan 12 processen te werken voor het optimaal gebruik van kansen die digitalisering en technologisering bieden⁴⁹. Volgens het G40-rapport nemen 14 van de 40 gemeenten deel aan de *City Deal*.

Internationaal gezien is de jaarlijkse Smart City Expo in Barcelona een belangrijke graadmeter voor de prestaties en activiteiten van de diverse partijen op het gebied van Smart Cities. Een vertegenwoordiger van het bedrijf Axis Communications merkt op dat tijdens de Smart City Expo in 2020 de Nederlandse steden het goed doen⁵⁰. Zo heeft Axis Communications afgelopen jaren speciale camera's op de markt gebracht voor Smart City-doeleinden, onder andere voor kentekenherkenning en het tellen van mensen bijvoorbeeld tijdens evenementen, toepassingen waarin privacy duidelijk een rol speelt.

Naar verluidt was het voorgaande jaar 2019 het beeld van Nederlandse 'slimme steden' op de expo nog anders⁵¹. Toen etaleerden gemeenten hun 'proeftuin-mogelijkheden' en werd volgens Prins Constantijn⁵² de expo meer gebruikt als een marketingcampagne. Gemeenten konden toen nog weinig leveren en bleven aanvankelijk haken bij uitdagingen rondom data delen, privacy en financiering. Sindsdien zijn Smart City-activiteiten vanuit Nederlandse gemeenten concreter geworden.

Steden die het consistent goed doen op de Smart City Expo zijn Singapore en New York. Dit zijn ook steden die in de wereldwijde top tien staan van de leidende Smart Cities volgens de *motion index* van Eden Strategy Institute⁵³ in 2021. Naast Singapore en New York staan hierin onder andere Londen, Seoul, Barcelona en Helsinki. Op deze mondiale lijst staat Amsterdam op de tiende plaats.

3.3 Welke aspecten worden met welke technologie gerealiseerd?

De komst van 5G is de recente relevante ontwikkeling op het gebied van draadloze technologie in de context van Smart Cities. Deze nieuwste generatie mobiele netwerktechnologie gaat het immers mogelijk maken om betrouwbaardere, hogere kwaliteit en snellere (breedband)verbindingen beschikbaar te stellen voor, ten opzichte van 4G, meer apparaten die meer data verzamelen en meer data sneller met elkaar willen uitwisselen. Ook is er de komst van de *network slicing*⁵⁴ technologie, waarmee je vanuit het netwerk voor een bepaalde toepassing en gebruikersgroep de garantie kunt afgeven voor de genoemde eigenschappen met een afgesproken kwaliteit.

⁴⁸ <https://www.g40stedennetwerk.nl/files/2020-09/rapport-Smart-Cities-in-de-G40.pdf>

⁴⁹ <https://agendastad.nl/citydeal/een-slimme-stad-zo-doe-je-dat/>

⁵⁰ <https://www.techzine.nl/blogs/infrastructure/437463/nederlandse-steden-maken-serieus-werk-van-smart-cities/>

⁵¹ <https://www.techzine.nl/blogs/infrastructure/415578/nederlandse-gemeenten-falen-compleet-met-smart-city-beleid/>

⁵² <https://www.techzine.nl/blogs/infrastructure/419526/prins-constantijn-smart-city-is-geen-city-marketing-het-moet-in-het-dna-van-de-stad-zitten/>

⁵³ <https://www.smartcitygovt.com/>

⁵⁴ <https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2017/11/GSMA-An-Introduction-to-Network-Slicing.pdf>

Om de ontwikkeling binnen de Nederlandse Smart Cities volgens het Nationaal Smart City Strategieplan verder te kunnen stimuleren is het belangrijk dat snel na de 3,5 GHz-veiling het afhandelingsproces voor de vrijgave en ingebruikname van deze band wordt gefaciliteerd. Voor het commercieel gebruik van 5G is 3,5 GHz een wezenlijke 5G-frequentie om daadwerkelijk inhoud te kunnen geven aan de zojuist genoemde mogelijkheden van 5G.

Een andere belangrijke recente ontwikkeling binnen Nederland in de context van Smart Cities is de groei in zowel het aantal als de mogelijkheden van zogenoemde slimme lantaarnpalen. De gemeente Renkum is momenteel koploper op dit gebied⁵⁵. Als eerste gemeente in Nederland heeft ze haar duurzame, energiebesparende lantaarnpalen uitgerust met zowel sensoren als laadpunten voor elektrische auto's. Deze mijlpaal werd aangekondigd tijdens het congres *De Slimme Stad van Morgen begint Vandaag*⁵⁶. De lantaarnpalen zijn flexibel ontworpen voor uitbreiding zodat in de toekomst ook IoT en 5G-antennes geïntegreerd kunnen worden. Op Europees niveau beschrijft ETSI in een specificatiedocument de technische uitdagingen voor het integreren van de genoemde technologieën in lantaarnpalen⁵⁷. In Nederland zijn bedrijven actief zoals CityCharge, Luminext, Philips, Lightwell en Sustainer die slimme lantaarnpalen ontwikkelen en toepassen in verschillende steden en initiatieven zoals de *Green Village* in Delft⁵⁸.

De laatste jaren zijn in *innovatiehubs* of *living labs* enkele initiatieven binnen Smart Cities tot stand gekomen. In deze ecosystemen van partijen uit verschillende sectoren wordt onder meer geëxperimenteerd met IoT en 5G en de toepassingen daarvan. Enkele voorbeelden zijn 5G Hub⁵⁹ en Industry 5G FieldLab⁶⁰ in Eindhoven, de al genoemde *Green Village* in Delft en 5Groningen⁶¹. Deze ecosystemen zijn verder in de Monitor najaarseditie van 2020 beschreven⁶². Op deze locaties worden verschillende innovatieve 5G use cases met bedrijven getest, waaronder ook binnen de Smart City-sector. Denk hierbij aan sensoren voor klimaatbeheersing in kantoren die via een energiezuinig NB (Narrow Band)-IoT-netwerk data versturen⁶³, het gebruik van smartphones voor het real-time *broadcasten* van evenementen⁶⁴, het op afstand besturen van drones om medische goederen te kunnen bezorgen of zelfrijdende karts die een toekomstig scenario van zelfrijdende auto's op de weg nabootsen⁶⁵. Voor deze laatste twee toepassingen wordt onder andere gekeken naar de rol van *network slicing* en *Mobile Edge Computing (MEC)*.

In MEC wordt een groot deel van de ruwe data van de mobiele apparaten verwerkt en eventueel tijdelijk opgeslagen in een computer die aan de lokale zendmast is

⁵⁵ <https://smartcitynederland.com/tag/slimme-lantaarnpaal/>

⁵⁶ <https://www.vastgoedmarkt.nl/livestream-sg0916>

⁵⁷ https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/110100_110199/1101740202/01.02.01_60/ts_1101740202v010201p.pdf

⁵⁸ <https://sustainer.com/nl/projecten/the-green-village-delft>

⁵⁹ <https://5ghub.nl/en/>

⁶⁰ <https://www.kpn.com/zakelijk/blog/kpn-brengt-5g-naar-brainport-industries-campus-eindhoven.htm>

⁶¹ <https://www.5groningen.nl/over-5groningen>

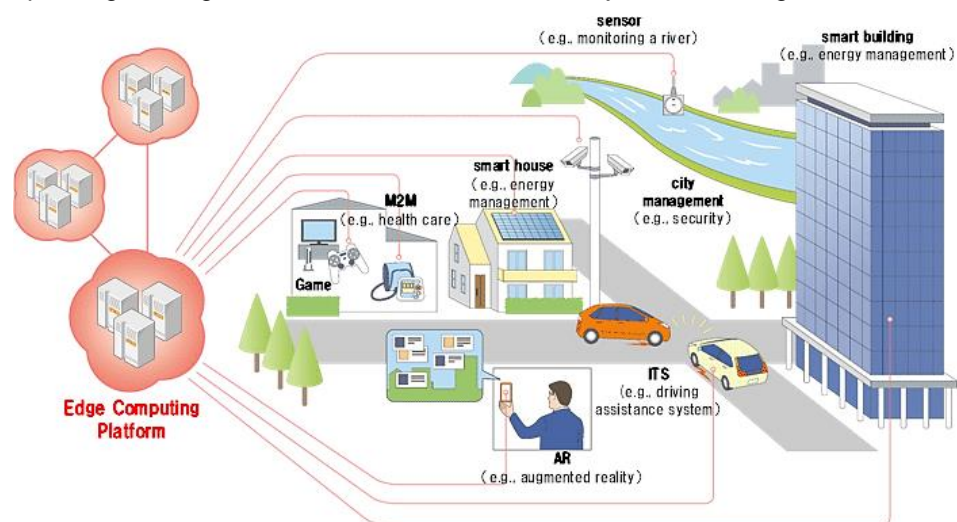
⁶² TNO 2020 R11669, november 2020, pagina 24-33

