

TNO 2024 R12206 – december 2024

Monitor Draadloze Technologie Najaar 2024



Auteurs	Dr. N.W. Keesmaat, J.P.C. van der Linde, Ir. R. Overduin, Dr. H. Zhang
Rubricering verslag	TNO Public
Titel	TNO Public
Verslagtekst	TNO Public
Aantal pagina's	32
Aantal bijlagen	0
Opdrachtgever	Ministerie van Economische Zaken
Projectnaam	Monitor Draadloze Technologie 2024
Projectnummer	060.58993

Alle rechten voorbehouden

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

© 2024 TNO

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
1 Inleiding	4
1.1 De Monitor Draadloze Technologie.....	4
1.2 Het 'draadloos speelveld'	4
2 De 3,5 GHz-veiling: een terugblik	6
2.1 Inleiding	6
2.2 De veiling	6
2.2.1 Algemeen	6
2.2.2 Het veilingmodel.....	7
2.3 De uitkomsten	7
2.4 Na de veiling	8
2.5 Conclusie.....	8
3 Update 3GPP-standaardisatie	9
3.1 Algemeen	9
3.2 Eigenschappen van 3GPP RAN Release 19 in het kort.....	10
4 Botsende opvattingen van 3GPP en GSMA rond 5G roaming	14
4.1 Hoe werkt roaming?.....	14
4.2 Wat is er speciaal aan 5G roaming?.....	15
4.3 De opvatting van 3GPP	16
4.4 De opvatting van GSMA.....	17
4.5 Hoe verder?	17
5 Met Future Network Services op weg naar 6G	18
5.1 Inleiding	18
5.2 Doelstellingen van het FNS-programma.....	18
5.3 De kracht van Nederland in de wereldwijde 6G-ontwikkeling	19
5.4 Aanpak	20
5.5 Consortium-partners.....	22
5.6 Eerste programma-ontwikkelingen.....	23
5.6.1 Internationale 6G-standaarden.....	23
5.6.2 Innovatievouchers voor startups.....	23
5.6.3 Posities voor promovendi.....	24
5.6.4 Use cases operationeel in FNS-testbeds	24
5.7 Tot besluit	24
6 High Frequency Trading via de kortegolf.....	25
6.1 Inleiding	25
6.2 Waarom de keuze voor draadloze transmissie?	26
6.2.1 Vaste infrastructuur	26
6.2.2 Microgolf-straalverbindingen.....	26
6.3 De toepassing van kortegolf-verbindingen.....	27
6.3.1 Algemeen perspectief.....	28
6.3.2 Co-existentieproblematiek met andere HF-gebruikers.....	29
6.3.3 Mogelijke draadloze alternatieven voor kortegolf-verbindingen over zeer grote afstanden.....	31
6.4 Conclusies.....	32

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 toegelicht.

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 telecommunicatie. Daarbij moet worden aangetekend dat sommige technische onderwerpen specifiek kunnen zijn. Deze onderwerpen vragen naast een algemene beschrijving meestal om meer technische toelichting waardoor ook de meer technisch onderlegde en -geïnteresseerde lezersgroep tegemoet wordt gekomen. 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, zodat 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 is de zogenoemde voorjaarseditie;
- Een editie die met name gaat over een aantal thema's, trends en toepassingen van draadloze communicatietechnologie. Dit wordt gedaan in de najaarseditie, de editie die u nu voor u heeft.

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 uitrol van volwaardige, operationele 5G-systemen vindt in steeds meer landen plaats. Ook in Nederland zal dit met de recente beschikbaarheid van 3,5 GHz-spectrumruimte op afzienbare termijn een feit worden. Over de 3,5 GHz-veiling en de uitkomsten daarvan geeft Hoofdstuk 2 een terugblik.

Inmiddels vinden onder de noemer van *5G-Advanced* ontwikkel- en standaardisatieactiviteiten plaats in voorbereiding op 6G. Hoofdstuk 3 licht de actuele stand van zaken rond de standaardisatie binnen 3GPP toe.

Soms bestaan verschillen van inzicht in oplossingen tussen de standaardisatiewereld van 3GPP en de internationale organisatie van mobiele netwerk operators, de GSMA (GSM Association). Hoofdstuk 4 gaat in op een concreet voorbeeld van een lopende kwestie: internationale 5G *roaming*.

Voor wat betreft 6G-ontwikkelingen zijn er concrete nationale ambities om daarin een vooraanstaande rol te spelen. Dit heeft zijn beslag gekregen in het nationaal groeifondsprogramma Future Network Services (FNS), onderwerp van Hoofdstuk 5.

Naast alle aandacht en activiteiten voor de algemene ‘gevestigde’ ontwikkelingen zoals voor de vijfde en zesde generaties mobiele communicatie, komen zo nu en dan bijzondere toepassingen van geheel andere technologieën en -frequentiebanden aan het licht. Zo behandelt Hoofdstuk 6 recente communicatietendensen ten behoeve van de algoritmische beurshandel, ook wel aangeduid met ‘flitshandel’. Dit is een discipline waar (financiële) belangen groot zijn en waar kortegolf-spectrum als mogelijke communicatiedrager zeer serieus wordt overwogen.

2 De 3,5 GHz-veiling: een terugblik

2.1 Inleiding

Op dinsdag 25 juni 2024 was het zover: de langverwachte veiling van 3,5 GHz-frequenties ging van start. Door deze frequenties beschikbaar te stellen, wordt niet alleen verder tegemoet gekomen aan de groeiende vraag naar mobiele communicatie maar wordt het in deze banden ook mogelijk 5G-diensten aan te bieden met een voor de gebruiker merkbaar kwaliteitsverschil met de mobiele diensten die met name via de banden op 700, 1400 en 2100 MHz worden aangeboden.

Concreet betreft het de gehele frequentieruimte van 300 MHz tussen 3450 en 3750 MHz voor mobiele communicatie. De 3,5 GHz-band is in Europees verband aangewezen voor de uitrol van (openbare) mobiele communicatie en hoewel technologie neutraal uitgegeven betekent dat in de praktijk de toepassing van de 5G-technologie. De Rijksinspectie Digitale Infrastructuur (RDI) trad op als veilingmeester namens de minister van Economische Zaken (EZ). De vergunningen zijn na de veiling vrij snel verleend waardoor de winnaars, alle drie de in Nederland opererende Mobiele Netwerk Operators (MNO's), de commerciële uitrol in gang konden zetten. Alle vergunningen lopen af op 31 december 2040.

Voor de volledigheid kan opgemerkt worden dat de twee 50 MHz-banden voor private, lokale netwerken in het 3,5 GHz-spectrum geen onderwerp waren van deze veiling. Deze frequentiebanden, gelegen aan weerszijden van de geveilde 300 MHz, zijn eerder bestemd - zie de Monitor Najaarseditie van 2023⁷. Voor deze banden kunnen rechtstreeks vergunningen worden aangevraagd bij de RDI.

De inhoud van dit hoofdstuk betreft uitsluitend de zienswijze van TNO op basis van louter publieke bronnen. Het Ministerie van EZ zal een evaluatie van de veiling uit laten voeren.

2.2 De veiling

2.2.1 Algemeen

Uitgangspunt was dat, zoals ook bij de multiband-veiling in 2020, deze 3,5 GHz-veiling voldoende en gezonde concurrentie zou opleveren.

Voor elk van de drie MNO's werd een maximum gesteld aan het te verwerven spectrum. Dit werd 120 MHz, dus 40% van de totaal te veilen frequentieruimte. Verder zouden de gewonnen spectrumdelen per deelnemer aaneengesloten worden geacommodeerd voor het optimaal functioneren van de 5G-diensten. Er waren voor het totaal aan deelnemers in totaal 15 vergunningen beschikbaar gesteld: drie voor brede banden (60 MHz) en 12 voor

⁷ TNO2023-R12053, Paragraaf 6.4, blz. 28

smalle banden (10 MHz). De veiling vond plaats via internet, met gebruik van een elektronisch veilingssysteem.

2.2.2 Het veilingmodel

Om enig inzicht te geven in de wijze waarop de frequentieverdeling tot stand is gekomen, wordt in deze paragraaf op hoofdlijnen de organisatie van de veiling weergegeven. Daarbij wordt niet op details ingegaan zoals aanvraag- en toelatingsregels, uitzonderingsbepalingen en voor het begrip niet essentiële voorwaarden, daarvoor wordt verwezen naar de publicatie in de Staatscourant nr. 3831 van 14 februari 2024².

De veiling bestond uit een zogenoemde primaire fase en een daaropvolgende toewijzingsfase.

2.2.2.1 De primaire fase

Alle vergunningen in de primaire fase zijn bij opbod geveild via een klokveiling met een startbedrag. In een klokveiling bepaalt een maximale duur het einde van elke biedronde.

De veiling in de primaire fase vond plaats in twee delen: de eerste voor de brede banden en vervolgens de tweede voor de veiling van de smalle banden. In het eerste deel kon iedere deelnemer ten hoogste één band (van 60 MHz) verwerven, in het tweede deel maximaal vijf (van 10 MHz). De opzet was om na afloop van het tweede deel een eventueel restant aan vergunningen met een combinatie van zogenoemde exit-biedingen zo goed mogelijk in te vullen zodat de overblijvende spectrumruimte zo klein mogelijk zou zijn, bij voorkeur uiteraard nul.

2.2.2.2 De toewijzingsfase

In de zogenoemde toewijzingsfase kon bepaald worden hoe de gewonnen banden zouden kunnen passen in de frequentieruimte van 3450 en 3750 MHz. In deze fase ging het dus om de bepaling van de *positie* van de verworven banden in de 3,5 GHz-spectrumruimte. Hierbij werd in rekening genomen dat voor iedere winnaar de totale frequentieruimte aaneengesloten diende te zijn ten behoeve van een optimale ondersteuning van de 5G-diensten.

2.3 De uitkomsten

In Tabel 1 zijn de resultaten van de 3,5 GHz-veiling weergegeven in termen van het aantal vergunningen per frequentieband en de prijs per vergunning³.

² <https://zoek.officiëlebekendmakingen.nl/stcrt-2024-3831.html>

³ <https://www.rdi.nl/actueel/nieuws/2024/07/01/kpn-odido-en-vodafoneziggo-verwerven-frequenties-via-5g-veiling>

Tabel 1: Eindresultaten van de veiling per deelnemer [bron: RDI, aangepast]

Frequentieband (MHz)	Naam	Vergunningen 60 MHz	Prijs per vergunning	Vergunningen 10 MHz	Prijs per vergunning
3.650 – 3.750	KPN B.V.	1	€39.220.000	4	€4.806.900
3.550 – 3.650	Odido Netherlands B.V.	1	€39.220.000	4	€4.806.900
3.450 – 3.550	Vodafone Libertel B.V.	1	€39.220.000	4	€4.578.001

Alle beschikbaar gestelde frequentiebanden in de 3,5 GHz-band zijn dus door alle partijen gelijkelijk verworven. Hierbij was de prijs per 60 MHz-vergunning voor iedere MNO gelijk. Dit bedrag kwam overeen met het startbedrag in het eerst deel van de primaire fase. De uiteindelijke prijs voor een 10 MHz-vergunning was per MNO verschillend, maar alle prijzen lagen maximaal circa 10% boven het startbedrag van € 4.360.000 per vergunning in het tweede deel van de primaire fase. Hierdoor kwam de totaalopbrengst van de veiling van circa € 174,4 miljoen dicht bij de vooraf vastgestelde minimumopbrengst van circa € 170 miljoen.

