



Verkenning

Missiekritische spraak met LTE450 in energiegebieden op de Noordzee

Auteurs

Ir. Tommy van der Vorst

Ir. Vincent Mosmuller

Ir. Jan van Rees

Verkenning

Missiekritische spraak met LTE450 in energiegebieden op de Noordzee

Auteurs

Ir. Tommy van der Vorst

Ir. Vincent Mosmuller

Ir. Jan van Rees

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat

Publicatienummer

2024.160-2451 (publieke versie)

Citeren als

Dialogic: van der Vorst, T., Mosmuller, V. & van Rees, J. (2025). Verkenning missiekritische spraak met LTE450 in energiegebieden op de Noordzee. In opdracht van Rijkswaterstaat.

Datum

15 januari 2025

Beeld omslag

DALL-E, bewerking Dialogic

Inhoud

Management summary	4
Begrippenlijst	7
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Onderzoeksvragen	13
1.3 Aanpak	13
2 Analyse	14
2.1 Uitgangspunt: netwerk voor missiekritische spraak op zee met LTE450	14
2.2 Koppeling missiekritische communicatie hulpverleners	21
2.3 Inpassing in Europese harmonisatie	30
2.4 Toekomstbestendigheid 2×3 MHz in 450 MHz tot 2050	32
2.5 Interferentie in de 450 MHz-band op zee	37
3 SWOT-analyse	42
3.1 Sterktes	43
3.2 Zwaktes	45
3.3 Kansen	49
3.4 Bedreigingen	52
4 Conclusie	58
4.1 Beantwoording onderzoeksvragen	58
4.2 Aanbevelingen voor het CFNS	61
Bijlage 1. Overzicht respondenten	62
Verwijzingen	63

Management summary

There is increasingly more economic activity at sea. In addition to transport ships, the North Sea houses more and more wind farms, energy hubs and (foreseen for the future) food production facilities. This development leads to an increasing demand for communication and digital connectivity, which in some cases can also be of a mission critical nature. At sea, however, the availability of communication networks that can provide this is currently more limited than on land. This study answers the following main research question: **What are the opportunities and barriers for developing a mission-critical voice service based on LTE450 in the Dutch part of the North Sea¹?** The answer to this question is structured around a SWOT analysis for a hypothetical future LTE450-based mission critical service, as well as four specific questions detailed below.

Strengths, weaknesses, opportunities and threats for LTE450 at sea

The main strengths, weakness, opportunities and threats for a mission critical LTE450-based voice service at sea are the following:

- **Strengths:** The 450 MHz-band can enable mission critical communication at sea. There is a global momentum for using LTE/5G in the 450 MHz band for data as well as voice communication, primarily from the utilities sector. Coverage can be achieved at sea relatively quickly using spectrum in the 450 MHz band. Spectrum availability is assured until at least 2050 due to the current assignment to Utility Connect. The impact of interference appears to be limited and manageable.
- **Weaknesses:** The 450 MHz band is not natively supported by regular LTE/5G devices. The ecosystem for handsets with support for LTE450 is much smaller than that for regular LTE and 5G bands. Utility Connect will (on land) only be able to deploy a single carrier based on LTE-M until at the latest July 2035. 3GPP standardized mission-critical voice (MCX) is however likely not supported in combination with LTE-M.
- **Opportunities:** There is limited availability of digital connectivity at sea, and hence LTE450 could provide a good "ultimate fallback option" for critical voice and low-data volume IoT communication. The LTE450 network could be completely independent from other public mobile networks, which has advantages in terms of control, security, and life cycle management. Deployment of 3GPP MCX can also provide valuable insights for VMX, the successor to C2000 (the current Dutch PPDR mobile communications system based on TETRA).
- **Threats:** Alternatives on the North Sea are increasingly available, though most cannot (yet) comply with mission critical requirements. These include public

¹ The Dutch part of the North Sea refers to the Dutch territorial waters as well as the Dutch Exclusive Economic Zone.

mobile networks in "regular" LTE/5G bands and direct-to-device satellite communication. Their availability is good news for users with a need for digital connectivity on sea, but it means that the LTE450 network might eventually be overshadowed. On one hand, relatively cheap broadband connectivity becomes available for non-critical applications and as a fallback or standard option for critical applications. Satellite communication can provide the ultimate fallback option for critical voice communication. On the other hand, (local) narrowband networks might be easier to realize or adapt to specific situations, depending on the situation. Accessing public mobile networks at sea would offer access to a much larger ecosystem, more freedom of choice, as well as connectivity with VMX.

The most important issue for the future viability of LTE450 at sea is its positioning and added value compared to real alternatives. Globally, there is a trend towards using a mix of both public infrastructure (mobile networks) and dedicated spectrum and infrastructure for PPDR networks. LTE450 could serve as an "ultimate fallback option" by offering limited capacity but high reliability (especially in emergencies). This could however also be achieved through satellite connectivity (direct-to-device). A further disadvantage of LTE450 is its limited handset ecosystem and the need to realize and maintain a radio network at sea. With all other options, standard handsets can be used, and existing network infrastructure can be utilized.

To what extent can TETRA based handsets be ad-hoc linked with LTE450 handsets in mission-critical first responder/PPDR applications?

TETRA *networks* can be linked with 3GPP MCX-based systems, allowing users on both platforms to communicate with each other. There are however no available *handsets* that support both TETRA and LTE450, so emergency responders cannot use a single device for connecting both to C2000 when on land (using TETRA) as well as via LTE450 network when at sea (unless ad-hoc C2000 TETRA base stations are set up at sea, employing LTE450 or alternatives mentioned above for backhaul connectivity).

How future-proof is the 2×3 MHz spectrum granted to Utility Connect until 2050 regarding the usability of 3GPP technologies (LTE450 and successors)?

Utility Connect has secured the availability of the 2×3 MHz of spectrum until 2050. However, limited use can be made of it on land up to 2035 due to the need to maintain a CDMA450 carrier. Based on the 1.5 MHz spectrum available by that time, there are limited possibilities for realizing a mission-critical voice service (in terms of capacity and support for LTE-M speech equipment).

To what extent does a mission-critical mobile network for PPDR based on LTE450 fit into European harmonization and interoperability developments such as BroadEU.net and the EU Spicenet reference architecture?

The reference architectures developed at the European level provide a framework for connecting different types of PPDR networks, including TETRA and 3GPP MCX, on a higher level. Based on these developments, we see no limitations regarding the achievable LTE450 network. In practice, the implementation of the mentioned reference architectures still seems to be barely underway.

What limitations, if any, can be expected regarding the use of LTE450 in the North Sea, in connection with interference from and by foreign usage in and around the 450 MHz band?

The UK's usage must be primarily considered, which is mostly narrowband in nature. Notably the 450 band in the UK is configured such that uplink and downlink are exactly opposite to that of the Netherlands. Impact on the network from the UK (and indeed Belgium, where the entire 450 - 470 MHz band is used for PMR) is expected to be limited or easily mitigated. Broadband LTE- and 5G technology is relatively robust for narrowband interference. An LTE450 network at sea could additionally be designed so that base stations (aimed at the Dutch mainland) send as few signals in the direction of the UK as possible and receive as few as possible. Conversely, the network may hinder narrowband users across the border, and this could be a limiting factor.

Begrippenlijst

Begrip	Toelichting
3GPP	Third Generation Partnership Project. Organisatie die mondiale standaarden voor mobiele communicatie vaststelt, waaronder LTE en 5G NR.
4G	Vierde generatie. Een generatie mobiele netwerken die aan bepaalde eisen (vastgesteld door ITU) voldoet.
5G	Vijfde generatie. Een generatie mobiele netwerken die aan bepaalde eisen (vastgesteld door ITU) voldoet, en opvolger van 4G.
5G NR	5G New Radio. Technische standaard voor mobiele radiocommunicatie voor gebruik in 5G-netwerken. Opvolger van het LTE-radioprotocol.
C2000	Een op de TETRA-technologie gebaseerd landelijk dekkend netwerk dat in Nederland wordt gebruikt door hulpverleners voor missiekritische communicatie (primair spraak).
CDMA	Code Divisioning Multiple Access. Een 3G-radiotechniek voor mobiele netwerken waarvan diverse varianten in gebruik zijn.
CFNS	Connectivity Fieldlab North Sea. Een vanuit Rijkswaterstaat geïnitieerd innovatieprogramma en <i>community of practice</i> , gericht op het realiseren van digitale connectiviteit op de Noordzee.
DMO	Direct Mode Operation. Modus waarbij handsets die normaliter via een netwerk communiceren, rechtstreeks onderling communiceren zonder tussenkomst van een netwerk.
LTE	Long Term Evolution. Technische standaard voor 4G mobiele radiocommunicatie van 3GPP.
LTE450	LTE toegepast in de 450 – 470 MHz-band (o.b.v. band 31 of 72)
Missiekritisch	Zodanig gebruik van een communicatiemiddel dat uitval ervan kan leiden tot (zeer) hoge kosten, letsel of verlies van mensenlevens.
MCX	Mission Critical X. Verzamelnaam die in 3GPP-context wordt gebruikt voor 3GPP-gestandaardiseerde missiekritische functionaliteiten (zoals Mission Critical Push-to-Talk of Mission Critical Video).
MCZ	Term die we in dit document gebruiken voor een toekomstige missiekritische spraakdienst op basis van LTE450 op de Noordzee.

Begrip	Toelichting
MNO	Mobile Network Operator. Aanbieder van een openbaar mobiel netwerk op basis van eigen netwerkinfrastructuur.
PAMR	Public Access Mobile Radio. Openbare netwerkinfrastructuur op basis waarvan besloten mobiele netwerken kunnen worden gerealiseerd.
PAMR-band	Het spectrum tussen 451,76875 – 454,76875 MHz gepaard met 461,76875 – 464,76875 MHz. In deze band zijn in Nederland twee landelijke kavels voor PAMR, die beide tot 1 januari 2050 aan Utility Connect zijn vergund.
PPDR	Public Protection and Disaster Relief. Toepassingscategorie voor (mobiele) communicatie ten behoeve van nood- en hulpdiensten en openbare veiligheid.
TETRA	Terrestrial Trunked Radio. Een technische standaard die lijkt op GSM, en die wordt gebruikt voor besloten professionele mobiele communicatie.
Utility Connect	Joint venture van netbeheerders Stedin en Alliander, die een netwerk op basis van CDMA-technologie exploiteert in de 450 MHz PAMR-band, dat (voornamelijk) wordt gebruikt om slimme meters op afstand uit te lezen.
VMX	Vernieuwing Missiekritische Communicatie. Nog te realiseren missiekritische communicatiedienst, als opvolger van het C2000-netwerk, waarmee hulpverleners met elkaar en een meldkamer kunnen communiceren.

1 Inleiding

Dialogic onderzocht in opdracht van Rijkswaterstaat de kansen en belemmeringen bij het ontwikkelen van een mobiel communicatienetwerk voor missiekritische spraakcommunicatie in maritieme energiegebieden, op basis van LTE450.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 beschrijven we de casus en gaan we in op een aantal specifieke vraagstukken, waaronder (1) interoperabiliteit met TETRA, (2) inpassing in Europese harmonisatie, (3) toekomstbestendigheid van 2×3 MHz in de 450-band, en (4) interferentie in de 450-band op zee. In hoofdstuk 3 werken we een analyse uit van sterktes, zwaktes, kansen en bedreigingen (SWOT-analyse) voor het te realiseren netwerk. In hoofdstuk 4 beantwoorden we de onderzoeksvragen.

1.1 Aanleiding

Er is steeds meer economische activiteit op zee. Naast scheepvaart herbergt de Noordzee een groot scala aan windparken en energiehubbs. In de toekomst worden ook voedselproductiefaciliteiten voorzien. [1] Deze ontwikkeling leidt tot een toenemende behoefte aan communicatie en digitale connectiviteit, die in sommige gevallen ook missiekritisch kan zijn. Op zee is de beschikbaarheid van communicatienetwerken die hierin kunnen voorzien echter beperkter dan op het vasteland.

Het CFNS

Het CFNS (Connectivity Fieldlab North Sea) richt zich als missiegedreven innovatieprogramma op het invullen van deze communicatiebehoefte. Het CFNS heeft zich tot doel gesteld om in 2030 de beschikbaarheid van mobiele digitale connectiviteit voor communicatie met (onder andere) het internet en onderling op zee, voor iedereen die zich op het gehele Nederlandse deel van de Noordzee bevindt, te realiseren. Als onderdeel van het Offshore Expertise Centrum (OEC) van Rijkswaterstaat werkt het aan een kennisgemeenschap en *community of practice* (CoP) waarin partijen bij elkaar komen die willen bijdragen aan digitale connectiviteit op de Noordzee. In het CFNS werken ruim 20 publieke en private organisaties² samen aan verbetering van digitale connectiviteit op de Noordzee. [2]

² Naast Rijkswaterstaat en het ministerie van I&W zijn ook de ministeries van Defensie en Economische Zaken, de RDI, de Kustwacht, SURF, TenneT, AMS-IX, Tampnet, CityMesh, Odido, Airbus, KPN, Microsoft, Verizon, Ericsson, Nokia, Frontier, RWE, Digishape, Arcadis en Campus@Sea bij het CFNS betrokken.

Via pilots en proof-of-concepts onderzoekt het CFNS welke combinaties van draadloze technologie geschikt is voor gebruik op zee, voor welke toepassingen, en hoe de bijbehorende apparatuur een plek kan krijgen op vaste, drijvende of zelfs vliegende of zwevende opstelpunten. Daarbij wordt ook gekeken naar apparatuur voor eindgebruikers, zoals slimme communicatiesystemen voor op schepen, en naar integratie en aansluiting bij andere communicatienetwerken.

Missiekritische communicatie

Missiekritische communicatie is een van de belangrijkste en groeiende vormen van communicatiebehoefte op de Noordzee. [3] Bij missiekritische communicatie staat veel op het spel – uitval van het communicatienetwerk kan leiden tot grote materiële en immateriële schade, ernstig letsel tot gevolg hebben, of zelfs mensenlevens kosten. Een voorbeeld van een scenario waarin missiekritische communicatie op de Noordzee nodig is, is wanneer een vrachtschip in aanvaring zou komen met een ander vrachtschip of windmolen op zee. In een dergelijke situatie bestaat er een brede behoefte naar missiekritische communicatie tussen het schip en de Kustwacht, betrokken hulpverleners (SAR-diensten) en hulpmiddelen, zoals bijvoorbeeld drones, die ter plaatse komen. [4]

We merken op dat het begrip *missiekritisch* hier verwijst naar het karakter van de *toepassing* van communicatietechnologie. Uit het feit dat de toepassing missiekritisch is volgen eisen aan de onderliggende technologie en infrastructuur. Ter illustratie: communicatie tussen medewerkers van een netbeheerder bij grootschalige stroomuitval kan een missiekritisch karakter hebben (om de veiligheid te garanderen bij herstelwerkzaamheden moeten de medewerkers onderling kunnen communiceren). Een *eis* die hieruit voortvloeit voor de onderliggende infrastructuur en technologie is dat het netwerk niet afhankelijk is van de stroomvoorziening die kan uitvallen. In andere situaties kunnen hele andere specifieke eisen spelen. Zo is het voor brandweerlieden heel belangrijk dat er nog steeds gecommuniceerd kan worden wanneer zij zich in een (brandend) gebouw bevinden. Omdat de dekking daar slechter of afwezig kan zijn, is ondersteuning voor directe communicatie tussen handsets onderling (*direct mode operation*) een vereiste.

Technologie en infrastructuur die wordt geadverteerd als *missiekritisch* ondersteunt veelal functionaliteiten die daarbij hoort, en/of komt tegemoet aan typisch gestelde eisen. Uiteindelijk is een communicatiesysteem pas in te zetten voor missiekritisch gebruik als het gehele systeem op basis van de specifieke uitdagingen van en eisen voor de specifieke toepassing is ingericht.

Op het vasteland communiceren hulpverleners in de publieke sector (politie, brandweer, ambulance) missiekritisch via het C2000-netwerk.³ Het C2000-netwerk en de besloten private netwerken maken gebruik van specifiek toegewezen frequentieruimte. Dit betekent onder andere dat er een hoge mate van zekerheid en controle is over het netwerk en het risico op verstoring klein is.

Typen netwerken

Private professionele gebruikers hebben een aantal mogelijkheden voor het realiseren van (bedrijfs- en missie)kritische communicatie. Zij kunnen allereerst gebruik maken van eigen (lokale, besloten) smalbandige netwerken in (exclusief⁴) vergunde frequentieruimte in de 450 – 470 MHz-band (buiten de PAMR-band). Zij gebruiken hiervoor portofoons in combinatie met vaste stations op bijvoorbeeld een meldkamer. Een andere optie is gebruik te maken van het landelijk dekkende TETRA-netwerk van Entropia (eveneens op basis van landelijk exclusief vergunde frequentieruimte, tussen 410-430 MHz). Tot slot kan gebruik worden gemaakt van openbare communicatienetwerken, zoals de landelijke mobiele netwerken.

Rijkswaterstaat zelf heeft onlangs een communicatieoplossing aanbesteed voor communicatie tussen haar medewerkers op de weg, ter vervanging van de huidige oplossing op basis van een TETRA-netwerk. De winnende partij (Airbus) realiseert dit als OTT-oplossing (zie verderop) op basis van openbare mobiele netwerken, waarbij directe portfooncommunicatie beschikbaar is als terugvaloptie. [5] De huidige toepassing is niet missiekritisch, maar Rijkswaterstaat wil onderzoeken of dit systeem in de toekomst ook missiekritisch kan worden gebruikt.

Technische standaarden

C2000 is een TETRA-netwerk, dat gebruik maakt van enkele honderden vaste opstelplaatsen verspreid over Nederland. Buiten de OOV-sector biedt Entropia een landelijk dekkend netwerk voor professionele communicatie op basis van TETRA. Dit netwerk wordt bijvoorbeeld gebruikt door handhavingsteams in steden. Daarnaast zijn diverse technische standaarden voor portofonie in gebruik voor private besloten netwerken.

Op zee zijn verschillende soorten (missie)kritische communicatiesystemen te vinden. Op offshore platforms zijn systemen als TETRA of DMR in gebruik voor lokale communicatie. Eenvoudigere systemen zijn ook aan boord van schepen te vinden. Daarnaast wordt op zee uiteraard gebruik gemaakt van marifonie en systemen als AIS (identificatie van schepen) en GMDSS (systeem voor het verzenden van noodsignalen via

³ Met C2000 wordt in de volksmond verwezen naar het landelijk dekkende draadloze spraaknetwerk. Strikt genomen bestaat C2000 echter uit zowel dit spraaknetwerk (T2000) als een landelijk pagingnetwerk (P2000) en meldkamersystemen (RABS). [71]

⁴ Exclusief in de praktijk – frequenties worden landelijk hergebruikt. Coördinatie hiervan geschied door de RDI.

satellieten, marifonie en MF-communicatie). Deze laatste (veelal mondiaal gebruikte) systemen hebben hun eigen, specifieke doel en vervanging daarvan door een nieuw te realiseren mobiel missiekritisch netwerk is daarom niet aan de orde. Deze systemen vallen tot slot onder wereldwijde beschermingsregels vanuit ITU, iets wat niet geldt voor bijvoorbeeld mobiele netwerken. [6, pp. 287-292, appendix 15]

Naast de specifieke netwerken en standaarden voor professionele communicatie en portofonie bewegen de openbare mobiele netwerkoperators en standaarden daarvoor zich steeds meer in de richting van professionele communicatie. In de 4G- en 5G-standaarden van 3GPP zijn in het afgelopen decennia diverse functionaliteiten toegevoegd voor professionele communicatie, waaronder functies die cruciaal zijn in bedrijfskritische en missiekritische context.

PAMR

Organisaties met een professionele communicatiebehoefte kunnen deze zelf (laten) invullen met een privaat netwerk, maar ook als dienst afnemen bij een aanbieder van mobiele communicatie. De aanbieders van openbare mobiele netwerken bieden deze functionaliteiten zeer beperkt aan, en worden daardoor nog beperkt gevonden door gebruikers met een behoefte aan missiekritische communicatie. Missie- en bedrijfskritische communicatie wordt wel in toenemende mate *aangevuld* met (niet-kritische) communicatie op basis van openbare mobiele netwerken. [7] [8]

Naast de openbare mobiele netwerkaanbieders zijn er gespecialiseerde aanbieders, die zich specifiek richten op besloten gebruikersgroepen en in de regel op spraakcommunicatie en 'machine to machine'-toepassingen met lage bandbreedte. Deze categorie heet PAMR (Public Access Mobile Radio). Naast het eerder genoemde Entropia is in Nederland Utility Connect (UC) actief. UC is een joint-venture van netbeheerders Stedin en Alliander, en beschikt over een vergunning voor het gebruiken van 2 x 3 MHz aan frequentieruimte in de PAMR-band. UC gebruikt deze frequentieruimte op het vasteland met een netwerk op basis van CDMA-technologie, voornamelijk voor het op afstand uitlezen van slimme energiemeters. [9] [10] UC stelt haar diensten echter ook voor andere toepassingen ter beschikking. De vergunningsvoorwaarden verplichten UC om gebruik te (gaan) maken van 3GPP-gebaseerde netwerktechnologie (minimaal LTE of een vergelijkbare, nieuwere technologie). [11]

VMX

Inmiddels wordt door het Ministerie van Justitie & Veiligheid gewerkt aan VMX (*Ver-nieuwing Missiekritische Communicatie*), de opvolger van C2000 op het vasteland. De werktitel van dit netwerk was lange tijd NOOVA [12], maar inmiddels is het project opnieuw opgestart en wordt de naam VMX gehanteerd. VMX wordt een op MCX gebaseerde oplossing die gebruik maakt van openbare mobiele netwerken en eigen (in eerste instantie alleen ad hoc, lokale) netwerken in eigen frequentieruimte voor onderliggende mobiele connectiviteit.

1.2 Onderzoeksvragen

De hoofdvraag die centraal staat in dit onderzoek is de volgende:

Wat zijn kansen en belemmeringen bij het ontwikkelen van een missiekritische spraakdienst⁵ op basis van LTE450 voor energiegebieden op het Nederlandse deel van de Noordzee⁶?

Hierbij gaan we in op de volgende deelvragen:

1. In hoeverre kunnen op TETRA technologie gebaseerde portofoons (zoals in Nederland momenteel voor C2000 van de hulpdiensten in gebruik) ad-hoc worden gekoppeld met LTE450 portofoons in missiekritische first-responder / PPDR-toepassingen?
2. In hoeverre is de 2x3 MHz aan spectrum die aan UC is vergund toekomstbestendig tot 2050 met betrekking tot inzetbaarheid van 3GPP-technologieën (LTE450 en opvolgers)?
3. In hoeverre past een missiekritisch mobiel netwerk voor PPDR gebaseerd op LTE450 in de Europese harmonisatie en interoperabiliteit ontwikkelingen zoals BroadEU.net en de EU Spicenet referentie-architectuur?
4. Welke beperkingen zijn er eventueel te verwachten voor de inzet van LTE450 op de Noordzee, in verband met interferentie met en door buitenlands gebruik in en rond de 450 MHz-band?