⁶³ <https://www.5groningen.nl/nieuws/kan-het-wat-kouder-locaties-in-noord-groningen-testen-klimaatbeheersing-met-5g>

⁶⁴ <https://www.5groningen.nl/nieuws/hoge-kwaliteit-live-video-dankzij-5g---5g-biedt-internet-vluchtstrook-in-geval-van-filevorming-op-het-netwerk>

⁶⁵ <https://www.digitalsocietyhub.nl/projecten/sdc>

aangesloten. Figuur 6 visualiseert het idee in algemene zin waarbij de zendmast voor de eenvoud is weg gelaten. Het voordeel van deze aanpak is dat het apparaat zelf niet meer de verwerking en de opslag hoeft te doen. Hierdoor kan gebruikersapparatuur goedkoper worden en de toepassing mogelijk beter schaalbaar. Ook biedt MEC belangrijke *Quality of Service (QoS)* voordelen ten opzichte van *cloud computing*. Data blijft immers lokaal zodat er meer controle over is terwijl de reactietijd (*latency*) aanzienlijk lager is. Ook is de betrouwbaarheid van de verbindingen hoger omdat er minder elementen in de *end-to-end* keten zijn die kunnen falen. Het feit dat niet alle data door het gehele netwerk hoeft, kan ook energiebesparingen opleveren. Hierbij is het de vraag hoe zich deze besparingen verhouden tot de extra energieconsumptie voor en van de benodigde lokale apparatuur. Om een *edge computing*-dienst voor Smart Cities aan te kunnen bieden is wel een goede en betrouwbare telecommunicatie-infrastructuur nodig om te kunnen voldoen aan strenge eisen van voornamelijk missie-kritische toepassingen die gebruik maken van drones of zelfrijdende voertuigen.



Figuur 6: Smart City en Mobile Edge Computing⁶⁶

3.4 Standaardisatie en Smart Cities

De rol van de gemeente in Smart Cities kan in het algemeen worden opgedeeld in twee delen. Enerzijds kan de gemeente zelf digitale oplossingen implementeren en anderzijds kan de gemeente faciliterend zijn voor derde partijen die hun eigen oplossingen willen implementeren. Een van de grote technische uitdagingen waar Smart City-gemeenten en derde partijen mee te maken hebben is hoe om te gaan met de grote diversiteit aan leveranciers die verschillende digitale oplossingen aanbieden. Ruime keuze is vaak goed maar maakt het lastig om de juiste leverancier voor de juiste toepassing te selecteren en een *vendor lock-in*⁶⁷ te voorkomen. Als gemeenten en derde partijen zo ver zijn dat ze een keuze hebben gemaakt in leveranciers, komen daarbij nieuwe uitdagingen met betrekking tot het omgaan met Smart City-data: hoe zorgen ze ervoor dat data tussen de juiste partijen uitgewisseld kan worden; hoe wordt deze data op de correcte manier behandeld (denk aan aspecten als ethiek, privacy, cybersecurity, verwerking, et

⁶⁶ <https://semiengineering.com/mobile-edge-computing-for-the-ioe/>

⁶⁷ <https://www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/smart-city-its-way-towards-interoperable-systems-or-vendor-lock>

cetera); wordt data op de juiste plekken opgeslagen en tot slot: wie is uiteindelijk de eigenaar en is verantwoordelijk voor de data. Een knelpunt in bovenstaande uitdagingen is dat er nog niet voldoende regelgeving bestaat om de juiste richtlijnen te volgen⁶⁸. Door het gezamenlijk vaststellen van gemeenschappelijke oplossingen voor deze dataproblematiek wordt immers opschaling versneld aangezien in dat geval bedrijven gericht kunnen investeren in de realisatie van (standaard)producten. Nadat een oplossing is geïmplementeerd dringen zich vervolgens vragen op zoals: hoe en wie gaat de oplossing onderhouden en beheren en wat in geval van een faillissement van de partij in kwestie?

Dit alles vraagt om duidelijke universele afspraken en standaarden die Smart Cities kunnen volgen en waar leveranciers zich aan kunnen houden. Dit helpt bij het creëren van een open, vertrouwde en interoperabele infrastructuur zodat gemeenten of derde partijen gemakkelijker onderdelen kunnen vervangen of upgraden, de infrastructuur makkelijker en goedkoper uit te breiden is en data tussen systemen makkelijker gedeeld kan worden.

Voor Smart Cities hebben diverse organisaties waaronder ISO (International Organization for Standardization), IEC (International Electrotechnical Commission) en ITU (International Telecommunication Union) al internationale standaarden ontwikkeld en zijn deze deels nog in ontwikkeling⁶⁹. In 2020 hebben IEC en ISO samen een standaard (ISO/IEC 30145-3) gepubliceerd die zich richt op een *framework* voor Smart City ICT engineering⁷⁰ waarin verschillende lagen in ICT worden gestructureerd. Deze standaard wordt gezien als essentieel voor het operationeel houden van een Smart City. Andere ISO-standaarden richten zich ook op een *framework* voor meten en rapporteren van prestatiestatistieken of op indicatoren om vooruitgang van Smart Cities te evalueren.

3.5 Verwachtingen van Smart Cities in Nederland

Er zijn diverse redenen om positief te zijn over de vooruitzichten voor de Nederlandse Smart Cities. Nederland is een innovatieland dat het steeds beter doet in de jaarlijkse Smart City World Expo. Zo zijn bijvoorbeeld de activiteiten rond de slimme lantaarnpalen, helemaal gezien de oplaadfunctie, (nog) uniek en dus onderscheidend in Europa. Daarnaast zullen strengere klimaatdoelen leiden tot extra investeringen in doelmatige technologie waarbij een Nationaal Smart City Strategieplan en een consortium zoals *City Deal* als instrumenten beschikbaar zijn om respectievelijk activiteiten landelijk te plannen en als gemeenten onderling samen te werken.

Specifiek op het gebied van slimme lantaarnpalen is de verwachting dat er naast Renkum snel meer gemeenten gaan volgen in de uitbreiding van de combinatie tussen openbare verlichting en het opladen van elektrische auto's. In Nederland is er namelijk grote behoefte aan het sneller uitrollen van laadpalen. Op dit moment ligt deze op 45 per dag maar zou naar 600 per dag moeten om de klimaatdoelen voor 2030 te kunnen halen⁷¹. Uiteraard biedt dit een aanzienlijke uitdaging rond de beschikbaarheid van het benodigde geschoolde personeel om dit te realiseren.

⁶⁸ <https://www.g40stedennetwerk.nl/files/2020-09/rapport-Smart-Cities-in-de-G40.pdf>

⁶⁹ <https://www.mdpi.com/2571-8797/2/3/19>

⁷⁰ <https://www.iec.ch/blog/iec-and-iso-publish-new-smart-city-standard>

⁷¹ <https://smartcitynederland.com/tag/slimme-lantaarnpaal/>

4 Algemene stand van zaken rond 5G

Tot augustus 2021 zijn 176 commerciële 5G-netwerken uitgerold in 72 landen en regio's⁷². De meeste beschikbare commerciële 5G-netwerken zijn nog steeds gebaseerd op de zogenoemde non-standalone (NSA)-versie van 5G Release 15⁷³ die zich richt op het leveren van toepassingen met hoge datasnelheid. Toch investeren steeds meer operators in de standalone (SA) versie van 5G Release 15 vanwege de verbeterde mogelijkheid om IoT voor bedrijven te ondersteunen. Deze bedrijven kunnen daarmee toegesneden IoT-oplossingen aanbieden op gebieden zoals *Smart Cities* (zie Hoofdstuk 3) voor bijvoorbeeld *building management*, *smart agriculture*/AgriFoodTech, olie & gas en transport & logistiek. Volgens GSA (Global Mobile Suppliers Association) hebben ten minste 13 MNO's openbare 5G SA-netwerken gelanceerd.