2.4 Na de veiling

Binnen een periode van twee tot vijf jaar na vergunningverlening dienen de MNO's te voldoen aan de ingebruiknameverplichting zoals beschreven in de Nota Mobiele Communicatie (NMC) voor de 3,5 GHz-band⁴. Dit betreft een minimaal vereiste geografische dekking. Deze bedraagt per 10 MHz-vergunning na twee jaar 54 km² en na vijf jaar 536 km². Voor een 60 MHz-vergunning zijn deze dekkingsgetallen respectievelijk 324 km² (na twee jaar) en 3.216 km² (na vijf jaar). De bedoeling is om de reeds eerder geformuleerde eis voor minimale datasnelheid van 100 Mbit/s per gebruikersapparaat via 3,5 GHz te realiseren.

Voor wat betreft coördinatie van de 3,5 GHz-frequenties met de buurlanden⁵ geldt een overeenkomst uit 2017. Deze is recent bijgesteld naar aanleiding van gewijzigde Electronic Communications Committee (ECC)-recommandaties ECC/REC/(15)01 en ECC/REC/ (20)03 die hebben geleid tot verhoging van de maximale veldsterktes op de landsgrens en uitgebreidere netwerksynchronisatie. Op het moment van schrijven hebben zowel Nederland als Duitsland de overeenkomst geïmplementeerd voor de 3,5 GHz-band. België moet dit nog doen waardoor momenteel de maximaal toegestane veldsterkte op de grens met België ongeveer de helft bedraagt van die op de grens met Duitsland.

2.5 Conclusie

Nu de frequentieruimte in de 3,5 GHz-band technologie-neutraal is geveild, zijn MNO's in staat gesteld om snel 3,5 GHz-dekking te realiseren. Door de geldigheid van 16 jaar van elke vergunning wordt bovendien stabiliteit en zekerheid voor investerende partijen geboden. Ook is het door de lange vergunningsperiode denkbaar dat in de loop van deze tijdsperiode de frequenties niet alleen zullen worden gebruikt voor 5G maar op termijn ook, eventueel ten dele, voor 6G.

⁴ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2019/06/11/nota-mobiele-communicatie>

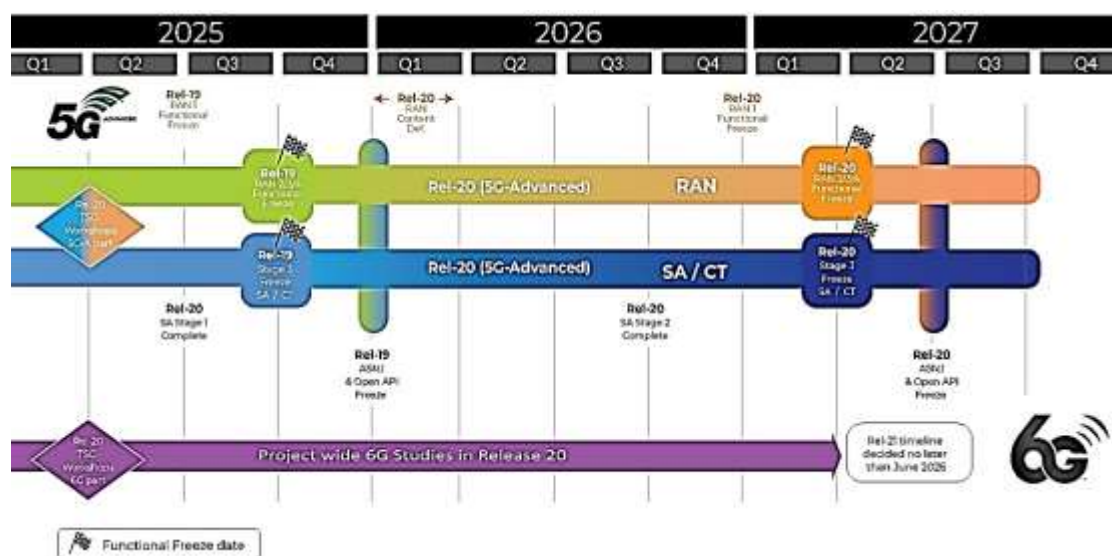
⁵ <https://www.rdi.nl/onderwerpen/veiling-35-ghz/vragen-en-antwoorden-veiling-35-ghz>

3 Update 3GPP-standaardisatie

3.1 Algemeen

3GPP heeft haar werk voor Release 18⁶, de eerste release voor *5G-Advanced*, afgerond. Huidige activiteiten van 3GPP zijn gericht op Release 19. De voorgenomen *freeze date* voor deze release is september 2025⁷. Ondertussen heeft 3GPP een plan gemaakt voor Release 20 met maart 2027 als voorgenomen *freeze date*⁸.

Onderstaand geeft Figuur 1 een overzicht van de huidige 3GPP-planning voor Releases 19 en 20.



Figuur 1: 3GPP-tijdlijnen voor Release 19 en Release 20 [bron: 3GPP, aangepast]

Zoals weergegeven in Figuur 1 zal 3GPP, naast de verbetering van 5G-Advanced met nieuwe of uitgebreide functies, in Release 20 ook 6G-studies starten. Het eerste 6G-studieonderwerp *6G Use Cases en Service Requirements* is in september 2024 goedgekeurd⁹.

De specificatie van 6G-standaarden zal naar verwachting starten vanaf Release 21. Ter voorbereiding op 6G-studies heeft 3GPP in mei 2024 een 6G *use case* workshop in Rotterdam gehouden¹⁰. Workshops over 6G Radio Access Network (RAN) en Service & System Aspects (SA) staan gepland voor maart 2025.

⁶ <https://www.3gpp.org/release18>

⁷ <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-19>

⁸ <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-20>

⁹ <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/WorkItem/WorkItemDetails.aspx?workitemId=1050110>

¹⁰ <https://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/sa1-6g>

3.2 Eigenschappen van 3GPP RAN Release 19 in het kort

Release 19 heeft twee belangrijke doelstellingen:

- 1) Het volledige potentieel van 5G benutten en inspelen op de reële en urgente commerciële behoeften;
- 2) Als brug naar 6G dienen. Dit wordt gedaan door een aantal fundamentele voor 6G-studies in Release 20 vast te leggen zoals toepassing van nieuw spectrum en een geïntegreerde detectie en communicatie.

De Monitor najaarseditie uit 2023¹¹ gaf een lijst van *mogelijke* onderwerpen voor de 3GPP RAN (Radio Access Network) Release 19 met hun verwachte dan wel waarschijnlijke strekkingen (*scopes*). Dit alles was gebaseerd op voorstellen van diverse industriële partijen die deelnamen aan de 3GPP Release 19 workshop in juni 2023¹² en de samenvatting hiervan door de RAN-voorzitter¹³. De formele inhoud van Release 19 werd in december 2023 vastgesteld¹⁴. De resulterende voornaamste onderwerpen voor deze RAN Release 19¹⁵ zijn aangegeven in Figuur 2.



Figuur 2: De belangrijkste onderwerpen binnen de 3GPP RAN Release 19 [bron: ATIS, aangepast]

De meeste onderwerpen in Figuur 2 komen overeen met de lijst die in de Monitor najaarseditie uit 2023 is gegeven. De hieronder genoemde lijst is dan ook vooral een update

¹¹ TNO 2023 R12053, december 2023, blz. 23-25

¹² <https://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/tsg-100-01>

¹³ https://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_AHs/2023_06_RAN_Rel19_WS/Docs/RWS-230488.zip

¹⁴ <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-19>

¹⁵ https://atis.org/wp-content/uploads/2024/04/3GPP-Webinar-Slides_04.03.24.pdf (webinar door de RAN-voorzitter, april 2024)

met hun respectievelijke, vastgestelde *scopes* in Release 19. Daarbij moet nota worden genomen van het volgende:

- 1) De *Wireless AI/ML* in Figuur 2 dekt twee verschillende Release 19-onderwerpen af: *AI/ML voor de NR air interface* en *AI/ML voor Next Generation RAN* zoals vermeld in de Monitor najaarseditie uit 2023;
- 2) *Integrated sensing and communication (ISAC)* en *Higher mid-band spectrum* in Figuur 2 hebben voornamelijk betrekking op het kanaalmodellering-activiteiten genoemd in de Monitor najaarseditie uit 2023, waarbij het ISAC-gedeelte ook inzetscenario's voor ISAC omvat;
- 3) *Topology* is nog niet eerder in de Monitor opgenomen. Dit betreft vooral de introductie van Wireless Access Backhaul (WAB) en Femtocell in 5G NR (New Radio), zie hieronder voor meer details.

Nadere achtergrond bij beschrijvingen of een toelichting in alternatieve bewoordingen is te vinden in de eerder genoemde lijst van mogelijke onderwerpen in de Monitor najaarseditie uit 2023¹⁷. In het overzicht hieronder zijn dezelfde titels van de onderwerpen gebruikt als in de najaarseditie van 2023. Aan het einde van elke beschrijving volgen de items die daarbinnen zijn vastgesteld.

- **Verdere ontwikkeling van MIMO.** Dit onderwerp omvat:
 - *Event-driven* antennebundel-management, geïnitieerd door de UE (User Equipment);
 - Ondersteuning van CSI-RS (Channel State Information Reference Signal) voor 32 tot aan 128 antenne-elementen;
 - Uitbreiding van UE-registratie voor Coherent Joint-Transmission (CJT) bij niet-ideale synchronisatie en *backhaul* (Release 18 ondersteunt alleen CJT bij ideale synchronisatie en *backhaul*);
 - *Uplink codebook* bij niet-coherente transmissie¹⁶ via 3Tx (de UE is uitgerust met drie zendantennes);
 - Uitgebreidere ondersteuning van asymmetrisch downlink/uplink-verkeer. Dit vindt plaats door deze verkeersstromen door verschillende cellen af te handelen.
- **De ontwikkeling van Duplex.** Dit is een voortzetting van de Release 18-studie, die nu wordt omgezet naar specificaties in Release 19. De Release 19 *scope* omvat:
 - Sub-Band Full-Duplex (SBFD) aan de basisstation-zijde. Een deel van een TDD (Time Division Duplex)-band is aangewezen voor uplink en een andere voor downlink, terwijl half-duplex aan de UE-zijde wordt afgehandeld;
 - Ondersteuning van signalering/resource management;
 - Verbetering van *random access*;
 - Meting en verbeteringen met betrekking tot *cross-link* interferentie (CLI).
- **Verdere studie naar *Ambient IoT*,** volgend op de studie in Release 18. *Ambient IoT* is gericht op apparaten die in complexiteit en stroomverbruik ordes van grootte lager liggen dan de bestaande 3GPP LPWA (Lower Power Wide Area) technologieën. Dergelijke apparaten werken ofwel zonder batterijen of hebben een beperkte energieopslagcapaciteit (op basis van een condensator) en kunnen worden gevoed door middel van *energy harvesting*¹⁷. In de Release 19-studie kan een selectie worden gemaakt uit

¹⁶ Anders dan bij coherente transmissie, hebben de zender en ontvanger geen exact beeld van de actuele CSI (Channel State Information), zoals in hoog-mobiele situaties waar deze snel varieert. De zender schat dan de CSI in en kiest uit het *codebook* een geschikte kanaalcode.