1.3 Aanpak

Op basis van desk research is door de onderzoekers een eerste antwoord geformuleerd op de deelvragen. Vervolgens zijn de vragen in gesprekken met belanghebbenden, experts en leveranciers op het gebied van missiekritische spraakcommunicatie voorgelegd en de antwoorden aangescherpt. Daarnaast is in de gesprekken gevraagd naar de sterktes, zwaktes, kansen en bedreigingen. Deze informatie is, samen met de opgehaalde informatie en eigen kennis, gecombineerd in de SWOT-analyse. Op basis van de SWOT-analyse zijn systematisch actiepunten geformuleerd die samen een stappenplan voor het CFNS/Rijkswaterstaat vormen.

⁵ Onder missiekritische spraak vallen onder andere push-to-talk-functionaliteit en groepsgesprekken via direct mode of sidelink. In moderne toepassingen kan hier bovendien locatiebepaling aan worden toegevoegd.

⁶ Waaronder worden verstaan de territoriale wateren en de Nederlandse Exclusieve Economische Zone (EEZ). Zie voor een toelichting [noordzeeloket.nl] en [defensie.nl].

2 Analyse

In dit hoofdstuk gaan we in op de deelvragen van het onderzoek, waarin specifieke aspecten rondom de inzet van LTE450 op zee worden uitgewerkt. De analyse geeft naast antwoorden op de deelvragen een aantal aanknopingspunten voor de invulling van de SWOT-analyse in het navolgende hoofdstuk.

2.1 Uitgangspunt: netwerk voor missiekritische spraak op zee met LTE450

In onze analyse staat een nog te realiseren dienst voor missiekritische spraakcommunicatie op zee centraal, gebaseerd op een (eveneens nog te realiseren) netwerk op basis van LTE450. We noemen deze combinatie in het vervolg van dit rapport 'MCZ' (*mission-critical + zee*).

Missiekritische spraak- en datacommunicatie

De hoofdvraag van dit onderzoek betreft specifiek het realiseren van een missiekritische *spraak*dienst. In moderne mobiele netwerken is (missiekritische) spraak gerealiseerd als 'toepassing' op basis van door het netwerk gerealiseerde onderliggende (min of meer generieke) dataconnectiviteit. Over een dergelijk netwerk zijn in principe ook andere vormen van datacommunicatie mogelijk. Dergelijke datatoepassingen kunnen wel specifieke aanvullende technische eisen stellen aan het netwerk, zoals de toepassing van specifieke radiostandaarden die geschikt zijn voor IoT, of bijvoorbeeld specifieke dekking vragen. Er kan een *missiekritische* datadienst worden gerealiseerd wanneer wordt voldaan aan de eisen die voortkomen uit het missiekritisch gebruik van die datacommunicatie.

In onze analyse gaan we uit van een netwerk dat wordt ontworpen voor missiekritische spraaktoepassingen, maar ook kan worden ingezet voor IoT-toepassingen, en (afhankelijk van de eisen) op te waarderen is voor missiekritische datadiensten. Verderop zullen we zien dat (als wordt aangesloten op het netwerk van Utility Connect) er sowieso ondersteuning zal zijn voor (kritische) machine-to-machine datacommunicatie, vanwege de inzet van de LTE-M-standaard in de energiesector.

Frequentieruimte

Het nog te realiseren netwerk maakt gebruik van 2×1,5 MHz of 2×3 MHz (gepaarde⁷) frequentieruimte in de Nederlandse PAMR-band. Deze frequentieruimte is in Nederland (inclusief de buitenwateren, waaronder Nederlandse delen van de Noordzee⁸) vergund aan Utility Connect, als volgt:

- 453,26875 – 454,76875 MHz gepaard met 463,26875 – 464,76875 MHz vanaf 18 november 2024 tot 1 januari 2050 (2×1,5 MHz)
- 451,76875 – 453,26875 MHz gepaard met 461,76875 – 463,26875 MHz vanaf 1 juli 2035 tot 1 januari 2050 (2×1,5 MHz). [13]

Merk op dat de beide kavels aaneengesloten zijn. Vanaf 1 juli 2035 tot 1 januari 2050 heeft UC dus een vergunning voor 2×3 MHz aaneengesloten spectrum. De laatstgenoemde vergunning stelt als vereiste om een 3GPP-technologie (minimaal Release 15, 'of vergelijkbaar') te gebruiken.

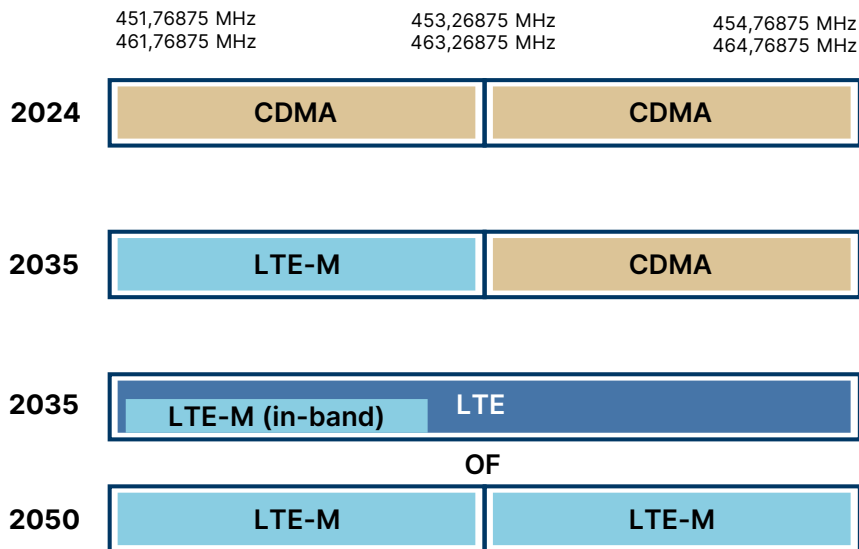
Voorafgaand aan de huidige vergunning beschikte UC over de vergunning voor het gebruik van de gehele PAMR-band. In deze band zijn sindsdien twee CDMA-carriers actief, waarmee (voornamelijk) slimme meters van Stedin, Alliander en Westland Infra worden geconnecteerd. Naast het uitlezen van slimme meters wordt het netwerk ingezet om apparatuur op bijvoorbeeld onderstations uit te lezen en aan te sturen.

UC en de betrokken netbeheerders zijn voornemens de slimme meterconnectiviteit vanaf 2025 in ongeveer acht jaar [14], en uiterlijk vóór 1 juli 2035 te migreren van CDMA450 naar LTE450. Zolang de migratie duurt zal UC in één van de kavels een CDMA-carrier actief moeten houden. In het andere kavel zal UC gedurende de migratie de CDMA450-carrier uitschakelen en een LTE450-carrier opzetten. Tot 2035 kan UC op het vasteland dus (bruto) slechts 2×1,5 MHz inzetten voor LTE-M.

Figuur 1 toont schematisch de PAMR-band en de verwachte inzet tussen nu en 2035 door UC op het vasteland.

⁷ Hiermee wordt bedoeld dat er specifieke frequentieruimte is voor de communicatie van netwerk naar eindgebruikersapparaat ('downlink') en voor communicatie van eindgebruikersapparaat naar het netwerk ('uplink'). Deze twee zijn aan elkaar gekoppeld.

⁸ Voor definitie, zie voetnoot 6 op pagina 13. Hoewel de buitenwateren initieel waren uitgesloten in de conceptvergunning [8] [9], geeft UC aan dat de uiteindelijke vergunning ook de buitenwateren betreft.



Figuur 1 Kavels in de PAMR-band en inzet daarvan door UC op het vasteland

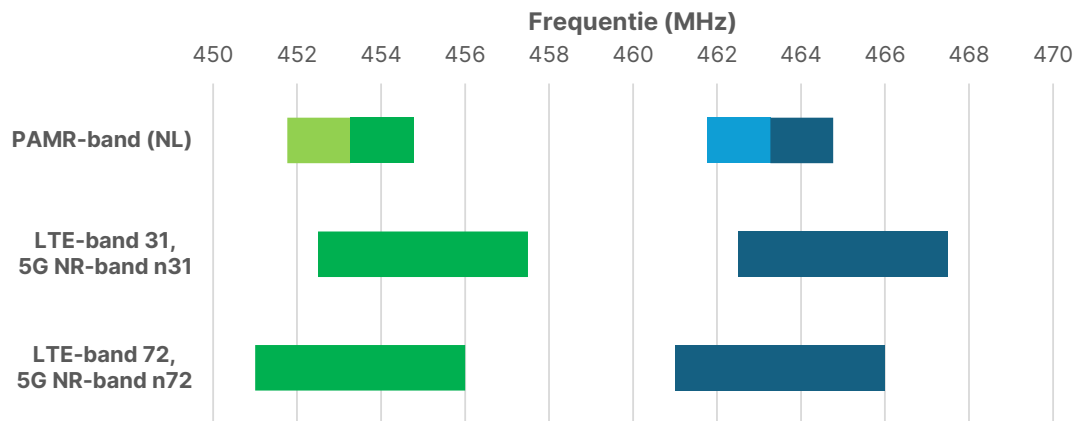
Hoewel Utility Connect de vergunninghouder is in de PAMR-band en deze op het vasteland inzet, betekent dit niet per definitie dat deze ook de realisatie en operatie van het te realiseren netwerk *op zee* zal uitvoeren. Het is denkbaar dat frequentieruimte door Utility Connect (mits van toepassing op zee) hiervoor wordt 'uitgeleend' aan een andere partij. Een soortgelijke constructie zien we bijvoorbeeld bij Tampnet, die voor KPN 4G-dekking op zee realiseert en onderhoudt. [15] Naast KPN werkt ook Odido samen met Tampnet. In eerste instantie was Odido alleen roamingpartner van Tampnet [16], maar inmiddels hebben Tampnet en Odido frequentieruimte in de 700 MHz verworven die op zee gebruikt mag worden [17] en inmiddels ook ingezet wordt. [18] Omdat Odido uiteraard ook op het vasteland actief is kan een deel van de dekking op zee worden gerealiseerd of verbeterd vanaf de wal. Naast Odido en KPN zijn ook Vodafone en diverse andere buitenlandse mobiele netwerkoperators roamingpartner van Tampnet.

Technologie

Het nog te realiseren netwerk maakt gebruik van 3GPP-technologie. In eerste plaats betekent dit dat het radionetwerk gebruik maakt van (een variant van) LTE (het radioprotocol van 4G) of 5G NR (het radioprotocol van 5G) als radioprotocol tussen eindgebruikersapparatuur en basisstations⁹. Daarnaast maakt het netwerk gebruik van een 3GPP-netwerkcore. Deze twee ingrediënten realiseren samen een kanaal dataconnectiviteit tussen eindgebruikersapparaten en (afhankelijk van de toepassing) onderling en/of (op de core aangesloten) andere bestemmingen.

⁹ Wanneer er 2x3 MHz aan spectrum beschikbaar is, kan gebruik worden gemaakt van LTE-M (één of twee carriers van 1,4 MHz) of 5G met een carrier van 3 MHz. We gaan hier in paragraaf 2.4.2 nader op in.

In de LTE-standaard is de PAMR-band te gebruiken op basis van de gestandaardiseerde band 31 of band 72. Deze banden zijn sinds Release 18 ook gestandaardiseerd als respectievelijk band n31 en n72 voor 5G NR. Relevant is dat band 31 alleen (volledig) overlapt met het *bovenste* kavel van 1,5 MHz in de Nederlandse PAMR-band. Band 72 (451 – 456 MHz uplink en 461 – 466 MHz downlink) overlapt wél met de volledige Nederlandse PAMR-band. Figuur 2 toont dit schematisch.



Figuur 2 Gestandaardiseerde LTE- en 5G-banden in relatie tot de Nederlandse PAMR-band

Op basis van het door het netwerk geboden kanaal voor dataconnectiviteit wordt een dienst voor missiekritische spraak- en datacommunicatie gerealiseerd. Een dergelijke toepassing kan worden gerealiseerd zonder verdere specifieke ondersteuning in het onderliggende netwerk (“over the top”), maar kan ook nauwer worden geïntegreerd en gerealiseerd op basis van 3GPP-standaarden voor missiekritische communicatie. We gaan er in het vervolg vanuit dat voor het te realiseren netwerk wordt gekozen voor een oplossing die nauw integreert met het netwerk op basis van de 3GPP MCX-standaarden.

Missiekritische communicatie op basis van LTE en 5G

Enkele decennia geleden werden voor missiekritische (spraak)communicatie uitsluitend technologieën ingezet die specifiek hiervoor ontworpen waren. Missiekritische communicatie is een kernfunctionaliteit van technologieën als TETRA. De *raison d'être* van TETRA is wellicht zelfs het feit dat een standaard als GSM destijds niet kón voorzien in de gewenste missiekritische functies.

In moderne technologiestandaarden is het uitgangspunt echter dat van een gelaagde oplossing, geïnspireerd op de architectuur van het internet. Hierbij voorziet het netwerk in een onderlaag van ruwe, generieke dataconnectiviteit, die kan worden ingezet voor een breed scala aan toepassingen. Telefonie is in deze netwerken niet meer dan een ‘VoIP-applicatie’ (met weliswaar een aantal specifieke voorzieningen in de technische standaard – onder andere omwille van terugwerkende compatibiliteit).

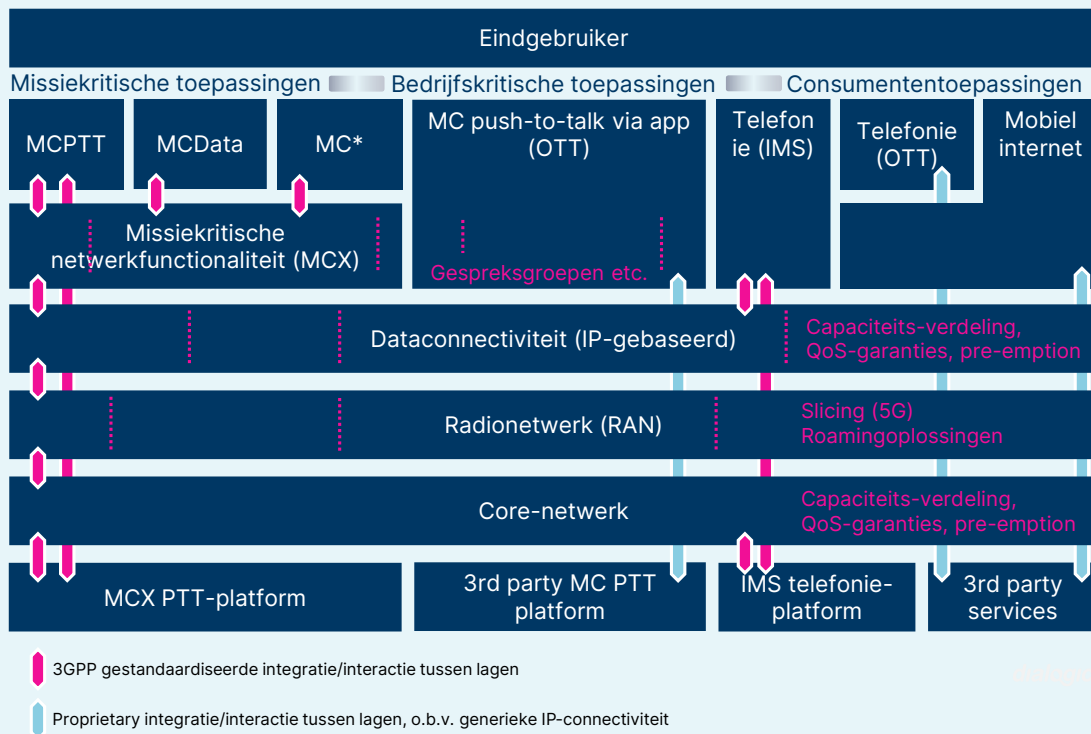
LTE en 5G zijn standaarden die mondiaal worden gebruikt voor mobiele netwerken, volgens dit principe. De standaarden worden ontwikkeld door 3GPP, een samenwerkingsverband dat bestaat uit een groot aantal bedrijven en organisaties, waaronder chipfabrikanten en fabrikanten van telecomapparatuur. Omdat het aantal netwerken en gebruikers daarvan wereldwijd zeer groot is, biedt de 3GPP-standaardenfamilie een zeer groot ecosysteem en bijbehorende (schaal)voordelen. Voor het realiseren van specifieke communicatietoepassingen wordt dan ook graag aangesloten bij het momentum van 3GPP. De 3GPP-standaarden zijn de afgelopen jaren om die reden uitgebreid met onder andere specifieke ondersteuning voor IoT-communicatie (LTE-M, NB-IoT, 5G RedCap), functionaliteit voor drones (zoals plaatsbepaling via een 3GPP-radionetwerk en passieve radarfunctionaliteit). [19] en autonome voertuigen. Het voorliggende 'netwerk op zee' kan (als 3GPP-radionetwerk) deze uitbreidingen in principe op een later moment adopteren, omdat het voorziet in de benodigde 'onderlagen'.

Missiekritische spraak kan eveneens worden gerealiseerd op basis van 3GPP-netwerken. Net als bij mobiele telefonie is er enige flexibiliteit in de wijze waarop een missiekritische communicatiedienst kan worden gerealiseerd op basis van een modern netwerk. In de praktijk zien we op dit moment dat missiekritische communicatiediensten veelal als 'over the top'-dienst op basis van LTE/5G-netwerken worden gerealiseerd. Dit betekent dat eindgebruikers gebruik maken van een gespecialiseerde handset (de 'portofoon') waarop een applicatie is geïnstalleerd die missiekritische functies (zoals push-to-talk) mogelijk maakt. Deze applicatie werkt op basis van 'reguliere' IP-connectiviteit¹⁰ (die in het onderliggende netwerk wordt ingeregeld met een bepaalde prioriteit en capaciteit). Een dergelijke oplossing is in telefoniecontext vergelijkbaar met bellen via WhatsApp via mobiele data.

In 3GPP zijn inmiddels echter ook functies, interfaces, en platforms voor missiekritische communicatie gestandaardiseerd (samen 3GPP MCX genoemd). Deze zijn nauwer geïntegreerd met de onderliggende netwerken dan de boven besproken over-the-topoplossingen. De werking hiervan is min of meer hetzelfde als boven, en het gaat ook hier om een op IP gebaseerde oplossing. Door de nauwere integratie kunnen de systemen echter voorzien in een betere kwaliteit of extra functionaliteiten. Een voorbeeld hiervan is *pre-emption* (het stoppen van het gebruik van netwerkbronnen van een andere gebruiker wanneer deze nodig zijn voor kritische communicatie). De MCX-standaard schrijft alleen het gebruik van een 3GPP-netwerk voor – het kan worden ingezet op alle door de LTE/5G-radioprotocollen ondersteunde frequentiebanden (waarbij MCX wel een aantal specifieke functionaliteiten in het radioprotocol vereist).

¹⁰ Niet te verwarren met *internetconnectiviteit*. IP-connectiviteit is connectiviteit *op basis van* de gestandaardiseerde protocollen die op het internet worden gebruikt, maar ook in besloten netwerken kan worden ingezet. *Internetconnectiviteit* is toegang tot het openbare internet op basis van IP-connectiviteit.

Figuur 3 toont de verschillen tussen de varianten op hoofdlijnen.



Figuur 3 Gelaagdheid in 3GPP-netwerken in relatie tot missiekritische communicatie

Onderstaande Figuur 4 geeft een overzicht van de werkzaamheden op gebied van standaardisatie die binnen 3GPP worden gedaan ten aanzien van kritische communicatie, en de timing in termen van 3GPP-releases.



Critical Communication Applications 1/3

Rel-12

- Proximity Services
- Group Communication service enablers of LTE

Proximity Services
Device to Device Communication, UE to network relay

Group Communication
Unicast to efficiently transmit to a group arranged by an application.

Rel-13

- MC Push to Talk
- Proximity Services enh.

User authentication and service authorization, security; configuration; de-/affiliation; group calls on/off network; simultaneous sessions; dynamic group management; floor control on/off network; resource management; bearer control; location configuration, reporting and triggering;

Rel-14

- Enhanced MC Push to Talk
- MC Video
- MC Data
- MC Common Architecture

MC Common Architecture
For all users common authentication and service authorization; security; configuration; de-/affiliation; dynamic group management; identity management;

MC Video: Common and Private & Group Video Call, Transmission control

MC Data: Common & Short Data Service; File Distribution; Transmission control; Disposition Notification.

Rel-15

- MC Push To Talk/Video/Data enh.
- IWF – Interworking with LMR systems
- MCCI - MC system migration and interconnection
- MBMS for MC communication
- Railways (MONASTERY)

MCCI: migration and Interconnection:
Migration to another MC system. Take part in communications with users in another MC system (interconnection).

Railways enable the support of Functional alias(es) and the use of the multi-talker feature

Enh. – Enhancements

6



Critical Communication Applications 2/3

Rel-16

- MCPTT / MC Data enh.
- Interworking with LMR – enh.
- MCCI enh.
- Railways enh.
- MBMS API for MCS
- MC Location (study)
- Discreet listening and logging (study)

MBMS API for MCS:
Definition of ref model where the MBMS APIs are applied to support multicast mission critical services and UE APIs providing the access to MBMS mission critical services for mission critical applications

Rel-17

- MCPTT / MC Data enh.
- Railways enh.
- MCIOPS
- MCOVer5GS
- MCOVer5MBS (study)
- MC Location (study cont.)

MCIOPS:
For the case of a backhaul failure or a nomadic EPS deployment, MC services shall be supported based on the availability of an Isolated E-UTRAN operations for Public Safety (IOPS) system.

Rel-18

- MCX enh.
- MGWUE
- Railways enh. (IRail)
- MCOVer5MBS
- MCOVer5GProSe
- MCAHGC
- MCSHAC (study)

MC gateway UE :
enables MC service access for MC users using non-3GPP devices (which may or may not have the ability to host MC clients)

MCAHGC:
an ad-hoc group is set up spontaneously based on a list of users or some criteria (e.g. location). An ad-hoc group is 'disposable' i.e. when communications end the ad-hoc group ceases to exist.

Railways:
Interconnection and Migration Aspects

Rel-19 *

- MCX enh.
- Railways enh.
- MCSHAC
- Generic IOPS

* Work in progress

© 3GPP 2024

Figuur 4 Overzicht van standaardisatie van missiekritische functionaliteiten in 3GPP-verband (bron: [20])

Het primaire doel van het te realiseren netwerk is het realiseren van connectiviteit ten behoeve van missiekritische spraak- en datacommunicatie. Het hiervoor benodigde platform (3GPP MCX) kan door de aanbieder/exploitant van dit netwerk worden aangeboden, maar ook door derden kunnen worden gerealiseerd. Het is technisch gezien geen probleem om de 'ruwe' dataconnectiviteit die het netwerk biedt in te zetten voor meerdere missiekritische communicatienetwerken/diensten naast elkaar – uiteraard moet de capaciteit dan wel worden gedeeld. Het is andersom ook mogelijk om voor een missiekritische communicatiedienst gebruik te maken van *meerdere* netwerken. Een voorbeeld hiervan is het Franse RRF (Réseau Radio du Futur)-netwerk, waarbij connectiviteit van meerdere mobiele operators wordt ingezet ten behoeve van

communicatie voor hulpdiensten. [21] Secundair zou het MCZ een aanvulling op of terugvaloptie kunnen bieden voor andere datanetwerken op zee, ten behoeve van bijvoorbeeld IoT-toepassingen.

2.2 Koppeling missiekritische communicatie hulpverleners

Een specifieke use case van het MCZ is **kritische communicatie bij calamiteiten**. De wens is dat hulpverleners ter plaatse met elkaar en 'de wal' kunnen communiceren. Het kan gaan om personen die primair 'op zee' werkzaam zijn en om hulpverleners die in geval van calamiteit vanaf het vasteland ter plaatse komen.