In mei 2021 waren al ongeveer 510 5G-apparaten in de handel verkrijgbaar in 22 verschillende uitvoeringsvormen. Hierbij moet vooral worden gedacht aan: telefoons (50,5%), CPE's (Customer Premises Equipment, vaak routers- 17,5%), 5G basisband modules (inclusief interfacing met 5G radiofrequent modules- 13%), industriële routers (5,5%) en hotspots (4,5%)⁷⁴; de hierbij aangegeven percentages zijn indicatief. De meest ondersteunde frequentiebanden voor deze 5G-apparaten zijn 3,5 GHz, 2,6 GHz, 2 GHz, 1,8 GHz en 700 MHz.

In Nederland zijn 5G-diensten sinds 2020 beschikbaar bij alle nationale MNO's. Tot nu toe is echter slechts beperkt radiospectrum toegewezen voor 5G⁷⁵ waardoor gebruikers van mobiele netwerken nog geen significante prestatieverbetering door 5G hebben kunnen ervaren. De nationale veiling van de belangrijke 3,5 GHz-band stond oorspronkelijk gepland voor begin 2022 maar is uitgesteld als gevolg van een gerechtelijke uitspraak rond het maritieme nood-, spoed- en veiligheidsverkeer dat door Inmarsat wordt afgehandeld via deze band⁷⁶. De beschikbaarheid van de 3,5 GHz band maakt een veel grotere bandbreedte mogelijk en daarmee een aanzienlijke verbetering van de gebruikerservaring.

3GPP Release 16 is in juni 2020 gestandaardiseerd (zie Monitor najaarseditie 2020 voor de beschrijving van functionaliteit⁷⁷) maar tot nu toe is er beperkt informatie beschikbaar over de beschikbaarheid van 5G Release 16-producten. In mei 2021 kondigde MediaTek de validatie aan van zijn M80 5G-modem op basis van Release 16⁷⁸. In juni 2021 kondigde Qualcomm zijn op Release-16 gebaseerde 5G Open RAN-platform voor *small cells* aan, waarbij alle commerciële wereldwijde mmWave- en sub-6 GHz-bandten zouden worden ondersteund⁷⁹. Al met al kan het nog enige tijd duren voordat Release 16-basisstations en -apparaten in de handel verkrijgbaar zijn.

⁷² <https://gsacom.com/technology/5g/>

⁷³ <https://www.3gpp.org/release-15>

⁷⁴ <https://gsacom.com/webinar/the-5g-story-so-far-5g-spectrum-networks-and-devices-in-1h-2021/>

⁷⁵ <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/telecommunicatie/invoering-5g/veiling-frequenties-voor-5g>

⁷⁶ <https://www.tweedekamer.nl>, Kamerstuk 24095-547, 2 november 2021.

⁷⁷ TNO 2020 R11669, november 2020, pagina 9-10

⁷⁸ <https://www.mediatek.com/blog/>

keysight-and-mediatek-affirm-m80-modem-3gpp-release-16-validation

⁷⁹ <https://www.qualcomm.com>

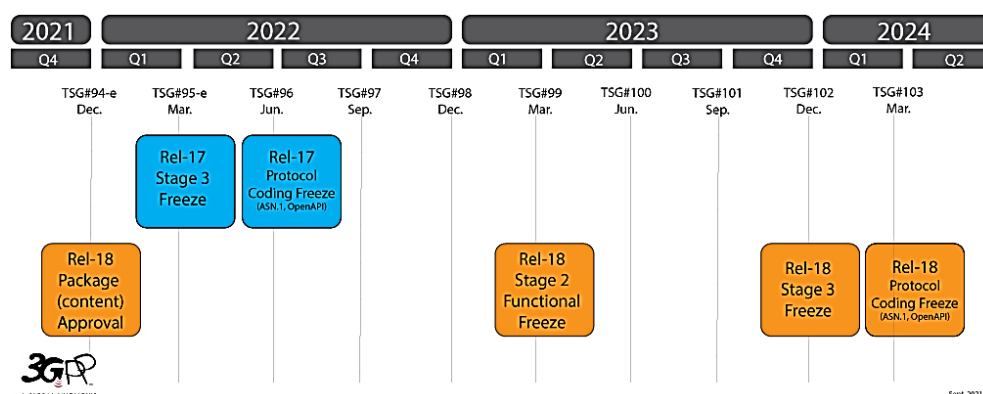
3GPP specificeert nu 5G Release 17, waarvan de oplevering van de standaarden gepland staat voor juni 2022⁸⁰. Dit is een vertraging van zes maanden in vergelijking met wat de Monitoreditie van najaar 2020 vermeldt. Deze vertraging is te wijten aan de impact van COVID-19: fysieke vergaderingen zijn vervangen door minder efficiënte videovergaderingen. De inhoud van Release 17 blijft zoals gedefinieerd in december 2019 zodat hiervoor naar de Monitor najaarseditie van 2020 verwezen kan worden⁸¹.

Inmiddels is 3GPP begonnen met het plannen van Release 18⁸². Enkele eerste studie- en werkitens van Release 18 met betrekking tot *use cases* en eisen zijn al besproken en goedgekeurd. Het is de bedoeling dat de scope en prioriteit van Release 18 tegen eind 2021 zal zijn goedgekeurd. Hiervoor heeft de 3GPP RAN-groep medio 2021 een Release 18-workshop voor radio-gerelateerde onderwerpen gehouden⁸³ en de 3GPP SA-groep heeft begin september 2021 een workshop voor Release 18 over systeemarchitectuur georganiseerd⁸⁴. De term *5G-Advanced* is inmiddels geïntroduceerd voor 5G Releases 18 en verder⁸⁵. Het logo voor 5G-Advanced is afgebeeld in Figuur 7.



Figuur 7: Logo voor 5G-Advanced (3GPP Release 18 en verder)

Figuur 8 geeft de voorziene tijdslijnen voor Releases 17 en 18.



Figuur 8: 3GPP-tijdslijnen voor Release 17 en Release 18 [bron: 3GPP]

Met de brede commercialisering van 5G en parallel daaraan de verdere verbetering en optimalisatie van 5G, zijn partijen begonnen na te denken over de volgende generatie mobiele communicatie: 6G. In maart 2021 is de ITU gestart met het ontwikkelen van een nieuwe aanbeveling over de IMT-visie voor 2030 en daarna. Deze zal het kader en de algemene doelstellingen van 6G definiëren⁸⁶. Het 3GPP-onderzoek naar 6G zal naar verwachting in 2025 aanvangen. Het eerste 6G-

⁸⁰ https://www.3gpp.org/news-events/2145-rel-17_newtimeline

⁸¹ TNO 2020 R11669, november 2020, pagina 11-12

⁸² <https://www.3gpp.org/release18>

⁸³ https://www.3gpp.org/news-events/2210-advanced_5g

⁸⁴ <https://www.3gpp.org/release18>

⁸⁵ https://www.3gpp.org/news-events/2194-ran_webinar_2021

⁸⁶ <https://techblog.comsoc.org/2021/06/15/development-of-imt-vision-for-2030-and-beyond-from-itu-r-wp-5d/>

netwerk wordt verwacht rond 2030. In Europa heeft de Europese Commissie een strategisch publiek en privaat partnerschap voor slimme netwerken en -diensten aangenomen, met een publieke onderzoeks- en innovatie-investering van € 900 miljoen over de periode 2021-2027⁸⁷.

Mogelijke onderwerpen in Release 18 voor verbetering en uitbreiding van 5G zijn⁸⁸:

- Verbetering van de uplink. Met name wordt gedacht aan non-handhelds zoals tablets waarbij het aantal antenne-elementen vergroot kan worden. Verder wordt gedacht aan het invoeren van een frequentie-selectieve precodering en aan dekkingsverbeteringen;
- Gebruik van AI (Artificial Intelligence)/ML (Machine Learning) in de 5G air interface voor bijvoorbeeld het besturen van de antennebundel onder mobiliteitscondities, voor lokalisering en voor de reductie van overhead;
- Flexibele TDD (Time Division Duplex) downlink/uplink-configuraties tussen basisstations onderling;
- Netwerk energiebesparing. Dit houdt bijvoorbeeld in de definitie van een model voor netwerkenenergieverbruik en van een evaluatiemethodologie. Als activiteit wordt verder gedacht aan een nadere studie naar technieken en kenmerken om energiebesparing op het 5G-netwerk mogelijk te maken;
- Verdere ondersteuning van goedkope apparaten met een lage complexiteit, met mogelijk een laag energieverbruik. Hierbij moet specifiek aan wearables worden gedacht;
- Verbetering voor XR (Extended Reality)-diensten;
- Verdere ontwikkeling van sidelink-communicatie, niet-terrestrische netwerktoegang (NTN) en broadcast-/multicast-diensten.