¹⁷ Bestaande mobiele apparaten werken mogelijk niet goed met *energy harvesting* door hun piekstromverbruik van meer dan 10 mW.

onder meer typen apparaten, inzetscenario's en spectrum.

In Release 19 zal men zich buigen over:

- Een geharmoniseerd ontwerp van de *air interface* voor *backscattered* uplink-transmissie (tot aan circa 1µW) en
- Actieve uplink-transmissie (ruim binnen een paar honderd µW) in gelicentieerde Frequency Range 1 (FR1, beneden 7 GHz) FDD (Frequency Division Duplex)-banden. Hier ligt de focus op twee topologieën: basisstation direct naar IoT- *tags* en UE als een tussenliggende, door het netwerk gecontroleerde node.
- **Verdere reductie van het energieverbruik door het netwerk.** Network Energy Saving is een voortzetting van de verbeteringen van Release 18, waaronder:
 - De specificatie van *on-demand SSB* (Synchronization Signal Block) Scell (Secondary Cell) voor actieve UE's;
 - Specificatie van de aanpassing van gemeenschappelijke signaal- en kanaaltransmissies en
 - Studie naar- en specificatie van *on-demand SIB1*¹⁸ voor inactieve UE's.
- **Verbeteringen rond mobiliteitsafhandeling.** Het gaat hier om een voortzetting van eerdere releases, met de nadruk op:
 - Verdere verbeteringen aan de door communicatie-laag 1/2 geactiveerde mobiliteit (Lower-Layer Triggered Mobility ofwel LTM), inclusief inter-CU (Central Unit) LTM;
 - Verbeteringen in metingen ten behoeve van LTM;
 - Conditionele LTM en daaraan gerelateerde verbeteringen van RRM (Radio Resource Management).
- **Ontwikkeling van het NR Non-Terrestrial Network (NTN).** NTN's maken gebruik van satellieten of platforms op grote hoogte om connectiviteitsdiensten aan te bieden. Ze kunnen terrestrische netwerken aanvullen door dekking te bieden in afgelegen gebieden waar terrestrische dekking niet beschikbaar is. Het werk van Release 19 richt zich op:
 - Verbeteringen van downlink-dekking;
 - Verbeteringen van uplink-capaciteit;
 - *Regenerative payload* door plaatsing van basisstations in lucht- of ruimtesegment(en);
 - 5G NR Light ofwel Reduced Capability (RedCap, het bieden van diensten die capaciteiten vragen die vallen tussen die van de drie extreme 5G *capabilities* eMBB (Enhanced Mobile Broadband), uRLLC (Ultra-Reliable and Low-Latency Communications) en mMTC (Massive Machine-Type Communications)) en
 - De ondersteuning van duplex-verkeer (full en half-duplex).
- **Ontwikkeling van XR (Extended Reality).** De werkzaamheden voor Release 19 zullen gebaseerd zijn op de uitkomst van de Release 18-studie en richten zich op:
 - De studie van de potentiële multimodaliteit binnen een UE;
 - Vermindering van de impact door de interrupties in zenden en ontvangen door RF-metingen;
 - Studie naar verbeterde uplink-planning door gebruik van vertraging- of deadline-informatie en
 - Vermindering van de latentie zoals de gebruiker die ervaart.

¹⁸ System Information Block #1 (SIB1) bevat alle basisinformatie voor een UE om de initiële verbindingprocedure uit te voeren. SIB1 bevat ook planningsinformatie voor andere SIB's.

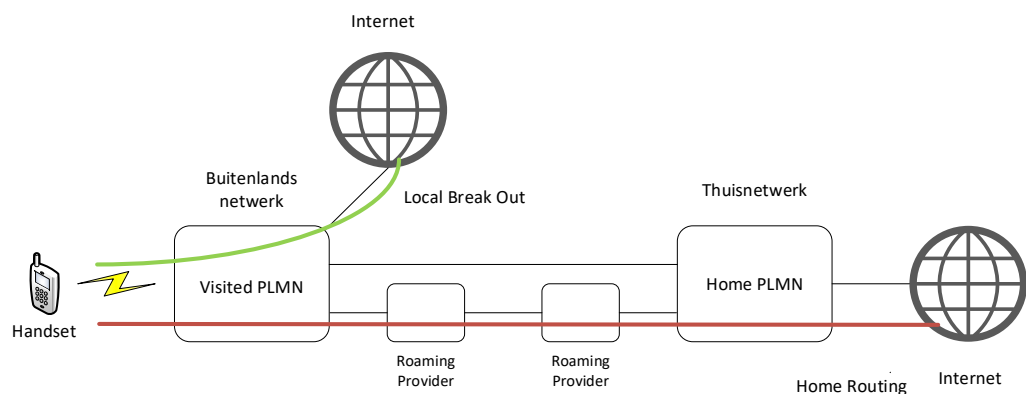
- **Self-Organizing Networks (SON's)/Minimaliseren van Drive Tests (MDT)**. Dit is een voortzetting van eerdere releases, met de focus op het optimaliseren van onder meer:
 - De robuustheid van mobiliteitsondersteuning (Mobility Robustness Optimization of MRO) bij LTM;
 - voorwaardelijke *handover* met mogelijke SCG's (Secondary Cell Groups) en met een nieuwe CPAC (Conditional Primary SCG cell (PSCell), Addition and Change);
 - SON/MDT-uitbreidingen voor mobiliteit tussen NTN's en
 - RAN Slicing.
- **Modellering van het radiokanaal**. Dit betreft modellering voor:
 - Het nieuwe spectrumbereik van 7-24 GHz;
 - ISAC en mogelijke ISAC-inzetscenario's. Frequenties van 0,5 tot 52,6 GHz vormen hier de primaire focus, met de mogelijkheid om op te schalen tot 100 GHz. De volgende detectiedoelen worden hierbij overwogen: UAV's (Uncrewed Aerial Vehicles); mensen die zich zowel binnen als buiten bevinden; auto's (in ieder geval in buitenscenario's); automatisch geleide voertuigen (bijvoorbeeld in fabrieken); objecten die gevaar opleveren op wegen en spoorwegen met een minimale grootte die afhankelijk is van de toegepaste frequentie.
- **Uitbreidingen van topologie-ondersteuning voor NR**. Het Release 19-werk omvat twee delen:
 - 1) De studie naar Wireless Access Backhaul (WAB) om 5G-toegang mogelijk te maken via een *on-board* basisstation voor UE's aan boord van vliegtuigen, cruiseschepen, helikopters en voertuigen in afgelegen gebieden met beperkte vrijzicht-lijn naar een lucht- of ruimtesegment. Overwogen wordt *backhauling* via zowel het terrestrische netwerk als NTN;
 - 2) De studie naar 5G Femtocell om thuis of op bedrijfslocaties kosteneffectieve 5G-toegang te bieden. Uitgangspunt is dat ondersteuning voor grote aantallen 5G Femtocells op een schaalbare manier mogelijk zou moeten zijn.

4 Botsende opvattingen van 3GPP en GSMA rond 5G roaming

4.1 Hoe werkt roaming?

Bij het gebruik van mobiele diensten in het buitenland is er sprake van de zogenaamde *roaming*-dienst die mobiele operators aan elkaar leveren. Dit werkt grofweg als volgt:

- In het buitenland verbindt een mobiel toestel zich met een buitenlands netwerk, dat met een technische term *Visited PLMN* (Public Land Mobile Network) of *Visited PMN* (Public Mobile Network) genoemd wordt;
- Het buitenlandse netwerk maakt contact met het thuisnetwerk, technisch genoemd *Home PLMN* of *Home PMN*. Door middel van dit contact controleert het buitenlandse netwerk of het mobiel toestel recht heeft om het buitenlandse netwerk te gebruiken;
- Vervolgens zet het mobiele toestel een verbinding op, bijvoorbeeld met het internet via de genoemde netwerken. Hiervoor zijn er in principe twee mogelijkheden zoals aangegeven in Figuur 3:
 - Via *Home Routing*: de dataverbinding loopt via het Visited PLMN naar het Home PLMN en vervolgens naar het internet;
 - Via *Local Break Out*: de dataverbinding loopt alleen via het Visited PLMN naar het internet.



Figuur 3: Roaming in mobiele netwerken [bron: GSMA]

- Voor de verbinding tussen het Visited PLMN en het Home PLMN kan er gebruik gemaakt worden van rechtstreekse verbindingen, maar in veel gevallen wordt er gebruik gemaakt van tussenliggende netwerken die geleverd worden door zogenaamde *roaming providers*.

In verreweg de meest gevallen maken operators gebruik van Home Routing. Technisch bestaat Local Break Out maar commercieel wordt dit nauwelijks aangeboden. De reden dat

operators voor Home Routing kiezen is dat op deze manier de operators meer ‘in control’ zijn. Zo hebben zij direct inzicht in de dataconsumptie van hun gebruikers waardoor rekeningen van de Visited network operator kunnen worden gecontroleerd en is het bijvoorbeeld mogelijk om bij het aflopen van een prepaid-tegoed de verbinding te verbreken of de snelheid aan te passen. Ook speelt de grote diversiteit van roaming-netwerken en operators en daarmee het afgenomen onderlinge vertrouwen een rol bij deze wens tot gedegen controle.

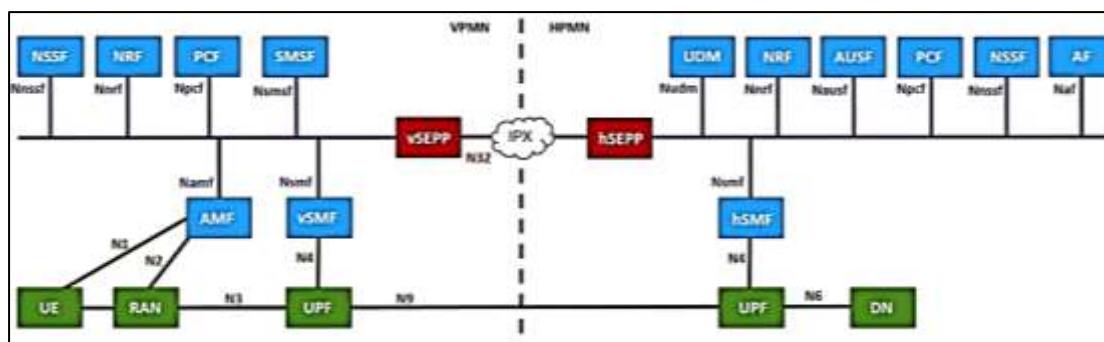
Opmerking: afhankelijk van de context worden met de termen PMN en PLMN niet alleen netwerken bedoeld maar doorgaans ook de network operators.