2.2.1 Korte termijnsceario: MCZ en C2000

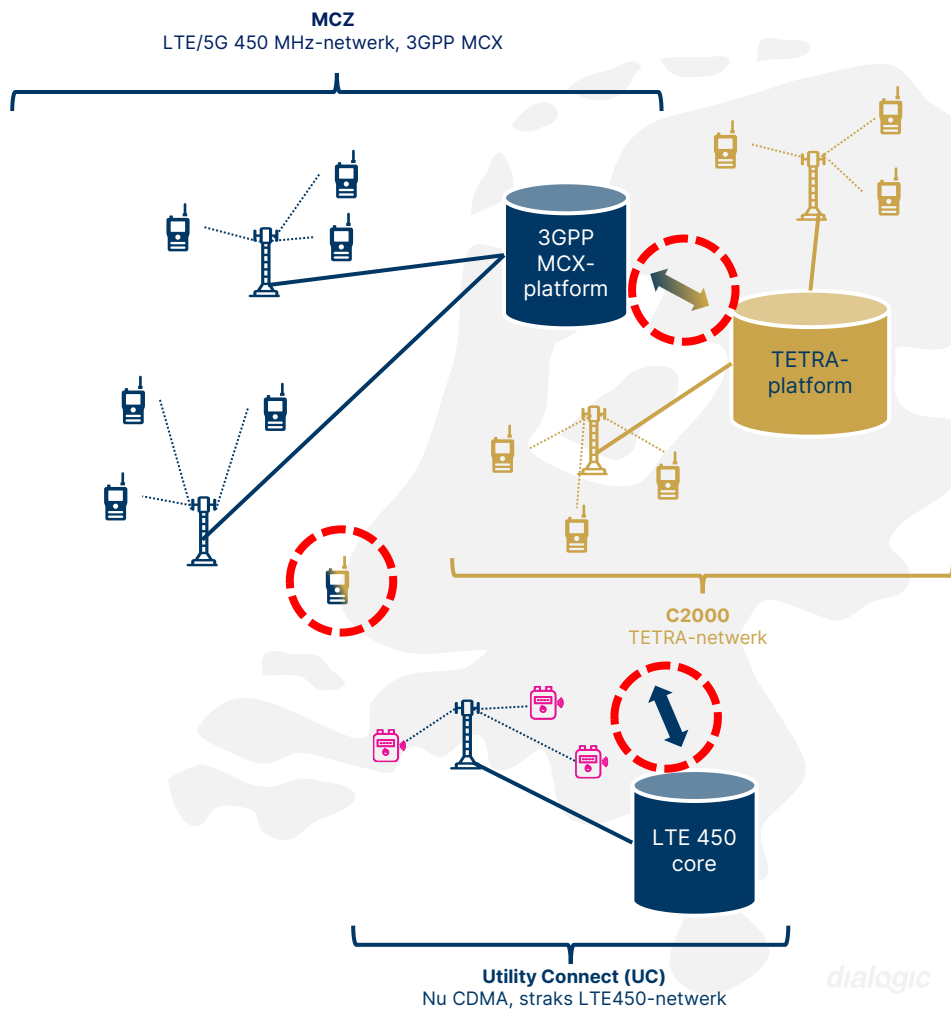
Op land hebben Nederlandse hulpdiensten op dit moment primair de beschikking over het C2000-netwerk als missiekritisch communicatiemiddel. Het C2000-netwerk is gebaseerd op TETRA-technologie. Naast C2000 wordt gebruik gemaakt van alternatieve communicatiemiddelen (Grouptalk en PrioCom en in voorkomende gevallen ongetwijfeld ook reguliere telefonie) op basis van openbare mobiele netwerken. Deze alternatieven zijn niet gekoppeld aan C2000, kunnen niet worden gebruikt voor kolomoverstijgende communicatie en *"[verdienen] niet de kwalificatie 'missiekritisch'"* volgens het Adviescollege ICT-toetsing. [12]

Op de economisch belangrijke gebieden op zee en territoriale wateren is er zeer beperkt dekking van C2000. Dit betekent dat hulpverleners die beschikken over een C2000-portofoon deze daar niet kunnen gebruiken. De over-the-top-oplossingen zouden (mits er toegang is tot de openbare netwerken van bijvoorbeeld Tampnet) kunnen worden gebruikt, maar voldoen niet als primair communicatiemiddel, omdat ze niet missiekritisch zijn.

Op de middellange termijn (tot 2035, het jaar waarin nu wordt verwacht dat C2000 is opgevolgd) bestaat het MCZ dus 'naast' het C2000 TETRA-netwerk op land. Om hulpverleners te kunnen laten communiceren bij een calamiteit op zee zijn dan ook minimaal twee zaken nodig:

- Hulpverleners op zee moeten kunnen connecteren met een radionetwerk (waarmee uiteindelijk gecommuniceerd kan worden met de collega's). Deze rol zou het MCZ-netwerk kunnen vervullen. Dit is de 'koppeling aan de voorkant', waarbij eindgebruikers connectie kunnen maken met het voor hen beschikbare netwerk.
- Hulpverleners die eenmaal geconnecteerd zijn (hetzij via C2000, hetzij via MCZ) moeten met elkaar kunnen communiceren. Dit is de 'koppeling aan de achterkant' waarbij *netwerken* gekoppeld worden.

Daarnaast biedt C2000 ook *direct mode*-communicatie, waarbij via C2000-portofoons kan worden gecommuniceerd zonder tussenkomst van een basisstation. Wanneer *direct mode*-communicatie een vereiste is op zee, moeten de portofoons van MCZ-gebruikers ondersteuning hebben voor *direct-mode* communicatie via TETRA met C2000-portofoons. Wanneer VMX, de verwachte opvolger van C2000, is gerealiseerd op basis van 3GPP MCX dienen beide soorten portofoons de 3GPP-variant van direct mode te ondersteunen.¹¹ Het is hierbij belangrijk om te noemen dat de migratie van C2000 naar VMX niet een 'big-bang' zal zijn, waarbij alle afdelingen gelijk overschakelen. De verwachting is dat de migratie gefaseerd zal plaatsvinden, waarbij per afdeling wordt overgestapt. Verdere details over dit migratiepad zijn nog niet bekend.



Figuur 5 Scenario op de korte termijn (t/m ~2033)

¹¹ In theorie zouden de C2000-gebruikers natuurlijk ook kunnen worden uitgerust met nieuwe portofoons met ondersteuning voor zowel TETRA als het direct mode-equivalent van 3GPP. Los van de vraag of een dergelijke portfoon beschikbaar is, ligt dit gezien de complexiteit en voorziene migratie van C2000 niet voor de hand.

Figuur 5 toont deze situatie schematisch. Links is het MCZ-netwerk getekend als radionetwerk en corenetwerk en een missiekritische dienst op basis van 3GPP MCX. Rechts is het C2000-netwerk getekend met (sterk vereenvoudigd) een centraal 'TETRA-platform'. De platforms moeten 'aan de achterkant' worden gekoppeld (de pijl tussen beide platforms). Daarnaast zou aan de apparaatzijde mogelijk moeten worden om het netwerk te kunnen gebruiken dat op de gewenste locatie (zee of land) beschikbaar is. Tot slot bestaat het netwerk van Utility Connect in de PAMR-band (onderaan getekend). Dit netwerk kan uiteraard voorzien in LTE/5G 450-connectiviteit op land en zou daarom in dit vraagstuk een rol kunnen spelen.

TETRA in a box

Een alternatieve oplossing voor het ad-hoc faciliteren van communicatie tussen hulpverleners is het realiseren van een lokaal (eventueel tijdelijk) losstaand TETRA-netwerk. Tijdelijke TETRA-netwerken zijn 'te huur' (zie o.a. [22]). Technisch gezien is iets dergelijks uiteraard ook mogelijk op zee.

Een ad-hoc TETRA-netwerk kan los van het MCZ worden gerealiseerd, maar het is denkbaar dat er een TETRA-MCX-koppeling wordt gerealiseerd tussen het TETRA-netwerk en het MCZ-netwerk.

Het is echter niet zo dat gebruikers met een C2000-portofoon per definitie met dit 'ad-hoc' TETRA-netwerk kunnen verbinden. De C2000-portofoon zal (afhankelijk van de instellingen) het netwerk niet vinden of er niet mee willen verbinden. Zelfs als de portofoons worden geconfigureerd om eventueel verbinding te maken met het netwerk, moet het gastnetwerk op de een of andere manier kunnen beschikken over de identiteit van de gebruiker (en er dus gekoppeld worden met C2000 'aan de achterkant' – zie verderop). Als zowel met C2000 als MCZ geïntegreerd moet worden zijn dus twee koppelingen nodig. In de praktijk betekent dit een uitbreiding van C2000 naar zee (die verder losstaat van MCZ) en eventueel een koppeling met MCZ (hieronder uitgewerkt).

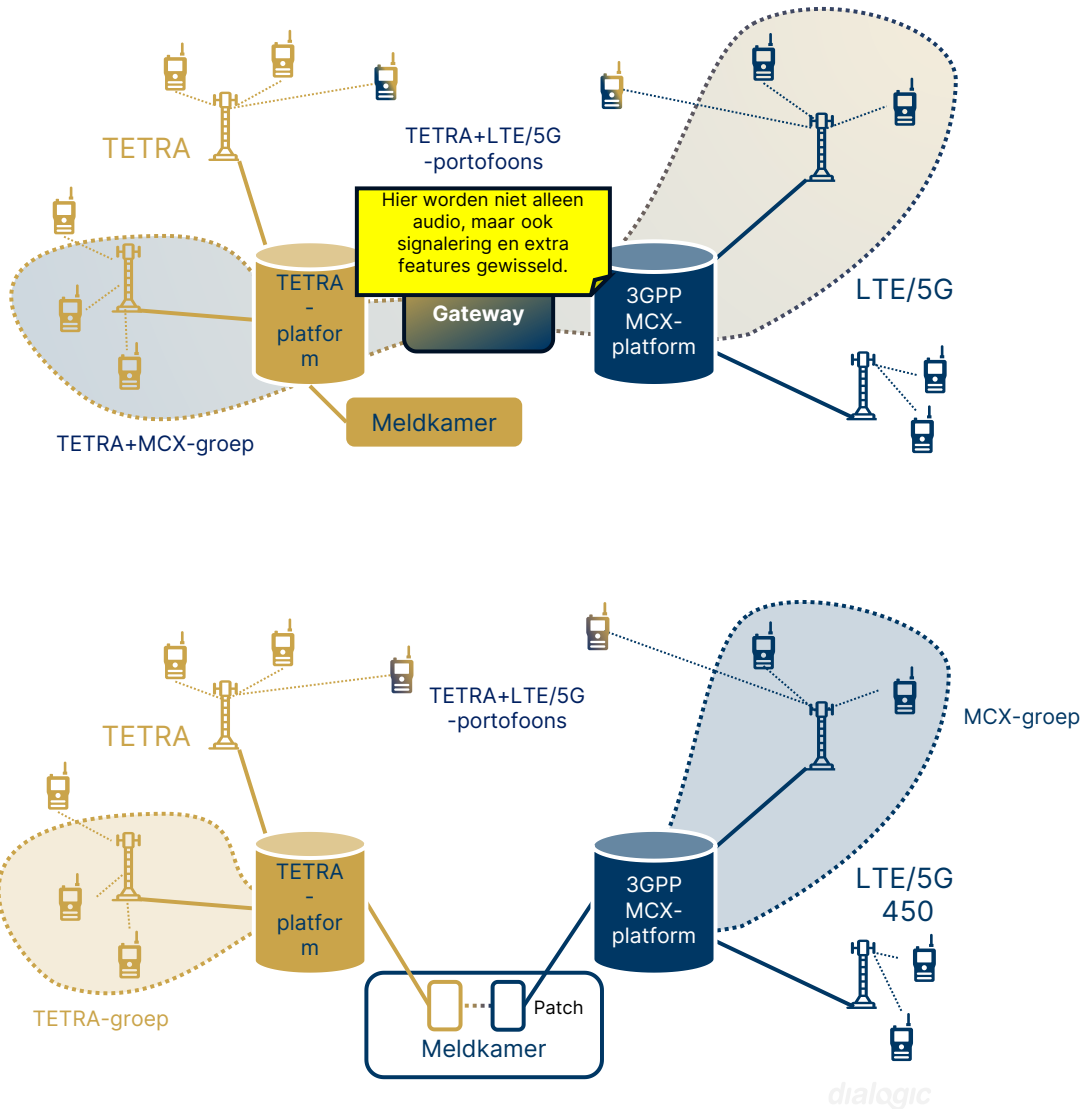
Ad-hoc koppeling aan de 'achterkant' (netwerzijde)

Het koppelen van een 3GPP MCX-platform met een TETRA-platform is op twee manieren te realiseren:

- Het koppelen via een **TETRA-MCX-'gateway' (3GPP TETRA IWF)**. Deze component vertaalt rechtstreeks tussen beide netwerken en maakt ook het gebruik van de geavanceerdere functionaliteiten mogelijk.
- Een **'patch'**. Hierbij wordt vanuit een meldkamer, die verbonden is met zowel het TETRA- als MCX-platform, ad-hoc een koppeling gemaakt tussen een gesprek of groep in het ene netwerk en in het andere. In de praktijk is dit beperkt

tot spraakverkeer, dat in dat geval via de meldkamer tussen de netwerken verloopt. Geavanceerdere functionaliteiten worden niet tussen de netwerken gerealiseerd. Deze aanpak werd onder andere toegepast in Scandinavische landen voordat er een koppeling werd gerealiseerd (zie verderop). [23, p. 11]

Figuur 6 hieronder toont schematisch de beide vormen van koppeling tussen een TETRA- en MCX-netwerk (hier respectievelijk C2000 en MCZ).



Figuur 6 Verschillende vormen van koppeling van TETRA- en MCX-netwerken

Praktische implementatie

De inzet van gateways voor communicatie tussen verschillende netwerken is in de TETRA-wereld niet ongebruikelijk. TETRA-netwerken worden onderling gekoppeld met zogenoemde TETRA Inter-System Interfaces (TETRA ISI). Een voorbeeld zijn de koppelingen tussen de TETRA-netwerken in Scandinavische landen (het Noorse Nodnett, Zweedse Rakel en Finse Virve zijn C2000-equivalenten van de genoemde landen). [23, p. 7] Naast koppeling tussen TETRA-netwerken heeft 3GPP oplossingen

gestandaardiseerd voor zogenoemde 'interworking functions' (IWF) tussen TETRA en andere soorten netwerken, zoals LMR en GSM-R. De 3GPP TETRA IWF is sinds ten minste 2016 onderwerp van studie van 3GPP. [24] In de genoemde Scandinavische landen wordt gekeken naar de inzet van TETRA IWF voor koppeling met missiekritische breedbandsystemen ([23, p. 16] geeft hiervan een mooi overzicht).

TETRA IWF speelt daarnaast een rol in de migratie van TETRA-systemen naar 3GPP MCX-systemen. In het VK wordt het Airwave TETRA-netwerk gemigreerd naar het Emergency Services Network (ESN) waarbij een koppeling wordt gerealiseerd. [25] In de toekomst zou een dergelijke gateway kunnen worden ingezet in de migratie van C2000 naar haar opvolger. Of en hoe dit wordt toegepast bij de migratie van VMX is buiten de afbakening van dit onderzoek. Het ligt voor de hand om een dergelijke oplossing te gebruiken wanneer grotere gebruikersgroepen niet in een 'big bang' maar gefaseerd moeten worden gemigreerd, en/of wanneer gebruikersgroepen die al wel gemigreerd zijn (incidenteel) moeten kunnen communiceren met gebruikersgroepen die nog niet gemigreerd zijn. De afweging is daarbij of het knelpunt dat de gateway oplost opweegt tegen de additionele complexiteit en kosten daarvan. Het (eenvoudigere) alternatief is het (tijdelijk) handmatig 'patchen' van gesprekken (zie Figuur 6) tussen VMX en C2000.

Beschikbaarheid

TETRA IWF-gateways zijn op dit moment commercieel beschikbaar en worden toegepast:

- Het VK heeft een tender uitstaan voor een TETRA IWF-gateway voor het ESN. Het is nog niet bekend welke leverancier deze tender gegund heeft gekregen. [26] Er zijn signalen dat in een eerder stadium van het ESN (alvorens er een herstart is gemaakt) gebruik is gemaakt van een oplossing van **Motorola**.
- **Airbus** biedt een oplossing (Agnel / Tactilon Suite) voor TETRA IWF. [27] Het Belgische ASTRID-netwerk maakt gebruik van Tactilon voor het TETRA-netwerk. [28]
- **Conet** biedt als onderdeel van haar Unified Communications Radio Suite (UCRS) een koppeling met TETRA-systemen, waaronder specifiek de platforms van Rohill, Motorola, Airbus, Damm en Hytera worden genoemd, maar waarvan alle behalve voor Motorola en Airbus 'under development' zijn. [29] Conet geeft hierbij een concreet overzicht van de ondersteunde functionaliteiten:
 - Individuele gesprekken (telefonie en push-to-talk)
 - Groepsgesprekken, groepsmanagement
 - Short data service / SDS inclusief GeoData
 - Broad/Multi cast
 - Opdracht- en gebeurtenisinterface
 - Gestandaardiseerde interfaces
 - Ondersteuning voor verschillende schaalbaarheids- en redundantieconcepten

- Afhandeling van noodoproepen
- Beheer van cryptografische bronnen (optioneel)
- Hogere flexibiliteit en uitgebreide functionaliteit in vergelijking met de ISI-standaard
- **Rohill** biedt IWF-functionaliteit voor haar TetraNode TETRA-platform. [30]

ETSI organiseert zogenaamde 'plugtests' - bijeenkomsten waarbij leveranciers van TETRA- en MCX-systemen de compatibiliteit daartussen kunnen testen door de eigen systemen aan die van andere leveranciers te koppelen. [31]

Een kanttekening bij TETRA IWF met LTE450 is dat voor correcte werking van bijvoorbeeld prioritering van (missiekritische) spraak ten opzichte van data op het onderliggende netwerk, de LTE-basisstations (eNodeB) de daarvoor benodigde functionaliteit moeten ondersteunen (o.a. QCI/quality-of-service-differentiatie van verkeersstromen [32]). Uit gesprekken komt naar voren dat dit een knelpunt kan zijn bij LTE-apparatuur voor het private segment (waaronder ook LTE450-basisstations).

Samengevat kan worden vastgesteld dat voor het koppelen van TETRA-systemen met 3GPP MCX-systemen gestandaardiseerde gateways bestaan en in de markt beschikbaar zijn. Er zijn specifieke vereisten aan de gebruikte LTE/5G-basisstations om dit goed te kunnen laten werken. Omdat meerdere landen wereldwijd migreren of zullen migreren van TETRA-systemen naar 3GPP-gebaseerde systemen is te verwachten dat het ecosysteem en markt voor dergelijke oplossingen zich verder zal ontwikkelen. Het is echter de vraag of dit ook geldt voor de 450 MHz-band, omdat dit geen beoogde band is voor PPDR-gebruik, en dit type migratie dus nauwelijks zal voorkomen.

Ad-hoc koppeling aan de 'voorkant' (apparaatzijde)

Wanneer het C2000-netwerk en MCZ gekoppeld zijn aan de achterkant, betekent dit nog niet dat hulpverleners met een C2000-portofoon *op zee* kunnen communiceren met collega's. Onderstaande Tabel 1 toont schematisch de mogelijkheden om dit te realiseren. Links in de tabel is allereerst aangegeven om welke gebruiker het gaat: een C2000-gebruiker (met TETRA-portofoon), een MCZ-gebruiker (met MCX-portofoon in 450 MHz) of een gebruiker die in beide systemen bekend is en beschikt over een portofoon met ondersteuning voor beide systemen. Op de horizontale as is de locatie van deze gebruiker te zien en de collega waarmee gecommuniceerd wordt (aangenomen wordt dat deze zich met het bijbehorende netwerk heeft verbonden – een C2000-collega op land via het TETRA-netwerk en een MCZ-collega op zee via het MCZ-netwerk).

Tabel 1 Mogelijkheden per scenario voor gebruik van de verschillende netwerken (korte termijnscenario: MCZ+C2000)

Identiteit gebruiker in...	Fysieke locatie gebruiker: Ondersteuning portofoon	Gebruiker bevindt zich fysiek op land		Gebruiker bevindt zich fysiek op zee	
		Communicatie met C2000-collega	Communicatie met MCZ-collega	Communicatie met C2000-collega	Communicatie met MCZ-collega
C2000	TETRA	C2000-netwerk (TETRA)	C2000-netwerk (TETRA) via gateway/patch		
MCZ	MCX (450)	UC (MCX450 MCZ) via gateway	UC (MCX450 MCZ) via gateway	MCZ-netwerk (MCX450) via gateway	MCZ-netwerk (MCX450)
C2000 + MCZ	MCX (450) + TETRA Apparatuur slecht beschikbaar!	C2000-netwerk (TETRA)	C2000-netwerk (TETRA) via gateway/patch UC (MCX450 MCZ) via gateway	MCZ-netwerk (MCX450) via gateway	MCZ-netwerk (MCX450)

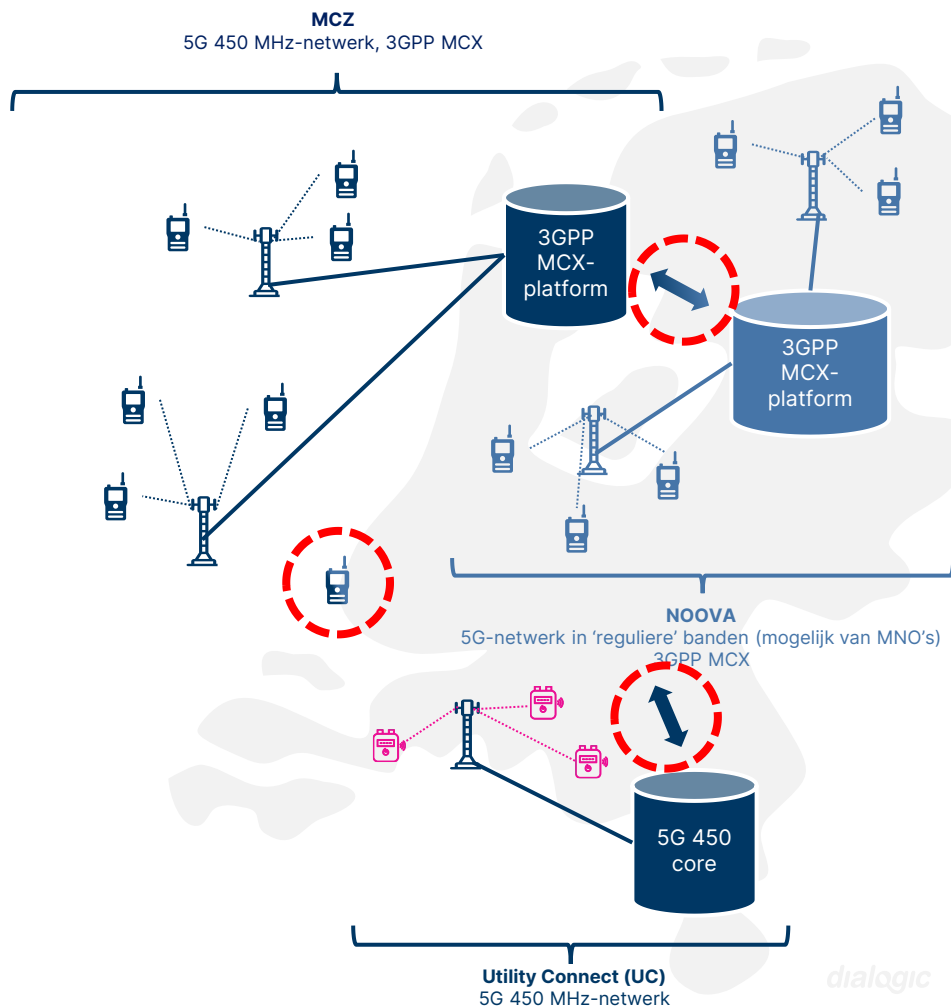
In Tabel 1 is allereerst duidelijk dat communicatie binnen de eigen groep binnen het eigen dekkinggebied geen probleem is: C2000-gebruikers kunnen met elkaar communiceren als ze daarvoor gebruik maken van het C2000 TETRA-netwerk (op land). Voor de MCZ-gebruikers geldt hetzelfde. Communicatie tussen beide gebruikerstypen is mogelijk zolang zij verbinding hebben met het eigen netwerk, en er een gateway is ingericht (TETRA IWF).