6G bevindt zich nog in de onderzoeksfase. Het is op dit moment nog niet bekend wat de belangrijkste technische componenten en -gebruiksscenario's van 6G zullen zijn. Desalniettemin worden onder meer de volgende belangrijke technische onderwerpen besproken als kandidaat-technologieën voor 6G^{89,90}:

- Inzet van hoger spectrum, tot aan 1 Terahertz. Dit zou nog een grotere bandbreedte kunnen bieden dan 5G. Voorzien wordt dat dit gepaard moet gaan met *ultra-massive* MIMO en -beamforming om het effect van het hogere voortplantingsverlies bij een hoger spectrum te verminderen;
- Toepassen van *Joint communication and sensing* (JCAS) met als doel dezelfde technologie te gebruiken voor zowel communicatie als *radar sensing*;
- Gebruik van *Reconfigurable Intelligent Surfaces* (RIS). Dit heeft tot doel de omgeving van radiovoortplanting intelligent aan te passen door het plaatsen en (her)configureren van bepaalde objecten die radiosignalen kunnen reflecteren;
- *User-centric* in plaats van celgestuurde netwerken;
- Uitgebreidere toepassing van AI/ML in de 6G air interface, voor resource- en netwerkbeheer en automatisering;
- Nieuwe golfvormen, nieuwe methoden voor toegang, nieuwe modulatie- en coderingsschema's;
- Deterministische netwerken met hogere eisen aan vertraging en timing, mogelijk in combinatie met hoge *throughput*.

⁸⁷ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/europe-puts-forward-proposal-joint-undertaking-smart-networks-and-services-towards-6g>

⁸⁸ https://www.3gpp.org/news-events/2210-advanced_5g

⁸⁹ <https://www.6gchannel.com/6g-white-papers/>

⁹⁰ <https://www.networldeurope.eu/sria-and-whitepapers/>

5 Pan-Europese interoperabiliteit tijdens mobiele communicatie voor hulpdiensten

5.1 Inleiding

Misdaad, terrorisme en rampen zijn in het algemeen niet aan landsgrenzen gebonden. De Europese Raad heeft dan ook al geruime tijd benadrukt dat behoefte bestaat aan interoperabiliteit in Europa van mobiele communicatie ten behoeve van hulpdiensten en met name tussen technologieën hiervoor. Meer in internationale termen uitgedrukt, gaat het om pan-Europese interoperabiliteit van *mission critical* (MC) mobiele communicatie in het kader van Public Protection and Disaster Relief (PPDR). Sleutelbegrippen hierbij zijn gebruik van gestandaardiseerde commerciële oplossingen, beschikbaarheidsgaranties en harmonisatie van spectrum en technologie.

Met TETRA en TETRAPOL-technologieën zijn de afgelopen kwart eeuw weliswaar de mogelijkheden toegenomen om op nationaal niveau tussen hulpdiensten te kunnen communiceren maar tot op heden is het nog niet goed mogelijk gebleken om hulpdiensten van diverse landen onderling te laten communiceren.

Het EU onderzoeksproject ISITEP (Inter-System Interface for TETRA-TETRAPOL Networks)⁹¹ heeft in het vorige decennium stakeholders zoals de industriële hoofdrolspelers van *dedicated* PPDR-netwerken, hun operators en gebruikers samengebracht om deze pan-Europese interoperabiliteit tot stand te brengen door de realisatie van een pilotsysteem in de vorm van een Europees ISI *cloud network*⁹². Hierbij zijn behalve de technische aspecten ook organisatorische, operationele en reguleringsaspecten beschouwd zoals rond de harmonisatie van spectrum.

Sinds de komst van 4G zijn echter de inzichten veranderd in de noodzaak van een separaat PPDR-netwerk zoals in Nederland het op TETRA gebaseerde C2000. Aanvankelijk werden mobiele 4G-netwerken als aanvullend gezien op het PPDR-netwerk en wel voor bepaalde niet-kritische diensten. Mobiele 4G-netwerken konden een veel grotere capaciteit bieden dan het *dedicated* PPDR-netwerk waardoor deze nieuwe, breedbandige diensten mogelijk zouden kunnen maken, zie voor dit laatste ook de Monitor najaarseditie van 2019⁹³. Al snel werd de tendens in diverse Europese landen om ook voor nationale MC-diensten steeds meer gebruik te maken van mobiele 4G-netwerken, gestimuleerd door MC-functionaliteiten die 3GPP in Release 13 opnam. Naast technische mogelijkheden speelden ook vraagstukken rond enerzijds kostenreductie⁹⁴ en anderzijds de mate van afhankelijkheid van een commerciële operator; voldoende veiligheid waarbij invloed van criminele- en statelijke dreigingen is geminimaliseerd en verbindingsbeschikbaarheid.

⁹¹ <https://cordis.europa.eu/project/id/312484>

⁹² <https://cordis.europa.eu/project/id/312484/reporting>

⁹³ TNO 2019 R11692, november 2019, pagina 15-19

⁹⁴ Reductie van kosten van zowel de netwerkaanschaf (CAPEX: *capital expenditures*) als het - beheer (OPEX: *operating expenditures*)

5.2 De nieuwe weg

Het veranderde paradigma voor het voorzien van PPDR-connectiviteit zoals in de inleiding geschetst, had tot gevolg dat een Europees vervolgtraject op ISITEP nodig was om de pan-Europese interoperabiliteitsbehoefte rond PPDR-communicatie in te vullen. Hiertoe is in 2016-2017 gewerkt aan een Europese deliverable onder de naam BroadMap⁹⁵ waarin de pan-Europese interoperabiliteitsbehoefte nader omschreven staat, waarbij a priori werd uitgegaan van een oplossing op basis van tenminste 4G-technologie. Dit is het fundament van het Europese Horizon 2020 *pre-commercial procurement* project (PCP) BroadWay⁹⁶ waarin medio 2022 twee pilotsystemen op zeer hoog zogenoemd *technology readiness level*⁹⁷ zullen worden gedemonstreerd. Het is de bedoeling dat het functionele, innovatieve oplossingen worden voor een *gestandaardiseerde* ondersteuning van breedbandige informatiestromen tussen mobiele zwaailicht-eenheden van diverse Europese landen. In dit licht wordt dan ook als wens meegegeven dat deze twee pilotoplossingen onderling interoperabel zullen zijn. Een Practitioner Evaluation Team (PEVT) zal de BroadWay-pilotsystemen gaan evalueren. Na de BroadWay pilotfase wordt een project BroadNetPrep gestart onder een ISF (International Security Fund)-regime. PPDR-vertegenwoordigers van alle EU-landen worden uitgenodigd hierin te participeren. Deze groep zal voorbereidingen treffen voor de organisatie van een in een zogenoemde European Grouping of Territorial Cooperation (EGTC) en een publieke Europese aanbesteding voorbereiden voor het eindproduct BroadNet. Dit totale traject is onderstaand globaal weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9: Totaal Europees traject van BroadMap tot aan BroadNet [bron: EU/TNO]

In deze roadmap is te zien dat het project BroadWay vergevorderd is zodat het vervolg van deze paragraaf vooral in zal gaan op de technische tussenresultaten van dit project. In BroadWay zijn in de afgelopen fase, waarin gewerkt is aan een prototype, drie internationale industriële consortia actief geweest⁹⁸. Door twee daarvan zullen pilots worden gerealiseerd en gedemonstreerd⁹⁹. Omdat de realisatie van BroadNet in handen zal komen van het consortium waarvan de samenstelling wordt bepaald door de publieke Europese aanbesteding is het zeker

⁹⁵ <http://www.broadmap.eu/news/54-the-success-story-of-broadmap-first-step-towards-interoperable-radio-communication-systems-for-public-safety-and-security-in-europe>

⁹⁶ <https://cordis.europa.eu/project/id/786912>

⁹⁷ In casu TRL-8 niveau: dit is wanneer het demonstratieproduct compleet en gekwalificeerd is, maar nog niet bewezen is te werken in een operationele omgeving. Dit laatste betreft TRL-9, het niveau van volledige volwassenheid

⁹⁸ <https://www.criticalcomms.com.au/content/public-safety/article/broadway-s-prototype-phase-has-begun-336928233>

⁹⁹ <https://www.broadway-info.eu/final-phase-of-broadway-pcp-providing-live-useable-pilot-systems-for-ppdr-operational-mobility/>

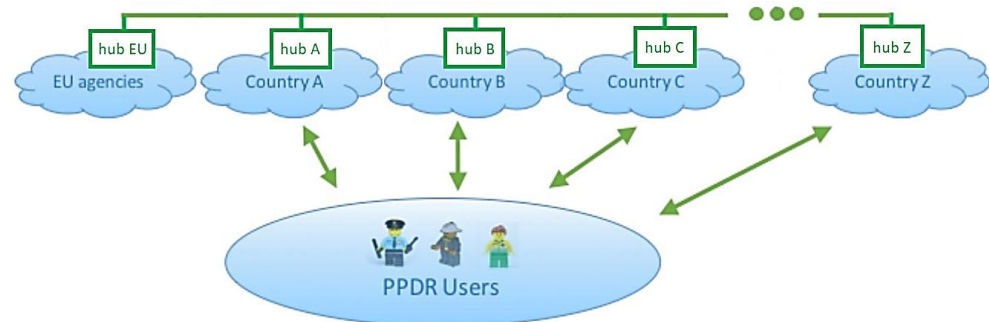
niet uitgesloten dat individuele partijen van consortia die eerder in het traject zijn afgefallen, alsnog aansluiting zullen vinden.