4.2 Wat is er speciaal aan 5G roaming?

De bovenstaande roaming-architectuur geldt voor alle generaties mobiele netwerken vanaf 2G, inclusief 5G-netwerken. Voor 5G-netwerken is er een aantal aanpassingen gedaan op het gebied van security:

- De *subscription identifier* van het mobiele toestel kan versleuteld verstuurd worden tussen het toestel en het netwerk. De subscription identifier⁷⁹ wordt door het netwerk gebruikt om te bepalen of een mobiel toestel toegang mag hebben tot dit netwerk;
- De authenticatie van het mobiele toestel, bijvoorbeeld bij eerste aanmelding, vindt in 5G-netwerken voornamelijk plaats tussen het toestel en het Home PLMN; in 2G-, 3G-, en 4G-netwerken vindt de authenticatie voornamelijk plaats tussen het toestel en het Visited PLMN. De belangrijkste reden voor dit verschil is het lagere vertrouwen dat operators onderling tegenwoordig hebben met de komst van allerlei nieuwe, als minder betrouwbaar geziene, operators;
- De communicatie tussen het Visited PLMN en het Home PLMN kan beveiligd plaatsvinden. Om dit te bereiken is er aan 5G-netwerken een nieuwe netwerkfunctie toegevoegd: de SEPP (Security Edge Protection Proxy).

Voor 5G roaming is vooral deze laatste toevoeging van belang. In Figuur 4 is de Home Routing-architectuur van 5G weergegeven.



Figuur 4: Home Routing-architectuur in 5G-netwerken [bron: GSMA]

In deze figuur zijn in blauw de zogenaemde 5G Network Functions weergegeven. Deze netwerkfuncties voeren de signalering uit in de netwerken zoals voor het authenticeren, voor het opzetten en afbreken van data sessies, et cetera. In groen worden elementen aangegeven die voornamelijk betrokken zijn bij het transport van gebruikersdata: de UE

⁷⁹ In 2G, 3G, en 4G netwerken heet de subscription identifier IMSI – International Mobile Subscriber Identity. In 5G netwerken heet de subscription identifier SUPI – Subscription Permanent Identifier en zijn versleutelde versie SUCI – Subscription Concealed Identifier.

(User Equipment) is het mobiele toestel, de RAN (Radio Access Network) het radionetwerk, de UPF de User Plane Function en de DN het Data Network, bijvoorbeeld het internet in Figuur 4. In rood zijn de SEPP's aangegeven, waar hierboven over gesproken is: de vSEPP in het Visited PMN communiceert met de hSEPP in het Home PMN.

De communicatie tussen de 5G Network Functions vindt plaats via het protocol HTTP/2, waarbij één netwerkfunctie als server (of *producer*) fungeert en de andere netwerkfunctie als client (of *consumer*) fungeert. Voor het authenticeren van een mobiel toestel bijvoorbeeld, zal de AMF (Access and Mobility Management Function) als client in het Visited PMN de AUSF (Authentication Server Function) benaderen in het Home PMN en die zal op zijn beurt als client de UDM (Unified Data Management -de netwerkfunctie voor het centrale management van gebruikersdata) als server, in het Home PMN benaderen.

De communicatie tussen netwerkfuncties binnen een PMN wordt in het algemeen beveiligd door middel van standaardmethoden, bijvoorbeeld via TLS (Transport Layer Security), die zorgt voor encryptie van de berichten tussen de functies.

Voor de communicatie tussen netwerkfuncties in het Visited PMN en het Home PMN kan deze methode niet altijd toegepast worden. Als er geen gebruik gemaakt wordt van tussenliggende partijen zoals roaming providers kan TLS toegepast worden maar bij het gebruik van roaming providers kan dit echter niet. Deze providers moeten in het algemeen namelijk een deel van de informatie van de berichten kunnen zien, bijvoorbeeld de bestemmingsinformatie of de broninformatie. Bovendien moeten deze providers vaak aanpassingen doen, zoals voor het routeren van de ontvangen berichten. Er moet dus een oplossing worden gezocht om in het geval van roaming providers te voorzien in de toegang tot informatie nodig voor deze providers en tegelijkertijd in adequate beveiliging van deze informatie.

4.3 De opvatting van 3GPP

Voor het oplossen van dit probleem is er door het standaardisatieorgaan 3GPP (Third Generation Partnership Project) vanaf het begin van 5G een methode bedacht genoemd PRINS (Protocol for N32 Interconnect Security, waarbij N32 verwijst naar de 3GPP-aanduiding van de interface tussen de SEPP-proxies, zie Figuur 4). Deze methode gaat uit van twee principes:

- Een deel van de informatie in de berichten tussen PMN's wordt onversleuteld verstuurd, de rest wordt versleuteld verzonden. De roaming providers kunnen dan gebruik maken van de onversleutelde informatie en daarmee hun diensten leveren;
- Elke verandering van informatie door een roaming provider wordt geregistreerd (en elektronisch ondertekend) in het bericht. De ontvangende partij kan dan verifiëren wat er door welke partij is veranderd.

Met het ontwikkelen van deze zogenoemde end-to-end security-oplossing op basis van PRINS had 3GPP verwacht te voldoen aan de wensen van de roaming providers. Dat bleek echter niet het geval te zijn. De roaming providers wilde veel meer 'in control' zijn en vonden zich te veel beperkt door de end-to-end security mechanismen die PRINS voorschreef. Zij hebben hun wensen en eisen niet rechtstreeks in 3GPP ingebracht, maar in plaats daarvan hun belangen vormgegeven in de GSMA (zie hieronder) en via deze organisatie aan 3GPP kenbaar gemaakt.

4.4 De opvatting van GSMA

Vanaf het begin van roaming in mobiele netwerken is er de GSMA (GSM Association) die zich bezighoudt met kwesties die spelen tussen mobiele netwerk operators (PMN's), in het bijzonder met zaken die betrekking hebben op roaming. Zo worden binnen de GSMA standaarden vastgesteld voor het formaat van de *billing records* die uitgewisseld worden tussen operators voor de onderlinge verrekening van de roaming-kosten. Maar ook hebben de roaming providers hun plaats gekregen in de GSMA alwaar zij hun bedrijfsbelangen verdedigen.

In de GSMA is dan ook, ten behoeve van de wensen van de roaming providers, naar alternatieven gezocht voor PRINS om de belangen rond de bedrijfsvoering van de roaming providers inzake openheid en controle te behartigen. In eerste instantie is er een levendige uitwisseling geweest tussen GSMA en 3GPP om enerzijds de GSMA requirements ten behoeve van de roaming providers te verduidelijken en anderzijds om aanpassingen aan PRINS voor te stellen in 3GPP-standaarden om daarmee alle partijen in de GSMA tevreden te stellen. Dit laatste is echter niet voldoende gebleken. Binnen de GSMA is een 5GS Roaming Guidelines-document²⁰ in ontwikkeling, waar door middel van zogenoemde *deployment options* verschillende businessmodellen worden beschreven voor het gebruik van roaming providers. In al deze *deployment options* of inzetmodellen treden roaming providers op met contractuele relaties met één of meer netwerk operators (PMN's), maar de diensten die ze leveren aan deze operators verschillen per model. In sommige modellen leveren de roaming providers alleen een *outsourced* of *hosted* SEPP-dienst aan één of meer netwerk operators. In andere inzetmodellen hebben de roaming providers een meer zelfstandige rol en kunnen deze zelfstandig beslissen over het al dan niet routeren en openzetten van roaming-verbindingen met andere partijen (roaming providers en netwerk operators).

De genoemde inzetmodellen kunnen soms gerealiseerd worden met security architecturen die voldoen aan de 3GPP-standaarden (dat wil zeggen met gebruik van PRINS), maar soms worden security architecturen toegepast die niet voldoen aan de 3GPP-standaarden. In deze laatste categorie valt onder andere een security architectuur zonder PRINS, die TLS alleen in *hop-by-hop* wijze gebruikt.

De verschillende deployment options en de daarbij toegepaste security architecturen, waar voor details verwezen wordt naar de 5GS Roaming Guidelines, hebben verschillende security-eigenschappen en zijn afhankelijk van de mate waarin partijen elkaar vertrouwen. Zo moeten bij de hop-by-hop TLS-optie de betrokken partijen (operators en providers) elkaar vertrouwen in de zin dat er geen onterechte wijzigingen worden uitgevoerd en dat vertrouwelijke informatie niet uitlekt. Vanuit de GSMA is de aanname dat dit óf via contractuele en bedrijfsafspraken geregeld kan worden óf dat het eventuele risico door de partijen aanvaardbaar is.

4.5 Hoe verder?

Het is op dit moment niet duidelijk of het verschil van mening tussen 3GPP en GSMA opgelost zal worden of dat er twee richtingen zullen blijven bestaan. Het NG.113 v11-document is publiek beschikbaar maar nog niet officieel goedgekeurd door de GSMA en ook nog niet gedeeld met 3GPP. Wat de impact van deze informatie is op de deelnemers (en daarmee op 'de' mening) van 3GPP is op het moment van schrijven dan ook nog niet duidelijk.

²⁰ <https://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/NG.113.v.11.0.pdf>

5 Met Future Network Services op weg naar 6G

5.1 Inleiding

Snelle, betrouwbare connectiviteit vormt de basis voor de digitale transformatie in sectoren zoals industrie, energie, logistiek en gezondheidszorg. Mobiele netwerken zitten in het hart van deze infrastructuur en blijven zich ontwikkelen om te voldoen aan eisen die toepassingen vanuit deze sectoren opleggen. Wereldwijd maar zeker ook in Nederland wordt dan ook veel inspanning geleverd om 6G-technologie, de volgende generatie mobiele netwerken, te ontwikkelen.

Nederland wil hierin een leidende rol spelen, niet alleen om economische groei te stimuleren maar ook om digitaal autonoom te blijven. Daarvoor investeert de overheid via het Nationaal Groeifonds in het nationale Future Network Services (FNS) programma dat loopt van 2024 tot 2030. FNS helpt Nederland een sterke positie in 6G te verwerven en draagt bij aan strategische autonomie.

Dit hoofdstuk laat in grove lijnen zien hoe het FNS-programma Nederland wil voorbereiden op 6G. Daar waar relevant zal de relatie met technische inhoud worden aangestipt zonder daarbij teveel in detail te treden.

Paragraaf 5.2 gaat in op programmadoelstellingen en de differentiatie daarvan in vijf ambities of programmapijlers. In Paragraaf 5.3 wordt het potentieel van Nederland toegelicht waardoor invulling gegeven kan worden aan deze doelstellingen. Paragraaf 5.4 geeft inzicht in de integrale wijze waarop het programma wordt aangepakt. In Paragraaf 5.5 wordt aangegeven welke partners aan de diverse hoofdonderwerpen en taken (programmaliijnen) bijdragen. Vervolgens maakt Paragraaf 5.6 melding van vier initiële, concrete ontwikkelingen binnen FNS waarna Paragraaf 5.7 dit hoofdstuk resumerend afsluit.

5.2 Doelstellingen van het FNS-programma

6G ontstaat niet van de ene op de andere dag. Het FNS-programma legt daarom nu al de basis voor een mobiel netwerk dat naar verwachting rond 2030 operationeel zal zijn. Samen met diverse partijen ontwikkelt Nederland geavanceerde technologieën (zie Paragraaf 5.3) en wordt bijgedragen aan internationale standaardisatie. De inzet is dat 6G voldoet aan eisen die Nederlandse sectoren stellen aan een innovatief mobiel netwerk waardoor betere betrouwbaarheid, digitale autonomie, c.q. soevereiniteit en duurzaamheid worden bereikt. Deze kernwaarden staan dan ook centraal in FNS.