Moeilijker wordt het wanneer een gebruiker zich in het dekkinggebied van het andere systeem bevindt. Voor gebruikers van MCZ bestaat er wel de mogelijkheid om met hun LTE450-handset op land verbinding te maken met het netwerk van Utility Connect, mits dit netwerk gekoppeld is aan het MCZ-platform (middels een MCX-gateway, zie verderop). In dat geval kunnen deze gebruikers communiceren op land met zowel de 'eigen' MCZ-collega's (via de TETRA IWF-gateway) als met C2000-collega's. Voor C2000 gebruikers die op zee willen communiceren bestaat deze oplossing niet, wat betekent dat de gebruiker niets heeft aan de TETRA-portofoon op zee. Er is dus minimaal een MCZ-portofoon nodig (waarmee de C2000-gebruiker feitelijk een MCZ-gebruiker wordt) of een portofoon die aan beide netwerken kan verbinden.

Een complicerende factor daarbij is dat portofoons waarin TETRA en LTE450 worden gecombineerd, niet op de markt beschikbaar zijn. Er zijn legio voorbeelden van handsets waarin TETRA wordt gecombineerd met LTE, zoals van Motorola [33], maar deze ondersteunen alleen de 'gangbare' LTE-banden en niet de (voor LTE450 benodigde) band 31/72. De reden hiervoor is dat er mondiaal wél een migratiebeweging gaande is van TETRA naar (openbare) mobiele netwerken, maar níet specifiek naar de 450 MHz-band.

2.2.2 Lange termijnscenario: MCZ en VMX

Op de langere termijn is de verwachting dat C2000 wordt vervangen door een netwerk op basis van 3GPP MCX, waarbij toegangsnetwerken op basis van LTE/5G worden gebruikt. Het is denkbaar dat hiervoor een combinatie van openbare mobiele netwerken en specifieke netwerken (op basis van specifieke frequentieruimte, wellicht ad-hoc of regionaal) wordt ingezet. Figuur 7 toont dit scenario schematisch (vergelijk met Figuur 5).



Figuur 7 Lange termijnscenario (2033...) voor een netwerk op zee en de opvolger van C2000 op land.

Ad-hoc koppeling aan de 'achterkant' (netwerzijde)

In vergelijking met het 'korte termijnscenario', waarin gekoppeld diende te worden tussen een TETRA- en 3GPP MCX-platform met een TETRA IWF-gateway, is de situatie in het lange termijnscenario eenvoudiger. Hier is eveneens een gateway nodig, maar omdat de netwerken op dezelfde standaard zijn gebaseerd is dat een (in theorie eenvoudigere) MCX-MCX-gateway. We zijn positief ten aanzien van de verwachte beschikbaarheid hiervan, temeer omdat MCX-MCX-gateways mondiaal nodig zullen zijn voor koppeling tussen verschillende landen (zie o.a. [23]).

Ad-hoc koppeling aan de 'voorkant' (apparaatzijde)

Voor de apparaatzijde toont Tabel 2 een overzicht volgens dezelfde systematiek als Tabel 1 in het korte termijnsce-
nario.

**Tabel 2 Mogelijkheden per scenario voor gebruik van de verschillende netwerken (lange termijnsce-
nario: MCZ+VMX)**

Identiteit gebruiker in...	Fysieke locatie gebruiker: Ondersteuning portfoon	Gebruiker bevindt zich fysiek op land		Gebruiker bevindt zich fysiek op zee	
		Communicatie met VMX-collega	Communicatie met MCZ-collega	Communicatie met VMX-collega	Communicatie met MCZ-collega
VMX	MCX (reg.)	VMX-netwerken (4G/5G)	MCX-gateway		
MCZ	MCX (450)	UC (MCX450 MCZ) via MCX-gateway	UC (MCX450 MCZ) via MCX-gateway	MCZ-netwerk (MCX450) via MCX-gateway	MCZ-netwerk (MCX450)
VMX + MCZ	MCX (reg.) + MCX (450) Apparatuur slecht beschikbaar!	VMX-netwerken (4G/5G)	UC, VMX-netwerken (4G/5G); beide via MCX-gateway	MCZ-netwerk (MCX450) via MCX-gateway	MCZ-netwerk (MCX450)

Ten opzichte van het korte termijnsce-
nario is het grote voordeel dat dezelfde technolo-
gie wordt gebruikt (3GPP) voor het radionetwerk. Aan de 'achterkant' is nog altijd een gateway nodig tussen de verschillende netwerken. De vraag of een gebruiker op een plek buiten het dekkingsgebied van het eigen netwerk kan communiceren, is min of meer gereduceerd tot de vraag of de handset de betreffende band ondersteunt.

Helaas speelt bij dit laatste nog altijd een beperkte beschikbaarheid van apparatuur die zowel de 450 MHz-band (band 31/72) als de 'reguliere' 3GPP-banden ondersteunt. Toestellen die dit kunnen zijn mondjesmaat beschikbaar (afgaand op de 450 Alliance: ongeveer 20 modellen, waarvan 5 geschikt voor het voorliggende scenario [34]). Een voorbeeld van een toestel dat beschikt over ondersteuning voor beide banden is de RugGear RG760. [35]

Het feit dat een dergelijk toestel wordt aangeboden betekent echter niet dat het in de gewenste volumes beschikbaar is en langdurig blijft. Daarnaast speelt naast de beschikbaarheid van het toestel complexiteit op het gebied van het inregelen van de apparaten. Ook is de vraag of de toestellen overweg kunnen met LTE-M in 1,5 MHz of 3 MHz in de 450 MHz-band, of dat ze alleen geschikt zijn voor een meer gangbare situatie met 5 MHz in de 450-band.

De verwachting ten aanzien van beschikbaarheid van toestellen die zowel de 450-band als reguliere 3GPP-banden ondersteunen, zijn onzeker. Er is mondiaal, zoals hierboven ook beschreven voor de combinatie TETRA en LTE450, beperkt interesse in de combinatie. Zoals eerder benoemd wordt in VMX en wereldwijd in PPDR-netwerken ook de inzet van eigen frequentieruimte voorzien. Hiervoor wordt echter niet of

nauwelijks gekeken naar de 450 MHz-band, maar onder andere naar 2×3 MHz in de 700 MHz-band (o.a. 733 - 736 MHz gepaard met 788 – 791 MHz).¹² Deze frequentieband valt binnen band 28, die wordt gebruikt in openbare netwerken en goed is ondersteund in vrijwel alle toestellen.

Een beperkende factor is dat ondersteuning van band 31/72 en andere banden tot voorkort niet gecombineerd in één chipset beschikbaar was. Dit heeft met name weer-slag op de ondersteuning in handsets. Voor machine-to-machinetoepassingen is de situatie anders – modules voor gebruik van LTE450 zijn goed beschikbaar en het toe-passen van dual-chipoplossingen is daar vaker acceptabel. Qualcomm heeft inmiddels modems aangekondigd die ondersteuning voor band 31/72 en andere banden combi-neren.

2.3 Inpassing in Europese harmonisatie

De behoefte aan missiekritische communicatie, bijvoorbeeld bij calamiteiten, kan in be-paalde gevallen, en uiteraard ook op zee, grensoverschrijdend zijn. In dit kader is het relevant om na te gaan of en hoe een nieuw te realiseren netwerk voor missiekritische communicatie op zee, op basis van LTE450, past in scenario's voor grensoverschrij-dende samenwerking.

2.3.1 BroadEU en de SpiceNet-architectuur

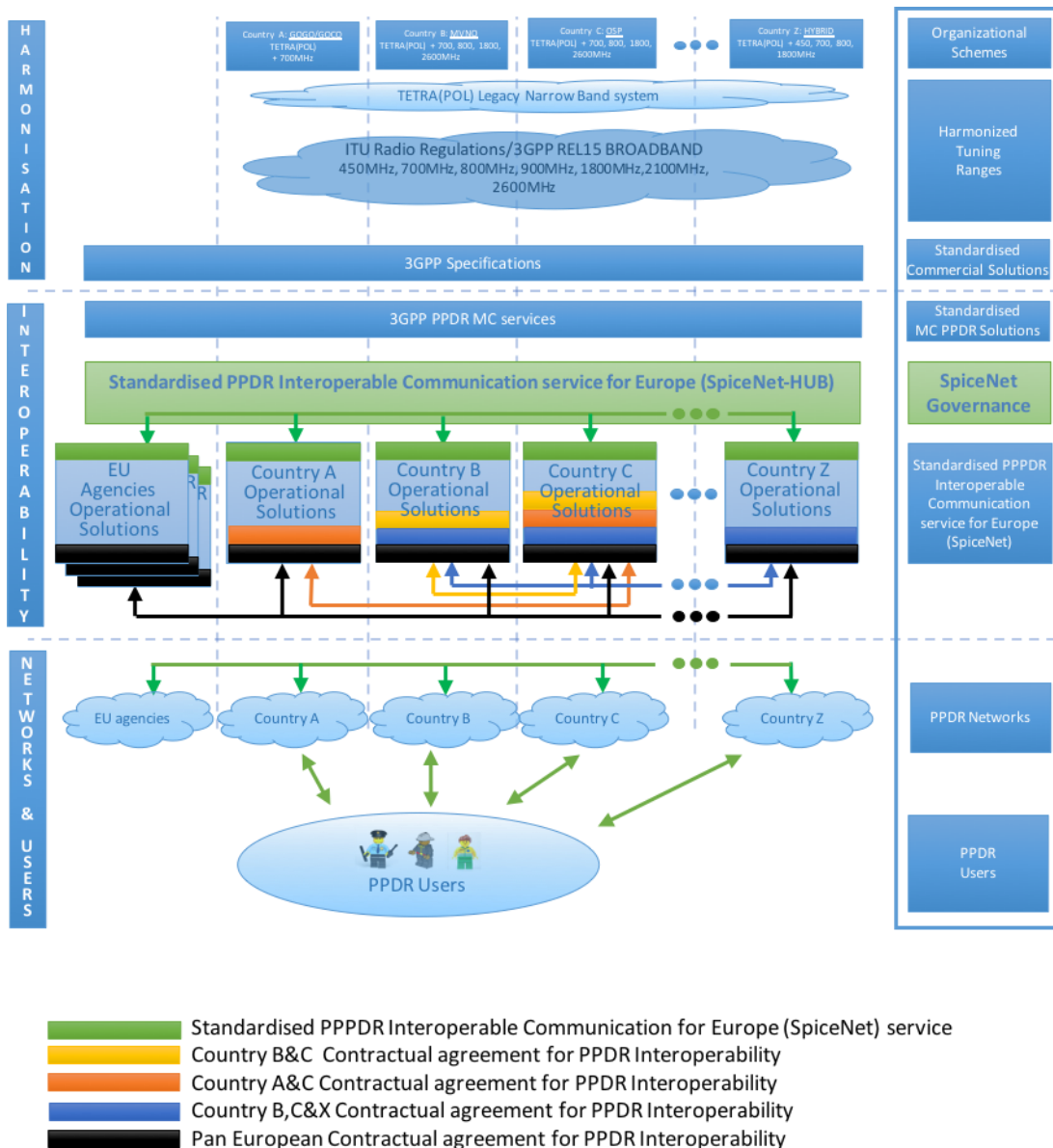
Het SpiceNet-initiatief is onderdeel van het Europese BroadWay-project. BroadWay is voortgekomen uit BroadMap, een project om de aanbestedingsstappen te definiëren voor het realiseren van nieuwe breedbandcommunicatietoepassingen, -diensten, -net-werken en -apparaten voor de openbare veiligheid (PPDR-netwerken). [36]

Figuur 8 toont schematisch de SpiceNet-architectuur. Het SpiceNet-model stelt een referentiearchitectuur voor geharmoniseerde pan-Europese PPDR-bedrijfskritische breedbanddiensten voor. Het uitgangspunt is de notie dat er drie lagen te onderschei-den zijn: (1) standaardisatie en harmonisatie, (2) interoperabiliteit en governance, en (3) netwerken en gebruikers. Een kernonderdeel van SpiceNet is de Spicenet-HUB. Deze bevindt zich in de tweede laag, en betreft alles wat nodig is om gestandaardi-seerde (3GPP MCX-)systemen van verschillende landen met elkaar te koppelen en te laten communiceren. Door te connecteren met de SpiceNet-HUB hoeven landen geen bilaterale overeenkomsten c.q. koppelingen hiervoor aan te gaan. Het SpiceNet-model

¹² Een ander denkbaar banddeel is 698 – 703 MHz gepaard met 753 – 758 MHz. Deze delen vallen precies ónder band 28/n28, en zijn gedefinieerd als onderdeel van de specifieke 'PPDR' LTE-band 68 (698 – 728 MHz gepaard met 753 – 783 MHz). [66] [67] De 5G-tegenhanger (band n68) is in Release 18 nog niet gedefinieerd. [37] Onder andere Spanje heeft het banddeel inmiddels voor PPDR bestemd. [69]

kan ook dienen als referentiemodel voor dergelijke bilaterale afspraken (zonder een SpiceNet-HUB).

Het uitgangspunt van SpiceNet is dat gebruik wordt gemaakt van 3GPP-gestandaardiseerde oplossingen. Hierbij kunnen landen zelf bepalen hoe ze hun migratie van legacy-systemen naar 3GPP-gebaseerde oplossingen vormgeven. Het *organisationele model* kan verschillen tussen landen – hiermee wordt verwezen naar de vraag of bijvoorbeeld gebruik wordt gemaakt van een eigen netwerk, openbare netwerken, een MVNO, et cetera. Een belangrijke parameter die SpiceNet definieert zijn geharmoniseerde *tuning ranges* voor de eindgebruikersapparatuur. 450 MHz valt binnen de geselecteerde *tuning ranges*. Het lijkt er vooralsnog op dat de inzet van LTE/5G in de 450 MHz-band met 3GPP MCX dus een volwaardige ondersteunde implementatievorm is die past binnen de SpiceNet-architectuur.



Figuur 8 Schematisch overzicht van de SpiceNet-referentiearchitectuur [37]

In de onderliggende deliverables van BroadMap/BroadWay worden voorts verschillende technische oplossingen voor koppelingen uitgewerkt naar de verschillende organisationele modellen. Onderscheiden modellen zijn: [38]

- GOGO, Government owned Government Operated
- GOCO, Government owned, Company Operated
- OSP, Outsourced Service Provision
- MVNO, Mobile Virtual Network Operator
- HYBRID, Combination of Dedicated Networks (GOGO, GOCO and MVNO)

Voor de drie 'solutions' die het project heeft gevonden worden vervolgens de implicaties uitgewerkt per model [38, pp. 37-38, table 24] Uiteindelijk wordt één definitieve 'solution' geselecteerd waarbij ook een transitieperiode is voorzien.

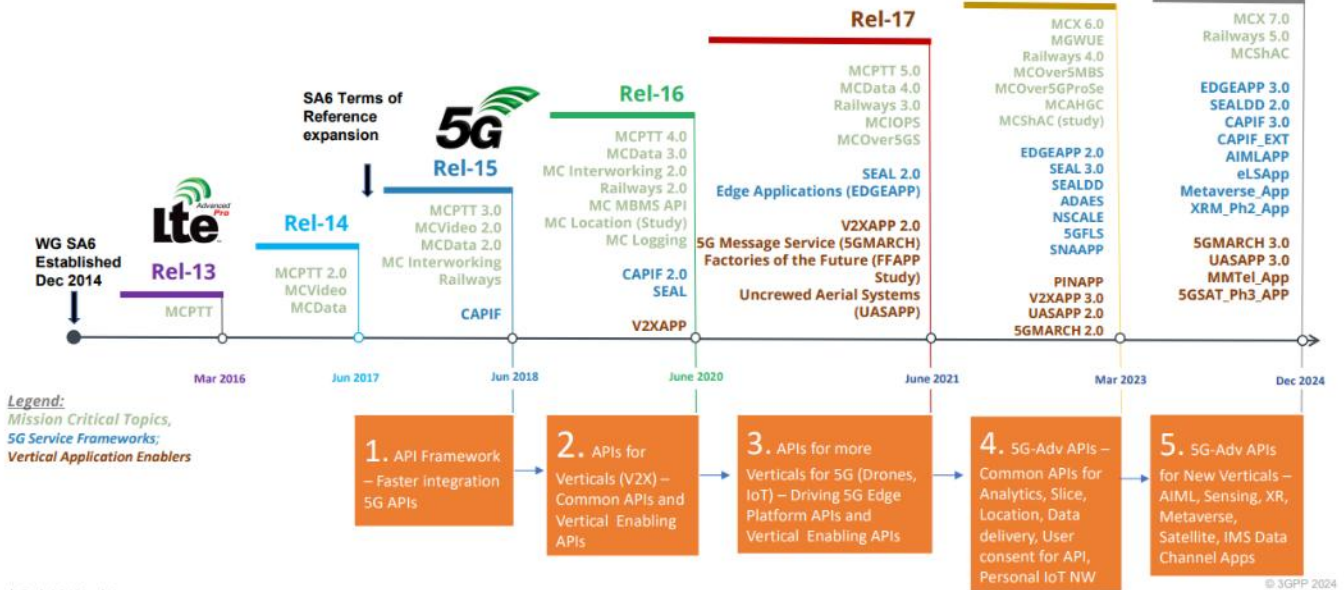
De overige onderdelen van SpiceNet zien met name op de bovenliggende diensten zoals missiekritische video, status messaging, SDS (Short Data Service)-messaging, et cetera, zien op het bovenliggende platform. In het hier voorliggende scenario is dat een eigenschap van het 3GPP MCX-platform en in feite geen eigenschap van het uit te rollen radiotoegangsnetwerk op zee.

2.4 Toekomstbestendigheid 2×3 MHz in 450 MHz tot 2050

Een belangrijke vraag bij de uitrol van een LTE/5G-netwerk in de 450 MHz-band op zee is in hoeverre deze keuze toekomstvast is. Hiermee bedoelen we de vraag in hoeverre er een ecosysteem is en blijft voor de benodigde netwerkapparatuur, eindgebruikersapparatuur, en alle omliggende kennis. We gaan eerst in op de algemene dynamiek in het ecosysteem en daarna op de specifieke vraag rondom de 2×3 MHz carrierbreedte in 450 MHz.

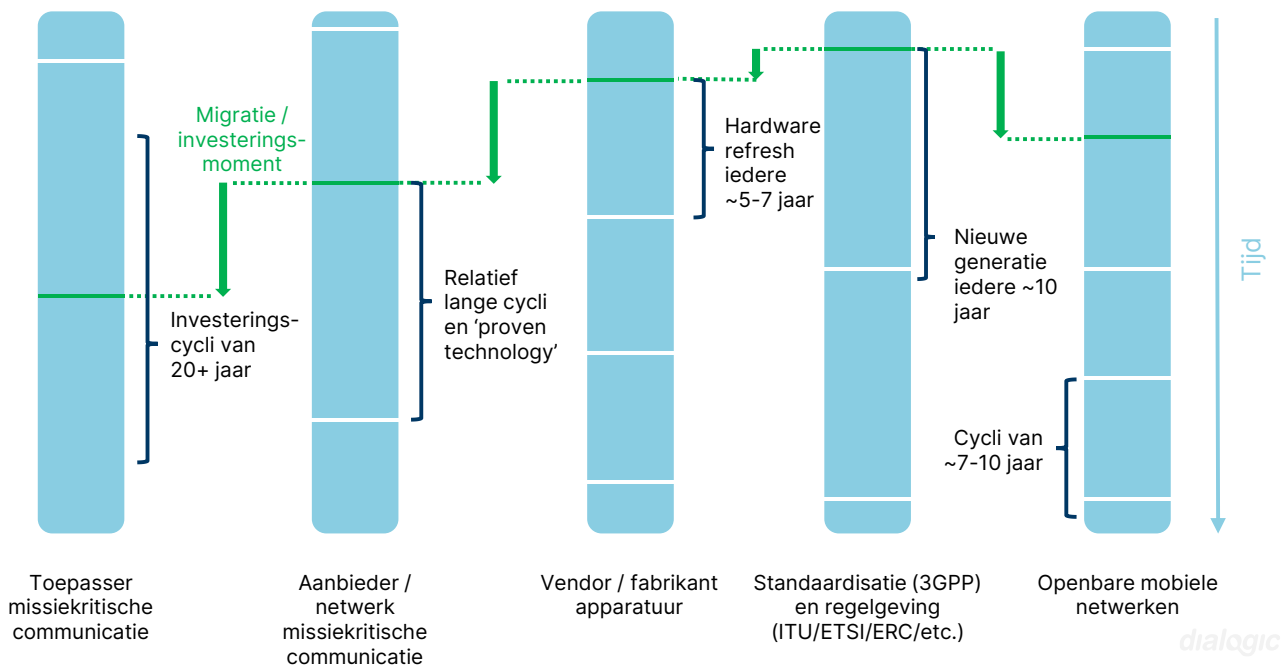
2.4.1 Houdbaarheid van het ecosysteem voor LTE/5G 450

Een noodzakelijke randvoorwaarde voor toekomstvastheid van de technologie is allereerst *doorontwikkeling van technische standaarden*. In deze casus gaat het uiteraard om de LTE- en 5G NR-radioprotocolen. Daarnaast is de doorontwikkeling van 3GPP MCX-functionaliteit relevant, al is uiteraard niet uitgesloten dat op basis van de LTE-/5G-onderlaag een 'over the top'-oplossing wordt gerealiseerd. Op het gebied van standaardisatie lijkt er in ieder geval voldoende momentum te zijn aan zijde van 3GPP. De werkgroep die zich richt op missiekritische functionaliteiten (SA6) heeft onlangs een actuele roadmap gepresenteerd. [20] Figuur 9 geeft een overzicht van recente releases met geïntroduceerde functies voor missiekritische communicatie, en de functionaliteiten waaraan op dit moment wordt gewerkt in Release 19. Specifieke onderdelen die hier relevant (kunnen) zijn, zijn onder andere de functionaliteiten ten behoeve van drones (Release 17: *Uncrewed Aerial Systems*) en 5G satelliet direct-to-devicecommunicatie (Release 19: *Application enablement for satellite access Phase 3*).