In de prototypefase van BroadWay zijn toekomstige gebruikers betrokken middels *Practitioner's tests*. Deze hielden eigenlijk het midden tussen demo's voor- en testen met representatieve potentiële gebruikers. Bevindingen daaruit konden gebruikt worden door de consortia ten behoeve van hun pilotontwikkelingen. De locaties van de einddemonstratie van de pilots zijn op het moment van schrijven nog niet vastgesteld.

5.3 Europees oplossingsmodel

5.3.1 SpiceNet

De in BroadMap aangegeven algemene pan-Europese communicatieoplossing staat bekend als SpiceNet (Standardized PPDR Interoperable Communication Service for Europe- Network). Dit is een gedistribueerd pan-Europees netwerk waarin naast relevante EU-organisaties, elk land een centraal internationaal knooppunt ofwel SpiceNet Hub heeft. Deze wordt in Figuur 10 aangeduid met 'hub' gevolgd door een *identificer*.



Figuur 10: SpiceNet model met internationaal interoperabele SpiceNet hubs binnen nationale netwerken [bron: EU/ TNO]

Belangrijk is dat individuele landen in deze opzet zelf de beschikking blijven houden over de assets die nationaal zijn uitgerold in de zin van organisatie, management, beveiliging en onderhoud. De orkestratie van de PPDR-diensten vindt plaats door de nader te definiëren en in te stellen SpiceNet-autoriteit op EU-niveau.

Het uitgangspunt bij SpiceNet is dat deze in landen moet kunnen worden toegepast, onafhankelijk van de wijze waarop nationale PPDR-communicatie is geregeld, dat wil zeggen via een separaat PPDR-netwerk, een MVNO-constructie of een hybride oplossing.

In de SpiceNet Hub wordt op server-niveau alles gerealiseerd voor de vereiste pan-Europese dienstkwaliteit of QoS (*Quality of Service*) van MCX (Mission-Critical *push-to-talk* (PTT), video & data). Ook realiseert de SpiceNet Hub toegang tot internationale MC-voorzieningen zoals apps en PPDR-databases waaronder ook Europese zoals van Europol en Frontex. De onderlinge verbindingen van de SpiceNet hubs vinden doorgaans plaats via vaste IP-netwerkinfrastructuur. Vanaf de MCX-servers verloopt de toegang tot deze infrastructuur via MC IPX (Internetwork Packet Exchange) gateways. Uiteraard is voor deze diensten en de SpiceNet-infrastructuur specifieke toegang en autorisatie nodig.

Volledigheidshalve moet worden opgemerkt dat de mobiele MC-verbindingen in het thuisland voor de nationale hulpverleners verloopt via een aparte hub voor

ationale roaming. Deze is niet expliciet opgenomen in Figuur 10 omdat deze geen onderdeel van SpiceNet uitmaakt.

Verder is een a priori afgesproken uitgangspunt in BroadWay het gebruik van commerciële mobiele technologie gebaseerd op LTE/4G, 3GPP Release 15 en eventueel ook hoger, tot en met 5G. Dankzij de geharmoniseerde banden voor deze systemen kan commerciële apparatuur wereldwijd werken in de banden die door commerciële operators worden aangeboden; de meeste consortia stellen een dual-SIM oplossing voor. PPDR-gebruikers kunnen dan ook SpiceNet-services gebruiken in elk commercieel netwerk dat voor SpiceNet-ondersteuning is aangemerkt.

5.3.2 *Het grotere plaatje: de SpiceNet referentiearchitectuur*

Aan het SpiceNet-model is vanuit BroadMap een zogenoemde referentiearchitectuur gekoppeld. Deze beschrijft behalve technische- ook andere aspecten en vormt voor BroadWay de 'kapstok'¹⁰⁰.

De SpiceNet referentiearchitectuur onderkent drie functionele lagen:

1. Pan-Europese harmonisatie van:
 - Organisatorische aspecten;
 - Spectrum, c.q. de afstem-bereiken;
 - Gebruik van gestandaardiseerde commerciële oplossingen;
2. Interoperabiliteit en bestuur van:
 - Gestandaardiseerde MC-oplossingen voor PPDR-doeleinden;
 - Gestandaardiseerde PPDR interoperabele communicatie voor Europa (het in 5.3.1 beschreven SpiceNet);
 - SpiceNet-beheer;
3. PPDR-netwerken en gebruikers.

Het vervolg van dit hoofdstuk zal zich vooral concentreren op de facetten in samenhang met het interoperabele gebruik ervan door hulpverleners: de onderste twee lagen dus van de SpiceNet referentiearchitectuur.

Het beperken van investeringskosten die door elk land in nieuwe infrastructuur moeten worden gemaakt blijft een van de uitdagingen binnen BroadWay. Het toepassen van commerciële open standaarden en het daardoor tegengaan van *vendor lock-in* staat dan ook hoog op de agenda.

Daarnaast moet worden omgegaan met de geconstateerde terughoudendheid bij hulpverleners ten aanzien van het gebruik van nieuwe technologie die ingezet wordt bij rampen, misdaad en terrorisme¹⁰¹. Belangrijk is dan ook dat geloofwaardige gebruiksscenario's worden opgesteld waarin zowel de noodzaak van internationaal opereren als de meerwaarde van deze nieuwe technologie worden aangetoond. Zoals eerder aangegeven is de betrokkenheid van potentiële gebruikers niet geëindigd met BroadMap maar wordt deze voortgezet in het BroadWay-project.

5.4 Relevante gebruikersscenario's voor Nederland

Per land ligt de nadruk op verschillende gebruiksscenario's waarin deze pan-Europese PPDR-interoperabiliteit is benodigd. Voor Nederland ligt deze op de

¹⁰⁰ <https://www.broadway-info.eu/spicenet/>

¹⁰¹ <https://www.interregeurope.eu/policylearning/good-practices/item/4414/pre-commercial-procurement-of-interoperable-broadband-mobile-communication-systems/>

interoperabiliteit bij het oversteken van de landsgrens en op internationale assistentie bij een grootschalige ramp, bijvoorbeeld een bos- of heidebrand of grensoverschrijdende hulp bij watersnood of extreem weer. Met de vertegenwoordigers van de Nederlandse hulpdiensten is vastgesteld dat een *hot pursuit* (achtervolging) alsmede een *wild fire* (natuurbrand) in een dergelijke regio realistisch zijn. Deze scenario's illustreren tevens concrete overeenkomstige ICT-behoefte die uitdagend zijn om in een einddemonstratie aan te tonen. In de situatie van een *hot pursuit* gaat het om een combinatie van realtime gecodeerde spraak, streaming video en ondersteunende data zoals kentekengegevens, criminele gegevens uit de nationale of Europol-database, et cetera. Te denken valt aan politieauto's die zijn uitgerust met *dashcams* waardoor de huidige landelijke meldkamer het situatiebeeld van de politievoertuigen kan bekijken. Deze video's worden doorgegeven aan meldkamers van het buurland of -landen om details van de achtervolgde voertuigen en de omgeving samen met de posities van de politievoertuigen instantaan weer te geven op een digitale kaart. Begeleidende spraakcommunicatie tussen de coördinator in de meldkamer en de politieauto's zou de *situational awareness* voor de buitenlandse coördinator(en) completeren. Met deze gecombineerde informatie kan men anticiperen op verplaatsingen van de criminele voertuigen in de grensstreek en vervolgens direct verdere actie ondernemen.