De volgende generatie van het mobiele netwerk belooft opnieuw een forse stap vooruit, onder meer in capaciteit, betrouwbaarheid en doorvoersnelheden, zie ook het hoofdstuk *Trends naar de technische inhoud van 6G* in de voorjaarseditie van 2022²⁷. Daarnaast gaat 6G niet alleen voor communicatie gebruikt worden, maar ook voor lokalisatie met behulp

²⁷ TNO2022-R10816, juni 2022, blz. 31-40

van radarwaarneming. Dit biedt bijvoorbeeld de mogelijkheid om verkeersstromen beter te sturen²².

Omdat Nederland een prominente rol vervult in halfgeleider technologie, netwerksoftware en het ontwikkelen van maatschappelijke oplossingen, lijkt een leiderspositie in de ontwikkeling van 6G-technologie en -toepassingen reëel.

Naast technologieontwikkeling wordt in het FNS-programma een nationaal 6G-testbed gerealiseerd om componenten en toepassingen te testen. Dit 6G-testbed heeft de TNO 6G-core-infrastructuur in Den Haag als basis met verbindingen naar de fieldlabs Innovation Center Connected Solutions (ICCS, Groningen), DoIoT Fieldlab (Delft) en Brainport Industrie Campus (BIC, Eindhoven).

Verder ondersteunt FNS startups en bedrijven in het MKB (Midden- en Klein Bedrijf) en wordt gewerkt aan plannen voor nieuwe banen en opleidingen. Zo worden vanuit het FNS-programma bedrijven en de samenleving in brede zin voorbereid op 6G.

Programma-ambities, c.q. -doelstellingen zijn door het consortium vertaald vanuit de onderbouwing van de aanvraag voor het Nationaal Groeifonds²³ naar de volgende vijf programmapijlers van FNS:

- **Toonaangevend in technologie**
De Nederlandse ambitie voor een internationale technologische toppositie wordt gerealiseerd door te investeren in geavanceerde 6G-antennetechnologie en halfgeleidercomponenten;
- **Geavanceerde netwerken**
Het ontwikkelen van nieuwe softwaremodules en AI-gebaseerde algoritmen voor intelligente besturing van mobiele netwerken;
- **Economische groei**
Bedrijven en MKB vroegtijdig laten profiteren van 6G-mogelijkheden, wat nieuwe activiteiten stimuleert;
- **Duurzaamheid**
Minimaliseren van het energieverbruik van 6G-netwerken en bijdragen aan duurzame doelen in energie, logistiek en industrie;
- **Betrouwbaarheid en autonomie**
Verminderen van ongewenste afhankelijkheden en zorgen voor veilige, betrouwbare netwerken.

5.3 De kracht van Nederland in de wereldwijde 6G-ontwikkeling

De wereldwijde inspanningen rond 6G worden gedomineerd door grote spelers uit China, Europa en de VS. Ondanks de sterke positie van buitenlandse bedrijven in de chip- en antennemarkt heeft Nederland een stevige basis dankzij toonaangevende bedrijven en onderzoekscapaciteiten. FNS wil deze krachten bundelen en zo de positie van Nederland op het gebied van 6G versterken.

Nederland heeft een sterke positie op drie cruciale 6G-onderdelen:

²² <https://www.tno.nl/nl/digitaal/digitale-innovatie/digitale-infrastructuren/10-dingen-over-6g/>

²³ <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2024-06/>

Maatwerkbesluit%2013062024%20NGF6G2301%20Besluit%20tot%20verlening%20subsidie.pdf

- **Radiocomponenten:** bedrijven zoals NXP en Ampleon zijn wereldleiders in 4G- en 5G-radiotechnologie, wat deze goed positioneert voor 6G. Opgemerkt moet worden dat nog geen afspraken over de 6G-frequenties gemaakt zijn. Naast de bestaande IMT (International Mobile Communications)-banden gaat het bij 6G ook om de banden die de WRC-23 heeft opgeleverd zoals de upper-6 GHz-band (6425-7125 MHz) en de volgende banden waarnaar nog studie wordt verricht:
 - 470-694 MHz: de band in UHF (Ultra High Frequency) die voor secundair gebruik aan IMT is toegewezen;
 - 7-15 GHz: enkele sub-banden; voor een deel is deze band bezet door andere toepassingen;
 - 26 GHz: toegewezen voor IMT maar nog niet ingezet in commerciële toepassingen;
 - 100-300 GHz: ook wel sub-terahertz genoemd;
- **AI-enabled netwerksoftware:** Nederlandse universiteiten, onderzoeksinstituten en bedrijven zoals SURF en Solvinity hebben diepgaande expertise in netwerksoftware. Telecom operators zoals KPN en VodafoneZiggo scoren internationaal hoog op netwerk-kwaliteit;
- **Digitale integratie/mobiele toepassingen:** Nederland staat hoog in de Europese index DESI (Digital Economy and Society Index) door zijn sterke connectiviteit en integratie van digitale technologieën.

Ter illustratie geeft Figuur 5 aan welke toepassingsgebieden en toepassingen bij aanvang van FNS zijn geïdentificeerd en wat voor elk daarvan de meerwaarde is van 6G.

	Leading application	Why 6G
Transport hubs	Ground assisted flight control	Programmability
Image guided therapy	Therapy assistance modules & collaboration	> 20 Gbps
Smart grid	Predictive balancing energy demand & supply	Programmability
Wireless detection	Wireless detection of traffic participants	JCAS
6G Wireless Factory	Hyper digitization of machines	< 1 ms
E-Commerce	Monetization 6G micro services channels & sales	Diversity of 6G services
EXER-Gaming	Optical tracking & rendering from 6G edge	Bandwidth & latency

JCAS = Joint Communication and Sensing

Figuur 5: Toepassingen binnen FNS en hun relatie met 6G [bron: FNS]

5.4 Aanpak

Het FNS-programma is opgedeeld in twee fasen, waarover later meer. Leidend bij de aanpak binnen FNS zijn de volgende strategische initiatieven:

- **Onderzoek en ontwikkeling:** het stimuleren van innovatie via samenwerking tussen academische instellingen en de markt;
- **Internationale standaardisatie:** op basis van de R&D (Research and Development) in de programmalijnen en de eisen vanuit de technologie-toepassing worden activiteiten

ondernemen om de ontwikkeling van standaardisatie voor het programma positief te beïnvloeden;

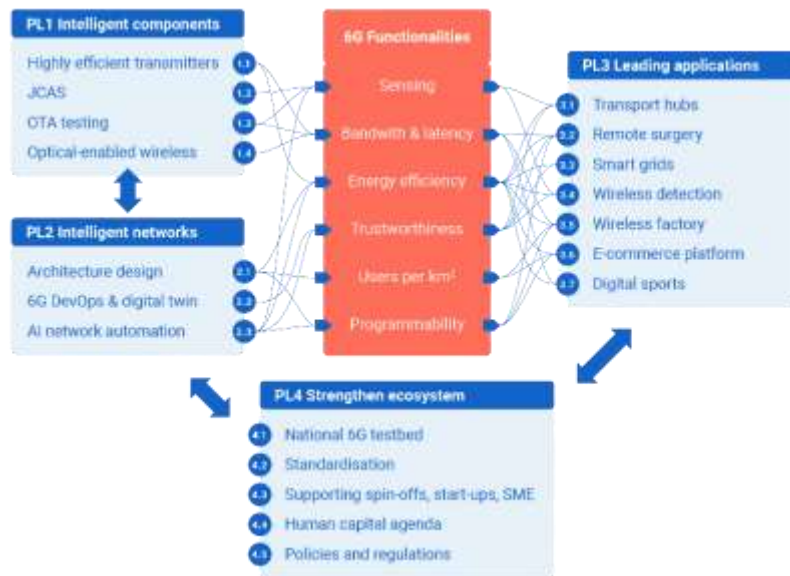
- **Ecosysteem opbouwen:** het creëren van een samenhangend ecosysteem door programmalijnen en partnerschappen te verbinden en daar waar relevant gericht initiatieven te stimuleren en startups en scale-ups financieel ondersteunen;
- **Nationaal 6G-testbed:** een basis ICT-infrastructuur biedt om prototypes en demonstrators van intelligente componenten en software modules te testen in samenhang met hoogwaardige toepassingen;
- **Human Capital-agenda:** scholing bevorderen via gerichte onderwijsprogramma's;
- **Beleid en regelgeving:** kennis en inzichten rond lange termijn-technologieontwikkeling delen met de Nederlandse overheid zodat deze meegenomen kan worden bij toekomstig beleid en wet- en regelgeving.

Voor de ontwikkeling van de innovatieve 6G-technologie brengt het FNS-programma meerdere partijen uit de keten samen zoals uit de onderzoekswereld, industrie, kennisinstellingen, het MKB en startups. Ten behoeve van een integrale en proactieve aanpak zijn ook beleidsmakers betrokken. De uitgangspunten van de aanpak in de eerste programmafase zijn de concreet gemaakte interne afspraken ten aanzien van specifieke activiteiten en deliverables. De algehele voortgang is vastgelegd in KPI's (Key Performance Indicators) en wordt ieder kwartaal geëvalueerd.

Deze aanpak is in FNS ondergebracht in twee technische programmalijnen PL1 en PL2 en daarnaast een programmalijn PL3 met focus op de toepassing van de technologie. Alle drie programmalijnen zijn gerelateerd aan de 6G-onderdelen waarop Nederland excelleert (zie Paragraaf 5.3). Interactie tussen de programmalijnen is, daar waar relevant, vastgelegd in de activiteiten en deliverables. Hierbij vormt het nationale testbed een belangrijk onderdeel waar (tussentijdse) bevindingen en resultaten samenkomen.

Programmalijn PL4 is gericht op het versterken van het ecosysteem binnen FNS (zie Figuur 6). Door deze vierde programmalijn wordt de opgebouwde kennis en expertise gedeeld met kennisinstellingen in het WO, HBO, MBO en met het MKB. Dit is mogelijk door de nationale 6G-testbedinfrastructuur en deze ook in te zetten in Europese 6G-initiatieven, het afstemmen van beleid en wetgeving en de gedetailleerde Human Capital-agenda waarin de overheid, onderwijsorganisaties en bedrijven onderling de vraag naar- en het aanbod van 6G-gerelateerde kennis coördineren.

Het Nationaal Groeifonds heeft € 61 miljoen toegekend voor de eerste fase van FNS die loopt van januari 2024 tot juni 2026. De beoogde mijlpalen in deze fase zijn vastgelegd in gedefinieerde interne deliverables. Daarnaast is € 142 miljoen gereserveerd voor financiering van FNS fase 2 om duurzame economische groei te stimuleren, afhankelijk van het succes van de eerste fase en de propositie voor de tweede fase.



Figuur 6: Aanpak van FNS met vier programmalijnen [bron: FNS]

De 6G-functionaliteiten die genoemd zijn in Figuur 6 komen inhoudelijk overeen met die, welke door 6G-IA (6G Smart Networks and Services Industry Association)²⁴ zijn geïdentificeerd.

5.5 Consortium-partners

Het FNS-consortium bestaat uit een diversiteit aan partners, in totaal circa 60 (zie Figuur 7) waaronder TNO, TU Eindhoven, TU Delft en marktleiders in telecom, halfgeleiderindustrie en ICT. Ook overheidsinstanties zoals het ministerie van Economische Zaken zijn betrokken (niet in Figuur 7 opgenomen).