Figuur 9 Overzicht van 3GPP-releases en daarin opgenomen missiekritische functionaliteiten (SA6) [20, p. 5]

Dat er standaardisatie heeft plaatsgevonden betekent niet dat de technologie in de praktijk ook levensvatbaar en inzetbaar is. Naast de vraag óf een technologie(opvolger) beschikbaar komt spelen twee *lifecycle-aspecten*: (1) de **'traagheid'** van het ecosysteem en (2) de **mismatch in levenscycli** binnen het ecosysteem. Figuur 10 toont beide concepten schematisch.



Figuur 10 Verschil in levenscycli en traagheid in het ecosysteem voor missiekritische communicatie

Het eerste aspect is de **'traagheid'** in het ecosysteem. Het duurt typisch enkele jaren voordat een chipfabrikant (bijv. Qualcomm) en fabrikant van netwerkapparatuur (bijv. Ericsson, Huawei, Nokia) een bepaalde gestandaardiseerde functie heeft geïmplementeerd in haar apparatuur/software. Hierbij speelt ook dat de markt voor openbare mobiele netwerken vele malen groter is dan die voor private. Hierdoor richten de vendors zich in eerste plaats op de wensen van de mobiele operators, waardoor het goed mogelijk is dat bepaalde functionaliteit niet aanwezig is in het productaanbod voor private afnemers, en/of dat functionaliteit die specifiek is bedoeld voor private gebruikers niet of laat wordt geïmplementeerd. Vervolgens duurt het nog even voordat de netwerkaanbieders (en in de private markt o.a. de tussenpartijen die netwerken realiseren) deze functionaliteit daadwerkelijk inzetten. Wanneer het gaat om communicatie *diensten* kan het vervolgens nog enige tijd duren voordat de eindgebruiker de functie inzet (en bijvoorbeeld eindgebruikersapparaten vervangt als dat nodig is voor uitrol van de functie).

Het tweede aspect is de **mismatch in cycli** die de verschillende schakels in deze keten hanteren. Op gebied van standaardisatie zien we grofweg iedere tien jaar een nieuwe generatie (3G, 4G, 5G) en ieder jaar een nieuwe 'release'. Op gebied van netwerkapparatuur is een levensduur van zeven tot maximaal ongeveer tien jaar gangbaar. Mobiele netwerkoperators houden hier bijgevolg bij de vervangingscyclus van hun infrastructuur rekening mee. Aanbieders van missiekritische diensten zijn conservatiever en hechten meer waarde aan bewezen technologie, waardoor er langere cycli worden gehanteerd en er ook een grotere tijd zit tussen introductie van een functie en de inzet ervan. Tot slot zien we de afnemers van missiekritische diensten. Afhankelijk van de sector spelen hier zeer lange cycli – 20 jaar en langer – als het gaat om inzet en afschrijving van *assets*.

De boven beschreven dynamiek heeft een aantal consequenties. Allereerst maakt de traagheid het lastig om te voorspellen of het momentum voor een bepaalde technologie voldoende groot is. Vanwege het conservatisme in het ecosysteem duurt het relatief lang voordat dit evident wordt. Een belangrijke onzekerheid in het kader van 450 MHz is de vraag of en hoe de inzet mondiaal zich ook buiten de utiliteitssector zal ontwikkelen. Daarnaast spelen internationaal ook regelgeving en bescherming van bestaand frequentiegebruik een rol.

2.4.2 Houdbaarheid van 2×3 MHz carrierbreedte in de 450 MHz-band

Een belangrijke vraag is of een bepaalde standaard c.q. functionaliteit daarvan ook daadwerkelijk kan worden ingezet in de gewenste frequentiebanden op basis van de standaard. Daarnaast is de vraag of het aannemelijk is dat de fabrikanten de benodigde functionaliteit ook implementeren. Als er slechts beperkt vraag is naar specifieke onderdelen van de standaard, dan verdwijnt op een gegeven moment het 'momentum' en stopt de doorontwikkeling van specifieke functionaliteit.

Voor LTE450 in de Nederlandse context is relevant dat er (op dit moment, voor Utility Connect, in ieder geval op het vasteland¹³) moet worden gewerkt met 2×1,5 MHz en (in de toekomst) 2×3 MHz aan beschikbaar spectrum. De LTE- en 5G-standaarden definiëren voor de 450 MHz-band respectievelijk band 31/72 en n31/n72 (zie ook Figuur 2). [39] De Nederlandse PAMR-band valt geheel binnen LTE-band 72 en 5G-band n72. Alleen het bovenste deel van de PAMR-band valt binnen LTE-band 31 en 5G-band n31.

In de LTE-standaard zijn 1,4 MHz, 3 MHz en 5 MHz de gestandaardiseerde carrier-breedtes voor band 31 en 72. Het is niet duidelijk in hoeverre 'regulier' LTE in de praktijk kan worden ingezet in een carrier van 1,4 MHz (de LTE-standaard sluit dit niet uit).

Naast 'regulier' LTE bestaat de aanvullende standaard LTE-M, bedoeld voor machine-to-machinetoepassingen. LTE-M is te zien als een 'afgeslankte' versie van regulier LTE en stelt lagere eisen aan de eindgebruikersapparaten. LTE-M werkt met een carrier van 1,4 MHz in deze band. Hoewel LTE-M is ontworpen voor machine-to-machinecommunicatie is ondersteuning voor spraak mogelijk. Dit vereist echter wel een specifieke inspanning van de fabrikant van de chipset/modemmodule en handset. Daarnaast is niet zeker of 3GPP MCX kan worden gebruikt op basis van LTE-M. De LTE-M-standaard zou hiervoor vereiste functionaliteit in het radioprotocol ontberen. Daarnaast is de latency bij LTE-M hoger dan bij regulier LTE.

¹³ Op zee zou kunnen worden afgeweken van de configuratie op land (bijvoorbeeld: 2×1,5 MHz LTE op land en 2×3 MHz LTE op zee, of zelfs 2×5 MHz als het spectrum beschikbaar is).

De verschillende smaken LTE

LTE-M is een variant van LTE waarin (ten opzichte van LTE) wordt gewerkt met een gewijzigd radioprotocol. Naast LTE-M bestaan nog andere varianten van LTE die kunnen worden ingezet voor machine-to-machinecommunicatie:

- LTE Cat-1 is in feite de lichtste vorm waarin 'regulier' LTE kan worden geïmplementeerd. Apparaten die (maximaal) Cat-1 ondersteunen werken op basis van het 'reguliere' LTE-radioprotocol, maar kunnen slechts een beperkte datasnelheid en latency halen.
- LTE Cat-1bis is een nog lichtere en recenter geïntroduceerde categorie dan Cat-1, waarin apparaten kunnen werken met slechts één antenne (in tegenstelling tot twee bij LTE Cat-1). [40]
- NB-IoT is een geheel nieuw en smalbandig radioprotocol dat door 3GPP is gestandaardiseerd, en (uitsluitend) bedoeld is voor IoT-datacommunicatie.

In onze analyse gaan we vooral in op de verschillen tussen 'regulier' LTE en LTE-M. Het meenemen van LTE ligt voor de hand (dit wordt immers ook in alle openbare netwerken gebruikt) en we behandelen LTE-M omdat Utility Connect voornemens is dit in te zetten. De conclusies voor LTE Cat-1/1bis liggen naar verwachting tussen die voor LTE en LTE-M. NB-IoT is echt een ander protocol dan LTE/LTE-M en niet geschikt voor het realiseren van missiekritische spraak.

Het radioprotocol voor 5G heet 5G NR en is de opvolger van LTE, het radioprotocol voor 4G. In de actuele release (18) van de 5G-standaard zijn de carrierbreedtes 3 MHz en 5 MHz gestandaardiseerd voor 5G NR in band n31 en n72. [39, pp. 46, Table 5.3.5-1] We merken hierbij op dat ondersteuning voor 3 MHz echt een uitzondering is – naast band n31 en n72 is deze alleen gespecificeerd voor banden n26, n28, n85, n100 en n106, en ook nog eens *optional*. [39, p. 49 voetnoot 4]. Een breedte van 5 MHz is voor vrijwel *alle* banden gespecificeerd en niet-optioneel.

Analoog aan LTE Cat-1 bij LTE is ook voor 5G NR een 'licht profiel' gedefinieerd (5G RedCap, wat staat voor *Reduced Capabilities*). Ten opzichte van LTE Cat-1 biedt het hogere piekdatasnelheden, lagere latency en lager stroomverbruik. [41]

Na standaardisatie is ondersteuning vanuit fabrikanten van apparatuur ('vendors') een randvoorwaarde. De 450 Alliance publiceert jaarlijks over de status van ondersteuning van LTE450 in eindgebruikersapparatuur. [42] Opvallend daarbij is dat de categorie *handheld mobile* in absolute zin laag scoort, en er ook weinig ontwikkeling lijkt te zijn geweest in de afgelopen jaren. [42, p. 7 figure 3]

In context van 5G richten chipfabrikanten zich, vanwege het voorziene machine-to-machine gebruik en met het oog op het reduceren van kosten, op chipsets met

gereduceerde functionaliteiten (*reduced capabilities* of 'RedCap'). [43] Dit laat zien dat de ondersteuning van (missiekritische) spraak in 5G in de 450-band nog een behoorlijk onzekere toekomst kent.

5G SA en NSA

In de context van 5G wordt veelal onderscheid gemaakt tussen 5G SA (*standalone*) en 5G NSA (*non-standalone*). Met een *standalone* 5G-netwerk wordt een mobiel netwerk bedoeld dat geheel is gebaseerd op 5G-technologie. Met een *non-standalone* 5G-netwerk wordt verwezen naar een mobiel netwerk waarbij de signalering over een LTE-radiokanaal en een LTE-core verloopt, maar wel een 5G-carrier gebruikt wordt voor dataverkeer. Moderne 5G-features (zoals slicing) vereisen een 5G-core, en kunnen dus alleen (goed) worden toegepast in 5G SA-netwerken. Daarnaast hebben eindgebruikersapparaten in NSA-netwerken altijd toegang tot het radionetwerk via LTE nodig om verbinding te kunnen maken met het netwerk.

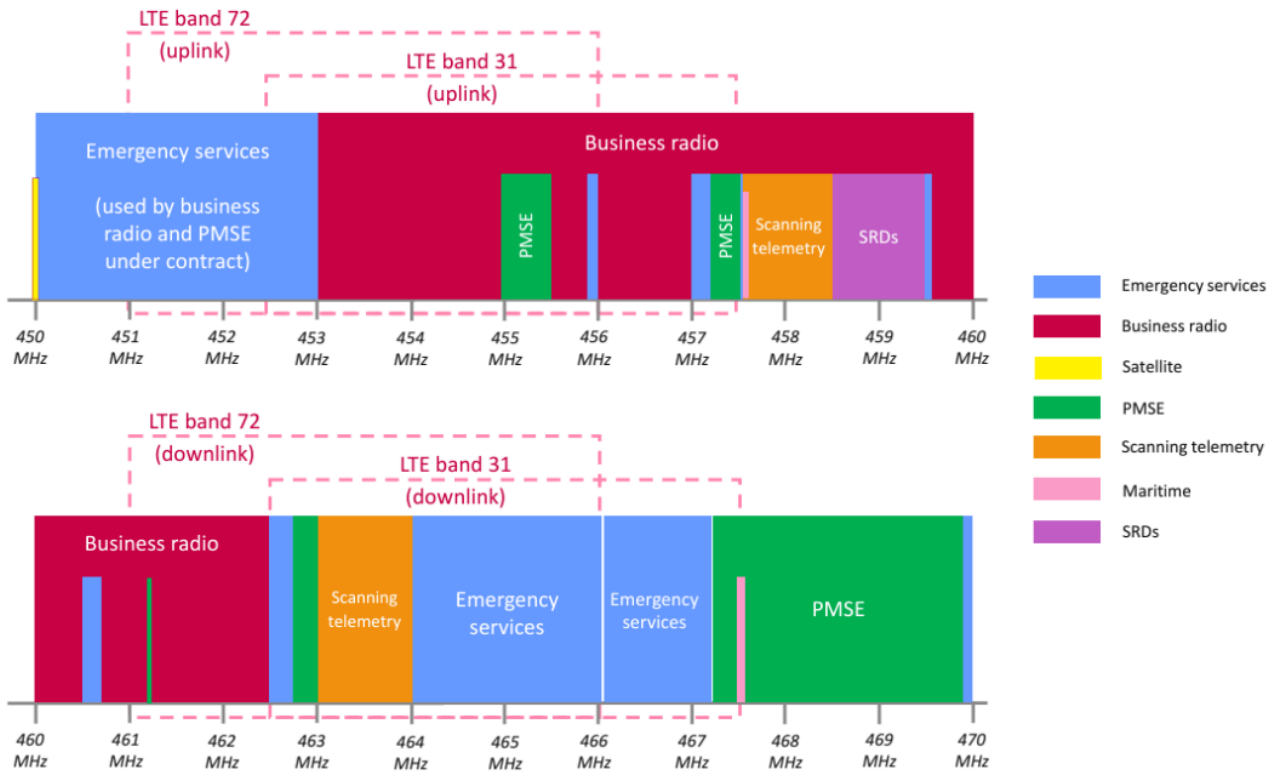
2.5 Interferentie in de 450 MHz-band op zee

Op de Noordzee kan gebruik van frequentieruimte interferentie ondervinden van het gebruik van frequentieruimte door andere landen – op zee of op het vasteland.

2.5.1 Coördinatie met het Verenigd Koninkrijk

In de voorliggende casus is met name het gebruik in het Verenigd Koninkrijk (VK) van belang. In het VK wordt het banddeel 450 – 460 MHz gebruikt voor *downlink* (netwerk richting eindgebruikersapparaat) en het banddeel 460 – 470 MHz voor *uplink* (eindgebruikersapparaat richting netwerk). [44] Dit is precies tegenovergesteld aan wat gebruikelijk is binnen Europa (en tegengesteld aan de specificatie van band 31/72), namelijk dat het onderste deel voor uplink en het bovenste voor downlink wordt gebruikt. De tegenstelling kan er onder andere toe leiden dat relatief zwakke signalen van eindgebruikersapparaten (behorend bij netwerken) van het ene land worden 'overstemd' door relatief sterke signalen van basisstations (van netwerken) uit het andere land.

Figure 5.1: Current use of the 450 MHz band in the UK



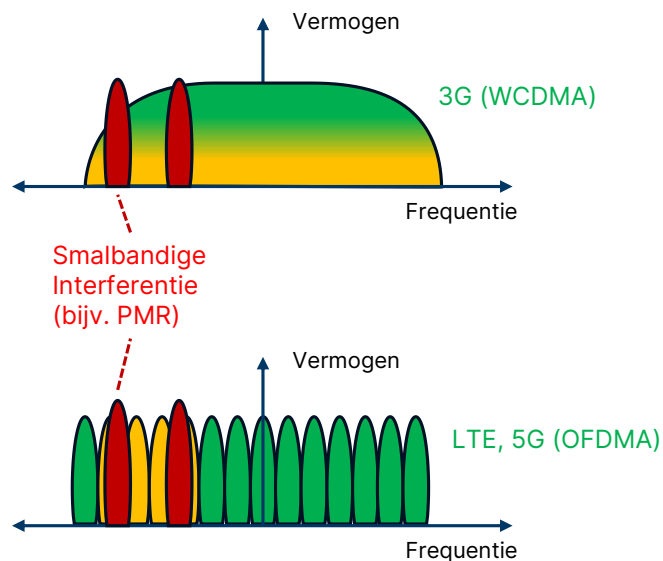
Figuur 11 Gebruik van de 450 MHz-band in het V.K. [44, p. figure 5.1]

Figuur 11 toont het actuele gebruik van de 450-470 MHz-band door het VK. Zoals in Figuur 11 is te zien, is er in de band in het VK (net als in Nederland) met name smalbandig gebruik. Binnen het deel dat in Nederland de PAMR-band wordt genoemd, vinden we *emergency services (used by business radio and PMSE under contract)* en *business radio*. Het betreft hier kortom lokale (PMR-)netwerken en smalbandige audiocommunicatie ten behoeve van omroepen en events. Merk hierbij op dat de mate van het gebruik tijdelijk intensiever zal zijn wanneer er rond de Engelse kust een calamiteit of evenement aan de gang is. We verwachten gezien de specifieke toepassingen in deze band dat het niet aannemelijk is dat dit gebruik binnen ten minste tien jaar zal worden uitgefaseerd.

Het smalbandige gebruik van frequentieruimte tussen 450 – 470 MHz in het VK is op het Nederlandse vasteland merkbaar. Ten gevolge van *ducting*¹⁴ is er op sommige dagen negatieve impact op het CDMA450-netwerk van Utility Connect merkbaar. Hierbij merken we op dat de CDMA-technologie waarschijnlijk relatief slecht in staat is om smalbandige interferentie te mitigeren. Doordat bij CDMA gebruik wordt gemaakt van een *spreading code* heeft een smalbandig stoorsignaal een impact op de gehele

¹⁴ Een situatie waarbij ten gevolge van temperatuurverschillen in de atmosfeer radiosignalen weerkaatsen tegen de atmosfeer, en daardoor vele honderden kilometers kunnen afleggen. [65]

carrier. In het modernere LTE-radioprotocol wordt gebruik gemaakt van een groot aantal subcarriers die in tijd worden toegewezen voor verschillend gebruik (zogenoemde *resource blocks*). Onderstaande Figuur 12 illustreert dit verschil.



Figuur 12 De werking van *interference suppression* in LTE en 5G. Bij *smalbandige interferentie* wordt de kwaliteit van een hele 3G/CDMA-carrier slechter. Bij LTE/5G kunnen alleen specifieke subcarriers (in tijd: *resource blocks*) in LTE tijdelijk niet worden gebruikt.

LTE-radioapparatuur kan over het algemeen goed omgaan met smalbandige interferentie door specifieke *resource blocks* niet in te zetten. Deze functie heet *interference suppression*. Een stoorsignaal van een enkel PMR-netwerk (bijvoorbeeld: 25 kHz-breed en GMSK-gemoduleerd) 'kost' in LTE bijvoorbeeld één *resource block*. Het is daarbij zelfs mogelijk (mits de netwerkapparatuur hiervoor over een slim algoritme beschikt) om dit resource block alsnog in te zetten voor een eindgebruiker met een relatief sterk uplinksignaal (die zich bijvoorbeeld dicht bij het basisstation bevindt).¹⁵

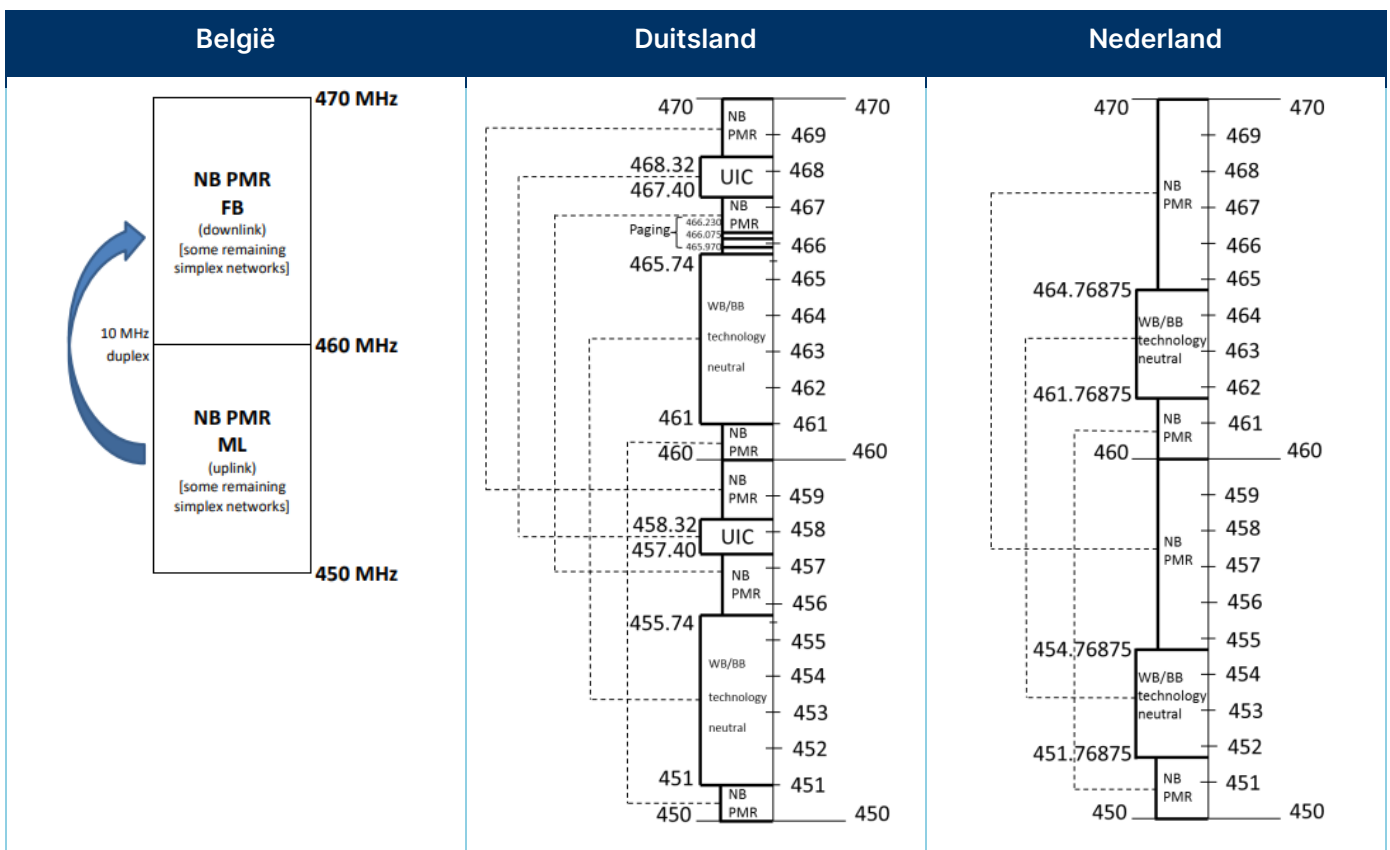
De interferentie vanuit het VK zal op zee sterker merkbaar zijn dan aan land. Desondanks verwachten we dat deze interferentie bij inzet van LTE450 goed te mitigeren zal zijn. Allereerst kan gebruik worden gemaakt van de functies voor *interference suppression* waarover kwalitatieve LTE450-basisstationapparatuur zal beschikken. Daarnaast ligt het voor de hand om het netwerk op zee zo te bouwen dat de basisstation-antennes min of meer gericht zijn op het Nederlandse vasteland. Het signaal van deze basisstations is voor een ontvanger dan altijd sterker dan een signaal van de Engelse

¹⁵ In hogere frequentiebanden kan daarnaast beamforming worden ingezet. Door het gebruik van antennesystemen met meerdere antenne-elementen kunnen signalen in specifieke richtingen versterkt en verzwakt worden bij zenden, en andersom selectiever worden ontvangen uit specifieke richtingen. Met deze technologie kan interferentie dus ook nog eens alleen uit specifieke *richtingen* sterker worden gemitigeerd. De inzet van beamforming en massive MIMO is echter niet praktisch in de 450 MHz-band, omdat de golflengte relatief hoog is, en dit tot relatief zeer grote antennepanelen zou leiden.

kust. Andersom 'kijkt' de basisstation-antenne niet richting de Engelse kust en kan deze de signalen van de eigen eindgebruikers dus goed onderscheiden.