5.5 Oplossingstendens

Het draait bij pan-Europese interoperabiliteit tijdens mobiele MC-communicatie uiteindelijk om het kunnen realiseren van voldoende QoS en dus om de SLA's (Service Level Agreements) die de gewenste minimale QoS voor pan-Europese mobiele communicatie vastleggen. Er zijn in het project BroadWay diverse technische voorstellen gedaan door een aantal consortia voor een mobiele communicatiearchitectuur die deze realisatie zou kunnen ondersteunen. Vanwege de projectvertrouwelijkheid kan in deze Monitor niet worden ingegaan op details van de diverse voorstellen. In plaats daarvan zal in algemene zin worden belicht wat gemeenschappelijke aspecten van de aangedragen oplossingen zijn.

Op alle relevante functionele communicatieniveaus (OSI-lagen) is beschouwd welke opties open staan voor het kunnen leveren van internationaal interoperabele MC-diensten. Alle voorgestelde opties zijn gebaseerd op *home routing* als *networking* principe. Dit houdt in dat een hulpverlener ook in het buitenland nog steeds toegang heeft tot de nationale PPDR-diensten op dezelfde manier als in het thuisland.

In alle voorstellen is aandacht besteed aan het voorzien van ad-hoc dekking voor MC-diensten tijdens een incident in afgelegen omgevingen waar deze niet door lokaal aanwezige basisstation-systemen kan worden gerealiseerd: de zogenoemde *dead spots*. In alle gevallen betreft het een realisatie gebaseerd op LTE-in-a-box in combinatie met een satellietverbinding voor de *backhaul*-connectie. Soms wordt ook een zogenoemde *break-out* optie als back-up voorgesteld wanneer uitval optreedt van de dekking ter plaatse. Bij het falen van de backhaul kan door de *break-out* optie ook voorzien worden in een beperkte lokale service.

Het voorzien van draadloze connectiviteit is bepalend gebleken omdat hiervoor te allen tijde voldoende basisstation-capaciteit en -dekking nodig is. Uiteindelijk moeten deze dienst en de continuïteit hiervan worden geleverd door systemen die er nationaal zijn- of worden uitgerold. Omdat definitieve oplossingen voor met name

de continuïteit bij het overschrijden van een landsgrens niet voorhanden zijn, bleek deze kwestie doorgaans een 'olifant in de kamer'. Zoals besproken is de continuïteit van een lopende communicatiedienst in een grensstreek behalve uitdagend ook zeer belangrijk, vooral voor Nederland. Zo wordt deze voor 5G geadresseerd in een apart EU-project¹⁰². Uiteindelijk vond een discussie hierover binnen BroadWay plaats waardoor enig perspectief ontstond ten aanzien van praktische oplossingsrichtingen.

Het wordt te kostbaar om, zoals destijds voor TETRA en TETRAPOL, voor MC-diensten aparte *dedicated* 4G- of 5G-middelen uit te rollen. Ook wordt het gebruik van uitgeleende liaison-apparatuur door gast-hulpverleners in het land waarin zich een incident voltrekt, niet meer als werkbare optie gezien. Deze aanpak is sowieso in een dynamische *cross-border*-situatie ineffectief en valt dan ook buiten scope van BroadWay.

Als mogelijke basismodellen voor het leveren van mobiele dekking en -capaciteit zijn in BroadWay de volgende ideeën voorgesteld:

- 1) De connectiviteit voor PPDR-diensten wordt centraal geregeld alsof er één pan-Europees netwerk is dat geleverd wordt door een 'MC MVNO' (Mission-Critical Mobile Virtual Network Operator). Dit concept kan in principe werken op basis van eenzelfde SLA met de diverse nationale MNO's of met meerdere, één-op-één overeenkomsten met de Europese SpiceNet-autoriteit;
- 2) Gebruik van alleen MNO's: de connectiviteit is alleen nationaal (gedistribueerd) bepaald en dus niet centraal. Dit is dus directer maar veel minder gecoördineerd: er zijn diverse SLA's met elke betrokken MNO. De voorkeur bij dit concept gaat dan ook uit naar een MNO die in vele van de deelnemende Europese landen actief is en bereid is MC-diensten te ondersteunen;
- 3) Hybride: een MCO (Mission Critical Operator) en MNO werken samen voor optimale connectiviteit gedurende een (mobiele) missie. De MNO-middelen kunnen als terugval dienen wanneer de MCO de dekking of überhaupt de gevraagde dienst niet kan leveren. Ook is *off-loading* van mobiel dataverkeer denkbaar in urgente gevallen wanneer de rubricering van het actuele PPDR-verkeer dit toelaat.

In de eerste optie kan de SpiceNet autoriteit de functie vervullen van pan-Europese MVNO die als *governance party* de QoS orkestreert die overal in elk Europees deelnemend land optimaal moet zijn. Doordat dan sprake is van één groot virtueel netwerk, zou vanwege de gecentraliseerde administratie geen roaming plaatsvinden maar een veel sneller handover-proces. Dit is dan uiteraard in het ideale geval, als de SLA altijd en overal kan worden waargemaakt. Om dit te bereiken is juridisch afdwingen van beschikbaarheid van capaciteit niet uitgesloten.

Eveneens is door consortia gekeken naar de interoperabiliteit met TETRA-terminals, dus voor Nederland met C2000-apparatuur. Dit is relevant omdat in veel landen TETRA-systemen nog enige tijd operationeel zullen zijn, met name voor beveiligde MC-spraakverbindingen met grote beschikbaarheid.

Hoewel full duplexverbindingen voor MC niet worden uitgesloten, is voor MC-operatie primair uitgegaan van PTT-verbindingen en het onderbrengen van de MC-gebruikers in *talk groups* (TG's; te vertalen met *communicatiegroepen* aangezien zij ook video en SDS (Short Data Service)-berichten kunnen uitwisselen).

¹⁰² <https://5gcarmen.eu>

Ten behoeve van pan-Europees optreden zijn diverse soorten TG's onderkend:

- Een pan-Europese supergroep of *campaign*, bestaande uit diverse groepen of supergroepen van verschillende landen en/of verschillende organisaties;
- Diverse nationale TG's en supergroepen. Deze kunnen in een pan-Europese supergroep worden opgenomen;
- Samengestelde, internationale TG's voor de incidentbestrijding (bestaande uit diverse nationale TG's en supergroepen). Deze TG's kunnen een *cross-service* karakter hebben, dat wil zeggen dat zij niet alleen hulpverleners uit diverse landen bevatten maar ook uit diverse PPDR-disciplines (politie, brandweer en ambulance). Ook deze TG's kunnen in een pan-Europese supergroep worden opgenomen.

De mate waarin naast 3GPP-protocollen verder wordt voorzien in gestandaardiseerde commerciële oplossingen varieert van consortium tot consortium. Dit betreft dan voorstellen voor bijvoorbeeld het samenstellen van TG's, autorisatie en authenticatie, prioriteit en kunnen onderbreken (*preempten*) van ander verkeer met lagere prioriteit, meldkamerfuncties zoals het zichtbaar maken van hulpverlenerslocaties op digitale kaarten. Specifiek op het gebied van een gemeenschappelijke PPDR-encryptie zijn geen activiteiten binnen BroadWay te melden.

Perspectieven van moderne technologieën zoals NFV (Network Function Virtualisation), *slicing* en Open RAN zijn zijdelings aangeroerd als toekomstige mogelijkheden. Idealiter kunnen door deze technologieën snel en ad-hoc op softwarematige wijze middelen gedefinieerd en gealloceerd worden. Verwacht mag worden dat deze voor de toekomst perspectief bieden, met name in geval van een grensoverschrijdend incident.

5.6 Afsluitend

De realisatie van de pan-Europese oplossing voor interoperabiliteit van MC-mobiele communicatie zal uiteindelijk vooral afhangen van de bereidheid van nationale MNO's om een deel van hun RAN-capaciteit voor tijd-kritische diensten te reserveren. Dit is meer een kwestie van politiek en eventueel afgedwongen regelgeving dan van technologie. Wel zou het kunnen helpen als dit ad-hoc en flexibel kon. Dit is dan weer wachten tot de ondersteunende moderne technologie zoals aan het einde van de vorige paragraaf is geschetst, zover is.

Tenslotte moet ook worden geregeld dat daadwerkelijk toegang wordt toegestaan tot 'elkaars' databases, dat wil zeggen toegang in multi-service (politie, brandweer, ambulance)- én internationaal opzicht. Er zijn dus nog wat hobbels te nemen.