Figuur 7: Deelnemende FNS-partners naar programmalijn in 2024 [bron: FNS]

²⁴ <https://6g-ia.eu/>

Zoals blijkt uit Figuur 7 heeft een aantal deelnemende organisaties het hoofdkantoor buiten Nederland. Hun deelname is gekozen op grond van een relevante en soms noodzakelijke bijdrage in het gezamenlijke R&D-werk in Nederland en omdat er geen alternatieve organisatie met vergelijkbare kennisinbreng in Nederland gevestigd is.

Voor de eerste fase van het programma is de beschikbare subsidie verdeeld om de geplande activiteiten te realiseren. Er bestaan wel een mogelijkheid voor nieuwe organisaties om zich in deze fase nog aan te sluiten als dit een meerwaarde biedt voor het realiseren van geplande doelstellingen in deze fase. Hierbij kan geen aanspraak worden gemaakt op subsidie.

In de tweede programmafase kunnen zich nieuwe organisaties aansluiten en onder voorwaarde hiervoor subsidie ontvangen. Hierdoor zal het open Nederlandse ecosysteem verder worden versterkt en leiden tot een lange-termijn publiek-private samenwerking.

5.6 Eerste programma-ontwikkelingen

FNS is pas in 2024 van start gegaan en 6G-technologie en de 6G-standaarden zijn nog volop in ontwikkeling. Niettemin zijn er op het moment van schrijven vier concrete ontwikkelingen binnen FNS te melden:

5.6.1 Internationale 6G-standaarden

Hoewel Nederland een leiderspositie in de ontwikkeling van 6G wil innemen, ontwikkelt mobiele communicatie en technologie zich uiteraard wereldwijd. FNS draagt daarom continu bij aan internationale platforms zoals Third Generation Partnership Project (3GPP) en de 5G Alliance for Connected Industries and Automation (5G-ACIA). Vanuit FNS zijn in 2024 al Nederlandse innovaties zoals de ETSI Wireless Detection Use Case and Requirements in de JCAS (Joint Communication and Sensing)-werkgroep met succes aangedragen voor de internationale 6G-standaarden in ontwikkeling. Dit onderwerp staat nu op de agenda van de workshop van de 3GPP Service and System Aspects (SA) standaardisatiegroep SA1.

5.6.2 Innovatievouchers voor startups

Startups zijn belangrijk in de realisatie van 6G en bijhorende digitale toepassingen. Daarom zijn binnen FNS innovatievouchers beschikbaar om veelbelovende ideeën te ondersteunen. Deze vouchers zijn toegekend aan vier startups en wel voor de volgende radiotechnologie-onderwerpen:

- Efficient heat dissipation for active phased array radar systems with a 3D-printed heat pipe array;
- Load-Modulated linearization and amplification system;
- Extraterrestrial Communications Systems (ECS);
- Climate-controlled chamber created from RF-transparent material for characterizing electromagnetic structures and materials at mm-wave frequencies.

Voor details wordt verwezen naar de website van FNS²⁵.

²⁵ <https://futurenetworkservices.nl/nieuws/fns-startup-vouchers-toegekend-vier/>

5.6.3 Posities voor promovendi

Meer dan dertig promovendi werken inmiddels mee aan de ontwikkeling van 6G, met name aan ontwikkelingen binnen programmalijnen PL1 en PL2. Daarbij krijgen de promovendi toegang tot het 6G-testbed zodat de theorie ook in de praktijk getoetst kan worden. Daarnaast wordt ondernemerschap bij de promovendi gestimuleerd door presentatie van hun ontwikkelingen binnen de wetenschappelijke wereld en het FNS-programma en via uitgifte van de eerder genoemde innovatievouchers.

5.6.4 Use cases operationeel in FNS-testbeds

Binnen programmalijn PL3 zijn meerdere werkende oplossingen opgezet in één van de testbeds. De Wireless Factory heeft bijvoorbeeld een proefopstelling operationeel in Eindhoven, waarbij de toepassingen van 6G worden getest. Zo wordt via realistische *use cases* duidelijk wat de eisen zijn waaraan de standaardisatie van 6G zou moeten voldoen.

5.7 Tot besluit

6G biedt potentieel voor het transformeren van diverse sectoren en het stimuleren van economische groei. De potentie van de rol die Nederland kan spelen is groot door een prominente positie in radiocomponenten, netwerksoftware en digitale integratie. Hierdoor kan Nederland een serieuze koploper zijn op het gebied van 6G.

Om die koppositie in te nemen en te behouden, wordt binnen het FNS-programma gewerkt aan een brede, integrale en kennis-gedreven aanpak zoals deze is beschreven. De inzet daarbij is om, conform de doelstelling van een Nationaal Groeifonds-programma, het nationaal duurzaam verdienvermogen en daarmee de lange-termijn economie te stimuleren door de nauwe samenwerking in concrete cases en -toepassingen. Tegelijkertijd is de intentie om voor Nederland onafhankelijkheid en autonomie in mobiele netwerken en connectiviteit te creëren, hetgeen strategisch zeer waardevol is in de veranderende geopolitieke realiteit.

6 High Frequency Trading via de kortegolf

6.1 Inleiding

Omstreeks 2000 deed de zogenoemde High-Frequency Trading (HFT), ook bekend als *algorithmic trading* of ‘flitshandel’, zijn intrede^{26,27}. Het gaat hier om algoritmische beurshandel die gebruik maakt van krachtige computers om transacties in fracties van een seconde uit te voeren. De eerste twee letters van de afkorting HFT verwijzen dus naar de hoge frequentie waarmee transactieberichten worden gegenereerd en niet naar het gebruik van de kortegolf-band. Zonder hier verder in te gaan op de diverse vormen van HFT kan worden gesteld dat de snelheid waarmee een transactiebericht (automatisch) wordt aangemaakt, verstuurd en ontvangen, kenmerkend is voor het succes van de betreffende beurshandelaar. Een partij die net iets sneller is dan de concurrent kan een wezenlijke winst binnenhalen. Door HFT is dus vooral de snelheid van handelen cruciaal geworden. Door gebruik te maken van Artificial Intelligence (AI) is zelfs menselijk handelen bij dergelijke transacties omzeild. De transactieberichten hebben een levensduur van 2 tot 6 ms en de stroom berichten is niet continue.

In het minimaliseren van de totale vertraging in de keten van aanmaken en versturen van transacties, richt dit hoofdstuk zich vooral op:

- Propagatievertraging. Dit is vaak de grootste vertragingcomponent als gevolg van het ‘reizen’ van zender naar ontvanger van de elektromagnetische energierepresentatie van een transactiebericht. Hier moet worden gedacht in termen van milliseconden in plaats van microseconden voor de transactie-aanmaak en -verwerking. In de praktijk gaat het om het overbruggen van zeer grote afstanden, bijvoorbeeld van de Verenigde Staten naar Europa of binnen de VS tussen Chicago en New York City;
- Transmissievertraging. Deze component wordt bepaald door de snelheid waarmee over een gegeven elektromagnetische drager (kabel of de radioweg), het gehele digitale transactiebericht kan worden verzonden. Hier zijn bepalende factoren de bandbreedte, de modulatietechnologie, codering en eventuele datacompressie;
- Netwerkvertraging. Dit type vertraging treedt op wanneer de verzending van een transactiebericht verloopt door een netwerk met elementen zoals switches en routers. Deze netwerkelementen zijn er om de totale netwerkcapaciteit te kunnen delen met andere gebruikersgroepen dan HFT-gebruikers.

Door gebruik te maken van een geschikte, snelle communicatietechnologie bij HFT kan dus een concurrentievoordeel behaald worden indien daardoor sneller kan worden gehandeld dan de concurrenten.

²⁶ <https://www.beleggingsinstituut.nl/beleggers-kennisbank/high-frequency-trading/>

²⁷ <https://www.nasdaq.com/glossary/h/high-frequency-trading>

6.2 Waarom de keuze voor draadloze transmissie?

Voor de beantwoording van deze vraag zullen de oorspronkelijke twee basisopties voor het overbrengen van transactieberichten worden besproken: de vaste infrastructuur en de microgolf-straalverbindingen, waarmee zich tevens een historische ontwikkelingslijn aftekent.

6.2.1 Vaste infrastructuur

Het transporteren van HFT-transactieberichten vond aanvankelijk plaats over publieke vaste netwerken. Omdat het hier aanzienlijke afstanden betreft, kan op een dergelijke verbinding relatief veel vertraging worden ondervonden. Dit is niet alleen te wijten aan de onvermijdelijke propagatievertraging als gevolg van de te overbruggen afstand, maar vooral aan de netwerkvertraging door netwerkelementen zoals switches en routers. Hierin zijn digitale buffers werkzaam die informatiepakketten voor zeer korte tijd kunnen opslaan. Deze buffering en het oponthoud daardoor is nodig voor aggregatie van de transactieberichten met het (vele) andere verkeer over de publieke infrastructuur. De berichtvertraging is sterk afhankelijk van het actuele verkeersaanbod en daardoor zeer onvoorspelbaar. Daardoor is de bekabelde publieke infrastructuur verre van ideaal gebleken voor het transporteren van HFT-berichten, bepaalde productclaims voor HFT²⁸ ten spijt. Deze richtten zich alleen op de snelle netwerkelementen in vaste infrastructuren.

Ter concretisering zal hierna een en ander getalsmatig worden verduidelijkt.

Voor het overbruggen van de grootst denkbare afstanden voor HFT bestaan in principe diverse trans-Atlantische onderzeese fiberkabels waarvan voor HFT de AEC (America-Europe Connect)-1²⁹ een toepasselijke is vanwege de ligging tussen de beurssteden New York City en Londen. Deze wordt echter ook door diverse klanten gebruikt zodat aggregatie optreedt zoals hierboven beschreven. Tussen New York City en Londen ondervinden HFT-berichten een vertraging van circa 68 ms³⁰, terwijl de minimale theoretische vertraging van een optische kabel over dezelfde afstand 28 ms bedraagt³¹. Er zou dus veel te winnen zijn met het minimaliseren van overig verkeer en van de netwerkelementen die dit verwerken. Ideaal zou dus een trans-Atlantische fiberkabel zijn voor uitsluitend HFT-verkeer maar dit is financieel niet haalbaar. Bovendien lijkt met bijvoorbeeld HF-radio een draadloos alternatief voor handen die in staat is via een zogenoemde hemelgolfverbinding een trans-Atlantische afstand te overbruggen. Dit alternatief heeft bovendien als extra voordeel dat elektromagnetische signalen door de lucht ongeveer 1,5 sneller reizen dan optische signalen door fiber. De toepassing van kortegolf voor HFT voor specifiek trans-Atlantische afstanden zal verder worden besproken in Paragraaf 6.3.