2.5.2 Coördinatie met België en Duitsland

Buurlanden Nederland en Duitsland gebruiken de frequenties tussen 450 – 470 MHz ieder op een eigen manier. Met name (in de buurt van de) (zee)grenzen met België en Duitsland moet hier rekening mee worden gehouden. Onderstaande Figuur 13 toont dit gebruik schematisch. In België is de situatie relatief overzichtelijk – daar is de gehele band uitsluitend in gebruik voor (duplex) PMR-systemen. Duitsland heeft 2×4,75 MHz (451 – 455,75 MHz / 461 – 465,75 MHz) bestemd voor een breedbandnetwerk. Dit deel is in gebruik op basis van LTE450 door 450connect (in band 72). Daarnaast is in Duitsland 2×920 kHz bestemd voor de railsector (UIC). De resterende frequenties zijn bestemd voor PMR. Voor het voorliggende vraagstuk is relevant dat de Nederlandse PAMR-band volledig overlapt met het Duitse breedbandnetwerk en met PMR-gebruik in België. Het Duitse netwerk heeft beschikking over (bijna) de gehele band 72.



Figuur 13 Gebruik van de 450-470 MHz frequentieband in België, Duitsland en Nederland (Q1 2021, bron afbeeldingen: [45])

Nederland heeft met (onder andere) België en Duitsland afspraken gemaakt over het gebruik van de 450 – 470 MHz-band om te voorkomen dat gebruik binnen het eigen land dat van het buurland stoort en vice versa. [46] In 2021 werd deze afspraak uitgebreid met afspraken rondom breedbandig gebruik in de band. [45] De meest recente coördinatieovereenkomst stelt een aantal eisen aan breedbandig gebruik (1 MHz en

groter). Allereerst moet er sprake zijn van 10 MHz *duplex spacing* (verschil tussen downlink- en uplinkfrequentie) en moet het bovenste banddeel worden gebruikt voor downlink en het onderste voor uplink. Daarnaast worden beperkingen aan de gehanteerde vermogens gesteld in verschillende scenario's. Relevant is met name dat een breedbandnetwerk rekening moet houden met een ander netwerk over de grens voor zover deze gebruik maakt van *preferential* frequenties.¹⁶ Op zee is dit mogelijk een grotere uitdaging dan op land, vanwege de betere propagatie van de radiosignalen op zee.

2.5.3 Coördinatie met andere landen

Wanneer het netwerk verder op de Noordzee wordt uitgerold, kan op een gegeven moment ook interferentieproblematiek gaan spelen ten opzichte van gebruik door Denemarken en wellicht zelfs Noorwegen. Met deze landen zijn voor zover bekend op dit moment geen afspraken gemaakt op het gebied van coördinatie in de 450 – 470 MHz-band (zoals met onder andere België en Duitsland wel het geval is). Dergelijke afspraken zijn er sinds 2019 wel voor de 'standaard' LTE-banden (o.a. 700 MHz) tussen Nederland, Denemarken, Duitsland en Noorwegen. [47]

¹⁶ Per 'zone' (grensregio met een bepaalde set betrokken landen) is (in Annex 1 van de overeenkomst [42]) een indeling van de band gemaakt, waarbij ieder land een hoeveelheid 'preferentiële frequenties' toegewezen krijgt. Het land heeft in die zone min of meer 'voorrang' bij het gebruik van deze preferentiële frequenties.

3 SWOT-analyse

Tabel 3 toont de resultaten van de SWOT-analyse die de onderzoekers hebben uitgevoerd op basis van het eigen literatuur- en bronnenonderzoek en de gesprekken met belanghebbenden en experts. Deze SWOT-analyse vertrekt niet (zoals deze traditioneel wordt ingezet) vanuit het perspectief van een *organisatie*, maar vanuit het plan een LTE450-netwerk te realiseren op zee. Hoewel buiten scope van het onderzoek kan het voor Rijkswaterstaat relevant zijn om ook vanuit perspectief van de eigen organisatie een soortgelijke analyse uit te voeren voor wat betreft connectiviteit op zee. Onder de tabel worden de punten uit de SWOT-analyse één voor één toegelicht.

Tabel 3 SWOT-analyse (sterktes, zwaktes, kansen, bedreigingen) voor een netwerk op zee voor missiekritische communicatie op basis van LTE-M in 450 MHz

	Positieve punten	Negatieve punten
Interne factoren	<p>Sterktes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Er lijkt op dit moment wereldwijd voldoende momentum voor gebruik van LTE/5G in de 450 MHz-band, met name vanuit de hoek van nutsbedrijven • TETRA-netwerken kunnen met een gateway gekoppeld worden aan 3GPP MCX-platforms. • Met de 450 MHz-frequenties is op zee relatief snel veel dekking te realiseren, met beperkte impact van te verwachten interferentie. • De 450 MHz-band is niet in gebruik door andere gebruikers (i.t.t. reguliere LTE/5G-banden). • Er is zekerheid over de beschikbaarheid van spectrum tot 2050. 	<p>Zwaktes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ondersteuning voor Band 31/72 (450 MHz) is niet standaard aanwezig in huidige toestellen en blijft mogelijk beperkt. • Er zijn geen portofoons op de markt die TETRA combineren met LTE450 • De 2x3 MHz in de 450 MHz-band is te beperkt voor data-intensieve (video-)toepassingen • Ondersteuning van (missiekritische) spraak op basis van LTE-M is problematisch • Op korte termijn zijn alternatieven voor 3GPP MCX (afhankelijk van de toepassing) wellicht eenvoudiger en meer <i>proven</i> voor missiekritische communicatie op zee • Coördinatie met buurlanden kan leiden tot beperkingen voor inzet van LTE450.
Externe factoren	<p>Kansen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Het netwerk kan losstaan van openbare mobiele netwerkinfrastructuur, wat voordelen kan opleveren op het gebied van controle, security en <i>life cycle management</i>. • LTE450 zou kunnen functioneren als 'ultieme terugvaloptie' voor missiekritische spraak en data. 	<p>Bedreigingen</p> <ul style="list-style-type: none"> • De beschikbaarheid van 1,5 MHz c.q. 3 MHz leidt mogelijk tot beperkte inzetbaarheid voor missiekritische spraak. • Uitrol van openbare mobiele netwerken biedt op termijn veel meer bandbreedte, vergelijkbare functionaliteit en mogelijk meer redundantie (o.b.v. 3GPP MCX). • Satellite direct-to-device wordt steeds breder beschikbaar

Positieve punten	Negatieve punten
<ul style="list-style-type: none"> • Er is op zee voornamelijk beperkt aanbod van missiekritische spraakconnectiviteit over grotere gebieden. • De pilot kan een proeftuin zijn voor inzet van 3GPP MCX, waaruit inzichten kunnen komen die relevant zijn voor VMX. 	<ul style="list-style-type: none"> • (Pad)afhankelijkheid van Utility Connect en 450 MHz is een risico • Ruimte op opstelpunten (op zee) is waarschijnlijk schaars

3.1 Sterktes

Er lijkt op dit moment wereldwijd voldoende momentum voor gebruik van LTE/5G in de 450 MHz-band, met name vanuit de hoek van nutsbedrijven.

In diverse landen zijn netwerken op basis van LTE450 actief; onder andere in Duitsland (450connect), Polen (PGE en Plus), Ierland (ESB), Denemarken (Cibicom), Finland (Elisa), Spanje (Mol) en Italië (defensie). Deze netwerken zijn in eerste instantie gericht op datacommunicatie, maar in een aantal netwerken wordt ook een spraakdienst geboden. Een openbaar 450-netwerk in Noorwegen (Lyse) wordt uitgefaseerd en vervangen door een netwerk uitsluitend ten behoeve van professioneel gebruik. Er zijn daarnaast enkele installaties bekend die primair op spraak zijn gericht. De 450 Alliance bericht onder andere over netwerken in Singapore (push-to-talk en data) en Noorwegen. Daarnaast zou er een groot netwerk op basis van LTE450 zijn in Rusland (naar schatting twee miljoen handsets) [48], al is gezien de huidige geopolitieke situatie uiteraard de vraag of dit van enige positieve invloed is op het mondiale momentum voor LTE450.

Recent zijn door Qualcomm nieuwe chipsets geïntroduceerd die ondersteuning bieden voor 5G in de 450 MHz-band. Deze chipsets (QCS8550/QCS6490) zijn primair gericht op IoT-toepassingen, maar ook geschikt voor industriële en 'ruggedized' eindgebruikersapparaten. [49]

Een van de *launching customers* daarvan is het Saudische Aramco, dat een 450 MHz-netwerk inricht ten behoeve van specifieke IoT-behoefte in de industrie. [50] De door de Saudische overheid verleende vergunning verplicht (afgaand op de voorwaarden die voorafgaand aan de verlening werden gesteld) het aanbieden van een (push-to-talk en group calling) spraakdienst en het aanbieden van twee soorten datadiensten (één gericht op IoT met een bandbreedte van 200 kbit/s met een minimum datavolume van 50 MB per maand per gebruiker, en een andere met een minimumbandbreedte van 1 Mbit/s voor een datavolume van minimaal 500 MB per maand per gebruiker). [51, pp. 27, 5.3.1a]

Uiteraard zijn chipsets die LTE(-M) 450 ondersteunen al langer op de markt. Ook hier ligt de focus echter op IoT-toepassingen en niet zozeer op spraak. De beschikbaarheid van handsets voor missiekritische spraaktoepassingen is nog zeer beperkt, en hier lijkt

ook weinig ontwikkeling in plaats te vinden. Een onzekerheid is in hoeverre de lancering van de bovengenoemde chipsets voor 5G450 ook zal leiden tot hernieuwing van dit aanbod.

TETRA-netwerken kunnen met een gateway gekoppeld worden aan 3GPP MCX-platforms.

De integratie van 'moderne' missiekritische spraaknetwerken op basis van 3GPP MCX met TETRA maakt de weg vrij voor uitrol ervan. Het feit dat wereldwijd wordt gekeken naar 3GPP MCX voor migratie van TETRA-netwerken geeft daarnaast voldoende vertrouwen in de toekomstvastheid van het ecosysteem voor dergelijke oplossingen.

Tot slot is nog relevant op te merken dat BroadMap in 2018 een SWOT-analyse gaf ten aanzien van de inzet van 3GPP MCX voor PPDR. [52] Omdat het voorliggende netwerk ook op 3GPP MCX gebaseerd is, is het relevant de conclusies uit die analyses na te lopen. De belangrijkste conclusie is wellicht de kans die wordt gesignaleerd voor 3GPP MCX als technologie voor harmonisatie binnen Europa. Hoewel de analyse in 2018 ook aangeeft dat implementatie van 3GPP MCX nog niet volwassen is, worden de 3GPP-oplossingen wel gezien als de facto-standaard voor de langere termijn. Het 3GPP-pad lijkt ook nu het (enige) juiste.

Met de 450 MHz-frequenties is op zee relatief snel veel dekking te realiseren, met beperkte impact van te verwachten interferentie.

De 450 MHz-band is vanwege de propagatie-eigenschappen geschikt om een groot gebied te bedekken. We verwachten dat wanneer dit wordt gedaan op basis van LTE of 5G de eventuele verstoring vanuit het VK goed te mitigeren is, door gebruik te maken van *interference suppression* (waarvan de ondersteuning in de LTE/5G450-basisstationapparatuur dan wel een noodzakelijke randvoorwaarde is) en door het netwerk zodanig in te richten dat de basisstations richting de Nederlandse kust 'kijken'.

Zoals elders opgemerkt is de 450 MHz-band op zichzelf geen vereiste voor het realiseren van de dekking. Over het algemeen zijn de propagatiecondities op de Noordzee goed. Tampnet, KPN en Odido laten zien dat ook op basis van de 700 MHz een (naar eigen zeggen) goed dekkend netwerk kan worden gerealiseerd.

De 450 MHz-band is niet in gebruik door andere gebruikers (i.t.t. reguliere LTE/5G-banden).

Een van de voordelen die de 450 MHz-band zou hebben ten opzichte van 'reguliere' LTE- en 5G-banden, is dat de band niet wordt gebruikt voor openbare mobiele netwerken. Een mogelijk nadelig gevolg van het gebruik van reguliere banden is dat smartphones van passagiers van grote cruiseschepen veel verbindingspogingen maken met het netwerk, waardoor het netwerk problemen zou kunnen gaan ondervinden. We betwijfelen de mate waarin dit probleem zich in de praktijk ook daadwerkelijk zal voordoen. De ontbrekende ondersteuning voor de 450 MHz-band in courante

apparatuur is juist vooral een nadeel omdat dat betekent dat het ecosysteem voor (ook eindgebruikersapparaten voor missiekritisch gebruik) minder groot is.

Een ander aspect is dat in de 450 MHz-band, in tegenstelling tot de 'reguliere' LTE- en 5G-banden, rekening moet worden gehouden met andere vormen van gebruik die mogelijk interferentie kunnen opleveren. In deze casus zien we specifiek het smalbandige gebruik in het VK. Dit lijkt echter geen noemenswaardige knelpunten op te leveren.

Er is zekerheid over de beschikbaarheid van spectrum tot 2050.

De vergunning voor het gebruik van de 450 MHz-band is vastgelegd tot 2050. Dat geeft afnemers meer dan 25 jaar zekerheid – een pluspunt dat ook wordt aangevoerd door de 450alliance. [53] Een kanttekening hierbij is dat Utility Connect pas vanaf 2035 'volwaardig' LTE op het vasteland zou kunnen inzetten, en daar ook pas vanaf dat moment 3GPP MCX mogelijk wordt. Op dat moment is de resterende tijdsperiode nog maar 15 jaar (nog altijd relatief lang). Hierbij is mogelijk ook nog relevant dat de opvolger van C2000 tegen 2035 operationeel zou moeten zijn.

3.2 Zwaktes

Ondersteuning voor Band 31/72 (450 MHz) is niet standaard aanwezig in huidige toestellen en blijft mogelijk beperkt.

De 450 MHz-band wordt niet standaard ondersteund in de meeste eindgebruikersapparatuur. Een (historische) reden hiervoor is dat vanwege de lage golf lengte er specifieke antenne-hardware nodig zou zijn in de toestellen. Daarnaast kan de band op dit moment alleen worden gecombineerd met andere banden op basis van zogenoemde *dual chip*-oplossingen, wat leidt tot hogere kosten van handsets en het uitvoeren van aanvullende tests ter verificatie vereist. Strict sprak in 2020 de verwachting uit dat de markt voor spraakapparatuur een niche zal blijven. [54, p. 18]

Het ecosysteem voor 450 MHz lijkt zich echter langzaam maar zeker te vergroten. [54] De focus hierbij ligt echter vooralsnog primair op machine-to-machine/IoT-toepassingen en de daarbij benodigde LTE(-M) en NB-IoT-modules, en in (veel) mindere mate op spraak.

In de professionele markt zijn ook handsets beschikbaar die LTE450 (en soms 5G450) combineren met 'regulier' LTE (c.q. 5G). Tabel 4 toont een greep uit het aanbod, voornamelijk gebaseerd op de door het Duitse 450connect genoemde modellen. [55] Met de introductie van de nieuwe chipsets van Qualcomm is de verwachting dat ook *single chip* ondersteuning van zowel de 450-banden als andere banden uiteindelijk (vanaf begin 2026) mogelijk zal zijn.

Tabel 4 Handsets die ondersteuning voor 450 MHz combineren met andere banden (niet-uitputtend)

Model	Ondersteuning in 450 MHz	Ondersteuning buiten 450 MHz
<u>Solutionforpros R450</u>	LTE: 31, 72, 87	LTE: 1, 2, 3, 5, 7, 8, 18, 19, 20, 25, 26, 28a, 28b, 38, 39, 40, 41
<u>RugGear RG780</u> QCM5430	LTE: 31, 72, 87	LTE: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 17, 20, 26, 28, 32, 66, 68 (FDD). 38, 39, 40, 41, 42, 43, 48 (TDD)
<u>RugGear RG760</u>	LTE: 31	LTE: 1, 3, 5, 7, 8, 20, 28 (FDD), 38, 39, 40, 41 (TDD), 34, 39 (TD-SCDMA)
<u>Cyrus CM450XA</u>	LTE: 31, 72 (SIM 2)	LTE: 1, 3, 4, 5, 7, 8, 12, 13, 17, 20, 28, 29, 38, 40, 41, 66
<u>Cybertel LM75</u>	LTE: 31, 72, 87	LTE: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 25, 26, 28, 29, 32, 34, 38, 39, 40, 41, 66, 71 5G: n1, n2, n3, n5, n8, n12, n20, n25, n28, n38, n40, n41, n66, n71, n77, n78, n79
<u>Nokia Industrial</u> HHRA404f SM6115/GDM7243ST	LTE: 72	LTE: Diverse, waaronder 28 en 42

Desondanks lijkt deze markt er een van ‘specials’ en niet een van volume: de beschikbaarheid is nog sterk afhankelijk van de specifieke vereisten in een casus en het aantal gevraagde handsets. Afnemers van missiekritische communicatie maken daarentegen liever geen gebruik van exotische oplossingen. [56, p. 12] Een groot ecosysteem leidt daarnaast tot meer keuzevrijheid en lagere prijzen voor afnemers.

Er zijn geen portofoons op de markt die TETRA combineren met LTE450.

Voor scenario’s waarin hulpverleners met een portfoon zowel op zee als op land moeten kunnen communiceren met een TETRA-netwerk, is een portfoon met ondersteuning voor zowel TETRA als LTE450 nodig (het alternatief is een portfoon die alleen LTE450 ondersteunt, maar dan moet op land ook gebruik worden gemaakt van het netwerk van Utility Connect). Handsets die zowel TETRA als LTE450 ondersteunen zijn er echter op dit moment niet. We zien inmiddels wel handsets op de markt die TETRA combineren met ondersteuning voor andere, reguliere LTE- en 5G-banden.

De 2×3 MHz in de 450 MHz-band is te beperkt voor data-intensieve (video-)toepassingen.

In 2×3 MHz aan spectrum in band 72 kan LTE of 5G worden ingezet met een carrier van 3 MHz breed, of twee carriers op basis van LTE-M (2×1,4 MHz).

Vergeleken met de bredere carriers die in LTE/5G-netwerken worden gebruikt (vanaf 5 MHz tot enkele honderden in de 3,5 GHz-band) is de capaciteit hiervan navenant beperkter (daar staat uiteraard tegenover dat de capaciteit per gebruiker in openbare

mobiele netwerken lager kan zijn op locaties waar zich veel gebruikers bevinden en deze capaciteit moeten delen).

Daar komt bij dat LTE-M aanvullende concessies doet ten behoeve van machine-to-machinetoepassingen. Cruciaal is dat LTE-M geen broadcastkanaal ondersteunt, waardoor 3GPP MCX (waaronder in het bijzonder de missiekritische spraakfunctie) over LTE-M niet (conform de standaard) mogelijk is.

Een andere beperking is dat de Nederlandse PAMR-band is gelimiteerd tot 2×3 MHz. Het harmoniseren van deze band of het mogelijk maken van gedeeld gebruik zou 2×5 MHz beschikbaar maken, wat substantieel meer capaciteit oplevert. [54] Dit is complex op het vasteland, omdat de naastgelegen frequentieruimte wordt gebruikt door grote aantallen lokale PMR-netwerken, die dan zouden moeten worden gemigreerd.

Aanvullende capaciteit (ook voor niet-missiekritische toepassingen) zou moeten worden gerealiseerd op basis van andere frequentiebanden en wellicht andere netwerken (bijvoorbeeld die van KPN/Odido/Tampnet in de 700 MHz op de Noordzee) of zelfs satellietconnectiviteit.

Ondersteuning van (missiekritische) spraak op basis van LTE-M is problematisch.

Wanneer moet worden uitgegaan van de aan Utility Connect vergunde frequentieruimte (2×1,5 MHz en later 2×3 MHz voor LTE450), dan moet gebruik worden gemaakt van de LTE-M-standaard waarin de benodigde smallere carriers van 1,4 MHz worden ondersteund. De LTE-M-standaard is van origine ontwikkeld voor machine-to-machinetoepassingen (zoals slimme meters en andere sensoren) en ontbeert daarom een aantal functionaliteiten in het radioprotocol, die regulier LTE wel heeft. Inzet van LTE-M maakt de toepassing een *special* waarvoor specifieke hardware en ondersteuning moet worden gevonden, wat een risico kan vormen voor de houdbaarheid in de toekomst, en/of tot hogere kosten kan leiden.

Technisch gezien sluit het gebruik van LTE-M (in plaats van regulier LTE) het gebruik van spraaktoepassingen over het netwerk niet uit. LTE-M heeft weliswaar een hogere latency dan 'regulier' LTE, wat niet bevorderlijk is voor missiekritische toepassingen. VoLTE (voice over LTE) zou echter ondersteund worden door LTE-M, maar inzet daarvan is niet gangbaar. [57] Zolang er dataconnectiviteit is kan er overigens altijd nog *over-the-top* een oplossing worden gerealiseerd.

Het is onzeker of 3GPP MCX kan worden ingezet op basis van LTE-M. LTE-M biedt geen ondersteuning voor *broadcast*-functionaliteit in het radioprotocol, en dat zou volgens een van de respondenten het gebruik van 3GPP MCX uitsluiten. Missiekritische spraak op basis van 3GPP MCX kan in dat geval pas worden ondersteund wanneer er 2×3 MHz aan spectrum beschikbaar is, waarin een volwaardige LTE/5G-carrier kan worden geplaatst. Hierbij is noodzakelijk dat LTE-M *in band* wordt gerealiseerd zodat

bestaand gebruik van LTE-M (in het geval van Utility Connect: grote aantallen slimme meters) kan blijven plaatsvinden.

Op korte termijn zijn alternatieven voor 3GPP MCX (afhankelijk van de toepassing) wellicht eenvoudiger en meer *proven* voor missiekritische communicatie op zee.

De 3GPP MCX-technologie is relatief nieuw en complex. Afhankelijk van het toepassingsscenario ligt op korte termijn de inzet van andere technologieën wellicht meer voor de hand. Daarbij kan gedacht worden aan TETRA, maar ook aan eenvoudigere technologieën als DMR. Op de langere termijn wordt wereldwijd gemigreerd naar oplossingen op basis van 3GPP-netwerken en 3GPP MCX.

De toekomst van TETRA

De TETRA-technologie wordt, ondanks de leeftijd ervan, wereldwijd ingezet voor missiekritische spraakcommunicatie. Vele landelijke netwerken voor hulpdiensten zijn gebaseerd op TETRA. Relevant voor dit onderzoek is dat TETRA ook op zee wordt ingezet. Leveranciers van TETRA-oplossingen geven aan dat de technologie onverminderd relevant is, en er zowel nieuwe netwerken worden uitgerold als wordt vervangen.

TETRA is een *proven* technologie, die in vergelijking met de 3GPP MCX-opvolger veel eenvoudiger in elkaar zit. De kosten voor het realiseren van een kleinschalig TETRA-netwerk zijn vele malen lager dan het realiseren van een volwaardig 3GPP MCX-systeem: een basisstation is aan te schaffen voor ongeveer € 20.000,- en portofoons zijn te koop voor enkele honderden euro's per stuk. Bij een 3GPP MCX-netwerk zijn beide duurder.¹⁷

Een belangrijk kritiekpunt op TETRA betreft de digitale veiligheid ervan. De encryptie van communicatie en authenticatie van gebruikers binnen TETRA is zwak gebleken. Een leverancier en TCCA [58] geven aan dat deze beperkingen te mitigeren zijn. Het NCSC geeft aan dat naast het toepassen van het TEA3-algoritme voor encryptie ook gebruik kan worden gemaakt van aanvullende codering (end-to-end). [59] Daarnaast wordt de TETRA-standaard op deze punten nog altijd doorontwikkeld.