6 Gebruik van het kortegolf-spectrum

6.1 Beschikbaarheid en technische mogelijkheden van kortegolfcommunicatie

Het frequentiegebied tussen 3 en 30 MHz wordt aangeduid met kortegolf, maar ook vaak met HF (High Frequency). Door de relatief lage frequentie is HF vooral geschikt voor communicatie met relatief geringe capaciteit maar waarbij zeer lange afstanden overbrugd kunnen worden. Door deze combinatie worden door HF bepaalde niches bediend.

Uniek is dat radiosignalen in deze band kunnen reflecteren via de ionosfeer, de dampkring-laag vanaf 80 km hoogte. Hierdoor kunnen deze radiosignalen een bereik hebben dat de hele aardbol omvat. Ultraviolette straling van de zon zorgt voor ionisaties in diverse lagen in de atmosfeer. De hoeveelheid straling is afhankelijk van de 11-jarige cyclus van de zon en is dan ook niet constant maar variabel met een tendens over een langere periode. Daarmee is de kwaliteit van de propagatie van de HF-radiogolven ook variabel en afhankelijk van het seizoen, de plek op aarde en het tijdstip op de dag.

Technische ontwikkelingen vinden met name plaats op digitale modulatievormen en andere technieken die met deze variaties om kunnen gaan.

Modulatievormen gecombineerd met krachtige coderingen maken het mogelijk signalen te herkennen die ver onder het ruisniveau liggen en met conventionele analoge technieken niet te ontcijferen zouden zijn geweest. Dit speelt vooral zeer sterk in de radio amateurwereld waarin bij uitstek de grenzen worden opgezocht van wat met HF mogelijk is. Gezien over een standaard 3 kHz-bandbreedte zijn dan signaalruisverhoudingen tot -25 dB mogelijk. In dit geval zijn de datasnelheden slechts enkele Bytes per seconde.

6.2 Toepassingen en gebruikersgroepen

6.2.1 *Beurs 'flitshandel'*

Sinds 2020 is er tenminste één bedrijf dat via de kortegolf beursinformatie uitwisselt tussen de VS en Europa. De tijdswinst ten opzichte van een netwerk van routers en glasvezelkabels is slechts enkele milliseconden maar dat is voldoende voor beurshandelaren om er gebruik van te maken en geld te verdienen. De datacapaciteit is echter beperkt zodat zeer grootschalig gebruik niet te verwachten valt. Doordat het HF-medium afhankelijk is van de seizoenen en de toestand van de zon is de betrouwbaarheid beperkt.

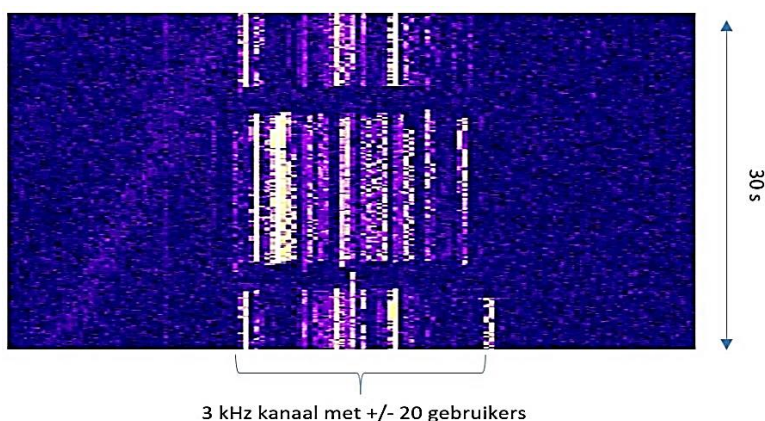
6.2.2 *Radio zendamateurs*

6.2.2.1 *Spectrumgebruik*

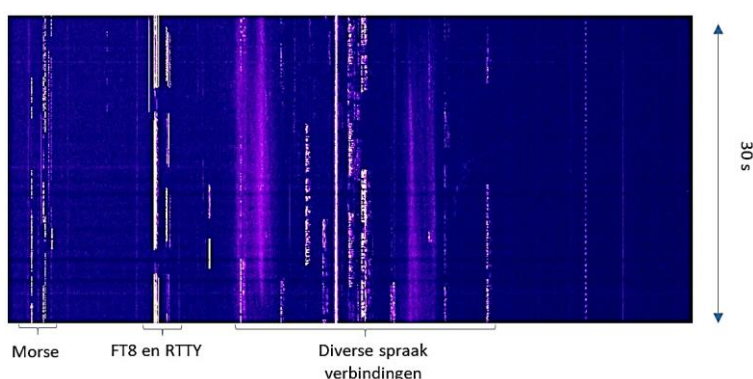
De laatste jaren heeft een verschuiving plaatsgevonden van analoge naar digitale communicatie. Spraak (via SSB: Single Side Band) en morse (via CW: Continuous Wave) worden veel minder vaak gebruikt ten voordele van smalbandige modulatievormen zoals ontwikkeld door Joseph Taylor (VS)¹⁰³. Daarvan is de modulatievorm FT8 nu één van de meest gebruikte modulatievormen. Er kan echter

¹⁰³ https://physics.princeton.edu/pulsar/k1jt/wsjsx-doc/wsjsx-main-2.1.2_n1.pdf

alleen een beperkt type data in de vorm van korte standaardboodschappen mee worden verstuurd en de effectieve datasnelheid is ongeveer 1 karakter/s. Het gebruik van FT8 en aanverwante modulatievormen concentreert zich op een paar 3 kHz-kanalen waardoor de bezetting van de rest van de diverse radioamateurbanden in het kortegolf-spectrum enigszins is afgenomen. De gebruikte frequenties voor deze smalbandige modulatievormen zijn echter overvol. Het ligt in de lijn der verwachting dat er in de toekomst op een of andere manier uitbreiding van deze overvolle frequenties plaatsvindt omdat er immers genoeg amateurspectrum binnen de banden beschikbaar is. Hierbij kan het helpen dat deze strakke bandindeling door de IARU (International Amateur Radio Union) is geregeld en niet door overheden wordt voorgeschreven. In Figuur 11 en Figuur 12 worden zogenoemde watervalspectra van de 20 m amateurband getoond als voorbeeld van het gebruik in de tijd van slechts enkele specifieke HF-kanalen¹⁰⁴. In deze figuren staan horizontaal de frequenties uit waarop men de aanwezigheid van signalen wil registreren. Hoe lichter de kleur, hoe sterker het signaal. Hiermee vormt de lichtste kleur een indicatie voor de bezetting door gebruikers. Verticaal staat het tijdsverloop van dit signaalbeeld, in dit geval 30 seconden.



Figuur 11: Eén 3 kHz kanaal vol met gebruikers van smalbandige FT8-modulatie (50 Hz bandbreedte) in de 20 m amateurband [bron: Universiteit Twente]



Figuur 12: Het volledige spectrum van de 20 m amateurband (14,0 tot 14,35 MHz). De band is goed gevuld met andere gebruikers die Morse, spraak (SSB) en digitale modulatievormen toepassen [bron: Universiteit Twente]

Dit beeld van signaal versus frequentie verloopt dus als bij een waterval waarbij de 'valhoogte' evenredig is met de verstreken tijd.

¹⁰⁴ <http://websdr.ewi.utwente.nl:8901/>

6.2.2.2 *Spin-off van de Dutch Amateurs Radio Emergency Service (DARES)*

Nationaal heeft DARES zich tot taak gesteld om communicatie te verzorgen indien er serieuze beschikbaarheidsproblemen zijn met de reguliere openbare orde en veiligheidsinfrastructuur tijdens calamiteiten.

Indien zich rampen voordoen worden internationaal noodnetten opgezet.

Voorbeelden uit 2021 zijn onder andere de bosbranden in Algerije en de aardbeving op Haïti. Amateurs worden in dit soort situaties wereldwijd opgeroepen om specifieke frequenties vrij te houden zodat het noodverkeer ongestoord plaats kan vinden. Indien gewenst, speelt DARES daarin een liaisonrol: als directe verbindingen met het rampgebied niet zijn te leggen vanwege de atmosferische omstandigheden kan dit op instigatie van DARES via een kortegolf-hub in Nederland.