6.2.2 Microgolf-straalverbindingen

Al in 2010 is door de microgolfprovider Quincy Data ervaring opgedaan met het overbrengen van transactieberichten via de draadloze weg en wel tussen de beurzen van New York City

²⁸ <https://network.nvidia.com/pdf/whitepapers/Low-Latency-Solution-for-High-Frequency-Trading-from-IBM-and-Mellanox.pdf>

²⁹ <https://www.submarinenetworks.com/systems/trans-atlantic/aeconnect>

³⁰ www.kc1ght.com/other-projects/high-speed-trading-with-shortwave-radio

³¹ Op grond van een voortplantingssnelheid van 200.000 km/s door *optical fiber* en een afstand van 5572 km.

en Chicago^{32,33} Hiervoor werden microgolf-straalverbindingen gebruikt over een meerdere radiorelaisstations. Op welke frequentie het systeem functioneert is niet publiek bekend; vaak worden voor dergelijke microgolf-straalverbindingen frequenties toegepast in het gebied van circa 6-30 GHz. Relaisstations zijn nodig voor het tussentijds versterken van het signaal om een goede verbinding kwaliteit te realiseren maar vooral omdat de kromming van de aarde de gezichtslijn zou onderbreken (elektromagnetische golven in dit frequentiegebied planten zich vrijwel rechtlijnig voort). Hierdoor is in de praktijk de afstand tussen twee relaisstations beperkt en sterk afhankelijk van de hoogte waarop de antennes zijn geplaatst. Dit kan variëren van bijvoorbeeld circa 30-100 km voor respectievelijk beide antennes op 15 m en beide op 150 m hoogte.

Hoe dan ook toonde dit straalzendersysteem aan dat het concept van draadloze overbrenging van transactieberichten in de praktijk goed kan functioneren: de totale vertraging werd teruggebracht van circa 8 ms tot 4,2 ms³⁰. Deze waarde ligt dicht bij het theoretisch minimum van 3,8 ms voor dit traject³⁴. Het verschil van 400 µs kan worden verklaard door de transmissievertraging. Mogelijk draagt het heruitzenden door een groot aantal relaisstations ook iets bij aan de latentie. De noodzaak voor dit groot aantal relaisstations is een duidelijk nadeel: naast aanschafkosten vereisen deze onderhoud. Verder vormt elk station een potentieel *single point of failure* (SPOF) in het totale traject. Bovendien speelt vooral voor hogere microgolffrequenties de weersgesteldheid een rol in de kwaliteit van de verbinding.

Naast de afstand die via de radioweg moet worden overbrugd, bepaalt vooral de beschikbare bandbreedte sterk de transmissiesnelheid en daarmee de tijdsduur voor het overbrengen van het gehele bericht. Op microgolffrequenties is de bandbreedte ongeveer 56 kHz tot een aantal MHz.

Ook binnen Europa vindt het concept van HFT via microgolf-straalverbindingen navolging waarbij Euronext in 2024 het Euronext Wireless Network (EWIN) heeft geïntroduceerd voor transport van transactieberichten tussen data centers in Londen en Bergamo (Italië). Het betreft hier om een afstand van 966 km waarover een vertraging onder 4 ms wordt geclaimd. Aan gebruikers wordt een transmissiecapaciteit aangeboden in stappen van 1 Mbit/s³⁵.

6.3 De toepassing van kortegolf-verbindingen

Voor trans-Atlantische afstanden zijn microgolf-verbindingen niet realiseerbaar en zou kunnen worden uitgeweken naar verbindingen op de veel lagere kortegolf- ofwel HF (High Frequency)-frequenties tussen circa 3 en 30 MHz. De Monitor najaarseditie van 2021 maakte al zeer kort melding van het gebruik van HF voor HFT-communicatie³⁶.

³² <https://www.computerworld.com/article/1541026/microwave-vies-with-fiber-for-high-frequency-trading.html>

³³ Gregory Laughlin, Anthony Aguirre, Joseph Grundfest: *Information Transmission Between Financial Markets in Chicago and New York*, Financial Review, 26 February 2013

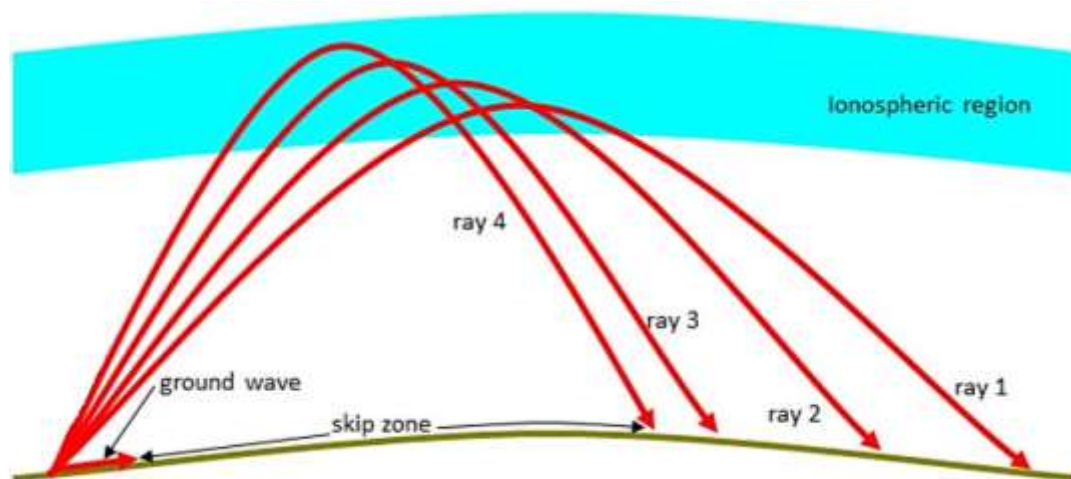
³⁴ Op grond van een voortplantingssnelheid van 300.000 km/s door lucht en een hemelsbrede afstand van 1150 km.

³⁵ <https://www.euronext.com/en/news/reducing-latency-stock-exchange-order-data-transmission-wireless-microwave-networks>

³⁶ TNO 2021 R11851, december 2021, blz. 34 en verder.

6.3.1 Algemeen perspectief

Via zogenoemde HF-hemelgolfpropagatie kunnen trans-Atlantische afstanden worden overbrugd waarbij geen aggregatie van HFT-transactieberichten met verkeer van andere gebruikers plaats hoeft te vinden. Ook is geen sprake van relaisstations waardoor deze wijze van verbinding zeer direct en daardoor de propagatie zeer snel kan zijn. Bij hemelgolfpropagatie gebruikt men de lagere HF-frequenties, tot circa 15 MHz. De ionosfeer weerkaatst tijdens het traject de HF-radiogolf (zie Figuur 8).



Figuur 8: Propagatie van HF-radiosignalen via de hemelgolf
[bron: Australian Space Weather Forecasting Centre, aangepast]

Een nadeel van dit type radioconnectie is echter dat de verbindingkwaliteit en -betrouwbaarheid afhankelijk is van de seizoenen en de zonneactiviteit. Hierdoor is er in de tijd gezien sprake van variatie van de verbindingkwaliteit. De technische uitdaging is hier zo goed mogelijk mee om te gaan en te zorgen dat de betrouwbaarheid optimaal wordt en ook de beste transmissiecapaciteit kan worden verkregen tijdens het overbrengen van transactieberichten. Vooral moderne militaire HF-systemen voorzien hierin.

Een directe consequentie van de toepassing van HF is dat de beschikbare bandbreedte doorgaans veel lager is dan op microgolf frequenties. Op zich kan een transactiebericht worden gecodeerd in slechts 55 bits³⁰ waardoor de beperkte bandbreedte geen *show stopper* hoeft te zijn: voor een gemiddelde, realistische transmissiesnelheid van 6 kbit/s bijvoorbeeld, betekent dit een transmissievertraging van 9,2 ms. Met de propagatievertraging van 20 ms over een trans-Atlantisch traject van 6000 km komt dit dus neer op een totale latentie van iets minder dan 30 ms. Maar wanneer de verbindingkwaliteit op een bepaald moment laag is (een lage signaal-ruisverhouding van bijvoorbeeld -20 dB), wordt de bandbreedte toch belangrijk, ondanks het feit dat op de kortegolf veel zendvermogen gerealiseerd kan worden. Waarden van enkele tientallen kW zijn zeker praktisch te realiseren; voor HFT-gebruikers is het uitzenden op hoog vermogen cruciaal om zo'n hoog mogelijke signaal-ruis-verhouding aan de ontvangstkant te realiseren. Algemeen kan gezegd worden dat de transmissiesnelheid in goede benadering evenredig is met de beschikbare bandbreedte.

Door de beurshandelaren werd in eerste instantie gekeken naar wat in de wereld van kortegolf-amateurs is ontwikkeld. Er zijn robuuste technieken beschikbaar, geschikt voor lage verbindingkwaliteit. Hierbij wordt een geschikte manier van moduleren gecombineerd met

veel foutcorrectie. Door foutcorrectie wordt echter de overhead (extra bits) vergroot en dit verlaagt dus de effectieve transmissiesnelheid. Er is dan ook een optimum voor de ‘zwaarte’ van de foutcorrectie.

De zogenoemde robuuste *waveforms* uit de amateurwereld zenden geen bevestigingen of verzoeken voor heruitzending terug als een bericht goed of juist niet goed is ontvangen. Dit is iets dat voor de betrouwbaarheid wel nodig zou zijn maar zou verlaging betekenen van de effectieve transmissiesnelheid en dus verhoging van de vertraging van het transactiebericht. Een mogelijke oplossing zou zijn om twee sets parallelle zenders en ontvangers te gebruiken. Dit zou full-duplexcommunicatie mogelijk maken, waarbij het tweede kanaal voor bevestigingen kan worden gebruikt.

6.3.2 Co-existentieproblematiek met andere HF-gebruikers

Vanaf ongeveer 2022 werd door beurshandelaren ook gekeken naar de professionele radiowereld, met name naar HF-defensiesystemen. Vooral de inspanningen die binnen de NAVO (Noord-Atlantische Verdragsorganisatie) worden ondernomen rond de ontwikkeling en standaardisatie van robuuste, hoog-geautomatiseerde HF-technologie hadden en hebben nog steeds grote aandacht. Bij uitstek zijn het immers deze systemen die betrouwbaar moeten kunnen werken tijdens militaire missies in slechte condities van allerlei aard. Recente HF-defensiesystemen zijn bovendien ontworpen om meer dan de standaard 3 kHz-kanalen te gebruiken. Dit gaat tot aan 16 kanalen, dus 48 kHz. Aangezien de transmissievertraging in benadering omgekeerd evenredig is met de bandbreedte worden juist deze defensiesystemen van bijzonder groot belang voor HFT-gebruik. De achterliggende technologie is tevens onderwerp van standaardisatie binnen de NAVO. Adaptatie door HFT-stakeholders houdt echter ook in dat zonder tegenmaatregelen HFT- en defensiegebruikers op HF elkaar al snel in de weg zullen zitten. Na de inval in de Oekraïne werden de beurshandelaren zich bewust van de noodzaak om de specificatie en de inzet van hun HFT kortegolf-systemen co-existent te houden met die van defensiegebruikers; het spagaat *dollars versus leven* drong zich steeds verder op. HFT-gebruikers zochten in september 2023 dan ook, via de ter zake deskundige externe vertegenwoordiger AC Research Incorporated, toenadering tot de NAVO om gezamenlijk na te denken over een oplossing.

Inmiddels zijn er 20 ‘experimentele’ licenties afgegeven in het gebied rond Chicago, waarvan de meeste licenties transmissies in de richting van London toestaan. Ook zijn er licenties afgegeven voor HFT HF-systemen in andere landen waaronder twee in Canada en twee in Japan.