Voor wat betreft datacommunicatie biedt TETRA slechts zeer beperkte capaciteit en mogelijkheden, die niet aansluiten bij hedendaagse (internet)standaarden.

¹⁷ Daarnaast zijn er diverse andere extra kosten die relevant zijn om te noemen: wanneer (ook) gebruik wordt gemaakt van openbare mobiele netwerken spelen abonnementskosten per gebruiker. Wanneer een TETRA IWF-gateway wordt ingezet zijn er licentiekosten van enkele tientjes per gebruiker per maand.

Coördinatie met buurlanden kan leiden tot beperkingen voor inzet van LTE450.

In buurlanden (met name België, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk) wordt de frequentieband voor het LTE450-netwerk gebruikt voor andere toepassingen. Omdat het LTE450-netwerk een breedbandig netwerk is dat goed kan worden ingericht op smalbandige stoorbronnen, zijn de effecten van interferentie van dit gebruik op het netwerk minimaal. Andersom kan het netwerk echter wel negatieve impact veroorzaken op smalbandige gebruikers over de grens. Afspraken tussen Nederland en de andere landen stellen daarom beperkingen op het gebruik van de frequentieruimte. Deze beperkingen (met name ten aanzien van de hanteerbare vermogens) spelen een rol binnen enkele tientallen kilometers van de grens (op zee helpt de goede signaalpropagatie hierbij uiteraard niet mee).

3.3 Kansen

Het netwerk kan losstaan van openbare mobiele netwerkinfrastructuur, wat voordelen kan opleveren op het gebied van controle, security en *life cycle management*.

Het te realiseren LTE450-netwerk kan in principe volledig losstaan van openbare mobielnetwerkinfrastructuur. Een mogelijke insteek is om gebruik te maken van eigen basisstations, antennes, backhaul- en coreverbindingen en core-infrastructuur. Het huidige (CDMA450-) en toekomstige (LTE450-)netwerk van Utility Connect staat eveneens los van openbare mobiele netwerken. Deze onafhankelijkheid geeft een aantal mogelijke voordelen:

- Onafhankelijkheid van factoren die mobiele netwerken (negatief) kunnen beïnvloeden, zoals een grootschalige hack of verstoring daarvan.
- Het te realiseren netwerk kan minder complex zijn dan een openbaar mobiel netwerk, waardoor de beveiligingsaspecten daarvan overzichtelijker kunnen zijn.
- Migraties van technologie of configuratie (bijvoorbeeld om het beveiligingsniveau te verhogen) zijn wellicht makkelijker te realiseren in een netwerk met een kleiner aantal gebruikers en verschillende soorten handsets. Er is meer invloed op deze keuzes omdat geen rekening hoeft te worden gehouden met een zeer grote groep andere gebruikers (die ook nog eens verantwoordelijk is voor een veel groter deel van de omzet van een operator).
- Sommige randfactoren zijn mogelijk eenvoudiger te realiseren bij een losstaand netwerk dan in mobiele netwerken. Een voorbeeld is battery back-up. Het stroomverbruik van basisstations is hoger wanneer deze ook worden gedeeld met andere (consumenten)gebruikers. Dit betekent dat het realiseren van een *battery back-up* lastiger is (in een openbaar netwerk moet ofwel extra vermogen worden aangelegd om ook het 'consumentendeel' te kunnen voorzien van stroom, of zou dit op een of andere manier gesplitst moeten worden). Soortgelijke aspecten kunnen spelen rondom bijvoorbeeld de dimensionering

van een mast (grotere antennes hebben een zwaardere mast nodig), backhaul-verbindingen, et cetera.

Het feit dat het netwerk losstaat heeft een belangrijk nadeel, en dat is dat niet (direct of volledig) geprofiteerd kan worden van de schaal en expertise waarover de mobiele netwerkoperators beschikken. Er is eigen (schaars) personeel nodig om het netwerk te kunnen inrichten en onderhouden, en dit vormt een mogelijk risico voor de langere termijn.

LTE450 zou kunnen functioneren als 'ultieme terugvaloptie' voor missiekritische spraak en data.

Het is niet aannemelijk – ondanks de inspanningen van het CFNS – dat het aanbod van digitale connectiviteit op zee in de toekomst het niveau van het aanbod op het vasteland zal evenaren. Voor spraak- en datatoepassingen op zee zijn er minder draadloze infrastructuren die kunnen worden gecombineerd ten behoeve van redundantie. Een LTE450-netwerk dat volledig losstaat van andere netwerken kan een waardevolle toevoeging zijn op dit vlak.

Vanwege de beperkte hoeveelheid beschikbaar spectrum is het LTE450-netwerk niet geschikt voor grote hoeveelheden dataverkeer of aantallen gebruikers. Het netwerk zou nadrukkelijk gepositioneerd kunnen worden als terugvaloptie en kanaal voor IoT-toepassingen met weinig dataverkeer. Omdat het netwerk geïsoleerd is, is het wellicht eenvoudiger om missiekritische vereisten hiervoor te realiseren – zoals noodstroomvoorziening¹⁸ – dan voor de openbare netwerken op zee (zoals van Tampnet). Er bestaan daarnaast SIM-oplossingen waarmee snel geswitcht kan worden tussen netwerken afhankelijk van beschikbaarheid en prestaties van het netwerk. [60]

Daar staat tegenover dat dit voor smalbandige (lokale) systemen nog veel eenvoudiger is vanwege het lagere energieverbruik en lagere complexiteit. Daarnaast is LTE450 niet geschikt als terugvaloptie zonder specifieke ondersteuning hiervoor in de eindgebruikersapparaten.

¹⁸ Voorziening die ervoor zorgt dat een basisstation van stroom voorzien blijft voor een bepaalde tijd wanneer de stroomvoorziening wordt onderbroken. Utility Connect heeft haar basisstations op land ingericht met 48 uur noodstroomvoorziening. (it.t. 72 uur genoemd in [45]).

LTE450 als terugvaloptie voor VMX op land

De opvolger van C2000 zal waarschijnlijk worden gerealiseerd op basis van 3GPP MCX, waarbij een combinatie van openbare mobiele netwerken en (regionaal of ad-hoc) eigen infrastructuur in eigen frequentieruimte wordt ingezet. In dit scenario zou het LTE450-netwerk van Utility Connect (tegen die tijd) uiteraard ook kunnen worden ingezet als ultieme terugvaloptie. Randvoorwaarde hiervoor is de ondersteuning van LTE450 in de gebruikte handsets. Het is denkbaar dat hulpverleners die (ook) op zee moeten werken, worden uitgerust met een portofoon met LTE450-ondersteuning die dan op land en op zee te gebruiken zou zijn.

Er is op zee vooralsnog beperkt aanbod van missiekritische spraakconnectiviteit over grotere gebieden.

Hoewel KPN, Odido en Tampnet een behoorlijke dekking hebben weten te realiseren op de Noordzee, is het aanbod op zee nog altijd een stuk beperkter dan op het vasteland. Daarnaast stellen we vast dat er geen 'dedicated' netwerk(aanbieder) is voor missiekritische communicatie op zee over grotere gebieden (o.a. Tampnet levert wel missiekritische communicatie aan specifieke gebruikers).

Een nieuwe missiekritische communicatiedienst op basis van 450 MHz-spectrum voegt een nieuwe optie toe voor missiekritische spraakcommunicatie. Het is echter de vraag of het niet een betere route is om (eventueel naast het uitrollen van LTE450) samen met operatoren als Tampnet te werken aan het verbeteren van de dekking op basis van 700 MHz en eventueel andere reguliere banden. Hiermee wordt in feite aangesloten op de route die voor VMX is ingeslagen. Daarnaast kan zo ook de niet-kritische behoefte worden geadresseerd.

De pilot kan een proeftuin zijn voor inzet van 3GPP MCX, waaruit inzichten kunnen komen die relevant zijn voor VMX.

Wereldwijd wordt voor migratie van PPDR-netwerken op basis van onder andere TETRA gekeken naar netwerken op basis van 3GPP-technologie. Dit geldt ook voor VMX, de opvolger van het C2000-netwerk. Hierbij is het de bedoeling om gebruik te maken van een mix van infrastructuur, waaronder openbare mobiele netwerken. In de migratie naar het nieuwe netwerk spelen diverse uitdagingen en onbekenden. Het 450-netwerk op zee, op basis van 3GPP MCX en gekoppeld met C2000, zou hiervoor nuttige inzichten kunnen opleveren (bijvoorbeeld ten aanzien van de compatibiliteit met specifieke inrichtingen van TETRA in C2000 met 3GPP MCX, bij inzet van TETRA IWF).

3.4 Bedreigingen

De beschikbaarheid van 1,5 MHz c.q. 3 MHz leidt mogelijk tot beperkte inzetbaarheid voor missiekritische spraak.

De Nederlandse PAMR-band is 2×3 MHz breed, waarbij Utility Connect in eerste instantie 2×1,5 MHz en (vanaf 2035) 2×3 MHz kan inzetten voor LTE450 vanwege het migreren van CDMA450 naar LTE450.

In de internetconsultatie van het beleidsvoornemen voor het toekomstig gebruik van de PAMR-band werd door onder andere de 450alliance al aangekaart dat de beschikbaarheid van 2×3 MHz een beperking oplevert. [53] 450alliance geeft als belangrijkste argument dat de efficiëntie van LTE-M in 2×1,4 MHz relatief laag is vergeleken met LTE in 2×3 MHz of 2×5 MHz.

Een belangrijkere beperking in het kader van missiekritische spraak is dat LTE-M in het radioprotocol geen ondersteuning biedt voor *broadcast*, een functie die mogelijk nodig is op 3GPP MCX toe te passen. Hierdoor kan bijvoorbeeld geen gebruik worden gemaakt van 'standaard' 3GPP MCX-toestellen maar moet met een speciale oplossing worden gewerkt. Ook wanneer Utility Connect uiteindelijk 2×3 MHz kan inzetten op basis van LTE speelt dat LTE-M *in-band* in stand moet worden gehouden, omdat de slimme meters deze technologie gebruiken. LTE-M neemt in dat geval ongeveer de helft van de band en (wanneer er geen verkeer is: idle) 20% van de capaciteit in beslag. De beschikbare radiocapaciteit kan echter wel zeer dynamisch worden toegewezen aan de LTE-M-carrier of regulier LTE. [61]

Tot slot beperkt de beschikbare hoeveelheid spectrum de capaciteit van het communicatiesysteem. Bij LTE450 in 2×3 MHz zouden ongeveer 10 gelijktijdige gesprekken per cel mogelijk moeten zijn. Bij 2×5 MHz is dit aantal hoger, en is meer ruimte voor omgang met (tijdelijke) interferentie.

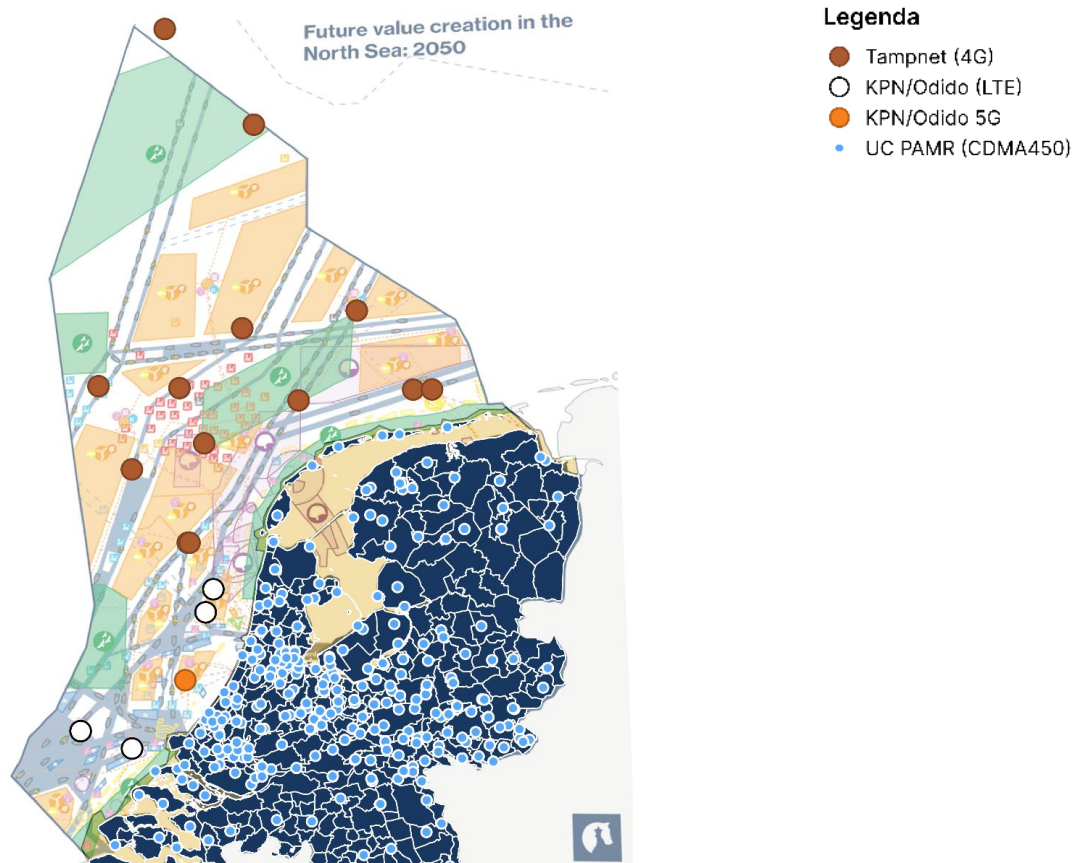
Uitrol van openbare mobiele netwerken biedt op termijn veel meer bandbreedte, vergelijkbare functionaliteit en mogelijk meer redundantie (o.b.v. 3GPP MCX).

De beschikbaarheid van mobiele connectiviteit op zee is de afgelopen jaren sterk verbeterd. Zowel Odido als KPN als het Deens-Noorse Tampnet bieden dekking op grote delen van de Noordzee (hetzij met eigen infrastructuur en frequenties, hetzij als roamingpartner) op basis van LTE en 5G. Van Tampnet weten we dat het hierbij op specifieke locaties voor specifieke klanten ook gaat om missiekritische dienstverlening. Deze dekking is gebaseerd op (onder andere) frequenties in de 700 MHz-band, die voor wat betreft dekking niet veel onderdoet voor de 450 MHz-band, veel beter wordt ondersteund in eindgebruikersapparatuur, en waarvan ook nog eens méér spectrum beschikbaar is. Daarbij kunnen de 'generieke' mobiele netten een naadloze combinatie van missiekritische communicatie (voor spraak en specifieke data) en niet-kritische (bijvoorbeeld voor niet-essentiële videofeeds) bieden, wat voor een aanbieder die specifiek gericht is op dienstverlening in de 450 MHz-band veel lastiger is: die aanbieder

beschikt dan immers niet over alternatieve connectiviteit en daarnaast is de apparatuur die 450 MHz combineert met andere banden slecht of niet verkrijgbaar.

Figuur 14 toont de locaties van antenne-opstelpunten voor 4G en 5G op zee, voor zover geregistreerd en bekend bij RDI in het Antenneregister. Op land zijn de opstelpunten van Utility Connect ten behoeve van het CDMA450 PAMR-netwerk getekend. De ondergrond van de kaart is het overzicht van de door HCSS verwachte activiteiten op de Noordzee in 2050 – een afbeelding die ook dient als richtsnoer voor het CFNS. [1]

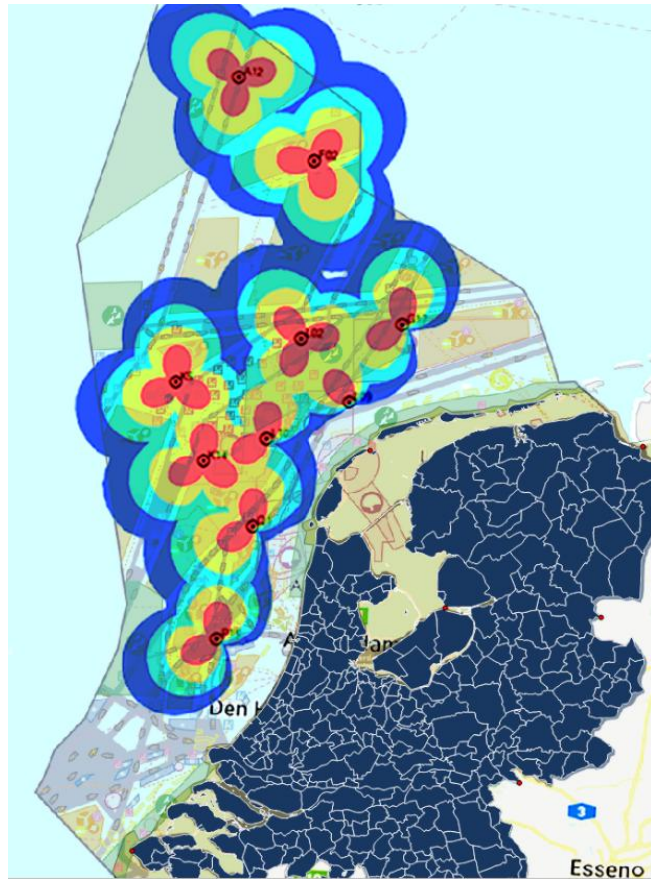
Op zee vinden we 4G- en 5G-opstelpunten van KPN, Odido en Tampnet. Van KPN en Tampnet is bekend dat ze samenwerken. Hoe de samenwerking precies in elkaar zit is niet duidelijk; Stratix [62] [56] geeft aan dat KPN frequenties uitleent aan Tampnet. Tampnet en Odido hebben daarnaast vergunningen verworven in de 700 MHz-band. [17] KPN gaf in 2019 aan 5000 km² aan 4G-dekking te kunnen bieden op de Noordzee. [15] KPN zou eigen systemen hebben op locaties in de buurt van de Rijnmond. Op de transformatorplatformen van TenneT (ten noorden van Nederland) is T-Mobile (nu Odido) gecontracteerd.



Figuur 14 Huidige 4G- en 5G-opstelpunten op de Noordzee, en huidige PAMR-opstelpunten van Utility Connect op land¹⁹

Figuur 15 toont de dekking die KPN in 2019 al aangaf te hebben gerealiseerd op de Noordzee, in samenwerking met Tampnet. [15] Inmiddels geeft Tampnet aan zo ongeveer het hele gebied te hebben voorzien van 4G-dekking, zoals getoond in Figuur 16. Een kanttekening bij deze kaarten is dat deze geen indicatie geven van de bruikbaarheid in de praktijk.

¹⁹ Bronnen van onderliggende gegevens: [Antenneregister RDI](#), [Antennekaart.nl](#); bron kaartlagen: CBS, HCSS [42].



Figuur 15 4G-dekking van KPN in samenwerking met T-Mobile op de Noordzee (bron: [15]) getekend op de kaart met activiteiten op de Noordzee voorzien in 2050 door HCSS (bron: [1])



Figuur 16 Door Tampnet geadverteerde dekking op de Noordzee (bron: [63]), geplot op de kaart van activiteiten op de Noordzee in 2050 van HCSS (bron: [1]). Het paarse gebied is voorzien van 4G-dekking.

Satellite direct-to-device wordt steeds breder beschikbaar

Connectiviteit op basis van 4G/5G in combinatie met (LEO-)satellieten (*direct to device*) is beschikbaar op zee en zal in de toekomst groeien voor wat betreft capaciteit en functionaliteit. Onder andere AT&T verkent (samen met AST SpaceMobile) de inzet van satellietconnectiviteit voor het FirstNet PPDR-netwerk. [64]

Dergelijke connectiviteit kan een volwaardig alternatief zijn voor LTE450 als ‘ultieme onderlaag’. Het heeft onder andere als belangrijk voordeel hierbij dat er geen afhankelijkheid is van basisstations in de buurt van de gebruiker. Een nadeel is wellicht de afhankelijkheid van niet-Nederlandse (of niet-Europese) satellietoperatoren. Het IRIS²-initiatief beoogt vanaf 2030 een volwaardig Europees alternatief te kunnen zijn. [65]

Hoewel dit een bedreiging voor (de vraag naar) een toekomstig LTE450-netwerk zou kunnen zijn, biedt de satellietconnectiviteit uiteraard ook juist een kans voor

Rijkswaterstaat op het gebied van het realiseren van betrouwbare spraakcommunicatie op zee.

(Pad)afhankelijkheid van Utility Connect en 450 MHz is een risico

Een keuze voor LTE450 levert een afhankelijkheid op van Utility Connect (op zijn minst als vergunninghouder van het benodigde spectrum) en het ecosysteem voor LTE/5G450. De belangrijkste argumenten rondom het ecosysteem zijn hierboven al besproken. Ten aanzien van de afhankelijkheid van Utility Connect is vooral van belang op welke manier Rijkswaterstaat samenwerkt met Utility Connect. Het netwerk zou (als op het vasteland) kunnen worden beheerd door Utility Connect, maar een constructie waarbij Rijkswaterstaat de frequentie leaset van Utility Connect is ook denkbaar.

Ruimte op opstelpunten (op zee) is waarschijnlijk schaars

Op het vasteland hebben mobiele operators moeite met het verwerven en behouden van opstelpunten voor hun basisstations en antennes. Op zee is het aantal *mogelijke* opstelpunten vele malen beperkter dan op land en zijn de condities extremer. Dit maakt het waarschijnlijk lastiger om goede opstelpunten te vinden (die passen binnen de netwerktopologie). Een risico is dat openbare mobiele netwerken de beschikbare opstelpunten eerder in gebruik nemen dan het voorliggende netwerk, waardoor geen goede locaties meer beschikbaar zijn.

4 Conclusie

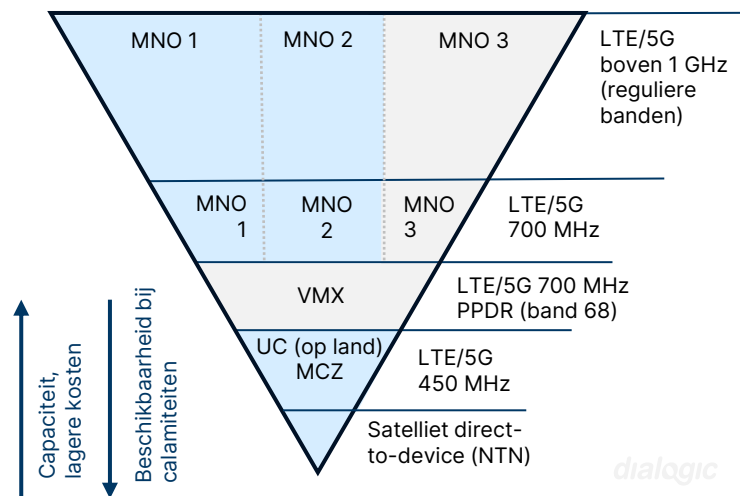
4.1 Beantwoording onderzoeksvragen

Wat zijn kansen en belemmeringen bij het ontwikkelen van een missiekritische spraakdienst op basis van LTE450 voor energiegebieden op zee?