6.2.3 *Defensie*

Met name door de marine en landmacht wordt over de gehele wereld van HF-radio gebruik gemaakt voor tactische verbindingen over grote afstanden, bijvoorbeeld een 'rearlink' vanuit een commandopost met het thuisland of vanaf een fregat met een wallocatie. Vaak wordt de vergelijking gemaakt tussen HF en satellietcommunicatie (satcom). Satcom voorziet immers ook in verbindingen over zeer lange afstanden en biedt bovendien een doorgaans veel grotere capaciteit dan HF.

Er zijn echter ook voordelen aan HF ten opzichte van satcom. Zo maken HF-verbindingen geen gebruik van een ruimtesegment waardoor er geen afhankelijkheid is van een operator: HF-middelen zijn *Military Owned, Military Operated*. In tegenstelling tot geostationaire satcom ontbreekt bij HF een ruimtesegment waardoor geen sprake van een *single point-of-failure*.

In tegenstelling tot geostationaire satcom is HF nog goed inzetbaar in gebieden bij de poolkappen terwijl geostationaire satellieten hier geen dekking bieden. Wel moet gezegd worden dat het verschil tussen HF- en LEO-verbindingen op dit punt klein is. Voor landoptreden bieden HF-verbindingen het voordeel dat ze niet wezenlijk door camouflage en gebladerte worden gedempt, zelfs niet door de meeste gebouwen. Voor satcom-verbindingen is dit wel het geval. Satcom-verbindingen moeten bovendien vanaf de gebruikersterminal altijd een ononderbroken gezichtslijn (LOS: Line-of-Sight) met de satelliet hebben. Tenslotte zijn HF-verbindingen minder dan satellietverbindingen gevoelig voor opzettelijke storing door een vijand.

Technische ontwikkelingen van HF-radio voor defensietoepassingen concentreren zich vooral op de vergroting van de transmissiecapaciteit in samenhang met de uitbreiding van de datacommunicatiemogelijkheden. De transmissiesnelheid ligt nu op zo'n gemiddeld 4 tot maximaal circa 16 kbit/s in ideale atmosferische omstandigheden. Het afgelopen decennium is veel aandacht gegeven aan het samen kunnen nemen van een aantal standaard 3 kHz-kanalen, zowel van aaneengesloten- als over de HF-band verspreide kanalen waardoor de capaciteit bijna naar rato vergroot kan worden. Ook gaat de aandacht van de industrie uit naar de verdere ontwikkeling en standaardisatie van een snelle, geautomatiseerde manier waarop een HF-link opgezet en onderhouden kan worden (respectievelijk ALE: Automatic Link Establishment en ALM: Automatic Link Management).

6.2.4 *Burgerluchtvaart*

Voor lange afstand-communicatie, meer dan 200 km van een luchthaven, zal de civiele luchtvaart zeker nog tientallen jaren gebruik blijven maken van kortegolf-

frequenties. Er lopen projecten zoals SESAR (Single European Sky Air Traffic Management Research¹⁰⁵) om met gebruikmaking van satellieten en aardse radiozenders deze communicatie te digitaliseren en ook meer dataverkeer met de piloten mogelijk te maken. Deze projecten lopen parallel aan de bestaande (analoge) communicatie op HF. De toepassing van HF in de burgerluchtvaart is zodanig dat verwacht mag worden dat dit medium nog lang in deze sector gebruikt zal worden, zeker gezien moderniseringsprojecten als SESAR. Dit zal niet alleen zijn als secundair middel naast satellietcommunicatie, met name boven dunbevolkt gebied en de oceanen, maar ook als primair middel voor boven de polaire cirkel waar geostationaire satellietcommunicatie niet mogelijk is.

6.2.5 *Burgerscheepvaart*

Voorop het gebied van veiligheid speelt de kortegolf nog steeds een rol in de burgerscheepvaart (container- en olievervoer, cruiseschepen et cetera). Het GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System) is een onderdeel van SOLAS (Safety of Life at Sea) en gebruikt naast VHF (voor AIS (Automatic Identification System), zie de Monitor-voorjaarseditie van 2017¹⁰⁶) en satellietcommunicatie ook diverse frequenties in de kortegolfband. Deze frequenties worden verplicht uitgeluisterd door schepen; communicatieapparatuur moet in staat zijn het gehele kortegolf-gebied te bestrijken en een aantal noodfrequenties continu te monitoren¹⁰⁷. Het *Institute of Communications and Navigation*¹⁰⁸ verwacht dat door de afname van wereldwijde kortegolfstations in de toekomst kortegolfsystemen zullen worden overgenomen door satellieten. Men waagt zich echter niet aan een termijn.

Een alternatieve ontwikkeling in het digitale domein die van belang is voor communicatie in de burgerscheepvaart is de Europese standaard¹⁰⁹ voor Digital Radio Mondiale (DRM). Hierbij wordt van een 12,5 kHz-kanaal gebruik gemaakt dat opgedeeld is in twee tijdsloten. Onder andere spraak, data, groeps gesprekken en noodberichten worden ondersteund.

De ITU geeft in zijn presentatie uit 2020¹¹⁰ aan dat de komende jaren het kortegolf-specifieke NavTex (Navigational Telex) zal worden uitgebreid met NavDat (Navigational Data). Dit is een systeem dat data ondersteunt, terwijl NavTex alleen tekst kan printen. Dit is vergelijkbaar met het oude telex/RTTY (Radio TeleTYpe) maar dan voor modernere, compactere gebruikersterminals.

6.2.6 *Omroep via DRM*

Naast gebruik als communicatiemiddel in de burgerscheepvaart vindt DRM vooral toepassing in de omroep. De eerste uitzendingen van DRM op midden- en kortegolf dateren van juni 2003¹¹¹. Het doel van DRM was het digitaliseren van de banden onder de 30 MHz en om een kwaliteitsslag te maken van de matige AM-

¹⁰⁵ <https://www.sesarju.eu/>

¹⁰⁶ TNO 2017 R10681, 21 juni 2017, pagina 23-27

¹⁰⁷ https://wetten.overheid.nl/BWBV0003264/2020-01-01#Verdrag_1_Verdragtekst_2_HoofdstukIV_TiteldeelC_Artikel10

¹⁰⁸ https://elib.dlr.de/90468/1/ka3_2.pdf

¹⁰⁹ <https://www.iala-aism.org/content/uploads/2018/05/D1.11-Report-on-Future-Digital-Communications-Strategy-supporting-document-v2.pdf>

¹¹⁰ <https://www.itu.int/en/ITU-R/seminars/wrs/2020/Plenary%20Sessions%20%20Presentations/03.%20Terrestrial%20Services%20-%201%20to%203%20Dec%202020/WRS20%20Modern%20Maritime%20Communications.pdf>

¹¹¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Radio_Mondiale

audiokwaliteit naar 'FM audio kwaliteit'¹¹². Demonstratie-uitzendingen op midden- en kortegolf hebben inmiddels bewezen dat een grote verbetering kan worden bereikt. De ontwikkeling van nieuwe modulatievormen dragen verder bij aan de verbetering van de geluidskwaliteit bij verschillende programmatypes (data (voor filemeldingen, weersinformatie en dergelijke), spraak, muziek en gemixt)¹¹³.

Vooraf door Indiase fabrikanten worden producten aangeboden¹¹⁴. De grote interne markt van India en dito afstanden maken DRM bij uitstek geschikt voor midden- en kortegolf.

In Nederland komt DRM voor omroepdoeleinden maar niet van de grond. Wel zond tot 2012 Radio Nederland Wereldomroep (RNW) als Nederlandse internationaal te ontvangen omroep uit, in de laatste jaren van haar bestaan via DRM. Tegenwoordig is korte golf-omroep in Nederland bedoeld voor nationale dekking en vooralsnog gebaseerd op AM¹¹⁵ (in Nederland is op VHF DAB(+) uitgerold). Veel DRM-omroepactiviteit op HF is aanwezig buiten Europa. In Europa worden uitzendingen verzorgd door Duitsland, Frankrijk en vooral door Roemenië¹¹⁶.

¹¹² In 2009 is een nieuwe versie van DRM geïntroduceerd: DRM+ als alternatief voor FM in de 88-108 MHz-band met een betere spectrumefficiëntie dan analoge FM

¹¹³ https://www.iis.fraunhofer.de/content/dam/iis/de/doc/ame/wp/FraunhoferIIS_ApplicationBulletin_xHE-AACinDRM.pdf

¹¹⁴ <https://www.drm.org/products-2/>

¹¹⁵ <https://radio-tv-nederland.nl/am/kg.html>

¹¹⁶ <https://www.drm.org/what-can-i-hear/broadcast-schedule-2/>

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.