Waarden van praktisch gehaalde totale vertragingen van HF-verbindingen op trans-Atlantische afstanden zijn helaas niet publiek ontsloten. Op grond van het eerdere rekenvoorbeeld zou voor geavanceerde HF-systemen met 24 á 48 kHz bandbreedte, een totale waarde van rond 30 ms niet onrealistisch zijn. Bovendien doet de intensieve, actieve aandacht die HF nog steeds heeft onder HFT-stakeholders, sterk vermoeden dat HF als serieuze, sterke kandidaat voor HFT-communicatie wordt gezien.

De grondslag voor het verkrijgen van de experimentele HF-vergunningen door de Amerikaanse regelgever FCC (Federal Communications Commission) is nogal ondoorzichtig; criteria rond de rationale van testen, modulaties, *duty cycles* en dergelijke zijn geen publieke informatie. Alleen al in de Verenigde Staten bevinden zich meer dan 50 gelicentieerde stations met een zendvermogen vanaf 5 kW (dus exclusief antennewinst of *gain*). Gemiddeld komt dit neer op minstens circa 500 kW ERP bij een bandbreedte van 48 kHz. Af en toe treedt er dan ook interferentie op, bijvoorbeeld met luchtvaartgebruikers.

De FCC heeft medio augustus 2023 een petitie ontvangen die is opgesteld door de zogenoemde *Shortwave Modernization Coalition* (SWC)³⁷ om te voorzien in de co-existentie van '21^{ste} eeuwse use cases' voor intensief gebruik in de band 2-25 MHz (waaronder dus met name HFT) met vitale diensten zoals defensie, de kustwacht, luchtvaart en internationale omroep. De SWC bestaat uit partijen die veelal actief zijn in HFT: DRW Holdings, IMC Trading Group, Virtu Financial Inc., NLN Holdings, Optiver Services en Tower Research Capital. De bedoeling van deze petitie bekend onder de referentie RM-11953 was om FCC te bewegen tot de benodigde verandering van de frequentieregulering om deze co-existentie tot stand te brengen. Vooral de HF-radioamateurs lijken de dupe te worden: hoewel de petitie amateur-banden ontziet, worden hoge-vermogensuitzendingen op direct aangrenzend amateurspectrum voorgesteld met onherroepelijke hoge interferentie als gevolg³⁸.

In deze petitie is de *duty cycle* benodigd voor HFT-gebruik gesteld op 100%. Dit impliceert dus een volledig actieve, staande verbinding. Door meting in Europa is in 2023 vastgesteld dat door drie á vier HFT-gebruikers op signaalbandbreedtes van 24 en 48 kHz, circa 250 kHz spectrum voor andere HF-gebruikers continue onbruikbaar is geworden.

In de petitie wordt verder aangestuurd op:

- 20 kW RMS zendvermogen bij onbegrensde gain (realiter momenteel 17 tot 20 dBi);
- 50 kHz bandbreedte;
- 45 dB zijband-onderdrukking tegen *out-of-band* emissies.

Zenders met een dergelijk profiel gedragen zich dan ook min of meer als een Over-the-Horizon Radar (OTHR): een hoog-vermogensbron van breedbandige interferentie waarvan de frequentie kan variëren.

In verband met de gain wordt verwacht dat binnenkort voor ontvangst *phased array*-systemen op HF gerealiseerd kunnen worden met 128 elementen. Deze antennesystemen beslaan een oppervlakte van circa 7350 m² en leveren een gain van circa 45 dBi op 7 MHz, een substantiële verbetering in richtwerking ten opzichte van de huidige ontvangssystemen³⁹. In principe levert deze verhoogde antennebundeling perspectieven voor het voorkomen van interferentie met andere gebruikers.

In Japan heeft een *Shortwave Data subcommittee* van het ministerie van Telecommunicatie wat mildere behoeften aangegeven:

- 10 kW RMS zendvermogen;
- 12 kHz bandbreedte.

Voor HFT-gebruikers zijn door AC Research onder meer de volgende mogelijkheden benoemd om interferentie met vitale HF-gebruikers tegen te gaan:

- Een 100% *duty cycle* is op zich niet nodig, gezien de beperkte levensduur van HFT-data en het discontinue karakter van de datastroom. Vanwege de lange in- en uitschakelperioden op HF (*transients*) zou echter bij de hoge zendvermogens zoals voorzien, verlaging van de *duty cycle* neerkomen op een onaanvaardbare 5% of zelfs minder. Hierdoor is verlaging van de *duty cycle* en gerelateerde maatregelen zoals *listen-before-transmit*

³⁷ <https://www.fcc.gov/ecfs/document/1042840187330/1>

³⁸ https://www.radioworld.com/news-and-business/business-and-law/fcc-declined-request-to-extend-comment-period-on-shortwave-modernization-petition?utm_term=61A8488F-378C-452E-8F94-297BD9CB8D3A&utm_campaign=0028F35E-226C-4B60-AC88-AB2831C8A639&utm_medium=email&utm_content=B4B8F852-0A4E-4784-9A44-38A96293CE71&utm_source=SmartBrief

³⁹ AC Research Inc.: *HFT use of HF spectrum*, presentatie voor NATO Capability Team Beyond Line-of-Sight Communications, September 2023

als middelen om HFT-gebruik naast andere HF-gebruikers te laten bestaan, niet haalbaar gebleken;

- Beperking tot 12 (of 16) kHz bandbreedte waardoor meer richting de Japanse wetgeving zou worden bewogen;
- Definiëren van strengere emissiemaskers voor het verder onderdrukken van *out-of-band* emissies;
- Zendvermogen beperken tot wat ‘minimaal noodzakelijk’ is. Ook hier zou gekeken kunnen worden naar restricties die binnen Japan worden gehanteerd.

In hoeverre de HF-radiosystemen van defensiegebruikers eventuele interferentie van HFT-verkeer zouden moeten kunnen pareren is een vraag waarover binnen de NAVO en de defensie-industrie gediscussieerd kan worden. Mogelijk kunnen dergelijke mitigerende oplossingen aan de kant van de *victim* deel uitmaken van de totale oplossing.

Een aantal HF-bedrijven zoals Skywave Networks en FlexRadio Systems heeft in augustus 2023 gevraagd om de periode waarop commentaar op de petitie RM-11953 kon worden geleverd, te verlengen om de daarin beschreven experimenten te bestuderen en de voorgestelde emissies en anti-interferentiemechanismen door SWC voorgesteld te modelleren. Dit verzoek is niet ingewilligd met als motivatie “we vinden niets dat voldoende uniek of ongebruikelijk is om in dit geval een verlenging te rechtvaardigen”⁴⁰. Daaraan werd wel toegevoegd dat het anderzijds voorbarig is om te verwachten dat de FCC zal besluiten tot een verandering van de regelgeving.

De status van de mogelijke aanpassing op de regelgeving in de 2-25 MHz-band door FCC is op het moment van schrijven nog ‘in behandeling’ (*pending*).

6.3.3 Mogelijke draadloze alternatieven voor kortegolf-verbindingen over zeer grote afstanden

Een mogelijk alternatief voor HF-hemelgolf als drager kan in theorie worden gevonden in radiofrequente relais die zich bevinden aan boord van High Altitude Platforms (HAP's) zoals luchtballonnen ofwel *aerostats*, helikopters en dergelijke. Afhankelijk van de te overbruggen afstand en de drager (HF of bij voorkeur hoger vanwege de grotere bandbreedte en dus lagere transmissievertraging⁴⁰) zouden één of meerdere HAP's kunnen worden ingezet. In het laatste geval wordt dit een *multi-hop*-verbinding over meerdere relais waardoor de kans op eventuele extra vertraging toeneemt bij elke relais. Categorieën nadelen zijn vergelijkbaar met die van de ‘straalzenderoplossing’. In dit geval zijn dit vooral de gevoeligheid van het ‘ketensysteem’ voor een SPOF, de uitval van een willekeurig relaisstation, en de aanzienlijke OPEX (*operating expenses*) die gemoeid zijn met het in de lucht houden van HAP's en het periodieke onderhoud ervan.

In principe kan een lage latentie over zeer grote afstanden ook haalbaar zijn met een VLEO (Very Low Earth Orbit)-satellietconstellatie. Hier spelen echter ook netwerkvertragingen een rol. Hier valt te denken aan het delen van capaciteit met andere gebruikers waar door TDMA (Time Division Multiple Access) tijdslotvertraging ontstaat. De vergroting van de propagatievertraging door de afstand van de ruimtesegmenten tot de aarde (circa 300 km voor VLEO) heeft overigens geen wezenlijke invloed op de totale vertraging. Een trans-Atlantische connectie waarbij ook *inter-satellite links* (ISL's) zijn opgenomen, is naar verluidt

⁴⁰ <https://www.rec-usa.com/wp-content/uploads/2022/04/High-Frequency-Trading-Radio-Link-Article10-12.pdf>

goed voor een *round-trip*, end-to-end vertraging van 43 ms en dus 21,5 ms voor zender naar ontvanger⁴⁷, zie Figuur 9.



Figuur 9: Gebruik van (V)LEO-satellieten voor HFT-communicatie [bron: *satnews*]

Dit zou vrijwel overeenkomen met de minimaal mogelijke waarde voor de afstand in kwestie. Deze constellatie is dan ook zeer competitief in vergelijking tot optische kabelverbindingen en, als deze claim althans correct is, ook ten aanzien van HF-verbindingen. Nadelen zijn de afhankelijkheid van ruimtesegmenten en van ander verkeer.

6.4 Conclusies

Alle mogelijkheden voor HFT-communicatie over een trans-Atlantische afstand beschouwend met hun al dan niet praktische uitvoeringsperspectieven, lijken HF-hemelgolf en een VLEO-configuratie de beste papieren te hebben. Bij de laatste oplossing is het zeer de vraag of de invloed van ander verkeer goed is meegenomen in de analyse, aannemende dat het gaat om het gebruik van publieke (V)LEO-constellaties. Bij de HF-oplossing vormen daarentegen de propagatiecondities de grote onbekende. Technologie kan deze steeds beter voorspellen maar het is de vraag of technische mogelijkheden om met de fluctuatie van verbindingskwaliteit om te gaan, voldoende soelaas kunnen bieden om HF een concurrerende optie te laten zijn voor HFT-communicatie.

De druk vanuit de HFT-community op de regelgeving om via regulering spectrum voor HFT-communicatie via de HF-hemelgolf veilig te stellen is groot maar aan de andere kant speelt ook de bewustwording dat co-existentie met vitale gebruikers zoals defensie in ieders belang is. In de Verenigde Staten is de FCC nog niet gekomen met een aangepaste spectrumregelgeving voor HFT via HF en zijn in afwachting daarvan de HFT-gebruikers nog steeds actief via experimentele vergunningen. Wanneer FCC de knoop heeft doorgemaakt, is nog onbekend.

Hoe dan ook is te verwachten dat HFT-gebruikers met de vitale HF-gebruikers in dialoog blijven omdat beide groepen belang hebben bij een goede co-existentieoplossing. Gezien de mogelijkheden is het denkbaar dat deze oplossing zal bestaan uit een combinatie van een aantal mitigerende maatregelen, aan zowel de zijde van de veroorzaker als van de *victim*.

⁴⁷ <https://news.satnews.com/2020/10/14/leo-speed-when-milliseconds-are-worth-millions-an-nsr-insight/>