Tabel 3 in hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de sterktes, zwaktes, kansen en bedreigingen van een op LTE450 gebaseerde missiekritische spraakdienst op de Noordzee. Hieronder geven we de hoofdpunten hieruit:

- **Sterktes:** de 450 MHz-band biedt mogelijkheden om missiekritische connectiviteit op zee te realiseren. Er is mondiaal een momentum voor het gebruik van LTE/5G in de 450 MHz-band voor datacommunicatie, vanuit de utiliteitssector. Er is in de 450-band relatief snel dekking op zee te realiseren. De impact van interferentie lijkt beperkt. Er is daarnaast zekerheid over de beschikbaarheid van het spectrum tot ten minste 2050.
- **Zwaktes:** de 450 MHz-band wordt niet standaard ondersteund in LTE/5G-toestellen. Het ecosysteem voor handsets met ondersteuning voor LTE450 is veel kleiner dan dat voor reguliere LTE- en 5G-banden. Utility Connect zal op het vasteland tot uiterlijk juli 2035 slechts één carrier op basis van LTE-M kunnen inzetten. 3GPP-gestandardiseerde missiekritische spraak (MCX) wordt echter mogelijk niet ondersteund in combinatie met LTE-M.
- **Kansen:** Er is op zee beperkte beschikbaarheid van digitale connectiviteit, en LTE450 kan een goede *ultieme terugvaloptie* bieden voor (missie)kritische spraak en (IoT-)dataconnectiviteit met laag datavolume. Het LTE450-netwerk zou volledig los kunnen komen te staan van andere openbare mobiele netwerken, wat een aantal voordelen kan opleveren op het gebied van controle, security en *life cycle management*. De inzet van 3GPP MCX kan daarnaast waardevolle inzichten opleveren voor VMX, de opvolger van C2000.
- **Bedreigingen:** Alternatieven op de Noordzee worden steeds beter beschikbaar (onder andere openbare mobiele netwerken in 'reguliere' LTE/5G-banden en *direct-to-device* satellietcommunicatie). Dat is uiteraard goed nieuws voor gebruikers met behoefte aan digitale connectiviteit op zee. Het LTE450-netwerk zou daardoor echter tussen de wal en het schip kunnen vallen. Enerzijds ontstaat relatief goedkope breedbandconnectiviteit voor niet-kritische toepassingen en als terugval- of standaardoptie voor kritische toepassingen. Satellietcommunicatie kan een ultieme terugvaloptie bieden voor kritische spraakcommunicatie. Anderzijds zijn (lokale) smalbandige netwerken afhankelijk van de situatie wellicht eenvoudiger te realiseren of specifiek aan de situatie aan te passen. Door gebruik te maken van de openbare mobiele netten op zee (die dan wel moeten voldoen aan de vereisten van de (missie)kritische toepassing) zou er toegang tot een veel groter ecosysteem zijn, zijn er meer vrijheidsgraden, en kan ook worden aangesloten op VMX.

Het belangrijkste vraagstuk voor de levensvatbaarheid van LTE450 op zee in de toekomst is de positionering en toegevoegde waarde ervan ten opzichte van de reële alternatieven. Mondiaal zien we een beweging waarbij voor PPDR-netwerken wordt gekeken naar het inzetten van een mix van zowel openbare infrastructuur (mobiele netwerken) als eigen frequentieruimte. Onderstaande Figuur 17 toont dit schematisch. LTE450 kan daarbij als 'ultieme terugvaloptie' dienen door het aanbieden van beperkte capaciteit, maar met hoge betrouwbaarheid (in het bijzonder bij calamiteiten). Anderzijds zou dit ook door satellietconnectiviteit (direct-to-device) kunnen worden gerealiseerd. Het nadeel van LTE450 hierbij is het beperkte ecosysteem voor handsets en de noodzaak om (op zee) een netwerk te realiseren. Bij alle andere opties kan immers gebruik worden gemaakt van courante handsets en bestaande netwerken.



Figuur 17 De mix van connectiviteit die kan worden ingezet voor missiekritische spraakcommunicatie (op zee zijn ook in de toekomst niet alle opties beschikbaar, deze zijn blauw gekleurd)

1. In hoeverre kunnen op TETRA technologie gebaseerde portofoons (zoals in Nederland momenteel voor C2000 van de hulpdiensten in gebruik) ad-hoc worden gekoppeld met LTE450 portofoons in missiekritische first-responder / PPDR-toepassingen?

TETRA-netwerken zijn in principe te koppelen met 3GPP MCX-gebaseerde systemen. Gebruikers die verbonden zijn met het TETRA-netwerk kunnen zo communiceren met gebruikers die verbonden zijn met het 3GPP MCX-platform en vice versa. In de praktijk is een koppeling geen sine cure vanwege de specifieke complexiteiten in C2000 en het feit dat de benodigde *gateways* nog relatief nieuw zijn.

Er zijn geen portofoons op de markt die zowel TETRA als LTE450 ondersteunen en dit is ook niet te verwachten. Hulpverleners kunnen dus niet met eenzelfde apparaat op land verbinden met C2000 en op zee met een LTE450-netwerk. Het is uiteraard wel mogelijk om ad-hoc op zee een TETRA-netwerk op te zetten, maar het is de vraag of C2000-portofoons daar dan mee kunnen verbinden. Het roept daarnaast de vraag op of de gebruikers op zee dan niet überhaupt beter allemaal een specifieke portfoon voor op zee zouden kunnen gebruiken.

Op de langere termijn is een koppeling tussen een 3GPP MCX-gebaseerd netwerk op zee en een eveneens op 3GPP MCX-gebaseerde opvolger van C2000 logischer.

2. In hoeverre is de 2×3 MHz aan spectrum die aan Utility Connect is vergund toekomstbestendig tot 2050 met betrekking tot inzetbaarheid van 3GPP-technologieën (LTE450 en opvolgers)?

Utility Connect heeft tot 2050 zekerheid over de beschikbaarheid van de PAMR-band. Tot 2035 kan daar echter beperkt gebruik van worden gemaakt op land vanwege de noodzaak het CDMA450-netwerk actief te houden. Op basis van de 1,5 MHz aan spectrum die tot dat moment beschikbaar is, zijn de mogelijkheden voor het realiseren van een missiekritische spraakdienst beperkt (in termen van capaciteit en ondersteuning van spraakapparatuur voor LTE-M).

De banden 31 en 72 zijn gestandaardiseerd voor zowel LTE als 5G. Er is wereldwijd momentum voor inzet van deze banden, met name voor datatoepassingen en vanuit de utiliteitssector. Hoewel de beschikbaarheid van handsets voor LTE450 er steeds beter uitziet, is dit nog niet op het gewenste niveau, en een belangrijke onzekerheid.

3. In hoeverre past een missiekritisch mobiel netwerk voor PPDR gebaseerd op LTE450 in de Europese harmonisatie en interoperabiliteit ontwikkelingen zoals BroadEU.net en de EU Spicenet referentie-architectuur?

De referentie-architecturen die op Europees niveau zijn en worden ontwikkeld bieden met name handvaten voor het op hoger niveau koppelen van PPDR-netwerken van verschillende typen, waaronder TETRA en 3GPP MCX. We zien op basis van deze ontwikkelingen geen beperkingen ten aanzien van het te realiseren LTE450-netwerk. In de praktijk lijkt de implementatie van de genoemde referentie-architecturen nog nauwelijks van de grond te komen. In C2000 en voor opvolger VMX wordt in eerste instantie nog gewerkt met 'eenvoudige' vormen van patching wanneer communicatie tussen gebruikers van verschillende landen wenselijk is. De behoefte voor nauwere integratie bestaat echter wel in de PPDR-sector.

4. Welke beperkingen zijn er eventueel te verwachten voor de inzet van LTE450 op de Noordzee, in verband met interferentie met en door buitenlandse mobiele netwerken in en rond de 450 MHz-band?

Er moet primair rekening worden gehouden met het gebruik in het Verenigd Koninkrijk. Dit is met name smalbandig van aard. Relevant is daarnaast dat de 450-band in het VK voor wat betreft uplink en downlink precies andersom ingericht als in Nederland. Een LTE450-netwerk op zee zou zo kunnen worden ontworpen dat de basisstations (gericht op het Nederlandse vasteland) zo min mogelijk signalen in de richting van het VK sturen en er zo min mogelijk ontvangen. De breedbandige LTE- en 5G-technologie is verder relatief robuust voor smalbandige storing. Impact op het netwerk vanuit het VK (en overigens ook België, waar de volledige 450 – 470 MHz-band wordt gebruikt voor smalbandig PMR) is dan ook naar verwachting beperkt of goed te mitigeren.

Andersom kan het netwerk smalbandige gebruikers over de grens in de weg zitten. Het netwerk ondervindt mogelijk beperkingen ten aanzien van zendvermogens, als gevolg van afspraken die tussen Nederland, België en Duitsland zijn gemaakt over het gebruik van de frequenties in grensregio's.

4.2 Aanbevelingen voor het CFNS

Het onderzoek neemt het realiseren van een LTE450-netwerk op zee als vertrekpunt. Vanuit perspectief van het realiseren van digitale connectiviteit en missiekritische spraakcommunicatie op zee is LTE450 slechts één van de mogelijke onderdelen van de uiteindelijke oplossing. In het onderzoek hebben we de sterktes en zwaktes van LTE450 in dit kader beschreven, en alternatieven voor LTE450 gesignaleerd als kans en/of bedreiging in de SWOT-analyse. LTE450 is echter uiteindelijk een *middel* en geen *doel op zich*. We adviseren het CFNS/Rijkswaterstaat daarom nadrukkelijk om breder te focussen dan alleen LTE450 als het gaat om het realiseren van (missiekritische) spraak- en datacommunicatie op zee. Het realiseren van een 3GPP MCX-oplossing voor gebruik op zee zou een zinvol (breder) vertrekpunt kunnen zijn – ook gelet op het mondiale momentum voor 3GPP MCX en de voor VMX ingeslagen route lijkt dit onvermijdelijk. Met een eigen MCX-core creëert Rijkswaterstaat de flexibiliteit om verschillende radionetwerken in te zetten, waaronder LTE450 en openbare mobiele netwerken op zee en op land, en wordt integratie met VMX in de toekomst haalbaar.

We adviseren het CFNS/Rijkswaterstaat, als het specifiek LTE450 op zee verder wil ontwikkelen, de komende twee jaar te werken aan een aantal actiepunten. Deze actiepunten komen logisch voort uit de gevonden sterktes, zwaktes, kansen en bedreigingen. Het adresseren van de zwaktes en bedreigingen is wat ons betreft het belangrijkste, gevolgd door het (verder) uitnutten of versterken van kansen c.q. sterktes. Daarnaast is het uiteraard relevant (maar niet kritiek) om ontwikkelingen in het buitenland te (blijven) monitoren.

Naast het zelf nemen van stappen is de omgeving (Utility Connect, VMX, het ecosysteem voor 450 MHz, et cetera) volop in beweging, en moeten ook daar stappen worden gezet die van invloed zijn op de keuze voor het realiseren van een LTE450-spraakdienst op zee. Het CFNS kan een vooruitstrevende rol spelen door de inzet van LTE450 op zee verder te verkennen, maar voor het daadwerkelijk maken van de strategische keuze om hierop in te zetten is het onzes inziens verstandig om nog enige tijd te wachten, onder andere zodat meer duidelijk wordt over de uiteindelijke (technische) uitwerking van VMX, en de geschiktheid van openbare mobiele netwerken op zee.

Bijlage 1. Overzicht respondenten

Organisatie	Functie
450 Alliance	Executive Chairman
Entropia	CEO en oprichter Managing Director
Lyfo	CEO
Politie	Frequentiemanager
RDI	Spectrummanager
Rohill	CTO
Utility Connect	Senior Radio Network Architect Architect & Security Officer Manager of Operations
Rijkswaterstaat	Programmamanager CFNS en diverse collega's

Verwijzingen

- [1] The Hague Centre for Strategic Studies (HCSS) (2021). *The High Value of The North Sea* [[hcss.nl](https://www.hcss.nl)]
- [2] Rijkswaterstaat, VKA (2024). *Strategische visie connectiviteit Rijkswaterstaat. De fundering onder de bediening, bewaking en besturing van de netwerken van Rijkswaterstaat (RWS Bedrijfsvertrouwelijk)*
- [3] Rijkswaterstaat & KNMI (2020). *Verkenning Informatievoorziening Noordzee 2020-2040* [www.cfns.nl] Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- [4] CFNS (2022). *IV op Zee. Proeftuin voor betere digitale connectiviteit op de Noordzee* [[cfns.nl](https://www.cfns.nl)] Rijkswaterstaat.
- [5] Rijkswaterstaat (2024). *Rijkswaterstaat is samenwerking met Airbus aangegaan voor nieuwe communicatiedienst* [www.rijkswaterstaat.nl]
- [6] ITU (2024). *Radio Regulations* [www.itu.int] Geneva,
- [7] Dialogic, van der Vorst, T., Bekkers, R., Lelie, T., Driesse, M., en Brennenraedts, R. (2017). *Marktonderzoek professionele mobiele communicatie in de 450-470 MHz PAMR-band* [[dialogic.nl](https://www.dialogic.nl)] Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
- [8] Dialogic, van der Vorst, T., Lelie, T., Veldman, J., Brennenraedts, R., en Smulders, P. (2017). *De behoefte aan spectrum voor specifieke, professionele breedbandige toepassingen* [www.dialogic.nl] Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
- [9] Dialogic, van der Vorst, T., en van Rees, J. (2022). *Mogelijkheden voor het aanpassen van de frequentie-instelling van slimme meters* [[dialogic.nl](https://www.dialogic.nl)] Den Haag: Ministerie van Economische Zaken.
- [10] Dialogic, van der Vorst, T., van Rees, J., en Hanswijk, M. (2020). *Onderzoek borging continuïteit van slimme meters in relatie tot de PAMR-vergunning* [[dialogic.nl](https://www.dialogic.nl)] Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
- [11] Minister van Economische Zaken en Klimaat (2024). *Beschikking ontwerpvergunning voor het gebruik van frequentieruimte in de 450 MHz-band voor het aanbieden van elektronische communicatiediensten, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat* [zoek.officielebekendmakingen.nl] Den Haag,
- [12] Adviescollege ICT-toetsing (2023). *Advies toekomstbestendigheid van missiekritische communicatiesystemen (NOOVA)* [www.adviescollegeicttoetsing.nl]
- [13] De Minister van Economische Zaken en Klimaat (2024). *Verlening vergunning 450-470 MHz aan Utility Connect B.V. via verdeling op afroep, Rijksinspectie Digitale Infrastructuur* [zoek.officielebekendmakingen.nl] Den Haag,
- [14] Alliander (2024). *Definitieve gunning werkzaamheden aan slimme meters* [www.alliander.com]
- [15] KPN (2019). *KPN en Tampnet werken samen aan mobiele dekking voor zakelijke klanten op Noordzee* [www.overons.kpn.nl] Den Haag,
- [16] Odido (2023). *T-Mobile zet verder in op dienstverlening op Noordzee* [newsroom.odido.nl] Den Haag: Odido.

- [17] RDI (2021). *5G op zee* [www.rdi.nl]
- [18] Odido (2023). *We breiden onze diensten op de Noordzee verder uit* [www.odido.nl]
- [19] Dialogic, van der Vorst, T., van Rees, J., Ott, J., Verboon, T., en Snaauw, B. (2023). *Marktverkenning onbemande luchtvaartuigen: toepassingen en impact op frequentiespectrum* [dialogic.nl] Groningen: RDI.
- [20] Monrad, A. (2024). *SA6 – past, present and future. From LTE-Advanced to 5G and from MCPTT to Edge enablement* [www.3gpp.org] Melbourne: 3GPP.
- [21] ACMOSS (2024). *Démonstration de l’itinérance nationale sur le Réseau radio du Futur (RRF)* [www.acmoss.fr]
- [22] Flash. *Mobiele TETRA Trunking Unit* [flash-privatemobilenetworks.com]
- [23] TCCA (2020). *Webinar. Interworking of Mission Critical Broadband and Current Narrowband Systems* [tcca.info]
- [24] 3GPP (2017). *TR 23.782. Technical Specification Group Services and System Aspects. Study on mission critical communication interworking between LTE and non-LTE systems (Release 15)* [portal.3gpp.org]
- [25] Wolf, G.J. (2023). *UK Home Office Embraces Interworking on ESN* [www.criticalcommunicationsreview.com] The Critical Communications Review.
- [26] Bidstats (2024). *Provision of a TETRA/MCX Interworking Gateway Solution for the Emergency Services Network (ESN)* [bidstats.uk]
- [27] Airbus (2024). *What is Agnet?* [www.securelandcommunications.com]
- [28] Airbus (2017). *Airbus leads Belgium to a first-rate national Tetra radio network* [www.securelandcommunications.com]
- [29] Conet. *Enhanced Interconnectivity for TETRA & LTE* [www.conet.de]
- [30] Rohill (2023). *Rohill successfully contributes to the 8th ETSI MCX Plugtests event* [www.rohill.nl]
- [31] ETSI (2023). *8th MCX Plugtests* [www.etsi.org]
- [32] 3GPP (2024). *TS23.203. Policy and charging control architecture* [www.3gpp.org]
- [33] Motorola (2024). *MXP7000. Mission-critical converged TETRA and LTE portable device* [www.motorolasolutions.com]
- [34] 450 Alliance (2020). *Annual Device update* [450alliance.org]
- [35] RugGear. *RG760. Tough, PTT-optimised and ready to communicate anywhere* [www.ruggear.com]
- [36] Broadmap (2024). *BroadMap* [www.broadmap.eu]
- [37] Broadway (2024). *SpiceNet Reference Architecture* [www.broadway-info.eu] Brussels,
- [38] BroadMap (2018). *Mapping Interoperable EU PPDR Broadband Communication Applications and Technology. D5.1 Conclusion of solution evaluation* [www.broadmap.eu] BroadMap.
- [39] 3GPP (2024). *TS 38.101. NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone* [portal.3gpp.org]
- [40] Quectel (2023). *Ask the Quexperts: What is LTE Cat 1 bis?* [www.quectel.com]
- [41] Telenor. *5G RedCap: Bridging the Gap for Next-Generation IoT Applications* [iot.telenor.com]
- [42] 450 MHz Alliance (2024). *Annual Equipment Report* [450alliance.org]

- [43]MediaTek (2023). *MediaTek Unveils RedCap Solutions to Deliver 5G Data Rates and Impressive Power Efficiency to a Broad Range of IoT Devices* [corp.mediatek.com]
- [44]Ofcom (2023). *Call for Input: Potential spectrum bands to support utilities sector transformation. Consideration of bands at 400 MHz, 450 MHz, 700 MHz, 800/900 MHz and 1900 MHz* [www.ofcom.org.uk]
- [45]Belgium, Germany and The Netherlands (2021). *Additional Agreement to the Agreement on the co-ordination of the frequency bands 410 – 430 MHz and 440 – 470 MHz concluded between the Administrations of Belgium, France, Germany, Luxembourg, The Netherlands and Switzerland (Groningen, October 2002) conc* [www.rdi.nl]
- [46]Belgium, France, Germany, Luxembourg, The Netherlands and Switzerland (2002). *Agreement on the co-ordination of the frequency bands 410 – 430 MHz and 440 – 470 MHz concluded between the Administrations of Belgium, France, Germany, Luxembourg, The Netherlands and Switzerland* [www.rdi.nl] Groningen: Agentschap Telecom.
- [47]Denmark, Germany, Norway and the Netherlands (2019). *Agreement [...] concerning the offshore use of the following frequency bands [...] for wideband systems capable of providing terrestrial electronic communications services in the border areas of exclusive economic zones of the respective countries* [www.rdi.nl]
- [48]Telecompaper (2018). *Tele2 Russia, Rostelecom, RTRS to deploy LTE-450 network* [www.telecompaper.com]
- [49]Qualcomm (2024). *Qualcomm and Aramco Digital Announce World's First Processors with Native Support for 5G in 450MHz Spectrum* [www.qualcomm.com]
- [50]450Alliance (2024). *CST Announces the Qualification of "Aramco Digital" to Obtain the Specialized Radio Network License* [450alliance.org]
- [51]CST (2023). *Supplementary English Translation of the award of a 450 MHz radio license for a specialized radio network. Information memorandum and award rules.* [www.cst.gov.sa]
- [52]Broadmap (2018). *Mapping Interoperable EU PPDR Broadband Communication Applications and Technology* [www.broadmap.eu]
- [53]450 Alliance (2021). *Antwoord op de internetconsultatie Toekomstig gebruik PAMR-frequentieband (450 MHz)* [www.internetconsultatie.nl]
- [54]Strict (2020). *Marktonderzoek PAMR-frequentieband* [www.internetconsultatie.nl] Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
- [55]450connect (2024). *Sprachendgeräte* [www.450connect.de]
- [56]Stratix (2022). *Frequentiebeleid en het Nederlands Continentaal Plat. Stratix Position Paper* [stratix.nl]
- [57]Telenor (2024). *LTE-M Technology* [iot.telenor.com]
- [58]TCA (2020). *Maintaining TETRA* [tcca.info]
- [59]NCSC (2023). *TETRA-kwetsbaarheid en de rol van het NCSC bij CVD's* [www.ncsc.nl]
- [60]Lyfo (2024). *Lyfo.NET. Zero downtime mobile connectivity with Lyfo.NET* [lyfo.com]
- [61]Anterix & Ericsson (2023). *The Emerging Market Opportunity for Cat-M1 in a 3 MHz Channel for Utility Broadband Networks*
- [62]Stratix (2022). *Memo. Wijziging Nationaal Frequentieplan en concept-vergunning voor 450 MHz PAMR*Hilversum: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- [63]Tampnet (2024). *Coverage maps* [www.tampnet.com]

- [64]AST SpaceMobile (2024). *AT&T and AST SpaceMobile Explore Pioneering Satellite Connectivity for FirstNet* [ast-science.com]
- [65]Europese Commissie (2024). *IRIS²: the new EU Secure Satellite Constellation* [defence-industry-space.ec.europa.eu] Brussels,
- [66]Tomás, J.P. (2024). *Qualcomm, Aramco Digital unveil 5G chips for 450 MHz spectrum* [www.rcrwireless.com]
- [67]450 MHz Alliance (2023). *Annual Global Update* [450alliance.org]
- [68]De Minister van Economische Zaken en Klimaat (2024). *Gedeeltelijke verlenging van de vergunning 450-470 MHz van Utility Connect B.V.* [zoek.officielebekendmakingen.nl] Rijksinspectie Digitale Infrastructuur.
- [69]Consort Digital. *MCX ONE Interworking Gateway* [www.consortdigital.com]
- [70]GSA (2024). *NB-IoT and LTE-M Global Ecosystem. April 2024* [gsacom.com]
- [71]BBC. *Effect of tropospheric ducting on radio* [www.bbc.co.uk]
- [72]RugGear (2024). *What is band 68?* [www.ruggear.com]
- [73]Ericsson (2023). *Band 68 spectrum: a lifeline for public safety services in Europe* [www.ericsson.com]
- [74]TCCA (2020). *Nokia deploys world's first 450 MHz private wireless LTE network PoC for power grid operators in Poland* [tcca.info]
- [75]Teltronic (2023). *Teltronic facilitates the digitisation of public safety agencies with a complete solution over band 68* [www.teltronic.es]
- [76]Landelijke Meldkamer Samenwerking. *C2000.nl. Techniek* [www.c2000.nl]

dialogic

Onderzoek voor *onderbouwd* beleid.

Dialogic innovatie & interactie

Hooghiemstraplein 33

3514 AX Utrecht

030-2150580

www.dialogic.nl